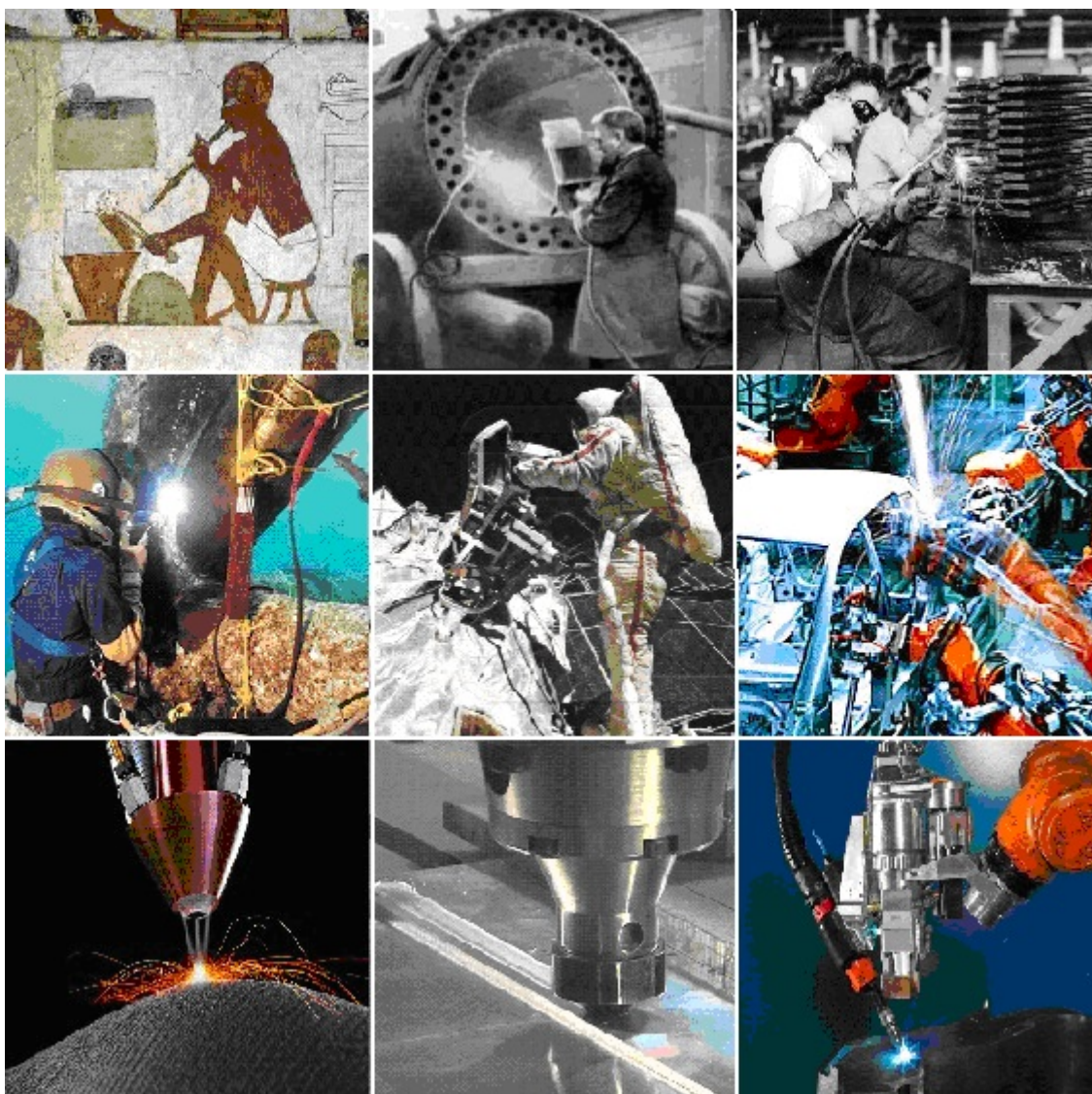




Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

Добре Рунчев

ТЕХНИКИ НА СПОЈУВАЊЕ

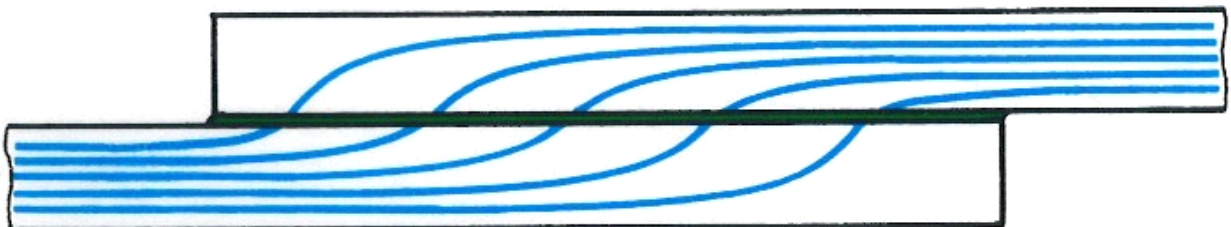
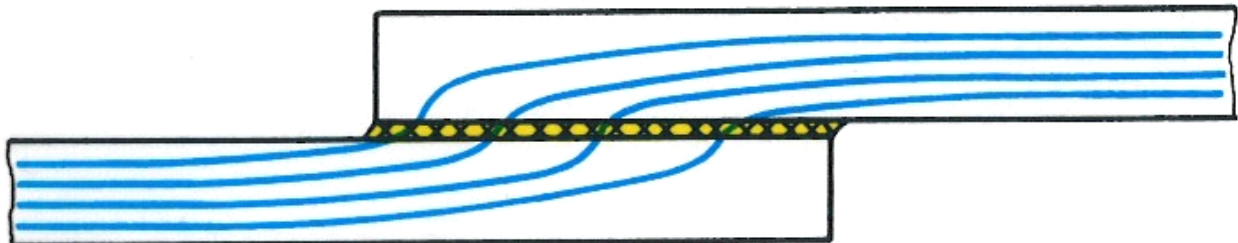
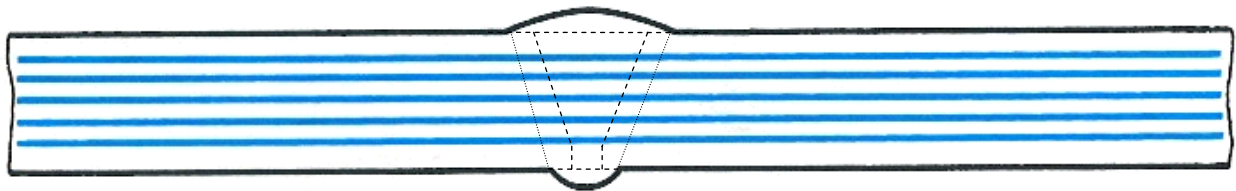


Скопје, 2014



Добре Рунчев

ТЕХНИКИ НА СПОЈУВАЊЕ



Одобрено од Наставно-научниот совет на Машински факултет – Скопје со одлука број 02-887/7 од 5.6.2014 година како учебник

Одобрено од Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје со одлука број 11-630/5 од 4.12.2015 година како учебник

Автор

д-р Добре Рунчев, дипл. маш. инж.
редовен професор на Машинскиот факултет - Скопје

Рецензенти

д-р Јован Гочев, дипл. маш. инж.
редовен професор на Машинскиот факултет - Скопје

д-р Зоран Богатиноски, дипл. маш. инж.
редовен професор на Машинскиот факултет - Скопје

Издавач

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

CIP – Каталогизација во публикација
Народна и универзитетска библиотека „Св. Климент Охридски“, Скопје
621.791/.792(875.8)

РУНЧЕВ, Добре

Техники на спојување: [Електронски извор] : [учебник] / Добре Рунчев, - Скопје:
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје, Машински факултет – Скопје, 2015

Начин на пристап (URL): <http://www.ukim.edu.mk/e-izdavastvo> - Текст во ПДФ
формат, содржи 242 стр. – Наслов преземен од екранот. – Опис на изворот на ден
xx.xx.xxxx. - Библиографија: стр. 235-242.

ISBN 978-608-4624-14-1

а) Заварување - Високошколски учебници б) Лемење - Високошколски учебници
Лепење - Високошколски учебници

COBISS.MK-ID **57606666**

**Со благодарност и почит,
во сеќавање на моите учители**

Дончо Чалоски

Слободан Чукиќ

Климе Пециоски

Августин Гулески

ПРЕДГОВОР

Учебникот е наменет за студентите од зимскиот семестар (III или V) на Машинскиот факултет - Скопје. Пишуван е во согласност со наставната програма за предметот **техники на спојување**, за кој ја покрива содржината за предавањата во целост. Предметот е задолжителен за студиските програми ДК и МСКИ, и избран од модулот М2-9, за студиските програми: ПИ, ТМЛ, ТИ, АФИ, МВ, ЕЕ, МХТ, ХИМВ и ИНД.

Учебникот покрива една половина од програмата за предметот **конструкции и спојување**, кој е избран од модулот М2-8, за сите четиригодишни студиски програми.

Темелите врз кои е пишуван учебникот се вградени во книгата „Заварување“ од проф. д-р Дончо Чалоски. Првиот универзитетски учебник на македонски јазик од областа на спојувањето со заварување, напишан во 1981 година и преиздаден во 1983 година. Учебник, од кој илјадници студенти по машинство, долги години ги учеа основите за една од најприменуваните производни технологии во нашата металопреработувачка индустрија.

Материјата во учебникот е поделена во тринаесет поглавја.

Во воведното поглавје прикажани се техниките на спојување, како дел од производните процеси. Дефинирани се процесите на спојување со заварување, лемење и лепење.

Во второто поглавје изложени се основите на спојувањето со заварување, со краток развоен преглед, класификациите на техниките на заварување, дефинициите на најчесто применуваните термини, како и основите на однесувањето на материјалот во и околу заварот, после заварувањето.

Во третото поглавје прикажани се заварувањето и сродните процеси со термохемиски извори, со детален опис на примената на оксиацетиленскиот пламен.

Во четвртото, петтото и шестото поглавје се прикажани основите на електричниот лак, уредите за заварување и основите, карактеристиките и примената на техниките на заварување и сродни процеси со: РЕЛ, МИГ-МАГ, ТИГ, МИГ/МАГ, со полнети жици, ЕПП и плазмен лак, како и грешките во заварите изведни со топење.

Во седмото поглавје се прикажани техниките на заварување со електроотпорно загревање.

Во осмото поглавје се прикажани техниките на заварување и сродните процеси со други електрични извори, како заварување со дифузија, со растопена троска, со електронски сноп и со ласерски сноп.

Во деветото поглавје се прикажани техниките на заварување со спојување на материјалите во цврста состојба или т.н. механички извори.

Десетото поглавје е посветено на опасностите и заштитата при изведба на заварувачки работи.

Во единаесетото поглавје се прикажани ознаките и обележувањето на заварите во техничката документација.

Во дванаесетото поглавје се прикажани основите, карактеристиките и примената на спојувањето со лемење.

Во последното, тринаесето поглавје се прикажани основите, карактеристиките и примената на спојувањето со лепење.

На крајот дадена е листа од 190 литературни извори, користени при изготвувањето на учебникот.

Авторот им должи благодарност на рецензентите на учебникот, проф. д-р Јован Гочев и проф. д-р Зоран Богатиноски, за корисните сугестии при реализација на учебникот.

Посебна благодарност до светски познатите компании: FRONIUS, TWI, ESAB, DELO Industrie Klebstoffe како и Technische Universität Berlin, FB Füge- und Beschichtungstechnik, кои континуирано ме информираат за развојот и состојбата на техниките на спојување со заварување, лемење и лепење во развиениот свет.

Сите забелешки и сугестии за подобрување на квалитетот на учебникот, авторот ќе ги прими со благодарност.

Авторот

СОДРЖИНА

| | |
|--|-----------|
| I. ВОВЕД | 1 |
| I.1. Дефинирање на процесите на спојување со заварување, лемење и лепење | 2 |
| II. СПОЈУВАЊЕ СО ЗАВАРУВАЊЕ | 4 |
| II.1. Краток историски преглед на развојот на техниките за заварување | 4 |
| II.2. Класификација на техниките на заварување | 8 |
| II.3. Некои термини и дефиниции во техниките на заварување | 9 |
| II.4. Видови завари, заварени споеви и положби на заварување | 11 |
| II.5. Топлински циклуси во основните материјали од заварувањето | 14 |
| II.6. Однесување на материјалот во и околу заварот, промени на структурата | 15 |
| II.7. Напонско-деформациони промени од заварување | 16 |
| II.8. Заварливост и предгреење | 19 |
| III. ЗАВАРУВАЊЕ СО ТЕРМОХЕМИСКИ ИЗВОРИ | 22 |
| III.1. Заварување со оксиацетиленски пламен | 22 |
| III.1.1. Ацетилен и кислород | 22 |
| III.1.2. Оксиацетиленски пламен | 23 |
| III.1.3. Прибор за заварување со оксиацетиленски пламен | 25 |
| III.1.4. Техника на работа при заварување со оксиацетиленски пламен | 28 |
| III.1.5. Примена на техниката на заварување со оксиацетиленски пламен | 29 |
| III.1.6. Сечење со гасен пламен | 30 |
| III.1.7. Метализација со гасен пламен | 32 |
| IV. ЗАВАРУВАЊЕ СО ЕЛЕКТРИЧЕН ЛАК | 33 |
| IV.1. Природа на електричниот лак | 33 |
| IV.2. Основни зони и пад на напонот во електричниот лак | 35 |
| IV.3. Карактеристики на електричниот лак | 36 |
| IV.4. Карактеристики на изворите на струја за заварување | 37 |
| IV.5. Режим на заварување | 39 |
| IV.6. Магнетно поле и електричен лак | 40 |
| IV.7. Видови извори на електрична струја за заварување | 42 |
| V. РАЧНО ЕЛЕКТРОЛАЧНО ЗАВАРУВАЊЕ (РЕЛ) | 46 |
| V.1. Основни принципи на работа при РЕЛ заварување | 46 |
| V.2. Работни средства за РЕЛ заварување | 47 |
| V.3. Техника на работа при РЕЛ заварување | 48 |
| V.4. Подготовка на основниот материјал за РЕЛ заварување | 51 |
| V.5. Електроди со облога за РЕЛ заварување | 53 |
| V.5.1. Улога на облогата на електродата | 54 |
| V.5.2. Класификација на електродите | 54 |
| V.5.2.1. Класификација според видот на облогата | 54 |
| V.5.2.2. Класификација на електродите според намената | 55 |
| V.5.2.3. Класификација на електродите според основниот материјал | 56 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| V.5.2.4. | Класификација на електродите со посебни технолошки особини | 57 |
| V.5.3. | Промена на јачината на струјата и напонот на лакот | 57 |
| V.5.4. | Технолошки карактеристики на електродите | 58 |
| V.5.5. | Обележување на обложените електроди за РЕЛ според МКС стандардите МКС Ц.Х3.010 и МКС Ц.Х3.011 | 59 |
| V.5.6. | Обележување на обложените електроди за РЕЛ според - EN 499 - 95 | 61 |
| V.5.7. | Избор на обложените електроди за РЕЛ | 64 |
| VI. | ЗАВАРУВАЊЕ СО ЕЛЕКТРИЧЕН ЛАК ВО ЗАШТИТНА АТМОСФЕРА ОД ГАСОВИ: МАГ, МИГ И ТИГ ЗАВАРУВАЊЕ | 65 |
| VI.1. | Заштитни гасови | 65 |
| VI.2. | Заварување со електричен лак со топлива електрода во заштитна атмосфера од: инертен гас МИГ, активен гас – МАГ | 67 |
| VI.2.1. | Основи на МИГ, односно, МАГ заварувањето | 67 |
| VI.2.2. | Уреди за МИГ-МАГ заварување | 69 |
| VI.2.3. | Вид на електрична струја и видови пренос на растопениот додатен материјал врз основниот материјал кај МИГ-МАГ заварувањето | 71 |
| VI.2.4. | Влијание на режимот на заварување кај МИГ-МАГ | 74 |
| VI.3. | Заварување со електричен лак со нетоплива електрода во заштитна атмосфера од: инертен гас - ТИГ | 76 |
| VI.3.1. | Основи на ТИГ заварувањето | 76 |
| VI.3.2. | Уреди за ТИГ заварување, вид на електрична струја и палење на лакот | 77 |
| VI.3.3. | Електроди за ТИГ заварување | 79 |
| VI.3.4. | Примена на ТИГ заварувањето | 80 |
| VI.4. | Заварување со електричен лак со топлива електрода во заштитна атмосфера од смеси од гасови, МИГ/МАГ заварување | 81 |
| VI.4.1. | Основи на МИГ/МАГ заварувањето | 81 |
| VI.4.2. | Видови гасни смеси и нивна примена | 83 |
| VI.4.3. | Влијание на составот на гасната смеса врз формата на заварот | 84 |
| VI.5. | Заварување со електричен лак со топлива полнета електродна жица | 86 |
| VI.6. | Заварување со електричен лак со топлива електрода под прашок, ЕПП заварување | 88 |
| VI.6.1. | Основи на ЕПП заварувањето | 88 |
| VI.6.2. | Заштитен прашок и негово влијание | 90 |
| VI.6.3. | Уреди за ЕПП заварување и вид на електрична струја | 91 |
| VI.6.4. | Влијание на режимот на заварување кај ЕПП | 93 |
| VI.6.5. | Подготовка на рабовите и исполнување на попречниот пресек на заварот при ЕПП заварување | 94 |
| VI.6.6. | Избор на режими на ЕПП заварување | 96 |
| VI.6.7. | Примена на ЕПП техниката на зварување | 97 |
| VI.6.8. | Електролачно заварување под прашок со повеќе електроди - жици | 98 |
| VI.7. | Заварување и сродни процеси со плазмен лак | 100 |
| VI.7.1. | Основи на плазмениот лак | 100 |
| VI.7.2. | Заварување со плазмен лак | 101 |

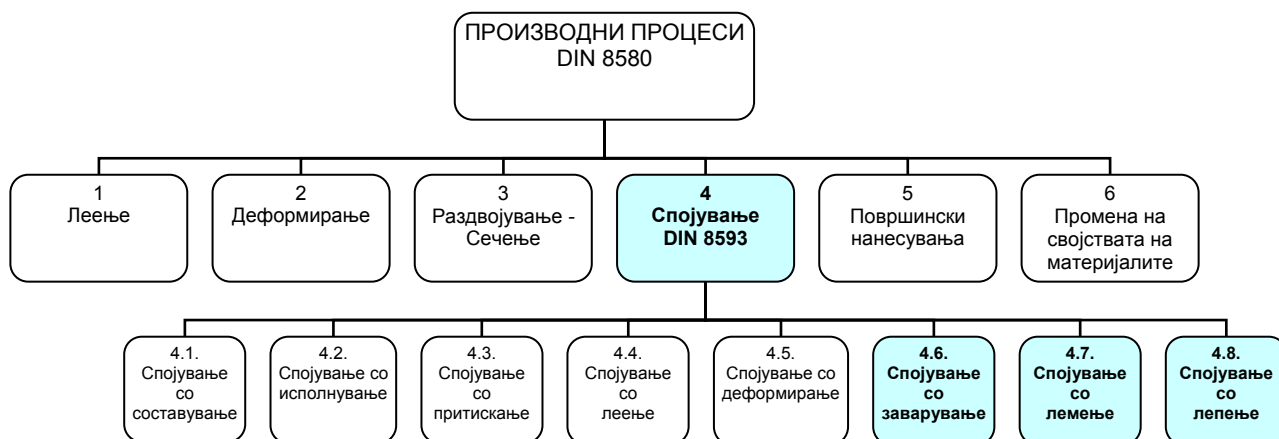
| | | |
|--------------|--|------------|
| VI.7.3. | Сечење со плазмен лак | 103 |
| VI.7.3.1. | Опрема и начини на сечење со плазмен лак | 104 |
| VI.7.3.2. | Примена на сечењето со плазмен лак | 105 |
| VI.7.4. | Метализација со плазмен лак | 106 |
| VI.8. | Грешки во заварите изведени со топење на металите | 107 |
| VI.8.1. | Грешки од група 1, Пукнатини | 108 |
| VI.8.2. | Грешки од група 2, Вклучоци на гас, гасни пори и шуплини | 109 |
| VI.8.3. | Грешки од група 3, Вклучоци во цврста состојба | 111 |
| VI.8.4. | Грешки од група 4, Недостаток на врзување и недоволна пенетрација | 113 |
| VI.8.5. | Грешки од група 5, Грешки во обликот и димензиите | 115 |
| VI.8.6. | Грешки од група 6, Останати грешки | 119 |
| VII. | ЗАВАРУВАЊЕ СО ЕЛЕКТРИЧЕН ОТПОР | 121 |
| VII.1. | Основи на процесот на заварување со електричен отпор | 121 |
| VII.2. | Заварување со електричен отпор во точка | 123 |
| VII.2.1. | Основи на техниката на заварување со електричен отпор во точка | 123 |
| VII.2.2. | Анализа на електричните отпори при заварувањето со електричен отпор во точка | 124 |
| VII.2.3. | Влијание на режимот на заварувањето со електричен отпор во точка | 127 |
| VII.2.4. | Уреди за заварување со електричен отпор во точка | 129 |
| VII.2.5. | Примена на заварувањето со електричен отпор во точка | 130 |
| VII.3. | Заварување со електричен отпор во линја, шевно | 130 |
| VII.3.1. | Основи на техниката на заварување со електричен отпор во линија | 130 |
| VII.3.2. | Режими на заварување со електричен отпор во линија | 132 |
| VII.4. | Заварување со електричен отпор на рељефни површини | 133 |
| VII.5. | Челно заварување со и без искрење | 133 |
| VII.6. | Заварување со електричен отпор со високофреквентна струја | 134 |
| VIII. | ТЕХНИКИ НА ЗАВАРУВАЊЕ СО ДРУГИ ЕЛЕКТРИЧНИ ИЗВОРИ | 136 |
| VIII.1. | Заварување со дифузија | 136 |
| VIII.1.1. | Дифузија | 136 |
| VIII.1.2. | Влијателни параметри при заварувањето со дифузија | 137 |
| VIII.1.3. | Уреди за заварување со дифузија | 139 |
| VIII.1.4. | Основни и меѓуслојни материјали за заварување со дифузија | 139 |
| VIII.1.5. | Примена на заварувањето со дифузија | 140 |
| VIII.2. | Електрично заварување под троска, ЕЗПТ | 141 |
| VIII.3. | Заварување со електронски сноп | 142 |
| VIII.3.1. | Основи на заварувањето со електронски сноп | 142 |
| VIII.3.2. | Механизам на топење на металите под дејство на електронски сноп | 143 |
| VIII.3.3. | Режим на заварување и форма на заварот изведен со електронски сноп | 144 |
| VIII.3.4. | Особини на заварените споеви изведени со електронски сноп | 145 |
| VIII.3.5. | Примена на заварувањето со електронски сноп | 146 |

| | |
|---|------------|
| VIII.4. Заварување и сродни процеси со ласерски сноп | 148 |
| VIII.4.1. Ласер | 148 |
| VIII.4.1.1 Видови ласери | 149 |
| VIII.4.1.2 Параметри на ласерот и нивно влијание | 152 |
| VIII.4.1.3 Примена на ласерот за обработка на материјалите | 153 |
| VIII.4.2. Заварување со ласерски сноп | 154 |
| VIII.4.3. Основи на хибридно заварување со едновремено дејство на ласерски сноп и електричен лак | 157 |
| VIII.4.4. Особини и примена на хибридно заварување со едновремено дејство на ласерски сноп и електричен лак | 159 |
| VIII.4.5. Споредба на заварувањето со ласерски сноп со другите техники на заварување | 161 |
| VIII.4.6. Термичко сечење со ласерски сноп | 162 |
| VIII.4.7. Примена на термичкото сечење со ласерски сноп | 163 |
| VIII.4.8. Дупчење со ласерски сноп | 164 |
| VIII.4.9. Метализација со ласерски сноп | 165 |
| IX. ЗАВАРУВАЊЕ СО МЕХАНИЧКИ ИЗВОРИ | 167 |
| IX.1. Заварување со притискање на ладно | 167 |
| IX.1.1. Механизам на спојувањето со заварување со притискање на ладно | 167 |
| IX.1.2. Уреди и техника на спојување со заварување со притискање на ладно | 168 |
| IX. 1.3. Карактеристики и примена на спојот изведен со заварување со притискање на ладно | 171 |
| IX.2. Заварување со триење | 172 |
| IX.2.1. Техника на заварување со триење | 172 |
| IX.2.2. Карактеристики на споевите и примена на техниката на заварување со триење | 173 |
| IX.3. Заварување со ултразвук | 175 |
| IX.3.1. Техника на спојување со заварување со ултразвук | 175 |
| IX.3.2. Примена на заварувањето со ултразвук | 177 |
| IX.4. Заварување со триење и мешање - Friction Stir Welding, FSW | 178 |
| IX.4.1. Основи на техниката на заварување со триење и мешање | 178 |
| IX.4.2. Процес на FSW заварување | 179 |
| IX.4.3. Видови завари и заварени споеви изведени со FSW | 180 |
| IX.4.4. Машини за FSW заврзување | 181 |
| IX.4.5. Примена на FSW заварувањето | 181 |
| IX.4.6. Споредба на FSW со други техники на заварување | 183 |
| X. ОПАСНОСТИ И ЗАШТИТА ПРИ ЗАВАРУВАЧКИ РАБОТИ | 184 |
| X.1. Извори на опасности при заварување со електричен лак | 184 |
| X.1.1. Опасности од електрична струја | 184 |
| X.1.2. Опасности од зрачење | 185 |
| X.1.3. Опасност од загадување на атмосферата | 186 |
| X.1.4. Опасност од бучава | 187 |
| X.2. Лични заштитни средства | 188 |
| XI. ПРИКАЖУВАЊЕ НА ЗАВАРИ ВО ТЕХНИЧКА ДОКУМЕНТАЦИЈА | 191 |
| XI.1. Основни ознаки на заварот | 191 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| XI.2. | Дополнителни ознаки за обликот на површината - лицето на заварот | 192 |
| XI.3. | Местоположба на ознаките на заварот на цртеж | 193 |
| XI.4. | Ознаки за димензии на заварот | 194 |
| XI.5. | Дополнително означување на заварот | 195 |
| XI.6. | Примери за означување на завар | 196 |
| XI.7. | Ознака за техниката на заварување | 197 |
| XII. | СПОЈУВАЊЕ СО ЛЕМЕЊЕ | 198 |
| XII.1. | Преглед на развојот на техниките за лемење | 198 |
| XII.2. | Лемење и негово разграничување со заварувањето | 199 |
| XII.3. | Температурни и временски интервали при лемењето | 200 |
| XII.4. | Механизам на навлажнување, разливање на лемот | 202 |
| XII.5. | Образување на залемен спој | 203 |
| XII.6. | Некои техники на спојување со лемење; извори на топлина | 204 |
| | XII.6.1. Лемење со загреано цврсто тело (лемник) | 205 |
| | XII.6.2. Лемење со гасен пламен | 205 |
| | XII.6.3. Лемење во печка | 206 |
| | XII.6.4. Лемење со индуктивно загревање | 206 |
| | XII.6.5. Лемење со директно електроотпорно загревање | 207 |
| | XII.6.6. Лемење со ласерски сноп | 207 |
| XII.7. | Додатни материјали при спојувањето со лемење, лемови | 208 |
| XII.8. | Топители | 210 |
| XII.9. | Избор на лем и топител | 212 |
| XII.10. | Конструктивни форми на залемените споеви | 213 |
| | XII.10.1. Конструктивни форми на меко залемени споеви | 214 |
| | XII.10.2. Конструктивни форми на тврдо залемени споеви | 215 |
| | XII.10.3. Димензионирање на залемените споеви | 216 |
| XII.11. | Лемење на бакарни цевни водови | 216 |
| XII.12. | Лемење со електричен лак | 219 |
| | XII.12.1. МИГ/МАГ лемење со електричен лак | 220 |
| | XII.12.2. Спојување на поцинкувани елементи со лемење со електричен лак | 221 |
| | XII.12.3. Примена на МИГ/МАГ лемењето на поцинкувани елементи | 222 |
| XIII | СПОЈУВАЊЕ СО ЛЕПЕЊЕ | 224 |
| XIII.1. | Технологија на спојувањето со лепење | 224 |
| XIII.2. | Додатни материјали за спојување со лепење, лепила | 226 |
| | XIII.2.1. Реактивни лепила | 227 |
| | XIII.2.2. Физички променливи лепила | 227 |
| XIII.3. | Избор на додатен материјал за лепење, лепило | 228 |
| XIII.4. | Видови залепени споеви | 229 |
| XIII.5. | Особини на залепените споеви | 229 |
| XIII.6. | Предности и недостатоци и примена на спојувањето со лепење | 231 |
| XIII.7. | Хибридно спојувањето со лепење и заварување | 233 |
| | ЛИТЕРАТУРА | 235 |

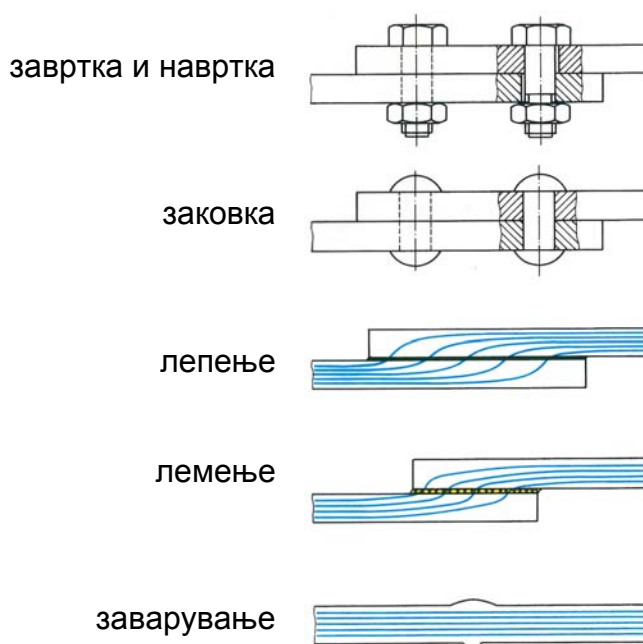
I. ВОВЕД

Спојувањето на материјалите е еден дел од мноштвото дејства (операции-обработки) во производните процеси и технологии. Детален приказ за видовите и класификациите на производните процеси прикажани се во стандардот DIN 8580 од 09.2003 година. Во главната група IV од наведениот стандард, опфатено е спојувањето на материјалите, како производен процес. Главната група IV е прикажана во 8 групи, при што групата IV.6 е за спојувањето со заварување, групата IV.7 е за спојувањето со лемење и групата IV.8 е за спојувањето со лепење. Детална разработка на производните процеси од главната група IV се прикажани во стандардот DIN 8593 од 09.2003 година, слика I.1.



Сл. I.1. Производни процеси (DIN 8580) со главна група 4 спојување (DIN 8593)

Кој процес на спојување на материјалите ќе примениме зависи од мноштво услови, како: намената на спојувањето, бројот на спојните места, основните материјали со нивните особини, облик и димензии, оптоварувањето, намената на спојот итн. Секој од наведените процеси на спојување се одликува со свои предности и недостатоци. На сликата I.2 се прикажани примери на преклопни спојувања со: склоп од завртка и навртка, деформација со заковки, лепење, лемење и челно спојување со заварување со топење.



Слика I.2. Примери на спојувања со разни процеси

Наведените пет примери на спојување имаат многу различни особини, како начин на изведба на спојот, јакост на спојот, пренос на товарот – силата од едниот на другиот споен елемент преку спојот, времето за изведба на спојот, условите на експлоатација на спојот, па дури и надворешниот естетскиот изглед на местото на спојување. Споредувајќи ги горенаведените особини на споевите, спојот изведен со заварување со топење има најголем број предности, во однос на споевите изведени со другите процеси на спојување. Спојот изведен со заварување или заварен спој се одликува со материјален континуитет на двата споени елементи. Преносот на товарот - силата од едниот кон другиот елемент е со најмала концентрација. Јакостта на спојот најчесто е повисока од јакостта на основните материјали. Оптоварувањето на спојот може да се врши и на високи и на многу ниски температури. Изведбата на спојот е за пократко време и без обемна предходна подготовка на местото на спојување итн. Се разбира, заварувањето не е идеален процес на спојување, и тоа има редица недостатоци, за кои ќе стане збор во текот на понатамошните излагања.

1.1. Дефинирање на процесите на спојување со заварување, лемење и лепење

Во понатамошните излагања ќе бидат претставени основите, особините и примената на техниките на спојување со: заварување, лемење и лепење, како и основите на сродните процеси: термичкото сечење и термичкото нанесување.

На почетокот да ги дефинираме основните техники на спојување.

Заварувањето е процес на спојување на два и повеќе исти или различни материјали, најчесто метални, со или без употреба на додатен материјал, со употреба на комбинација од топлинска и/или механичка енергија. При спојување со заварување најчесто се топат основните и додатниот материјал, се мешаат и стврдуваат во една целина, формирајќи завар, кој има хемиски состав и структура зависно од режимот на заварувањето и особините на основните и додатниот материјал.

Лемењето е сроден процес на заварувањето за спојување, при што се спојуваат два или повеќе материјали, најчесто различни, метални или во поново време метални со керамички, со постојана употреба на додатен материјал наречен лем. Додатниот материјал, лемот, се топи под дејство на топлински извор (гасен пламен, електричен лак, електроотпорно загревање и слично), а основните материјали се во цврста состојба. Лемот секогаш има пониска точка на топење од основните материјали. До создавање на спој доаѓа преку дифузија на растопениот лем во цврстите и загреани основни материјали.

Лепењето е, исто така, сроден процес на заварувањето за спојување, при што се спојуваат два или повеќе материјали, најчесто различни, метални со неметални, со постојана употреба на додатен материјал, лепило. Додатниот материјал, лепилото, може да биде во различна агрегатна состојба, а основните материјали секогаш се во цврста состојба и се загреваат на многу пониска температура, споредено со лемењето. До создавање на спој доаѓа под дејство на адхезивни и кохезивни сили, кои се јавуваат помеѓу основните материјали и лепилото и во самото лепило.

Спојувањето на деловите е постојано присутна операција во фазата на изработка на сите делови од минијатурен и едноставен облик до габаритни и сложени состави.

Спојувањето се прави со разделни и неразделни цврсти споеви. Со заварувањето и сродните техники за спојување на материјалите: лемење и лепење, се прават цврсти неразделни споеви, најчесто со употреба на додатен материјал ист или сосема различен од основните. Само кај некои техники на заварување,

спојувањето може да се изврши без употреба на додатен материјал, како на пример: техниките на ладно заварување, заварување со електроотпорното загревање, заварувањето со електронски и ласерски сноп, дел од ТИГ заварувањето и слично.

Примената на секоја од техниките е во соодветна област на изработка на делови или сложени склопови, но најчесто е возможно и примена на сите техники во иста област.

Секоја од овие техники на спојување се одликува со свои предности и недостатоци, за кои подетално ќе стане збор во понатамошното излагање за секоја од нив.

Предноста на заварувањето е што се постигнува спој со најголема јакост и метален континуитет. Недостаток е најголемото загревање и соодветно на тоа настанување на најголеми промени од термо-деформациониот циклус.

Со лемењето се постигнува, исто така, спој со метален континуитет, но со помало загревање на основните материјали. Но залемениот спој е со помали механички карактеристики, со структура и хемиски состав сосем различни од основните материјали.

Со лепењето обично се спојуваат материјали кои со заварувањето и лемењето тешко или воопшто не се спојуваат, но залепениот спој е со значително помали механички карактеристики во однос на заварениот или залемениот спој.

II. СПОЈУВАЊЕ СО ЗАВАРУВАЊЕ

Како што е предходно дефинирано, **заварувањето** е процес на спојување на два и повеќе исти или различни материјали, најчесто метални, со или без употреба на додатен материјал, со употреба на комбинација од топлинска и/или механичка енергија. При спојување со заварување најчесто се топат основните и додатниот материјал, се мешаат и стврдуваат во една целина, формирајќи завар, кој има хемиски состав и структура зависно од режимот на заварувањето и особините на основните и додатниот материјал.

Заварувачките техники се набљудуваат и анализираат повеќестрано, од повеќе аспекти, како: конструктивен, металуршки, хемиски, физички и електричен. Според тоа, оваа дејност се преклопува со повеќе дисциплини од техниката и науката, што и дава мултидисциплинарен карактер. Тоа овозможува, и бара, ангажирање на повеќе профили стручни лица во истражувањето и примената на оваа дејност, бидејќи ниедно стручно лице не може да биде експерт во сите аспекти.

Експертот за заварување често треба да применува делови од физичките, хемиските, машинските, градежните, електротехничките и металуршките науки. Меѓутоа, не треба да се пренагласува мултидисциплинарноста како тешкотија, бидејќи експертот е инженер и има задача да ги употреби научните принципи во една практична задача за што е потребно владеење само со некои делови од споменатите науки.

II.1. Краток историски преглед на развојот на техниките за заварување

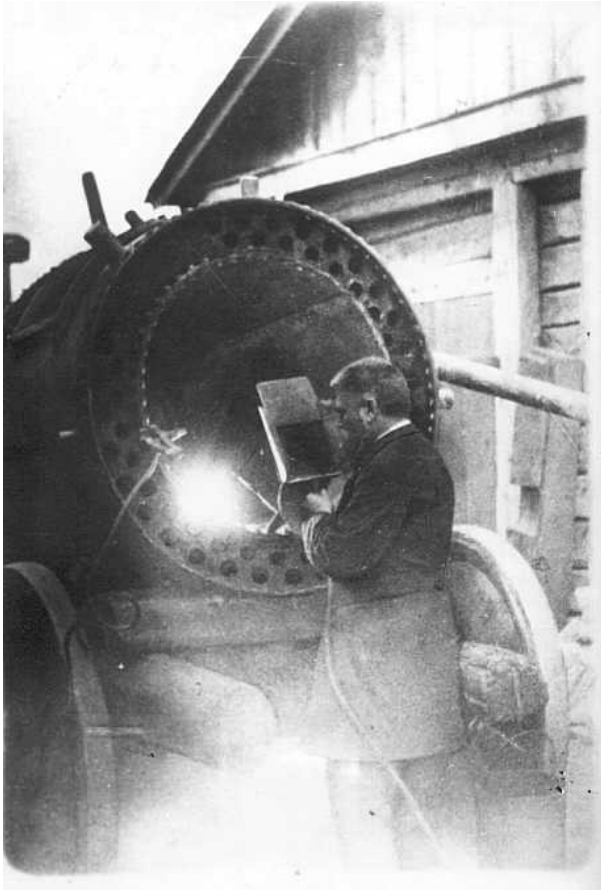
Заварувањето како техника за спојување на металите датира од времето на нивното откривање, а се развивало паралелно со нивниот развој. Почетоците на заварувањето датираат пред повеќе од 5000 години пред нашата ера, најпрво како заварување со лиење, а потоа како заварување со ковање - деформација.

Во втората половина на XVIII век, со појавата и развојот на транспортната и енергетската машиноградба, се јавила и потребата за усовршување на спојувањето со ковачкото заварување, но ковачкото заварување практично ги исцрпило своите технолошки можности. Се јавила идејата за заварување со топење, но на почетокот постоеле голем број нерешливи проблеми, како: недостаток на топлински извор со регулирана големина и моќност, квалитет за заварот ист со квалитетот на основните метали и слични.

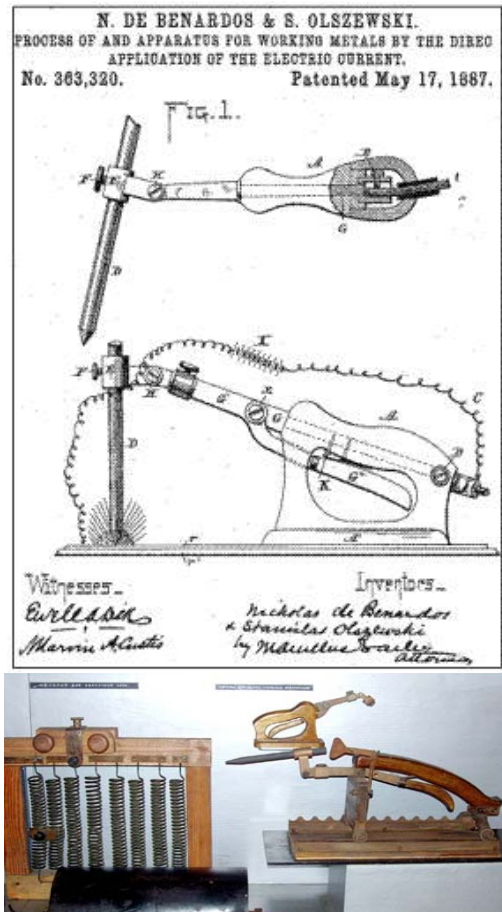
Во тоа време, по откривањето во 1808 година од страна на Дави и Ритер, електричниот лак се користел само како извор за загревање на деловите при ковачкото заварување. Прв пат заварувањето со топење се користело за спојување на оловни плочи од акумулаторски батерии. Со оглед на невообичаено лошите особини на оловото, заварувањето со топење во почетокот било проследено со недоверба. За ваквата негативна оценка, допринело непознавањето на разликите во металуршките особини на оловото од една страна и особините на: железото, челикот, бакарот и другите метали од друга страна.

Прв кој подетално се зафатил со проучувањето на заварувањето со топење со електричен лак бил рускиот инженер Николај Бенардос. Тој во 1887 година успеал со топење со електричен лак да спои челични елементи при изградбата на еден парен котел, слика II.1. При заварувањето користел електричен лак воспоставен помеѓу графитна електрода и основниот материјал. Растопениот метал, како и при ковачкото заварување, го покривал со песок и мраморна прашина.

Во 1887 година Бенардос заедно со Олсзевски ја патентирале оваа техника на заварување со топење со електричен лак под името Elektrogefest (електрично зацврстување), слика II.2.



Сл. II.1. Заварување на парен котел, Н.Бенардос, во Петроград во 1887 г.



Сл. II.2. Патент за заварување со топење со електричен лак

Почетокот на заварувањето со електричен лак се одвивало без додатен материјал, па за да го надополни изгубениот дел, Бенардос додавал метални прачки паралелно до графитната електрода, кои не биле приклучени во електричното коло.

Во својата секојдневна работа со заварувањето со електричен лак тој го видел влијанието на магнетното поле врз лакот и предложил начин за управување на електричниот лак со магнетно поле.

Во 1890 година рускиот инженер Николај Славјанов ја заменил графитната електрода со метална електрода, која воедно се топи и е додатен материјал.

Во 1907 година шведскиот инженер Оскар Кјелберг додалокот од песок и мраморна прашина го нанесол со пресување врз металната електрода, со што започнува примената на денес широко познатите обложени електроди.

Паралелно со заварувањето со електричен лак, се развило и заварувањето со гасен пламен. На почетокот се користел пламен од водород. По откривањето во 1892 година, ацетиленот веќе во 1894 година го заменува водородот.

Од 1900 година до ден денешен ацетиленот помешан со ацетон во мешавина со кислородот е доминантен во заварувањето и другите обработки со гасен пламен.

Во овој период откриени се и техниките на заварување со електроотпорно загревање, така во 1886 година, Томсон го патентирал електроотпорното челно заварување. Дваесетина години подоцна, во 1905 година откриени се електроотпорното точкесто заварување и челното електроотпорно заварување со искрење, а во 1922 и електроотпорното шевно заварување со дискови.

Пред почетокот на Втората светска војна, пред се' заради воени потреби во 1935 година откриено е електролачното заварување во заштитна атмосфера од прашок ЕПП, кое во 1941 година е за прв пат изведено како мултилачно заварување со повеќе електроди. Истовремено, во 1941 година развиени се техниките на

заварување во заштитна атмосфера на инертни гасови со нетоплива електрода ТИГ и топлива електрода МИГ. Нешто подоцна, во 1953 година, за прв пат е употребено и заварувањето со топлива електрода во заштитна атмосфера од активен гас МАГ.

За заварување на подебели елементи, куполи од тенкови, во Институтот Патон во СССР, во 1943 година развиена е техниката на електрично заварување под растопена троска.

По Втората светска војна, развиени се голем број нови техники на заварување. Така при електрификацијата на СССР, во 1946 година развиено е челното ладно заварување со притискање. Потоа следуваат: во 1945 заварувањето со ултразвук, во 1953 дифузното заварување, во 1955 заварувањето со плазмен лак, во 1957 заварувањето со електронски сноп, во 1960 заварувањето со експлозија и во 1964 година заварувањето со ласер.

Развојот и усовршувањето на техниките на заварување трае перманентно до ден денес. Сликата II.3. е јасен приказ на развојот на уредите за заварување, со исти карактеристики и очигледна разлика во димензиите и тежината.



Сл. II.3. „KE 160“ заварувачки конвертор од 1925 година и „ESAB Caddy“ заварувачки инвертор од 1994 година

Развиени се разновидни и висококвалитетни додатни материјали, развиени се голем број помошни уреди кои се користат при заварувањето. Така денес заварувањето се изведува: рачно, механизирано со користење на едноставни помошни уреди, преку полуавтоматизирано, до целосно автоматизиран процес со CNC или роботизирано.

За обележување е и напредокот при заварувањето во вселената, така на 14 јули 1984 година, советскиот космонаут Светлана Савицкаја ги изврши првите заварувања со електронски сноп надвор од вселенскиот брод „Сојуз Т-12“, слика II.4.

Зад сето ова, не заостанува и развојот на заварувањето под вода, кое е особено актуелно при изработката на пловни објекти, бродови и подморници, како и нафтени платформи и нафтоводи, слика II.5.

Кон крајот на 1991 година Вејн Томас со соработниците од TWI (The Welding Institut Cambridge UK) за првпат практично јавно го прикажале резултатот од своето долгогодишно истражување во областа на заварувањето со триење на алуминиумот и неговите легури. Тоа е новата техника на заварување со триење и мешање, позната како Friction Stir Welding (FSW) или Reibrührschweißen. Денес оваа техника се користи за заварување на скоро сите алуминиумски материјали, голем број легури на бакарот, полимерни матерјали, па дури и за спојување на челични материјали.



Сл. II.4. Заварување со електронски снопов во вселената

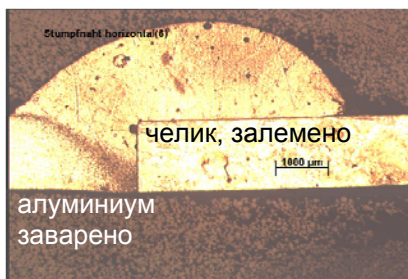


Сл. II.5. Рачно електролачно заварување под вода

Во последните две децении, повторно е актуелен развојот на електролачните техники на заварување. Така денес, пред се' за потребите на автомобилската индустрија, усовршени се: лемењето со електричен лак на поцинкувани челични лимови и хибридно заварување со едновремено дејство на ласерски снопов и електричен лак со топлива електрода.

Во областа на електролачно заварување со топлива електрода во заштитна атмосфера од гасови се појавени многу новитети, со кои овие техники на заварување имаат се' поголема предност и примена во споредба со другите електролачни техники на заварување. Предноста на новите техники е во пулсирачкото горење на електричниот лак во заштитна средина од повеќе компонентни гасни смеси. Една од овие електролачни техники е T.I.M.E. (Transferred Ionized Molten Energy). Повисок дострел во развојот на оваа техника на заварување се смета заварувањето во тандем со две паралелно поставени електроди, кај кои електричниот лак гори наизменично. Оваа техника е позната како T.I.M.E. TWIN.

Меѓу последните новитети во развојот на овие електролачни техники на заварување се и техниките CMT (Cold Metal Transfer) и CMT TWIN. Со CMT техниката споени се елементи од челик и алуминиум со додатен материјал алуминиумска легура. Од страната на алуминиумот доаѓа до топење и мешање, спојување со заварување, а од страната на челикот доаѓа до дифузија на растопениот додатен материјал во загреаниот но цврст основен материјал, спојување со лемење, слика II.6.



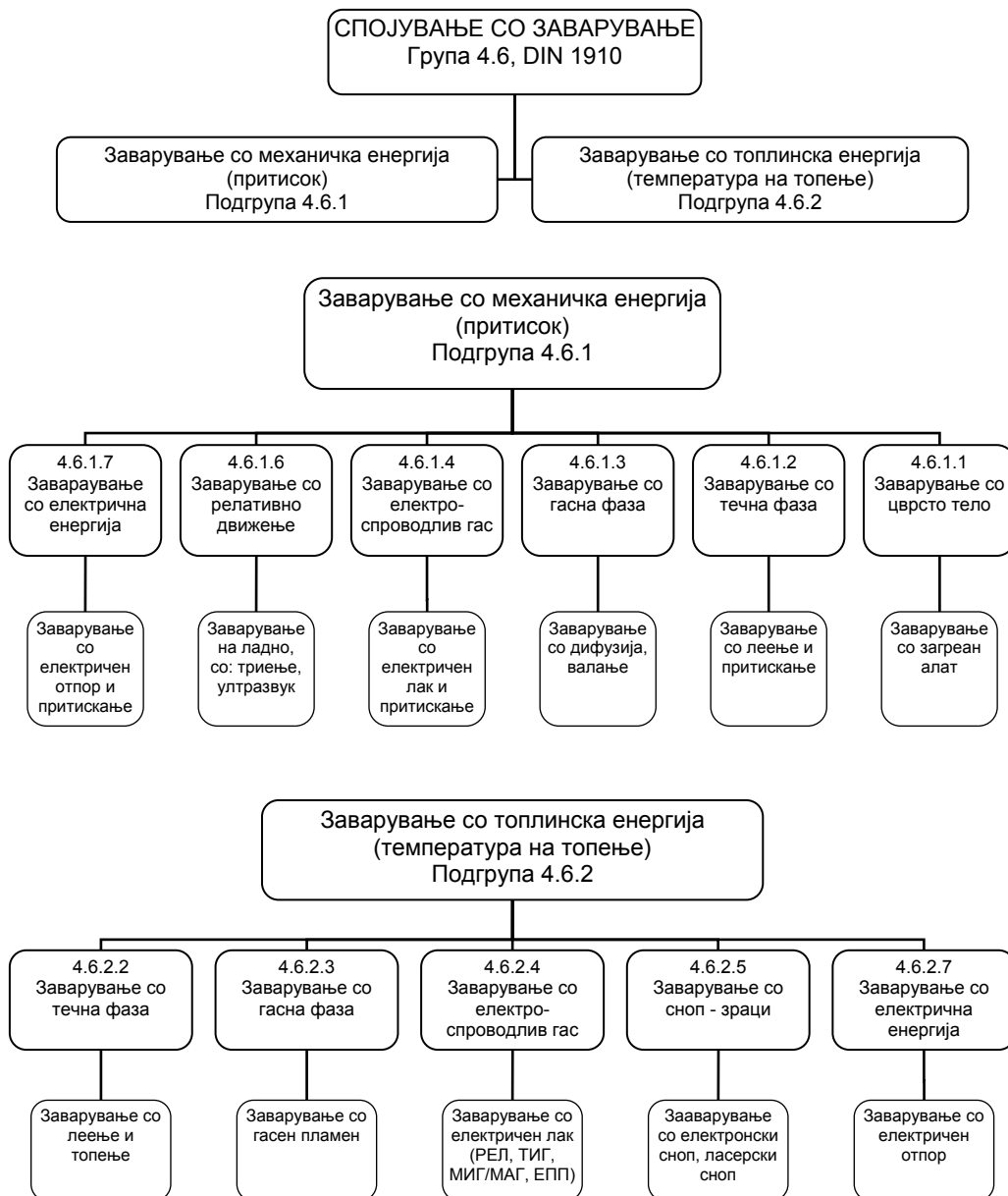
Сл. II.6. Спојување на елементи од алуминиум и челик со CMT техниката

Благодарение на големиот број на разновидни техники на заварување, може да се констатира дека денес не постои незаварлив материјал, и дека со современите технологии за спојување се овозможува спојување на секој материјал со секој, пример: челик со алуминиум, метал со керамика, метал со полимер и слично.

II.2. Класификација на техниките на заварување

Техниките на заварување може да се класифицираат, групираат или делат според најразлични основи. Во стандардот DIN 1910, слика II.7., техниките најпрво се поделени според агрегатната состојба на основните материјали при процесот на заварување, во две подгрупи:

- заварување без топење на основните материјали со доминантно дејство на механичка енергија,
- заварување со топење на основните материјали со доминантно дејство на топлинска енергија.



Сл. II.7. Поделба на техниките на заварување

Од аспект на создавањето на заварениот спој техниките на заварување може да се изведат:

- без употреба на додатен материјал,
- со употреба на додатен материјал.

Од аспект на видот на изворот на енергијата за заварување, техниките може да бидат изведени со:

- енергија од механички извори :
 - со ковање на ладно,
 - со притискање на ладно,
 - со триење,
 - со експлозија,
 - со ултразвук.
- енергија од термохемиски извори:
 - со оксиацетиленски гасен пламен,
 - со пламени од други гасови (метан, пропан-бутан),
 - алуминотермички.
- енергија од електротермички извори:
 - електричен лак:
 - со јагленова (графитна) електрода,
 - со метална обложена електрода, РЕЛ,
 - во заштитна атмосфера на активен гас со топлива електрода, МАГ,
 - во заштитна атмосфера на инертен гас со топлива електрода, МИГ,
 - во заштитна атмосфера на инертен гас со нетоплива електрода ТИГ
 - во заштитна атмосфера на прашок, ЕПП,
 - со плазмен лак.
 - електричен отпор:
 - преклопно точкесто,
 - преклопно шевно (линиско),
 - преклопно брадавичесто (проекционо),
 - челно со искрење,
 - челно без искрење,
 - челно со високофреквентна струја.
 - со други електротермички извори:
 - дифузно,
 - електронски сноп,
 - ласерски сноп,
 - под троска,
 - индуктивно.

Од аспект на степенот на учество на човекот во изведбата на заварувањето, техниките на заварување може да се изведуваат:

- рачно,
- механизирано,
- полуавтоматизирано,
- автоматизирано,
- роботизирано.

II.3. Некои термини и дефиниции во техниките на заварување

Во понатамошните излагања ќе бидат употребувани многу термини, специфични за оваа област. Некои се заеднички за поголем број, или сите техники на заварување, додека пак други термини се ограничуваат само на одделни техники. Практично е да се дадат дефиниции на најчесто употребуваните термини, заеднички

за голем број техники, пред да се помине на поединечно проучување на секоја од нив.

Читателот, во следниот текст, ќе се сретне со случаи на дефинирање на еден термин со друг, но во целина, сите се дефинирани со општо познати поими. Термините ќе бидат дефинирани според азбучниот редослед:

- брзина на депонирање,
- грешка во заварот,
- дисконтинуитет,
- додатен материјал,
- **завар**
- заварен спој,
- заварливост,
- заварување,
- заостанати напони и деформации,
- зона под влијание на топлината, ЗВТ,
- оска на заварот,
- пенетрација (продирање),
- предгреење,
- технологија на заварување.

Брзина на депонирање, претставува маса на додатен материјал нанесен во единица време во тек на заварувањето.

Грешка во заварот, еден или повеќе дисконтинуитети, кои поради акумулираните ефекти го чинат заварениот дел неспособен да ги задоволи стандардите или спецификациите.

Дисконтинуитет, прекин на стандардната маса на заварот, како нахомогеност во механички, металуршки или физички поглед на материјалот на заварот. Дисконтинуитетот немора да биде грешка во заварот.

Додатен материјал, обично е во форма на жица или електрода, која пред заварувањето не припаѓа на материјалот што се спојува, туку преку топење, во текот на заварувањето, учествува во спојувањето.

Завар, материјализирано место на спојувањето.

Заварен спој, два и повеќе компонирани елементи меѓусебно споени со завар.

Заварливост, способност на еден материјал да биде заварен, а во наметнати услови од природата на конструкцијата, при што покажува задоволително однесување во експлоатација.

Заварување, претставува процес на спојување на два или повеќе елементи од исти или различни материјали, со загревање на погодна температура, со или без употреба на притисок и со или без примена на додатен материјал, со што се остварува материјален континуитет и при тоа се тежи спојот да има што порамномерни карактеристики.

Заостанати напони, кои постојат во конструкција или дел, како последица на термичка или механичка обработка. При заварувањето произлегуваат поради собирање на растопениот материјал при ладење до температурата на околната, а како резултат на реакцијата на пониско загреани зони оддалечени од оската на заварот.

Зона под влијание на топлината, ЗВТ, дел од основниот материјал кој не се топи, но чии механички карактеристики или микроструктура, се менуваат поради внесената топлина при заварувањето.

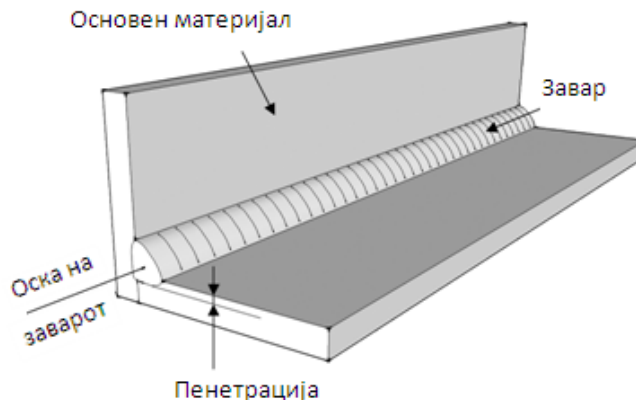
Оска на заварот, линија по должина на заварот низ геометрискиот центар на попречниот пресек на заварот.

Основен материјал, материјал од кој се изработени деловите кои се спојуваат.

Пенетрација (продирање), претставува минимална длабочина на заварот мерено од лицето .

Предгреење, внесување на топлина во основниот материјал кратко време пред заварувањето.

Технологија на заварување, детализирани техники за изведба на заварени споеви, а за добивање на заварена конструкција.

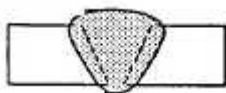


Сл. II.8. Приказ на некои поими од техниките на заварување

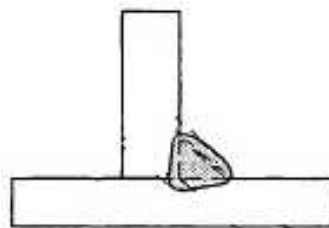
II.4. Видови завари, заварени споеви и положби на заварување

Од претходно изнесените дефиниции за завар и заварен спој се гледа основната разлика помеѓу овие два поими, кои многу често во праксата се изедначуваат како да се работи за едно исто. Но да се потенцира уште еднаш, **завар** претставува материјализирано место на спојувањето, а **заварен спој** чинат два и повеќе елементи поставени во определена положба и меѓусебно споени со завар.

Заварите најчесто се изведуваат како челни, слика II.9. и аголни, слика II.10.



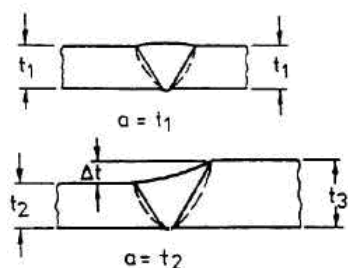
Сл. II.9. Челен завар



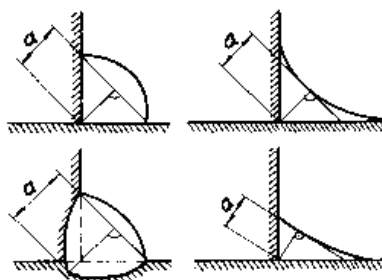
Сл. II.10. Аголен завар

Челните завари се изведуваат по целата дебелина на еден и/или двата елементи кои се спојуваат.

Димензии на еден завар се: должина L_z , широчина b и дебелина a_z . Дебелината на еден челен завар е еднаква со дебелината на елементите кои се спојуваат, ако се со исти дебелини, или со дебелината на потенкиот елемент, ако се со различни дебелини, слика II.11. Додека дебелината на еден аголен завар е еднаква на височината на впишан рамнокрак триаголник во попречниот пресек на заварот. Во случај на поголема пенетрација на коренот на заварот дебелината е поголема, слика II.12.



Сл. II.11. Дебелина на челен завар



Сл. II.12. Дебелина на аголен завар

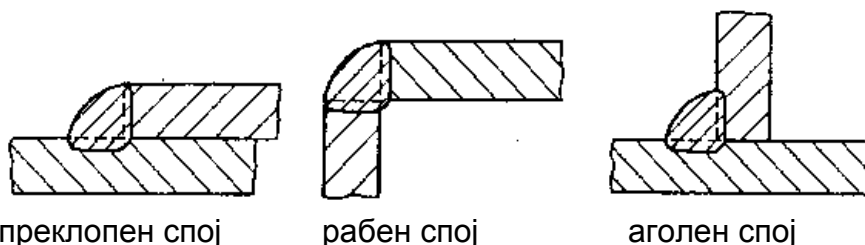
Со челни завари се спојуваат елементи кои лежат во иста рамнина, еден спроти друг, и поретко елементи кои се во различна рамнина, нормални еден на друг. Тоа се елементи кои се изложени на товари кои предизвикуваат нормални напони на затегнување или притисок. Додека со аголни завари се спојуваат елементи во најразлични заемни положби, кои се изложени на товари кои предизвикуваат нормални и тангенцијални напони.

Со челни завари може да се изведат сочелни споеви, слика II.9. и слика II.11. и аголни споеви, слика II.13.



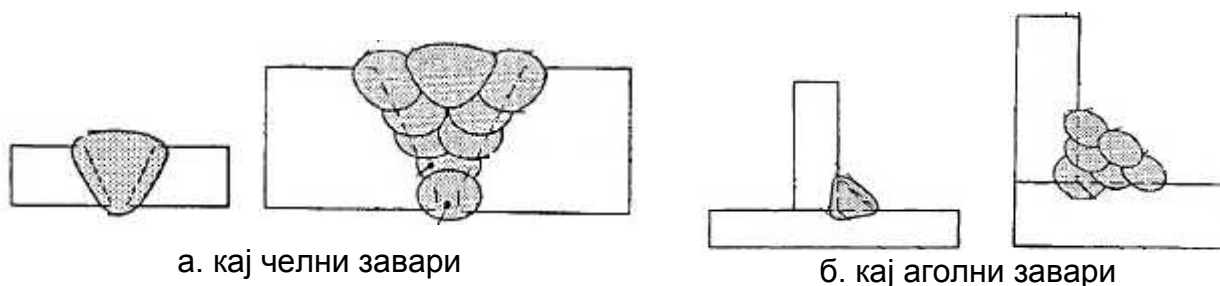
Сл. II.13. Аголни споеви реализирани со челен завар

Со аголни завари може да се реализираат повеќе видови заварени споеви, и тоа:



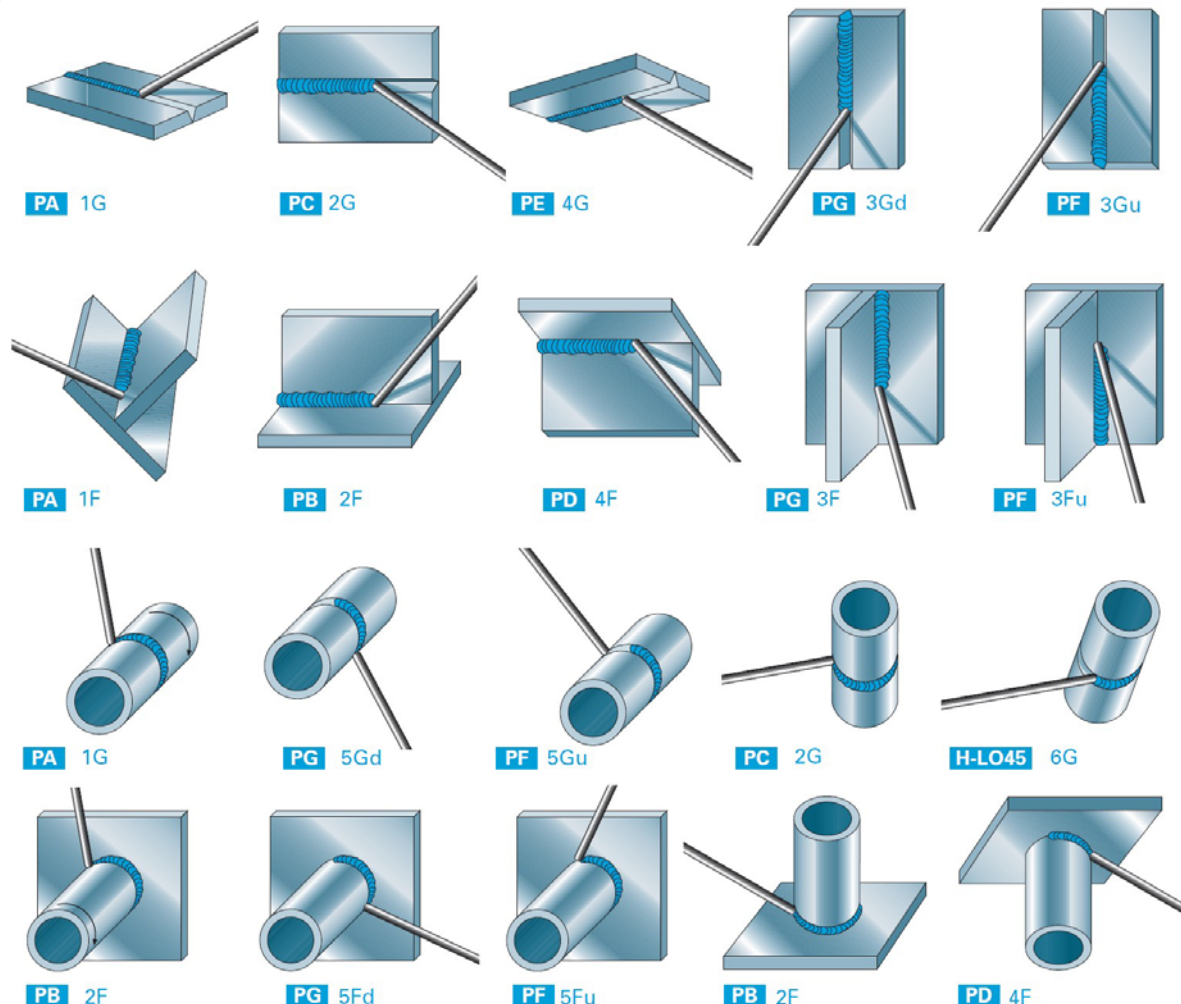
Сл. II.14. Видови заварени споеви реализирани со аголен завар

Заварите, во зависност од дебелината на елементите кои се спојуваат и применетата техника на заварување, може да бидат изведени во еден или во повеќе премини, слика II.15. Така една иста дебелина од исти материјал со РЕЛ техника може да се завари во два или повеќе премини, а со ЕПП техника само во еден премин.



Сл. II.15. Изведба на заварите во еден и повеќе премини

При спојувањето на плоскати елементи, аголот што го чини оската на заварот со хоризонталната рамнина, како и рамнината во која е направен заварот, ја определува положбата на заварување. Положбите на заварување при спојувањето на: плоча со плоча со сочелен или аголен завар, цевка со цевка со сочелен завар и цевка со плоча со аголен завар, се дефинирани во стандардот DIN EN ISO 6947 и ASME, слика II.15. Положбите на заварување често се прикажуваат и описно, како: корито, хоризонтална, хоризонтално-вертикална, вертикална, над глава и слично.



| положба на заварување за плоча со плоча | описна ознака | ознака за положбата на заварување по EN (ASME) | |
|---|---------------|--|---------------|
| | | сочелени завари | аголни завари |
| корито | K | / | PA (1F) |
| хоризонтална | H | PA (1G) | PB (2F) |
| хоризонтално-вертикална | HV | PC (2G) | / |
| ветрикална надолу | VD | PG (3Gd) | PG (3F) |
| вертикална нагоре | VG | PF (3Gu) | PF (3Fu) |
| над глава | NG | PE (4G) | PD (4F) |

| положба на заварување за цевка со цевка и цевка со плоча | ознака за положбата на заварување по EN (ASME) | |
|--|--|---------------|
| | сочелени завари | аголни завари |
| со вртење на цевката, одозгоре | PA (1G) | PB (2F) |
| хоризонтална фиксна цевка, надолу | PG (5Gd) | PG (5Fd) |
| хоризонтална фиксна цевка, нагоре | PF (5Gu) | PF (5Fu) |
| ветрикална фиксна цевка, околу | PC (2G) | PB (2F) |
| под агол од 45° фиксна цевка, надолу | H-LO45 (6G) | / |
| ветрикална фиксна цевка, надглава | / | PD (4F) |

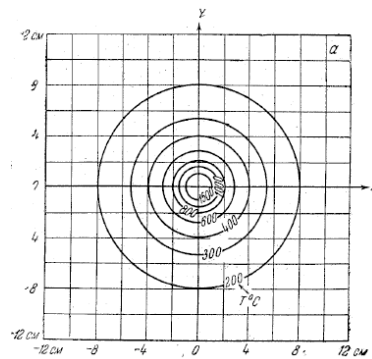
Сл. II.16. Положби на заварување

II.5. Топлински циклуси во основните материјали од заварувањето

При заварувањето со повеќето техники, за да се изврши топење на додатниот материјал и дел од основниот материјал, се внесува топлина од изворот на топлина по должината на спојувањето. Квалитетот на споевите, покрај од другите фактори, зависи и од внесената количина топлина во текот на заварувањето. Со внесување на топлината од изворот во основните материјали, настанува преод на топлината низ нив со што се воспоставува температурен градиент – температурна разлика. Ова значи дека внесената топлинска енергија мора да биде поголема одколку нејзиниот одвод низ материјалите за да се изврши топење на определена зона од основните материјали.

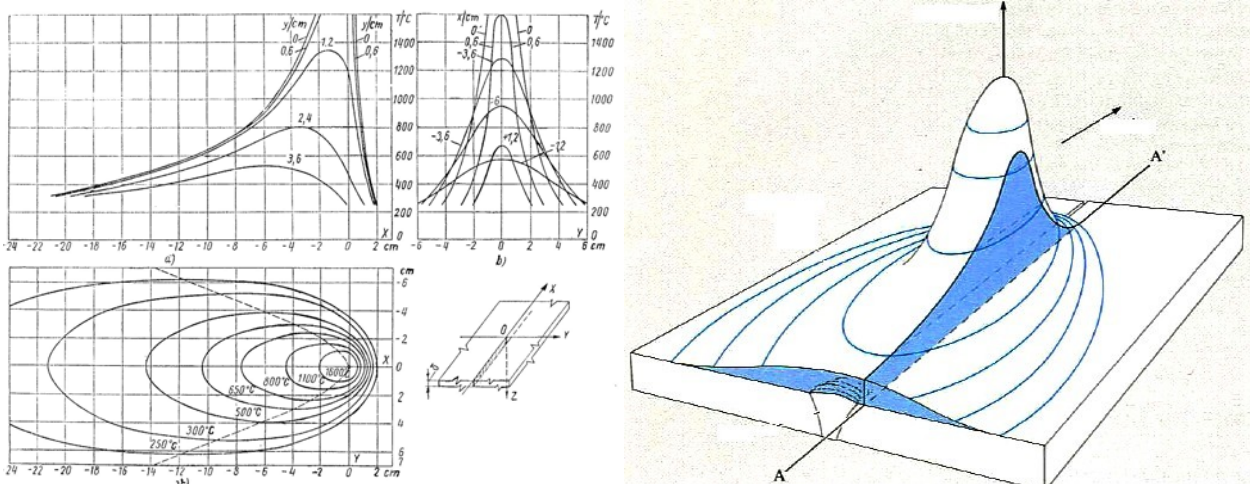
Од горното произлегува дека коефициентот на топлоспроводливост на основните материјали е еден од највлијателните фактори при изборот на режимите на заварувањето. На пример, бакарот има поголема топлоспроводливост од челикот, па топлината понира поинтензивно кај бакарот, што значи дека за еднакви големини на деловите што се заваруваат, поинтензивен извор на топлина бараат оние што се од бакар.

Основниот материјал во близина на растопената зона се загрева на соодветна температура, од температура на топење, па до температурата на околината на доволно растојание од заварот. Во колку е изворот неподвижен, кај точкесто заварување, изотермите се во форма на концентрични кругови, бидејќи условите на пренос на топлината се еднакви во сите правци, слика II.17.



Сл. II.17. Температурно поле при неподвижен извор на топлина

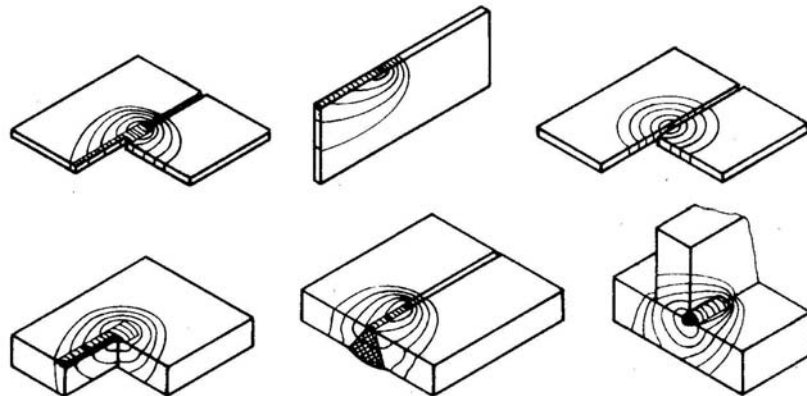
Меѓутоа, при заварувањето со повеќето техники се јавува подвижен извор на топлина, па изотермите се деформираат во елиптичен облик, слика II.18. Примерот на сликата се јавува како типично температурно поле кај нискојаглеродните конструктивни челици.



Сл. II.18. Температурно поле при подвижен извор на топлина

Ако загреваниот метал има други топлофизички карактеристики, тогаш ќе се измени густината на изотермите. На пример, кај бакарни или алуминиумски делови ќе се јави раширено температурно поле.

На обликот на температурното поле влијание има и дебелината на основниот материјал, како и видот на заварените споеви, слика II.19.

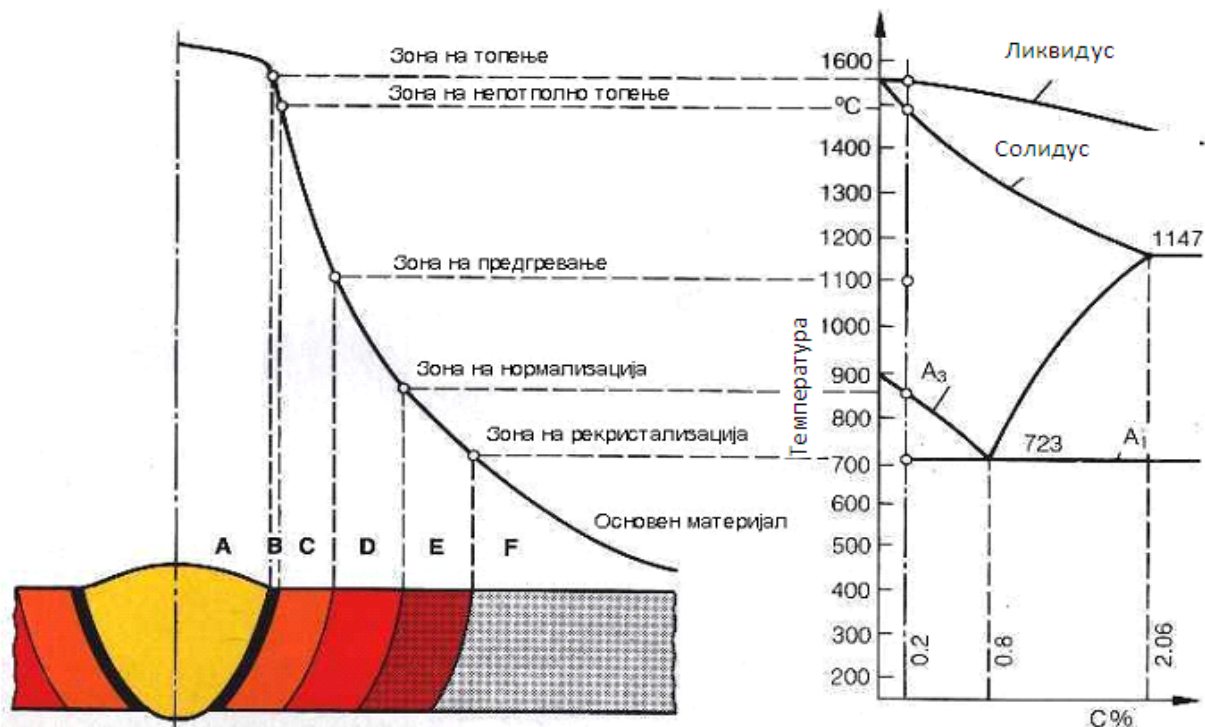


Сл. II.19. Температурни полиња при разни видови заварени споеви

II.6. Однесување на материјалот во и околу заварот, промени на структурата

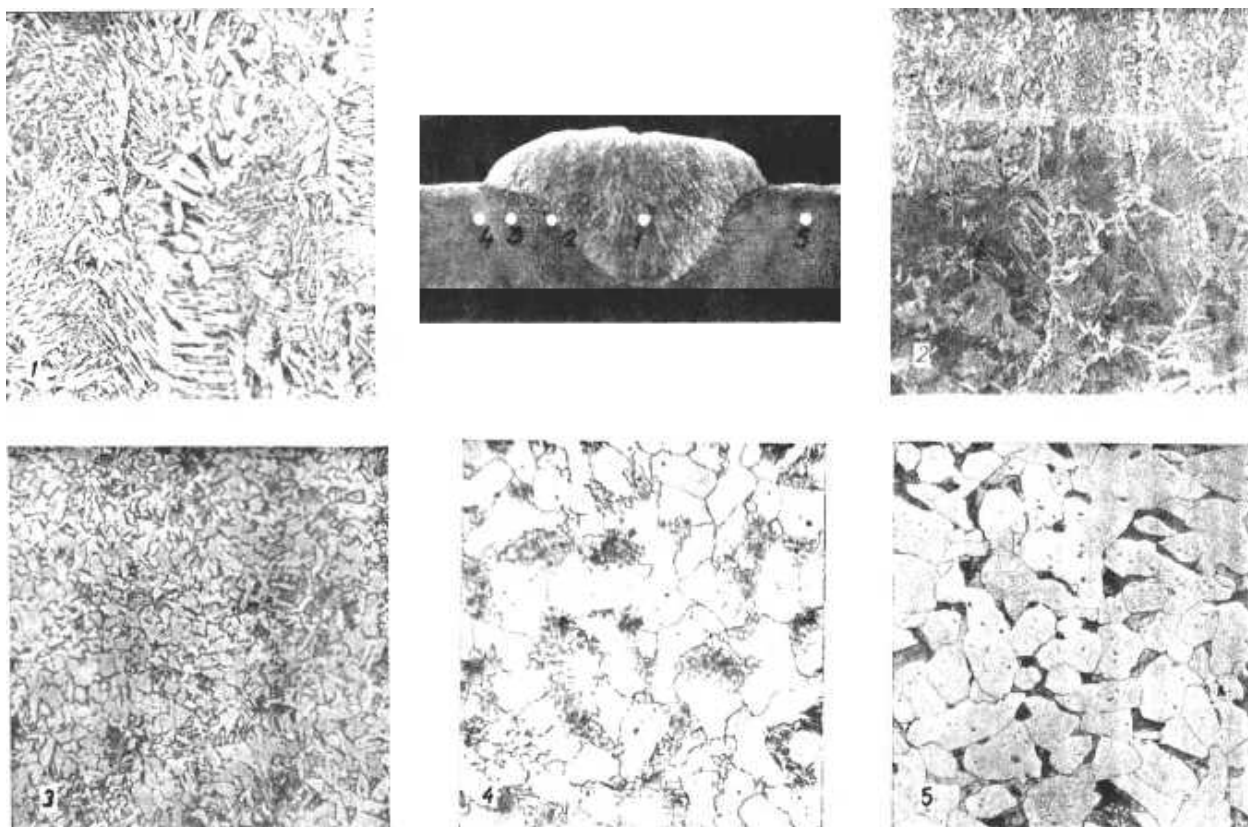
Зголемените температури во околината на делување на изворот на топлина предизвикуваат структурни промени во металот на заварот и во основниот метал околу заварот.

За време на заварувањето на челиците температурата на растопениот метал достигнува над 1500°C . На кусо растојание од топлинскиот извор температурата на основниот метал може да биде $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$, а на поголемо растојание да има вредност на температурата на околината, слика II.20.



Сл. II.20. Зони со различно загревање при заварување на конструктивен челик

Во подрачјето на температури од неколку стотици степени па до температура на топење челикот поминува низ определени критични температури со што се јавуваат промени во неговата структура и механички карактеристики, слика II.21.



Сл. II.21. Структура на заварот и ЗВТ при заварување на конструктивен челик

Брзината на ладење има големо влијание врз структурата на металот: при што зголемени брзини на ладење даваат појаки, потврди и покрти структури и обратно. Овој ефект е поизразен за челици со зголемена содржина на јаглерод или некои легирачки елементи. Ако челикот се држи над критичната температура подолго време добива покрупнозрнеста структура. За време на заварувањето, зоната 3, е многу кусо време над критичната температура. Поради тоа во таа зона се добива ситнозрнеста структура, а со зголемена јакост и тврдина во однос на основниот метал.

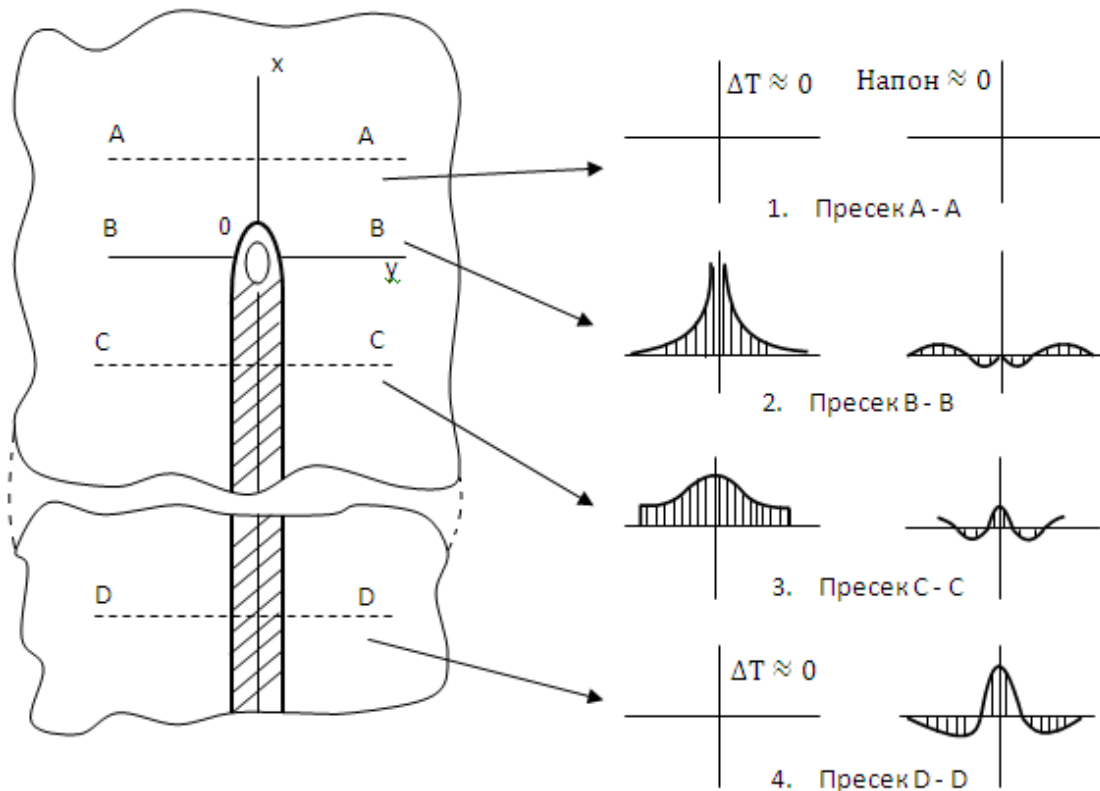
При заварувањето на челиците, постои опасност од појава на пукнатини во зоната под влијание на топлината (ЗВТ). Овие пукнатини може да се јават поради релативно високата содржина на јаглеродот или поради дифузија на водородот во оваа зона.

II.7. Напонско-деформациони промени од заварување

Во процесот на заварување во основниот метал се внесува голема количина локализирана топлина. Се создава нерамномерно топлинско поле, при кое температурата во основниот метал се менува од температура на топење во заварот, па до температурата на околината во доволно оддалечените зони од заварот.

Набљудувано нормално на оската на заварот, соодветно на температурата, во поедините зони во основниот метал ќе се јават соодветни термички деформации. Зоните поблиски до заварот, загреани на повисоки температури, ќе се рашират (издолжат) повеќе, во однос на поодалечените поладни зони. Поодалечените поладни и помалку издолжени зони го спречуваат слободното ширење на зоните близу до заварот, поради што во околината на заварот во моментот на внесување на топлина се јавуваат напони на притисок. Во самиот завар и зоните загреани на температура над 550°C напоните се нула, бидејќи на таа температура отпорот на

материјалот против деформирање изразен преку модулот на еластичност се намалува до нула, слика II.22.



Сл. II.22. Настанување и развој на заостанатите напони од заварување

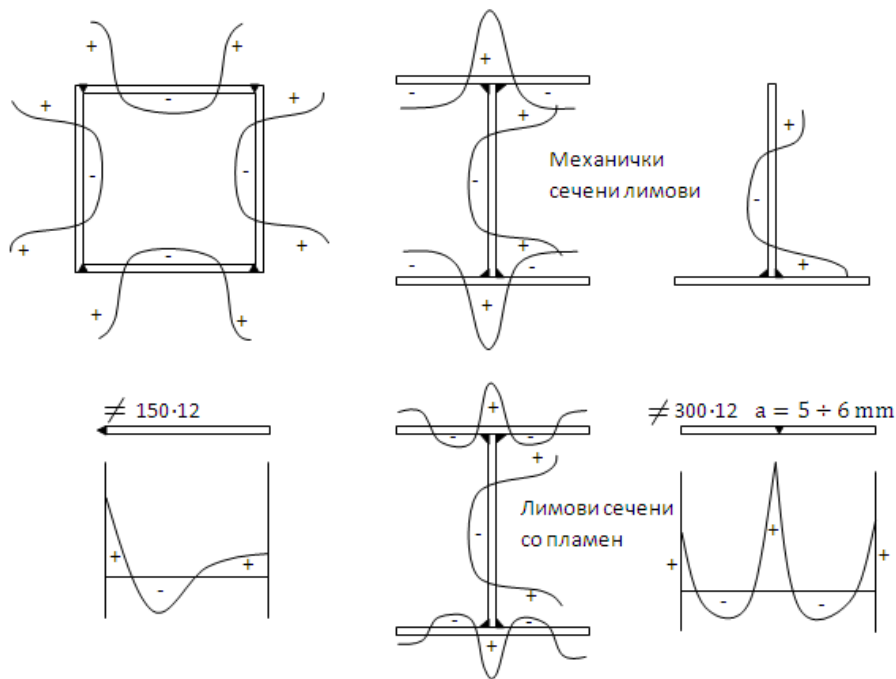
Во фазата на ладење, доаѓа до стврднување на металот на заварот и до собирање на загреаните зони. Помалку загреаните поодалечени зони од заварот побргу се оладуваат и кај нив отпорот против деформирање се зголемува, се зголемува вредноста на модулот на еластичност. Но поблиските зони и самиот завар, загреани на повисоки температури, подолго време се ладат, при тоа слободното собирање е спречено од веќе оладените поодалечени зони. Заварот и неговата најблиска околина поради спреченото собирање се изложени на затегнување од поодалечните зони од основниот метал.

Заостанатите напони од заварување настануваат во текот на ладењето на заварениот спој. Во заварот и неговата блиска околина, во правец на оската на заварот, се јавуваат заостанати напони на затегнување, а во оддалечените региони од попречниот пресек напони на притисок. По апсолутна вредност, максималните напони се во заварот и кај некои челици и во некои случаи може да ја достигнат вредноста на границата на течење.

Интензитетот на заостанатите напони зависи од внесеното количество топлина, големината на постигнатата температура, природата на основниот метал, обликот и димензиите на елементите кои се заваруваат, техниката и технологијата на заварување.

Распределбата на заостанатите напони при заварување на различни елементи прикажана е на сликата II.23., при што во заварот и неговата околина се јавуваат високи напони на затегнување, а во оддалечените зони, напони на притисок.

Појавата на заостанатите напони може да се редуцира со правилен избор на техника и технологија за заварување, а намалувањето на појавените заостанати напони се врши со дополнителна термичка обработка, најчесто жарење.

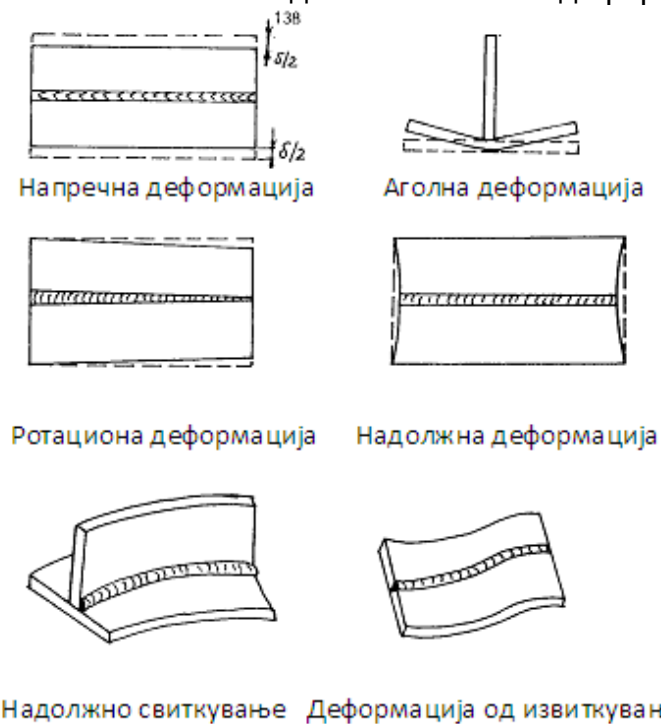


Сл. II.23. Распределба на заостанатите напони на разни заварени елементи

Деформациите на заварениот елемент обично се јавуваат како: свиткување, извиткување, испакнување и ротација, кои предизвикуваат три основни димензионални промени:

- напречна деформација - нормална на оската на заварот,
- надолжна деформација - паралелна на оската на заварот,
- аголна деформација - ротација околу оската на заварот.

На сликата II.24. претставени се основните видови на деформации од заварувањето. Треба да се нагласи дека во реалност деформацијата од заварувањето е сложена и составена од повеќе основни деформации.



Сл. II.24. Основни видови на деформации од заварување

II.8. Заварливост и предгревање

Поимот заварливост тешко е да се дефинира прецизно, но Меѓународниот институт за заварување (МИЗ, IIW) ја дава сеопфатната дефиниција: „Метал се смета за заварлив кога, со примена на одредена техника на заварување, за определена намена, се постигнува хомоген заварен спој, кој одговара на поставените барања за механички особини, а воедно одговара како елемент на една цела конструкција“.

Од овде произлегува дека заварливоста не е врзана само со природата на металот од кој е изработен делот, туку и од неговиот облик и димензии и од техниката на заварување. Од степенот на заварливоста зависи вкупниот квалитет на една заварена конструкција. За да се постигне добра заварливост постојат можности за избор на технологија за заварување пред, за време и по самиот процес на заварување.

За челиците заварливоста ја формираат следните елементи:

- Хемиски состав на челикот, кој влијае преку еквивалентот на јаглородот:

$$C_{\text{екв}} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%V}{5} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%P}{2} \leq 0,45\%$$

Еквивалентот на јаглородот ја ограничува содржината на одделни легирачки елементи од аспект на заварување без превентиви: за челикот со $C_{\text{екв}} \leq 0,45\%$ не е потребно предгревање, а за поголема количина тоа е потребно.

- Механичките особини на основниот метал мерени преку проби на испитување на жилавост (ρ). Во овие особини спаѓаат: напонот на течење (R_t), максималната јакост (R_m), односот помеѓу нив и жилавоста според Шарпи (ρ). Големините на тие елементи треба да го задоволат минимумот кој е баран од стандардите. Покрај тоа, спојот треба да ги задоволи и барањата за пластични деформации.

- Појава на топли пукнатини, ладни прснатини, закаливост и склоност кон создавање на мартензит, пори и други грешки во заварот и неговата околина.

Тешкотиите за постигнување на добра заварливост се зголемуваат со зголемување на дебелината на деловите. Оваа тешкотија произлегува не само од металуршките фактори, туку и од технолошката обработка пред заварувањето и заостанатите напони.

Заварливоста се подобрува со примена на предгревањето, со внесување топлина и загревање на заваруваниот дел на одредена температура непосредно пред заварувањето. Загревањето може да биде по целиот волуман, кај малите делови, или локализирано околу местото на заварување, кај деловите со големи габаритни димензии.

Со предгревањето може да се спречи или намали појавата на пукнатини, заостанати напони и деформации од заварувањето.

Температурата на предгревање зависи од повеќе фактори:

- особините, обликот и димензиите на основниот метал од кој е изработен заваруваниот дел,

- видот на заварениот спој и начинот на изведба на истиот,

- техниката на заварување,

- видот, обликот и димензиите на додатниот материјал.

При изведбата на завари во повеќе премини, важно е меѓу премините температурата на заваруваниот дел да не опадне под температурата на

предгревањето. Поради тоа, потребно е додатна топлинска енергија после секој премин за да се задржи температурното ниво.

Температурата на предгревање (T_p) може да се определи на повеќе начини, и тоа:

- **Метод на еквивалент на јаглородот.** Пресметаната вредност на јаглородниот еквивалент, дебелината на електродата со која се заварува, дебелината на елементите кои се заваруваат и нивната меѓусебна положба ја определуваат температурата на предгревање, чија вредност, за практична употреба се избира од табели или дијаграми. Примената на овој метод е ограничена за челици кои содржат: $C \leq 0,5\%$, $Mn \leq 1,5\%$, $Cr \leq 1\%$, $Ni \leq 3,5\%$, $Mo \leq 0,6\%$.

| $C_{\text{екв}}$ % | d_e mm | Температура на предгревање T °C | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|-----------------------------------|------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| | | за челни споеви | | | | за аголни споеви | | | |
| | | 6mm | 12mm | 25mm | 50mm | 6mm | 12mm | 25mm | 50mm |
| 0.35 | 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.40 | 3.25 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 0 | 100 | 200 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 0.45 | 3.25 | 0 | 0 | 150 | 250 | 0 | 100 | 250 | 300 |
| | 4 | 0 | 0 | 100 | 200 | 0 | 0 | 200 | 250 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 0 | 100 | 200 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 0.50 | 3.25 | 0 | 0 | 250 | 350 | 0 | 150 | 350 | (450) |
| | 4 | 0 | 0 | 150 | 300 | 0 | 100 | 200 | 400 |
| | 5 | 0 | 0 | 100 | 200 | 0 | 0 | 200 | 350 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 0 | 150 | 300 |
| 0.55 | 3.25 | 0 | 150 | 400 | (550) | 100 | 300 | (550) | - |
| | 4 | 0 | 0 | 300 | (450) | 0 | 200 | (450) | - |
| | 5 | 0 | 0 | 150 | 350 | 0 | 100 | 350 | (600) |
| | 6 | 0 | 0 | 150 | 300 | 0 | 0 | 300 | (600) |
| 0.60 | 3.25 | 150 | 400 | - | - | 350 | - | - | - |
| | 4 | 100 | 250 | - | - | 250 | (600) | - | - |
| | 5 | 0 | 100 | (550) | (600) | 150 | 300 | (600) | - |
| | 6 | 0 | 0 | 350 | (500) | 0 | 150 | (500) | - |
| 0.65 | 3.25 | 300 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 4 | 200 | 350 | - | - | - | - | - | - |
| | 5 | 0 | 150 | (600) | - | 200 | (600) | - | - |
| | 6 | 0 | 0 | (500) | - | 100 | 300 | - | - |
| 0.70 | 3.25 | 600 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 4 | 300 | 500 | - | - | - | - | - | - |
| | 5 | 200 | 400 | - | - | 400 | (600) | - | - |
| | 6 | 0 | 200 | (600) | - | 200 | 400 | - | - |
| 0.75 | 5 | 400 | 500 | - | - | (600) | - | - | - |
| | 6 | 200 | 400 | - | - | (450) | (600) | - | - |

0: не е потребно предгревање

(): температурата на предгревање е многу висока и не се препорачува да се предгрева

-: температурата на предгревање е многу висока и практично тешко се реализира

- **Метод на Сеферијан**, според кој температурата на предгревање се пресметува според образецот:

$$T_p = 350\sqrt{[C] - 0,25} \text{ } ^\circ\text{C}$$

каде што е:

[C] - вкупен еквивалент на јаглородот

$$[C] = [C]_h + [C]_d$$

каде што е:

[C]_h - хемиски еквивалент на јаглородот, кој се пресметува според изразот:

$$360[C]_h = 360C + 40(Mn+Cr) + 20Ni + 28Mo$$

[C]_d - еквивалент на јаглородот на дебелината на лимовите и се пресметува според изразот:

$$[C]_d = 0,005 d [C]_h$$

Според тоа, вкупниот еквивалент на јаглородот изнесува:

$$[C] = [C]_h + [C]_d = [C]_h(1 + 0,005 d) \%$$

Покрај опишаните постапки на определување на температурата на педгревање, се употребуваат: метод на BWRA, метод на ТТТ-дијаграм, метод на STAZ-дијаграм и многу други.

Пример 1: Колкава е температурата на предгревање за Č.7401 (10CrMo9-10) за челно заварување, за дебелина на лимовите d=6,0mm. Хемискиот состав на челикот, кој се применува за котловски лимови е: C=0,15%, Si=1,2%, Mn=0,6%, Cr=2,5%, Mo=0,5%.

Решение:

$$360[C]_h = 360x C + 40x(Mn+Cr) + 20xNi + 28xMo$$

$$360[C]_h = 360x0,15 + 40x(0,6+2,5) + 20x0 + 28x0,5$$

$$[C]_h = 0,5333$$

$$[C] = [C]_h + [C]_d = [C]_h x(1 + 0,005 d) = 0,5333x(1 + 0,005x6) = 0,5493\%$$

$$T_p = 350\sqrt{[C] - 0,25} = 350\sqrt{0,5493 - 0,25} = 191,49^\circ\text{C}.$$

Пример 2: Колкава е температурата на предгревање за Č.0361 (S235JRG2) за челно заварување, за дебелина на лимовите d=25mm. Хемискиот состав на нискојаглородниот конструктивен челик е: C=0,17%, Si=0,4%, Mn=0,5%, P_{max}=0,050%, S_{max}=0,05%.

Решение:

$$360[C]_h = 360x C + 40x(Mn+Cr) + 20xNi + 28xMo$$

$$360[C]_h = 360x0,17 + 40x(0,5+0) + 20x0 + 28x0$$

$$[C]_h = 0,22556$$

$$[C] = [C]_h + [C]_d = [C]_h x(1 + 0,005 d) = 0,22556x(1 + 0,005x25) = 0,25375\%$$

$$T_p = 350\sqrt{[C] - 0,25} = 350\sqrt{0,25375 - 0,25} = 21,43^\circ\text{C}.$$

III. ЗАВАРУВАЊЕ СО ТЕРМОХЕМИСКИ ИЗВОРИ

Сопојувањето на работните предмети се извршува со помош на топлина која се развива како резултат на согорување на хемиски елементи или соединенија со голем топлински капацитет, а при тоа се развиваат температури доволно високи за да се растопат најголемиот број од металите.

Во оваа група на извори најзначајни се смесите на горивните гасови со кислородот. Техниките може да се поделат на:

- заварување со смеса на ацетилен и кислород или оксиацетилен,
- заварување со други гасови,
- алуминотермичко заварување.

Во практиката најшироко е применувана техниката на заварување со оксиацетиленски пламен.

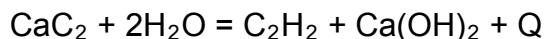
III.1. Заварување со оксиацетиленски пламен

Со согорување на смеса на ацетилен и кислород се создава пламен, кој претставува флексибилен извор на топлина и кој може да се регулира во широки граници на силина и на распределба по површината на металот што се заварува. Оксиацетиленскиот пламен најчесто се применува поради неговото лесно добивање, погодните температури што ги развива како и поволното хемиско влијание преку развивање на спектар гасови во текот на горењето.

III.1.1. Ацетилен и кислород

Ацетиленот припаѓа на групата незаситени јаглеводороди C_nH_{2n-2} , неговата хемиска формула е C_2H_2 и се наоѓа слободен во атмосферата.

На индустриски начин се добива со допир на калциумкарбид (CaC_2) со вода (H_2O). Овој процес може да биде изведен со капење на вода врз карбидот или со потопување на карбидот во вода. При тоа настанува хемиска реакција, според следната формула:



Со оваа реакција се развива топлина од 1675kJ на еден килограм карбид. Друг начин на добивање на ацетиленот е од другите јаглеводороди.

Ацетиленот под притисок е нестабилен и кога е чист експлодира на релативно ниски притисоци. Така, под притисок од 1,5MPa, експлодира на температура од 550°C. Ацетиленот, поради нестабилноста, се компримира во челични шишиња во кои се наоѓа порозна маса натопена со ацетон, слика III.1. На овој начин ацетиленот се наполнува под притисок до 1,5MPa (15 бари). Оваа смеса од ацетилен и ацетон се нарекува дисугас.



Сл. III.1. Пресек на метално шише за ацетилен

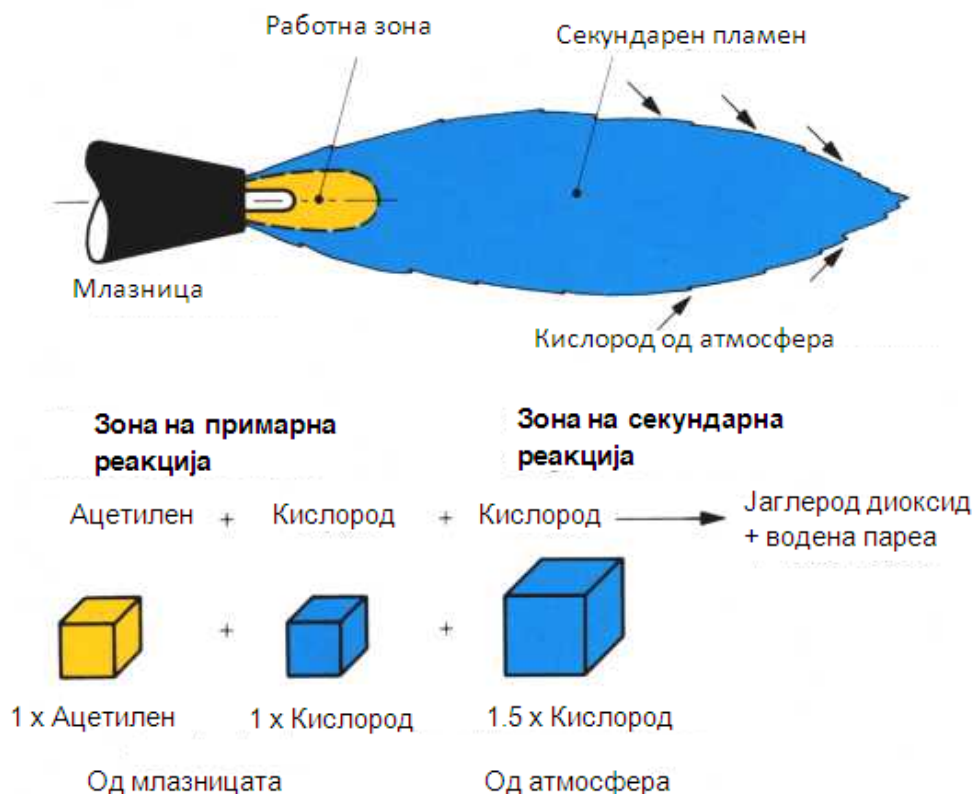
Кислородот е неметален хемиски елемент, со хемиска ознака O, кој во природата се наоѓа во слободна состојба или во соединенија со многу други елементи. Кислородот не гори, но го стимулира процесот на горење.

Кислородот се полни и транспортира во челични шишиња под притисок од 15MPa (150 бари).

III.1.2. Оксиацетиленски пламен

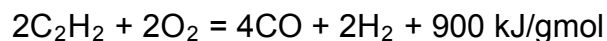
Согорувањето на горивната смеса се одвива во две фази, слика III.2.:

1. зона на примарна реакција, која се јавува близу излезот од горилникот и каде што потребниот кислород доаѓа низ горилникот помешан со ацетилен,
2. зона на секундарна реакција, која ја опфаќа периферијата на пламенот, односно неговиот најголем дел, а каде кислородот доаѓа од атмосферата.

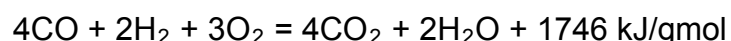


Сл. III.2. Зони на оксиацетиленски пламен

Во зоната на примарна реакција се одвива следниов термохемиски процес:



Во зоната на секундарна реакција се одвива следниов термохемиски процес:



Од горното може да се заклучи дека во средната зона на пламенот постојат редуцирачки гасови CO и H₂, кои исчезнуваат во секундарната реакција, кон периферијата на пламенот.

Целосно согорување на гасната смеса се јавува ако двете компоненти од смесата се во однос 2C₂H₂ : 5O₂, а резултатот на ваквото целосно согорување е добивање на соединенијата 4CO₂ + 2H₂O и топлина од 2646 kJ/gmol.

Меѓутоа, односот на двете компоненти во гасната смеса може да се менува во пошироки граници, а како резултат на тоа се јавуваат три вида пламени:

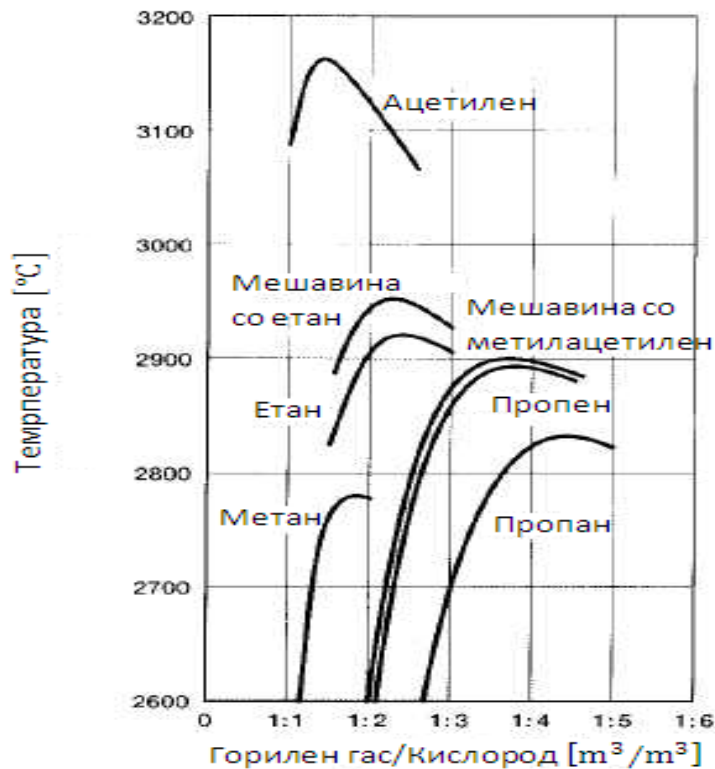
- неутрален пламен, односот на компонентите е таков, што се извршува целосно согорување без остаток,
- редуцирачки пламен, кога постои вишок на ацетилен,
- оксидирачки пламен, во смесата има вишок на кислород.



Сл. III.3. Видови пламени

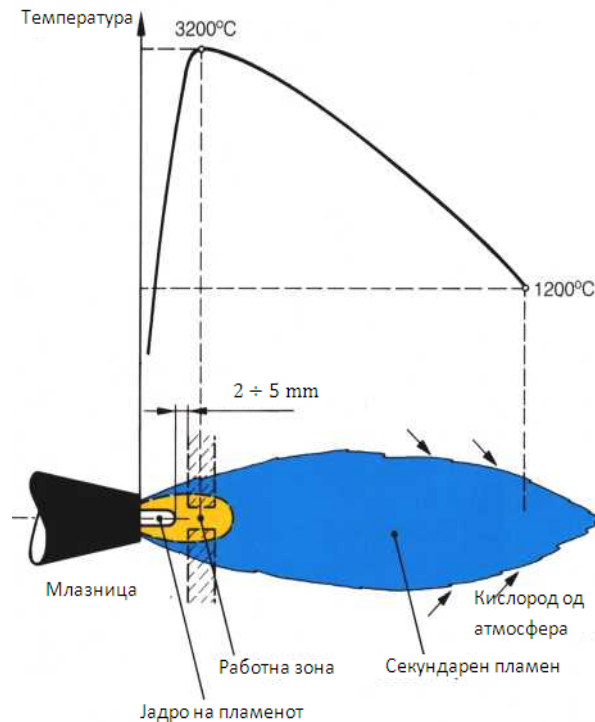
Односот на компонентите лесно се регулира преку вентилите за ацетилен и кислород кои се вградени во телото на горилникот. Со континуирано вртење на главите на вентилите може да се добие кој и да било однос $C_2H_2 : O_2$. Операторот лесно определува каков е пламенот визуелно, според должината на јадрото и целокупната форма на пламенот, како што е покажано на слика III.3. Во техничката пракса се применуваат трите вида пламени.

Оксиацетиленскиот пламен, во поглед на висината на температуриите, е супериорен над другите гасни пламени, слика III.4. Тоа е најважната причина за неговата најчеста примена.



Сл. III.4. Максимални температури за некои гасни пламени, за различен однос на горивниот гас и кислород

Максималната температура на оксиацетиленскиот пламен изнесува 3100 до 3200°C и е лоцирана на неколку милиметри од јадрото на пламенот, слика III.5. Максималната температура на пламенот од метан со кислород е 2780°C, во тесна зона, па овој пламен повеќе е погоден за лемење отколку за заварување.

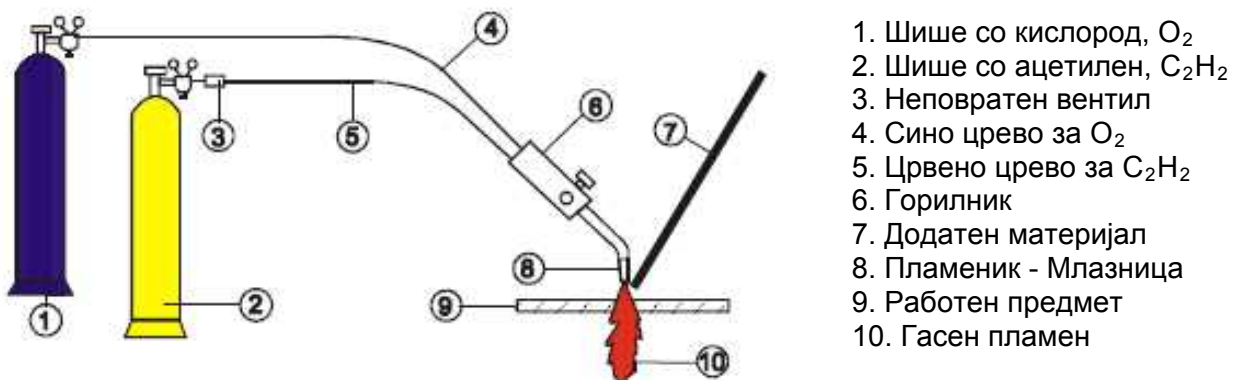


Сл. III.5. Максимални температури

Пламенот како извор на топлина за заварување, е со ниска искористеност, само мал дел од развиената енергија се користи за топење на металот: Најголемиот дел се губи во околината и низ работните предмети. Вака мала ефективност е резултат на големата површина на загревање. Од вкупно развиената топлина за топење се троши само 3-6%, што претставува најмалку ефективна техника од енергетски аспект.

III.1.3. Прибор за заварување со оксиацетиленски пламен

Основниот прибор го чинат: шише за ацетилен, шише за кислород, гумени црева за транспорт на ацетиленот и кислородот од шишињата до горилникот, регулатори на проток на гасовите и горилник, слика III.6. Во дополнителниот прибор спаѓаат заштитните сретства: облека и очила, четка и запалка за иницирање на пламенот.

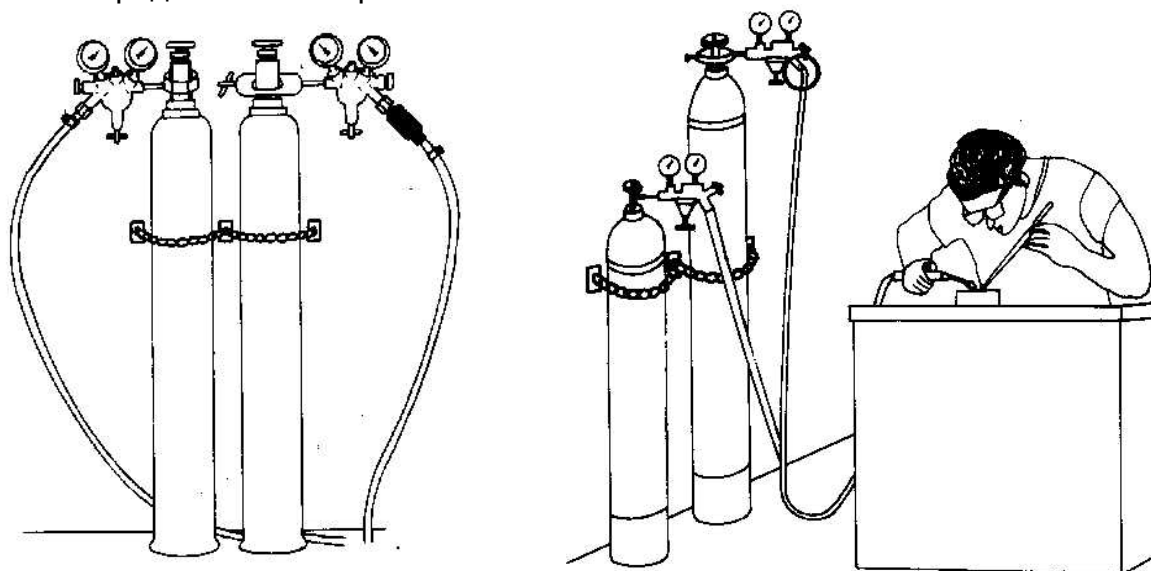


Сл. III.6. Основен прибор за заварување со оксиацетиленски пламен

Шишињата за гасовите се цилиндрични, а на врвот имаат отвор за проток на гасот. Шишето за кислород е обоено со сина боја, а шишето за ацетилен е обоено со бела боја. Според DIN EN 1089-3 од 1998 воведени се нови означувања со боја на техничките гасови. Така шишето за ацетилен е обоено со костенливо – кафеава, а шишето за кислород и понатаму е со сина боја. Најдоцна до крајот на 2006 година во употреба може да се сретнат стари и нови ознаки на шишињата за технички гасови.

Регулаторот на проток е приклучен на отворот за секое шише. Во него се вградени два манометри, првиот го покажува притисокот во шишето, а вториот притисокот на гасот во цревето што оди во горилникот. Излезниот притисок се регулира со вентил кој се отвара и затвара со завртка во долниот дел од регулаторот, слика III.7.

За да не настане грешка при поставување на регулаторите на соодветните шишиња, направени се низа конструктивни решенија, за да не се замени регулаторот за кислород со регулаторот за ацетилен и обратно. Начинот на поврзување со вратот на шишето е различен, за кислород е со навој во вратот на шишето, а за ацетиленот е со стега и ушка низ која се протнува вратот на шишето. Самите манометри се соодветно обележани со хемиски знак за гасот, текст или боја. Во некои случај се поставува гумена наметка со соодветна боја врз манометрите. Задолжително спојот меѓу регулаторот и цревето, од едниот крај и цревето со телото на горилникот од другиот крај, е со неповратен вентил, со соодветна боја, сина за кислород и бела за горивниот гас.



Сл. III.7. Шишиња за гасови со регулатори и манометри

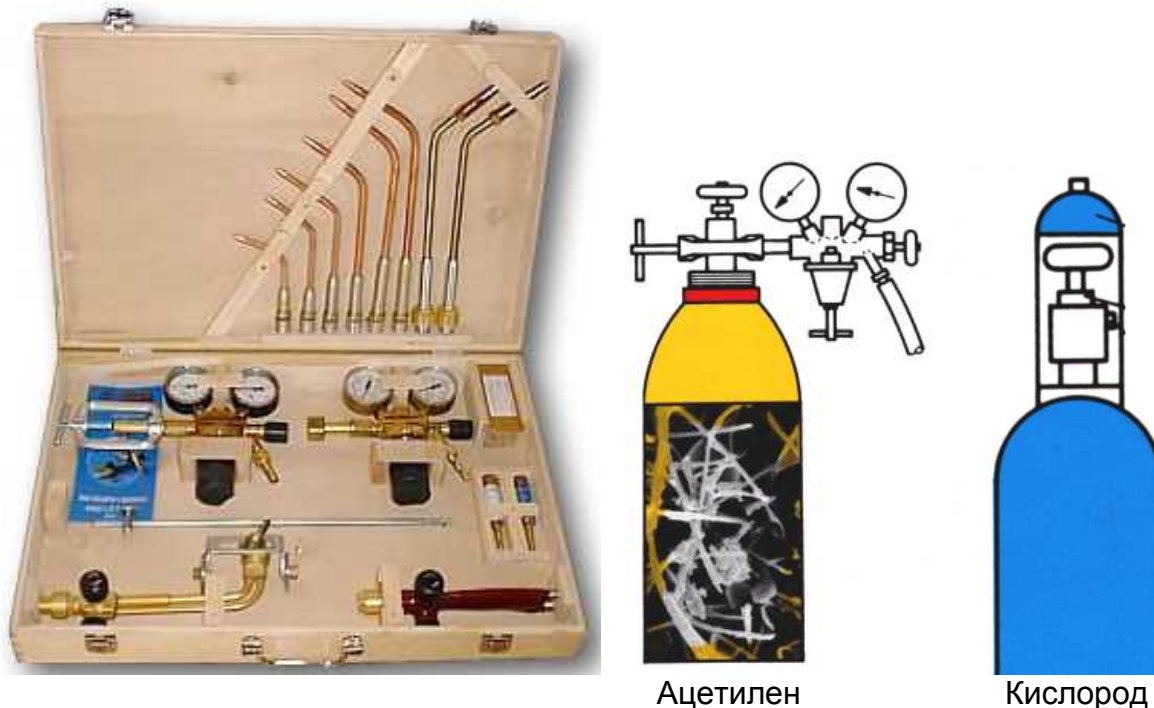
Транспортот на гасовите од излезот на регулаторот до телото на горилникот се врши низ посебно изработени црева од гума и ткаенина. Цревата се со соодветна боја, цревето за транспорт на кислород е сино, а цревето за транспорт на горивниот гас – ацетиленот е црвено.

Горилникот, е составен од доводни канали за ацетилен, односно кислород, мешач на гасовите, вентили за регулација на гасовите и променливи млазници со различни големини, во зависност од бараниот проток на гасот, односно од дебелините на заваруваните предмети, слика III.8.

Спречувањето на грешка при поврзувањето на цревата за кислород и ацетилен со телото на горилникот е преку употреба на соодветна навојна врска. Приклучокот на доводот за кислород е со десен навој со големина (1/4)”, а доводот за ацетилен е со лев навој со големина (3/8)”, слика III.9.a.

На сликите III.9.a. и III.9.b. даден е шематски приказ на горилник за рачно заварување и рачно сечење.

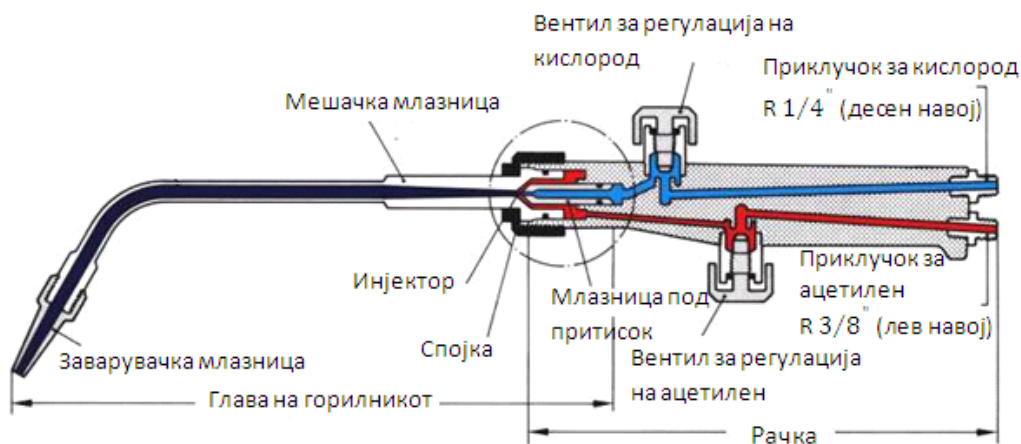
Горилниците за рачно сечење се со посложена конструктивна изведба и кај нив кислородот се дели на два дела. Едниот дел се меша со ацетиленот и ја прави горивната мешавина, од која гори прстенест гасен пламен, а другиот дел преку посебен канал и со посебен вентил за регулација, струи со средината на гасниот пламен во растопениот и загреаниот основен материјал. Подетално е прикажано во насловот III.1.6.



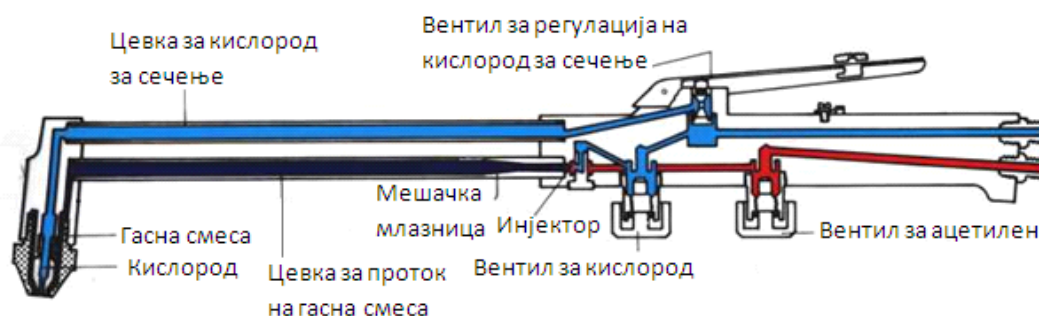
Ацетилен

Кислород

Сл. III.8. Манометри, горилници, млазници за ацетилен и кислород



Сл. III.9.а. Горилник за заварување



Сл. III.9.б. Горилник за рачно сечење

III.1.4. Техника на работа при заварување со оксиацетиленски пламен

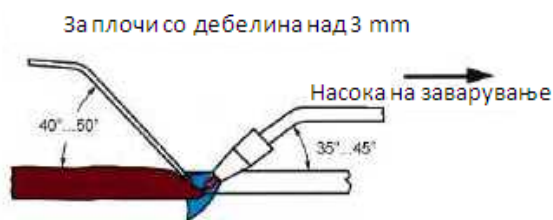
Најпрвин се регулира притисокот, односно протокот на гасовите преку вентилот на врвот на секое шише. Потоа со вентилот за фина регулација на телото на горилникот се пропушта ацетилен и со запалка, едновременно со пропуштањето, се запалува ацетиленот, кој гори со помош на кислородот од атмосферата. Во следната фаза се пропушта кислород низ другиот вентил на горилникот и со едновремена регулација на двата вентила се добива бараната форма на пламенот: неутрален, редуцирачки или оксидирачки.

Во текот на заварувањето, заемниот однос на пламенот и работното парче треба да биде правилен. Врвот на јадрото на пламенот треба да е од 2 до 5mm од површината на основниот метал. Во колку јадрото влегува во металот, тогаш не може да се исползува доволно топлината и металот на заварот не се обликува правилно, поради силното механичко струење. Ако растојанието е преголемо, тогаш на површината не се развиваат доволно високи температури.

Воглавно се разликуваат два вида на заварување: во лево, слика III.10.а. и во десно, слика III.10.б.



Сл. III.10.а. Заварување во лево



Сл. III.10.б. Заварување во десно

Лева насока на заварување се нарекува поради насоката на формирање на заварениот спој во однос на операторот. Додатниот метал се движи пред пламенот кој е насочен кон ладните надојдвачки должини од деловите кои се заваруваат, при што металот е помалку топлински оптоварен. Ова ја одредува примената на оваа техника на работа, се заваруваат предмети со мали дебелини, до 3mm.

Заварувањето во десно се одликува со десна насока на напредување на заварот во однос на операторот. Пламенот се движи пред додатниот метал и е насочен кон растопената вана, со што се јавува поголема концентрација на топлина во растопот и, како резултат на тоа, се постигнува подлабока пенетрација. Ова овозможува заварување на подебели елементи во однос на левата насока.

Двата вида на заварување може да се изведат со или без додатен метал. Без додатен метал се заваруваат елементи со помали дебелини, а рабовите им се во непосреден контакт. Со додатен метал се заваруваат поширок спектар дебелини. Додатниот материјал е во форма на кружни прачки, жици, а може да биде и обложен со топител.

Со оваа техника може да се изведат завари во сите положби на заварување, од корито до надглавна. Корито и хоризонталната положба се најлесни и најчесто изведувани.

Формирањето на заварувачката вана лесно се контролира од страна на операторот. Неправилна пенетрација или деформација на ваната сигнализира потреба од синхронно менување на брзината на заварување, положбата на горилникот, траекторијата или начинот на подавање на додатниот метал во процесот на заварување.

Гасењето на гасниот пламен се врши со постапно затварање на вентилот за ацетилен, со што пламенот се намалува и гаси. Кислородот и понатаму протекува кратко време, со цел да го олади загреаниот горилник.

III.1.5. Примена на техниката на заварување со оксиацетиленски пламен

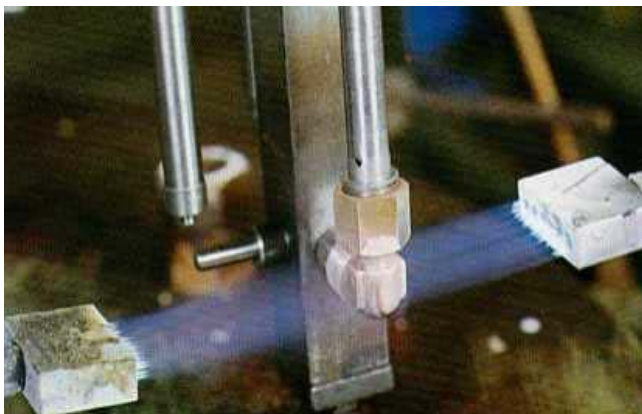
Заварувањето со оксиацетиленски пламен денес се поретко се применува. Воглавно примената е за заварување на цевки со мал дијаметар и тенки ѕидови, при изведба на инсталација за топоводно греење, слика III.11. Поретко се среќава заварувањето на елементи од сив лив, бакар и бакарни легури.



Сл. III.11. Заварување на цевки со оксиацетиленски пламен

Доминантна примена оксиацетиленскиот пламен денес има во сродните постапки на заварувањето, за што ќе стане збор во текстот што следи.

Нај повеќе оксиацетиленскиот пламен се применува за: лемење (слика III.12.), термичко сечење, термичко нанесување (метализација), предгревање (слика III.13.) и дополнителна термичка обработка.



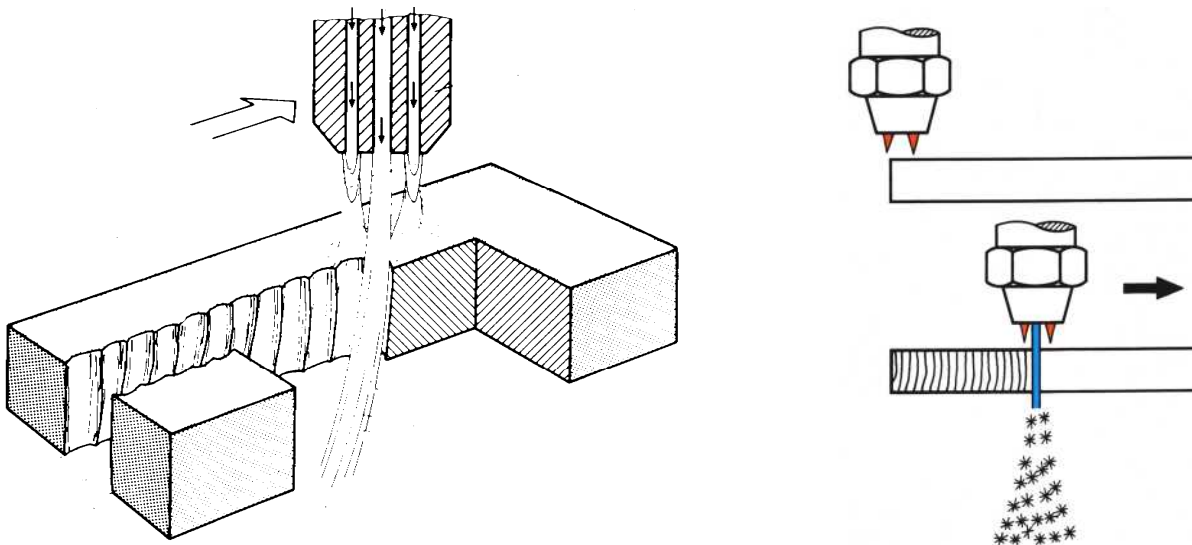
Сл. III.12. Лемење со гасен пламен



Сл. III.13. Предгревање со гасен пламен

III.1.6. Сечење со гасен пламен

Сечењето со гасен пламен на материјалите е термохемиски процес кој се базира на својството на согорување на металот во струја од чист кислород и исфрлање на производот на реакцијата на тесна зона која е претходно загреана.

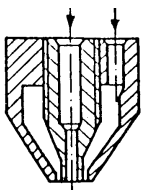


Сл. III.14. Термичко сечење со гасен пламен

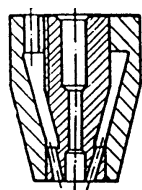
Во овој процес се користат посебни горилници и гасови како извор на топлина. Најчесто користени гасови за сечење се: кислород со ацетилен и кислород со пропан-бутан.

Видовите на гасови влијаат на вкупната цена на сечењето. За сечење на лимови со дебелини над 20mm и должина на сечење во метри поекономично е користење на пропан-бутан со кислород. Додека за сечење на тенки лимови и кратки должини поекономично е користење на ацетилен и кислород.

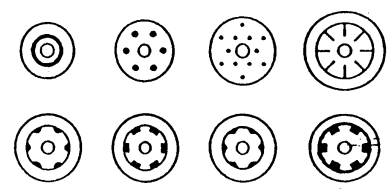
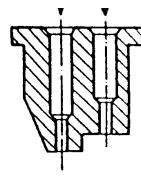
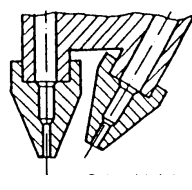
Горилниците за сечење се разликуваат од горилниците за заварување по тоа што кај нив постои уште еден довод за кислород. Доводот на кислородот може да биде центричен, слика III.15.а, и страничен, слика III.15.б. Додека доводот на горивниот гас може да е прстенесто или концентрично во повеќе точки, слика III.16.



Сл. III.15.а.



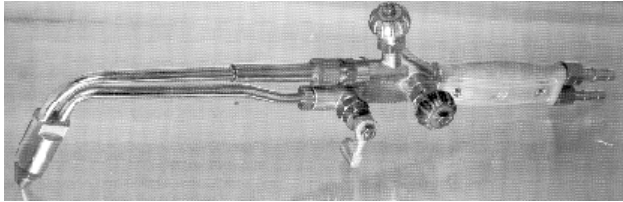
Сл. III.15.б.



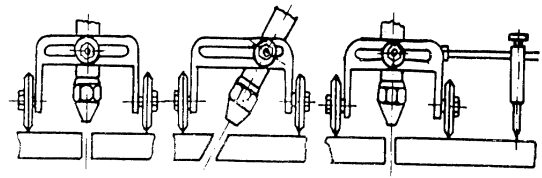
Сл. III.16.

Уредите за сечење со гасен пламен може да бидат за рачно и машинско сечење. И во двата случаи се користат многу помошни уреди како: копири, шестари, лостови, шаблони и слично. Кај уредите за машинско сечење водењето на горилниците по траекторијата на сечење може да биде со фотоелектричен читач, CNC програма или со копирни брегови и хидраулички механизми.

Кај горилниците за рачно сечење има два доводи, еден за горивен гас, а друг за кислород, слика III.9.а. и слика III.17. Кај горилниците за машинско сечење има еден довод за горивен гас и два за доводи за кислород. Горилниците за рачно сечење имаат тркалца за водење и горилникот може да го менува аголот на наклон со што може да се сече и косо до мах 35° , или постои и лост (шестар) со кој се сечат траектории со определен радиус, слика III.18.



Сл. III.17. Рачен горилник за сечење

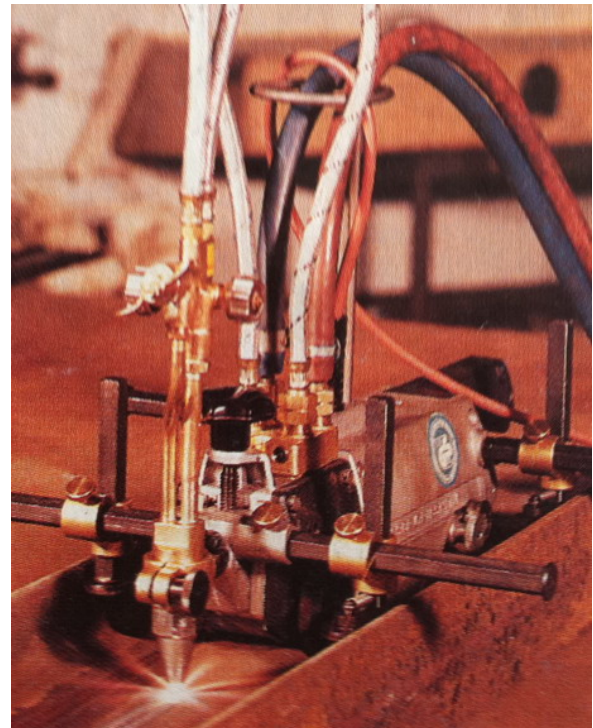


Сл. III.18.

Основни карактеристики на рачното сечење и жлебење, слика III.19., се малата цена, едноставното ракување и флексибилноста на опремата. Постапката е применлива на терен и во работилница. Постапката е економична за мала количина на сечење и за кратки должини и сечење со сложен облик од кои не се бара висок квалитет. Лоша страна е релативно големата потрошувачка на гасови по единица пресечена должина.

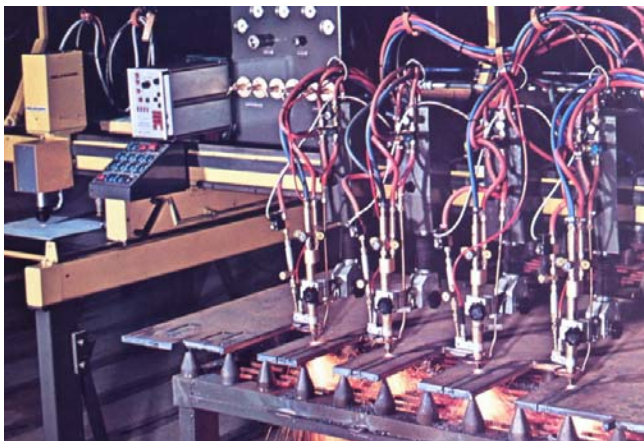


Сл. III.19. Рачно жлебење и сечење



Сл. III.20. Машинско сечење

Кај машинското сечење со помош на различни помошни механизми овозможено е јадрото на пламенот постојано да е на иста оддалеченост од површината на материјалот кој се сече, што не е случај кај рачното сечење. Брзината на сечење е постојана, квалитетот на пресечните површини е повисок.

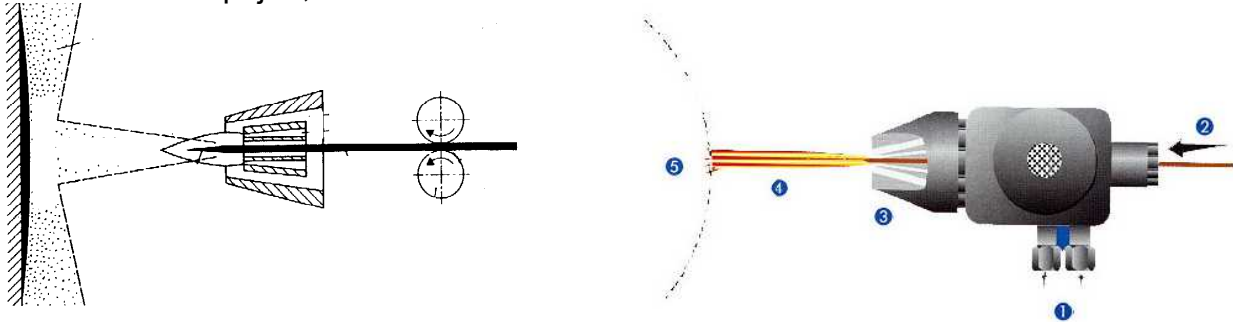


Сл. III.21. Автоматизирано сечење со гасен пламен

III.1.7. Метализација со гасен пламен

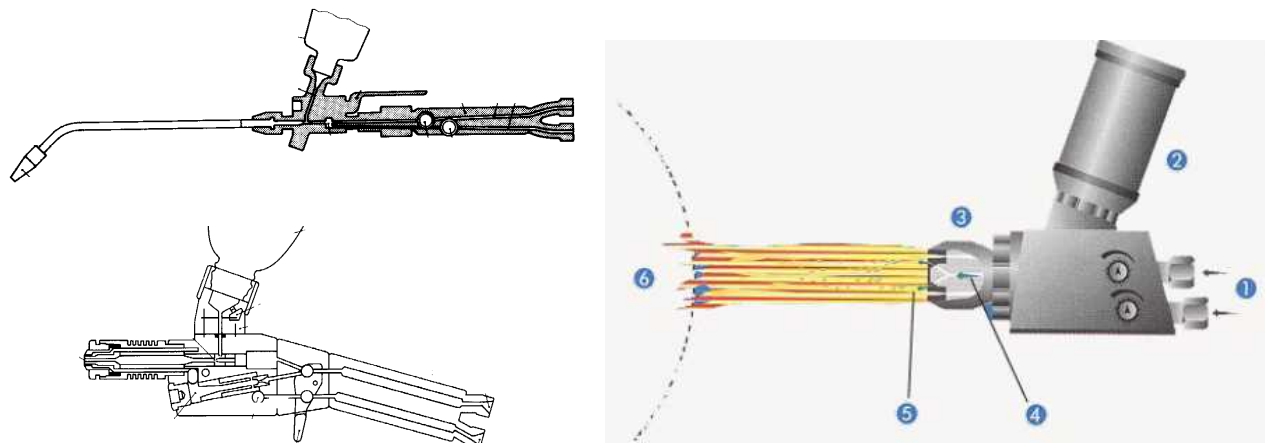
При метализацијата со гасен пламен додатниот материјал е во облик на жица или во облик на прашок.

При метализацијата со додатен материјал во облик на жица, истиот доаѓа континуирано во средина низ гасниот пламен и се топи. Растопениот материјал под дејство на компримиран воздух, кој доаѓа околу гасниот пламен, се расфрла по основниот материјал, слика Сл. III.22.



Сл. III.22. Метализација со додатен материјал во облик на жица

Додатниот материјал во облик на прашок се доведува странично, а опремата која се користи е идентична со опремата за заварување, со еден дополнителен дел преку кој се вклучува садот со додатен материјал, слика III.23.



Сл. III.23. Метализација со додатен материјал во облик на прашок

Гасниот пламен при метализацијата е одалечен од основниот материјал од 100 до 200mm, при што истиот се загрева до температура од 100 до 250°C.

Оваа постапка се користи обично за нанесување на антикорозивни покривки од Mo, Ni или Cr, на елементи со најразличен облик и димензии.



а. ... со прашок

б. ... со прашок

в. ... со жица

Сл. III.24. Примери на метализација со гасен пламен со разни додатни материјали

IV. ЗАВАРУВАЊЕ СО ЕЛЕКТРИЧЕН ЛАК

Електричната енергија за заварувањето претставува, економски и технолошки, најзначаен извор на топлина што наметнало и најопсежни истражувања во оваа област. Техниките на заварување кои ја користат електричната енергија за изведба на завари, може да се поделат во три групи. Во првата група се техниките на заварување со електричен лак, во втората техниките на заварување со електричен отпор и во третата анархична група се техники кои не припаѓаат во првите две групи, или техники на заварување со други електротермички извори.

Тешко е да се даде приоритет на техниките на заварување на некоја од трите групи, бидејќи секоја од техниките си е неприкосновена во својот домен на употреба. Но сепак по обемот на примена техниките на заварување со електричен лак се во мала предност, поради што и ним и е посветено поголемо внимание во текстот што следува.

IV.1. Природа на електричниот лак

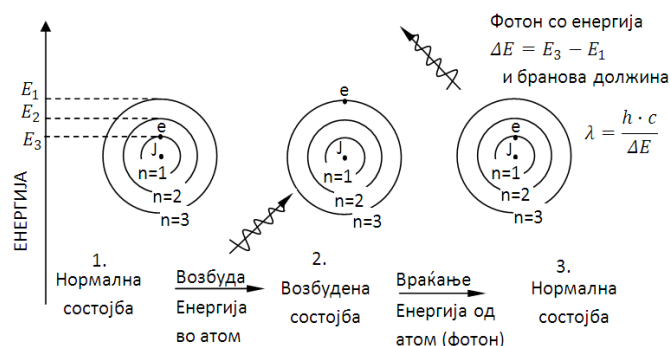
Електричниот лак претставува електрично празнење во јонизирана гасна средина помеѓу две електроди, а во него електричната енергија се претвара во топлинска, трансформација потребна за топење на основниот и додатниот материјал.

Овој порецос се одвива при јачина на струјата од 1 до 1500А и напон од 15 до 50V.

Не навлегувајќи длабоко во физиката во потрага за откривање на природата на електричниот лак, со оглед дека од интерес се само неговите експлоатациони можности, во текстот што следи ќе бидат изнесени само основите за негова појава и одржување.

Електричното празнење почнува со проток на електрони од жешка негативна електрода (катода) и се одржува со термичка јонизација на жежок гас. Но сега е нужна дискусија за некои елементи на атомно ниво.

На лица со минимално образование им е познато дека во градбата на атомот постои јадро и електрони кои кружат во „мирни услови“ по одредена орбита. Јадрото е позитивно наелектризирано, а електроните негативно. Според тоа, целината на атомот електрично е неутрална. Но какви промени можат да се внесат во заемниот однос помеѓу јадрото и електроните?



Сл. IV.1. Возбуда, враќање и емисија на фотон од атом на водородот

Според теоријата на Нилс Бор за водородот, електронот може да има многу можни орбити, кои главно, зависат од квантниот број n . Доколку на еден електрон му се додаде квант на енергија, тој скока во повисоко енергетско ниво, односно во поодалечена орбита. Во тој случај се вели дека атомот е во возбудена состојба. Со тоа електронот се' уште не е слободен туку врзан и брзо скока во правобитната

орбита, при што емитира фотон со карактеристична бранова должина и со енергија еднаква на вложената, слика IV.1. Енергијата што може да се внесе во атомот може да биде во различна форма: топлинска, светлосна или механичка, а енергијата ослободена од атомот само во вид на електромагнетна радијација.

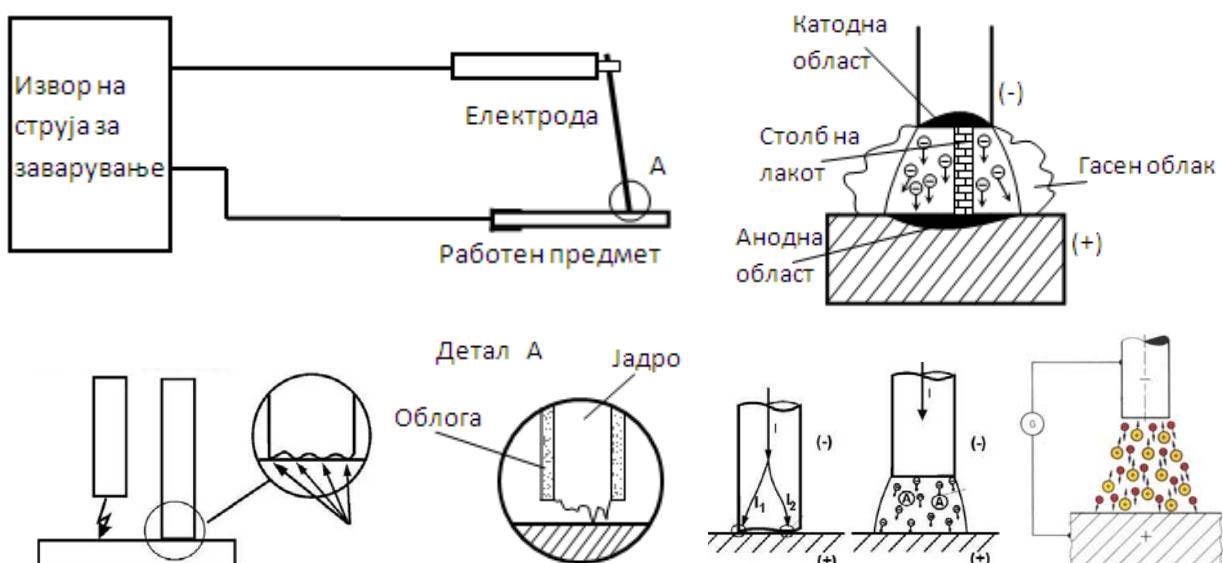
Доколку во атомот се внесе доволно голема енергија, електронот може да се отстрани од атомот, и во тој случај се вели дека е создадена јонизација, односно атомот станува јон.

Атомот на било кој елемент може да се доведе во возбудена состојба или да се формираат слободни електрони.

Во едно електрично поле слободниот електрон се движи кон анодата, а јонот, кој е позитивен, го привлекува катодата. Според тоа, еден јонизиран гас електрично е спроводлив.

Веќе беше речено дека се можни повеќе извори на енергија за возбудување на атомот. Во заварувањето се јавува термичка јонизација, која настанува поради судари на жешки честици. Сударите меѓу честиците можат да бидат еластични и нееластични. Нееластичните судари, кои предизвикуваат јонизација, се јавуваат само кај жешки честици. Конкретно, во електричниот лак, поголемиот дел од сударите се случуваат помеѓу неутрални атоми или молекули и, уште повеќе, за одржување на проводливоста на лакот, доволен е само мал дел на жешки атоми за јонизација, а температурата се движи околу 6000°C за најголем број гасови. Меѓутоа, се поставува проблем како да се иницира јонизацијата, односно како да се добие потребната температура.

Тоа може да се добие со цврст метален контакт помеѓу електродите, односно помеѓу електродата и основниот материјал при заварувањето. Контактот помеѓу електродите се врши преку метални мостови поради релјефната површина на челото од електродата. Со тоа се затвара електричното коло. При одвојување на електродите металните мостови сукцесивно се одвојуваат и кај последните, поради зголемената густина на струјата, се загреваат до температура на вриење, и како резултат на тоа експлодираат, слика IV.2. Тоа е доволен услов да се иницира ослободување на електроните и при тоа ослободените електрони од анодата пропаѓаат во неа, а од катодата се забрзуваат кон анодата и со судирите предизвикуваат високи температури и јонизација. Потокот на електроните и последиците што ги предизвикуваат го чинат електричниот лак, а со раѓањето на лакот постигната е главната цел, топлина и висока температура. Во практиката иницирањето на јонизација се нарекува палење на лакот.



Сл. IV.2. Палење на лакот со куса врска

Процесите што ја предизвикуваат топлината напдно се слагаат со основната поставка, дека топлината е движење. Да се додаде дека, во овој случај, движењето се јавува на ниво на честици на атомите. Всушност, загревањето се добива поради трансформација на кинетичката енергија на електроните во топлинска.

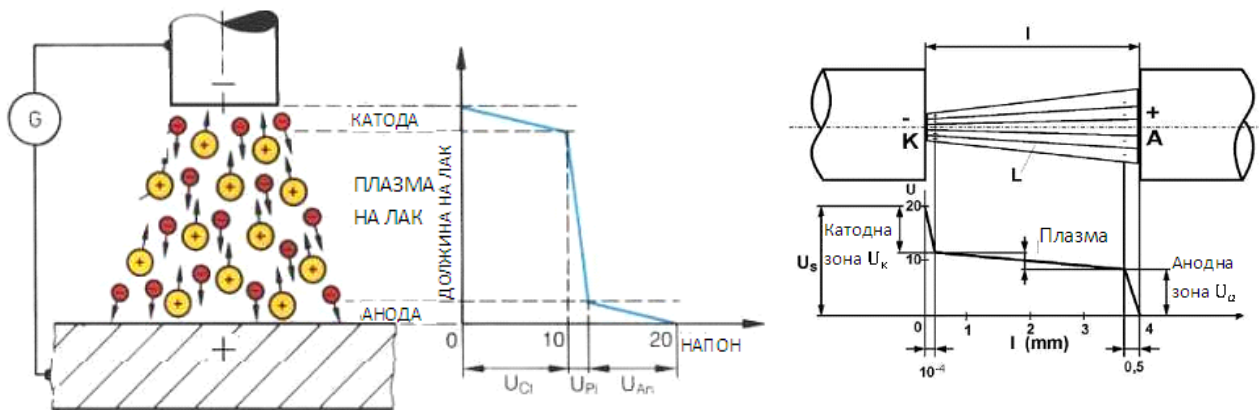
Покрај опишаниот начин на палење на лакот, со куса врска, постојат уште два начини:

- палење со помошен лак,
- палење со помошни импулси со висок напон.

Палењето со помошен лак се применува кај техниката со плазмен лак, а палење со помошни импулси со висок напон при техниката со електричен лак со нетоплива електрода во заштитна атмосфера од инертен гас, ТИГ.

IV. 2. Основни зони и пад на напонот во електричниот лак

Во лакот се издиференцирани три зони според карактеристиките и местоположбата: катодна, анодна и зона на столбот на лакот, слика IV.3.



Сл. IV.3. Основни зони на лакот

Катодната зона е најмала (10^{-4} mm), во неа густината на електричната струја е најголема од сите други подрачја, како резултат на егзистенцијата на таканаречената катодна дамка. Таа е главен извор на емисија на слободни електрони, а кои движејќи се кон анодата, ги јонизираат неутралните атоми. Катодната дамка шета по површината на катодата. Топлината на катодата се создава од дел од вкупната енергија во катодната зона. Другиот дел се троши за емисија на електроните од катодата.

Зоната на столбот на лакот го зафаќа речиси целокупниот простор помеѓу електродите. Со оглед на тоа дека гасната средина на столбот е јонизирана, значи дека е електрично спроводлива. Густината на струјата, широчината на столбот и јакоста на електричното поле зависат од еквивалентниот потенцијал на јонизација на гасовите. Речено гасовите, бидејќи во столбот обично се измешуваат повеќе гасови.

Но, во некои случаи, постојат разлики во смесите на гасовите и пареите помеѓу одделни подрачја и како резултат на тоа, доаѓа до промени во формата на столбот на лакот.

Вредно е да се забележи дека, во целина, столбот е неутрален поради подеднаква застапеност на електрони и позитивни јони.

Анодната зона претставува тесен појас ($\sim 0,5$ mm) до позитивната електрода - анодата, но сепак поголема од повисок ред во однос на зоната на катодата. Оваа зона претставува слободен пат на електроните, а загревањето на анодата е предизвикано од претварањето на кинетичката енергија на електроните во топлинска, при нивниот удар врз анодата.

До овде, објаснувањата важат за еднонасочана струја и во овој момент е погодно да се даде осврт на наизменичната струја.

При наизменичната струја напонот и јачината на струјата го менуваат интензитетот и поларитетот. Се разбира дека брзината на промените ја карактеризира фреквенцијата на струјата. Со оглед на тоа дека менувањето на струјата има периодичен карактер, се заклучува дека лакот се пали и гасне два пати повеќе од бројот на фреквенцијата. Поради гасењето на лакот, како краен резултат, паѓа топлинската продуктивност на лакот.

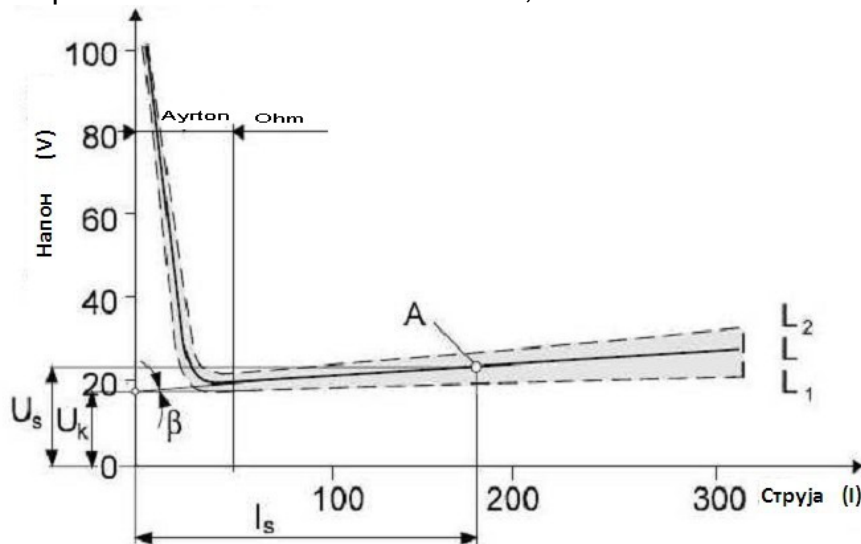
Со проток на електрична струја, како природна последица се јавува пад на напонот. Во електричниот лак вкупниот пад на напонот, помеѓу двете електроди, го чинат три компоненти: катоден, аноден и пад на напонот во столбот на лакот, односно:

$$U_l = U_k + U_s + U_a \text{ (V)}$$

Падот на напонот во катодната и анодната зона се движи, вообичаено во опсег како што е даден на слика IV.3., додека пак информацијата за столбот на лакот може да се извлече од карактеристиките на лакот.

IV.3. Карактеристики на електричниот лак

При формирањето на електричниот лак, со зголемување на напонот, како нужен услов за ослободување на електрони, се зголемува и јачината на струјата во лакот. Но кога гасната средина е доволно јонизирана и станува електрично спроводлива, со натамошното зголемување на јачината на струјата напонот опаѓа, односно лакот има негативна карактеристика. Во почетокот напонот стрмно опаѓа во т.н. Ayrton-ова област, а за доволно високи струи речиси е постојан или има благо растечка карактеристика во т.н. Ohm-ова област, слика IV.4.



Сл. IV.4. Статичка карактеристика на електричниот лак

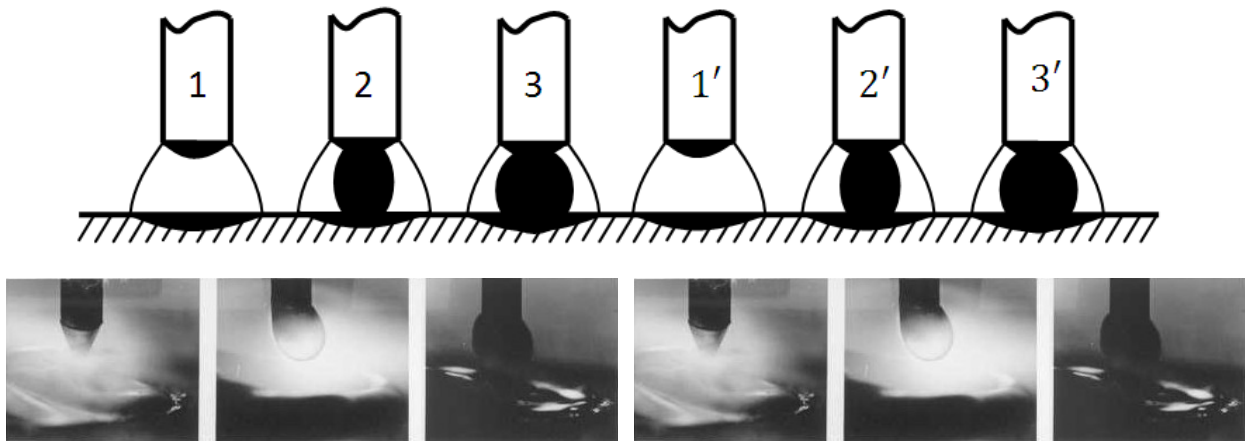
На овој начин дефинираната карактеристика на лакот важи под претпоставка дека должината на лакот и попречниот пресек на електродата се непроменливи.

Особината на лакот, со досега речените елементи, претставува статичка карактеристика на електричниот лак, се јавува при лак со еднонасочна струја и со непроменлива должина на лакот во текот на заварувањето.

Меѓутоа, при заварувањето, на лакот влијаат уште некои фактори кои ја менуваат карактеристиката. Должината е променлива поради тресење на раката при рачното заварување, куси врски поради пренос на додатниот во основниот

материјал во вид на капки, заварување со наизменичен напон при што постојат брзи промени на напонот и струјата. Сите тие влијателни фактори ја принудуваат кривата $U_L = f(I_L)$ да отстапи од формата дадена како статичка карактеристика, бидејќи условите, топлински и јонизациони, се менуваат во текот на заварувањето. Така изменет однос на напонот во зависност од струјата ја претставува динамичката карактеристика на електричниот лак.

Нишањето, односно тресењето на врвот на електродата за рачно заварување е лесно разбирливо и без илустрација. Преносот на додатниот материјал во основниот се врши во вид на капки од растопен метал. Поедноставно, оваа вистина е прикажана на слика IV.5, со два циклуси на капење.



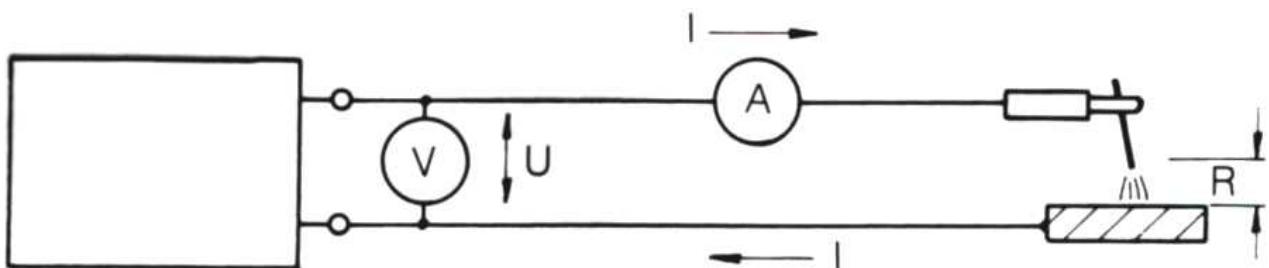
Сл. IV.5. Пренос на додатниот врз основниот материјал

Преносот на металот долго време претставувал загатка во смисла на начинот и процесите, но денеска веќе постои сигурно согледување за што се должи благодарност и на супербрзите филмски камери со кои се направени снимања на процесот на лакот.

IV.4. Карактеристики на изворите на струја за заварување

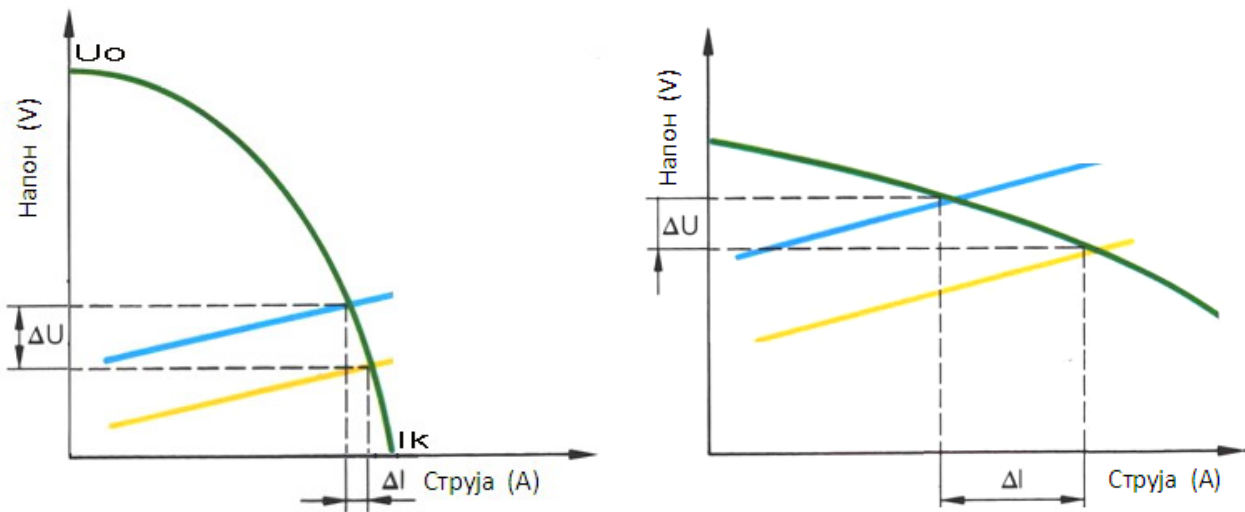
Изворот на струја, покрај овозможување на избор на погодни параметри, треба да има особини за одржување на стабилен лак. Овој заклучок се наметнува, бидејќи електричниот лак и изворот на струјата претставуваат единствен енергетски систем, слика IV.6., при што карактеристиките на лакот и изворот заеднички ги чинат режимите на заварувањето.

Изворот, аналогно на лакот, поседува статичка и динамичка карактеристика, при што, повторно да се акцентира, статичката карактеристика важи за константни или благопроменливи параметри, а динамичката за брзопроменливи параметри, како последица на кусите врски поради капењето и менувањето на должината на лакот поради тресењето на електродата.



Сл. IV.6. Мерење на напонот и јачината на струјата на извор за заварување

Изворите на струја за заварување можат да имаат стрмоопаднувачка или благоопаднувачка (рамна) карактеристика, слика IV.7., што значи дека напонот паѓа брзо со растеж на јачината на струјата, во првиот случај, или напонот е скоро константен, односно се менува незначително со промена на јачината на струјата, во вториот случај.



а. стрмоопаднувачка карактеристика

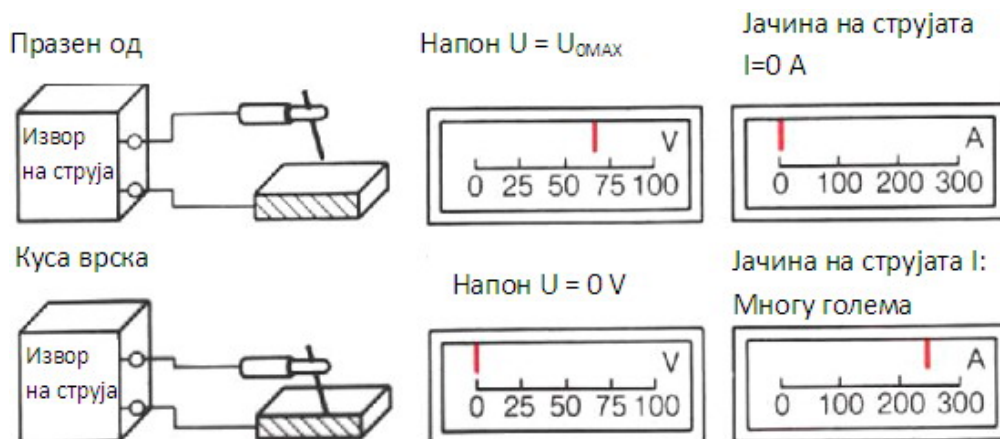
б. благоопаднувачка карактеристика

Сл. IV.7. Статички карактеристики на изворите на струја за заварување

Од сликата се забележуваат две екстремни точки:

1. Напонот на празниот од, U_0 , кој постои на половите без оптоварување на изворот,
2. Јачината на струјата при куса врска I_k , која постои кога половите односно електродите се кусо врзани.

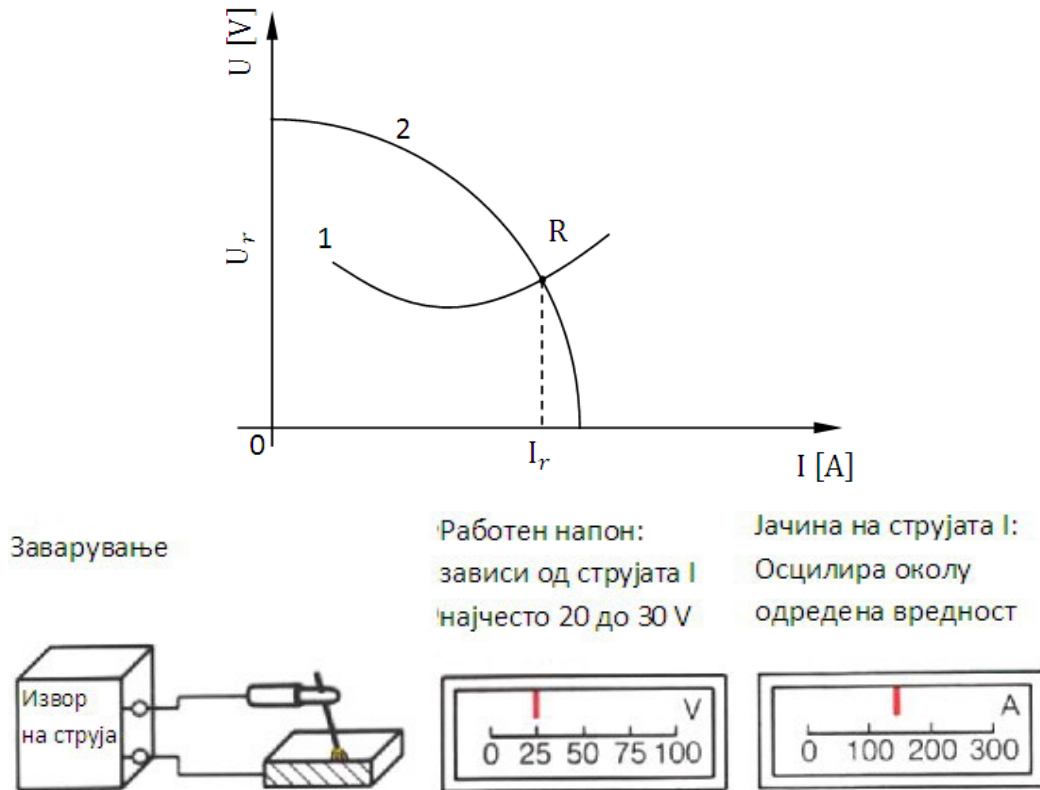
Најмалиот напон на празен од U_{0min} е ограничен заради овозможување палење на лакот, додека пак најголемиот напон од U_{0max} е ограничен заради безбедност на заварувачите, слика IV.8. Кај изворите со едностранна струја максималниот напон на празен е до $U_{0max}=100V$, а кај изворите со наизменична струја вообичаено е $U_{0max}=70V$. Овие ограничувања се менуваат и од видот и конструкцијата на уредите и од видот на употребуваните електроди.



Сл. IV.8. Напон на празен од U_0 и струја на куса врска I_k

IV.5. Режим на заварување

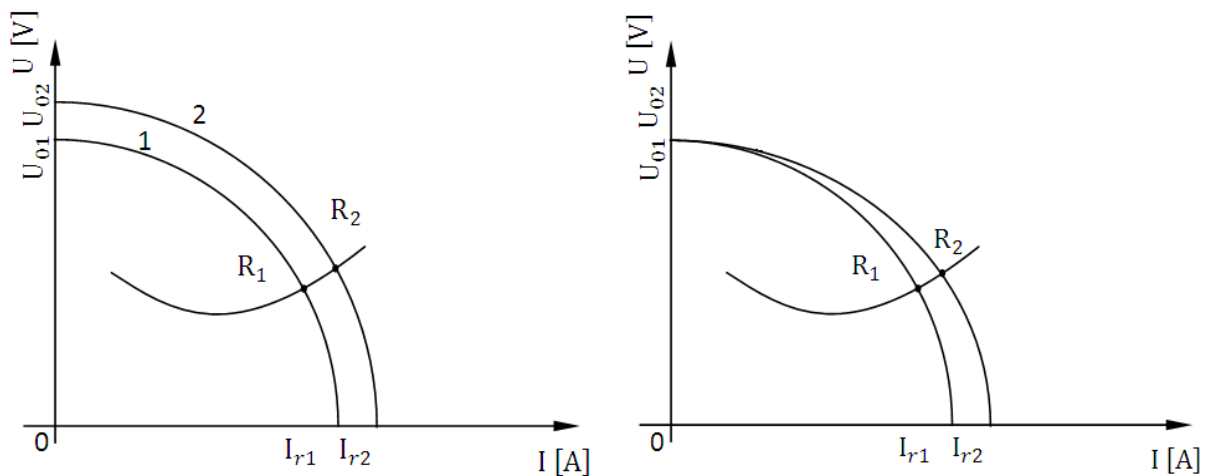
Режимот на заварувањето претставува заедничка точка на статичката карактеристика на лакот (1) и изворот (2) како природна последица, според напред реченото, на единствениот енергетски систем што го чинат лакот и изворот, односно режимот е во пресечната точка на двете карактеристики, точка R, слика IV.9.



Сл. IV.9. Режим на заварување

Меѓутоа, се поставува прашањето дали е доволно еден извор да има само една карактеристика?

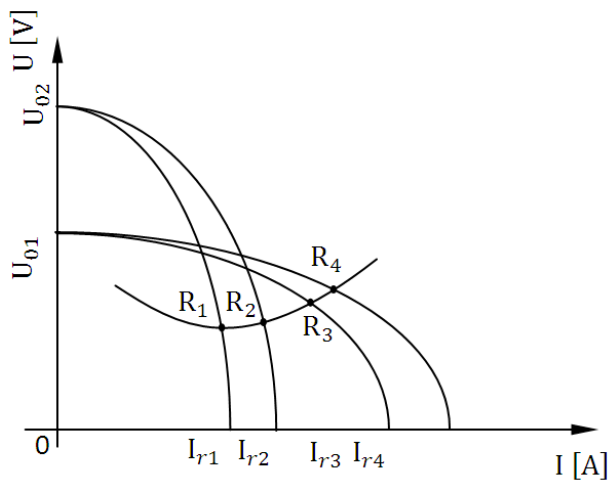
Со оглед на потребата изворот да биде еднакво добар за разни пречници на електроди, бидејќи со пречникот на електродата е нужна и промена на јачината на струјата, нужно е да постои можност за промена на карактеристиката. Тоа може да се постигне со промена на напонот U_0 или со промена на стрмнината, слика IV.10.



а. ... со промена на напонот на празен од б. ... со промена на стрмнината

Сл. IV.10. Промена на карактеристиката на изворот

Комбинираната промена на карактеристиката на изворот со менување на напонот на празен од или со промена на стрмнината на кривата претставуваат симбиоза на двете расположиви можности, при што поголемиот напон на празен од се применува за помали јачини на струјата, за пострмни карактеристики. слика IV.11.



Сл. IV.11. Комбинирано менување на карактеристиките на изворот

На сликата IV.12. е прикажана промената на должината на лакот и нејзиното влијание врз промените на напонот на лакот и јачината на струјата, при користење на извор со стрмоопаднувачка карактеристика. Со промена на должината на лакот во поголема мера настанува промена на напонот на лакот при незначително менување на јачината на струјата за заварување.



Сл. IV.12. Влијание на должината на лакот врз големината на напонот на лакот

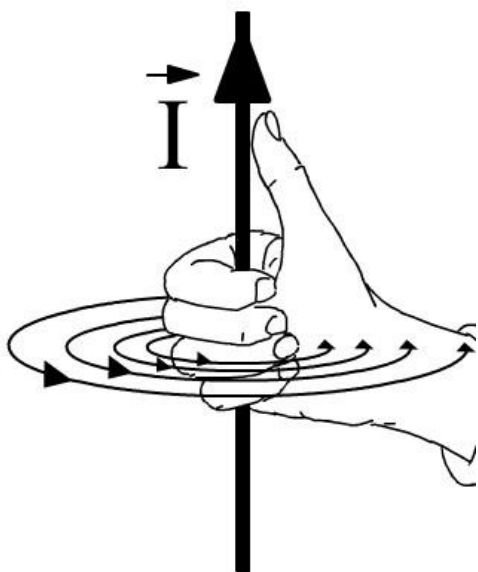
Досегашната дискусија за карактеристиките на изворот претставува општоважечки поставки за разни извори. Меѓутоа одделни техники на заварување поседуваат одредени специфичности, кои ќе бидат истакнати при проучување на соодветните техники во подоцнежните наслови.

IV.6. Магнетно поле и електричен лак

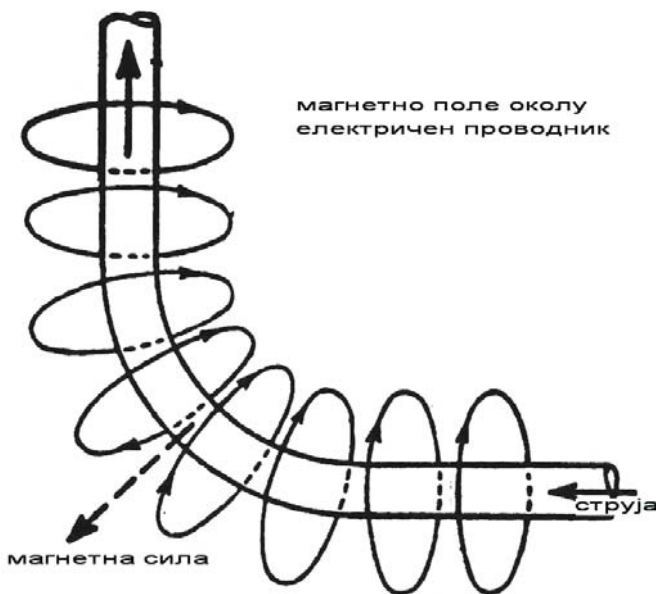
При проток на еднонасочна електрична струја низ проводник се јавува магнетно поле, чии силници се распределени околу проводникот. Насоката на магнетните силиви линии во зависност од насоката на течењето на струјата го опишал Ампер со т.н. правило на десната рака, слика IV.13.a.

Магнетното поле ја следи траекторијата на проводникот, односно со закривување на проводникот, полето ја следи неговата закривеност. Во тој случај,

аналогно на механичко свиткување на предмети, од внатрешната страна на кривата се јавува збивање, односно згуснување на магнетното поле. При тоа, електромагнетната сила тежи да го потисне проводникот надвор, слика IV.13.б.



Сл. IV.13.а. Правило на десната рака

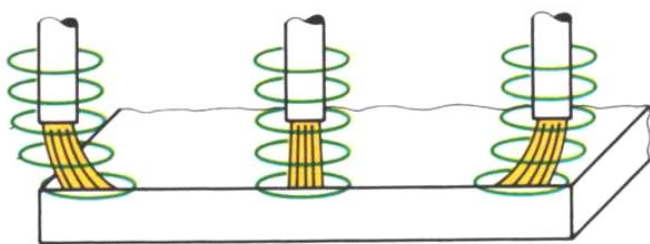


Сл. IV.13.б. Дејство на магнетна сила врз закривен проводник

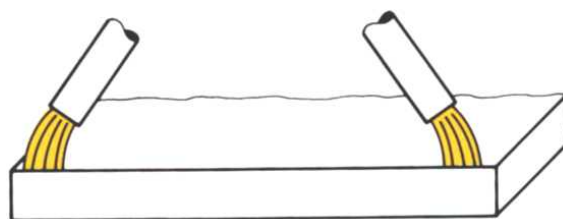
Како оваа физичка појава делува врз електричниот лак?

Веќе беше споменато дека изворот, проводниците и лакот претставуваат еден електричен систем, односно и лакот е континуитет на проводниците. Тоа значи дека и околу лакот се образуваат магнетни силници и неговата специфична положба е во малата отпорност против „свиткување“.

Во случај да постои несиметрично дејство на магнетното поле врз лакот, тогаш тој ќе биде натеран да скршне кон подрачја врз кои дејствува послабо поле. Во практиката оваа појава е позната како „дување на лакот“. Овој ефект, до колку е доволно интензивен, го отежнува одржувањето на лакот. Овој ефект е посебно актуелен за почетокот и завршетокот на заварениот спој, слика IV. 14.



Сл. IV.14. Дување на лакот при заварување



Сл. IV.15. Менување на наклон на електродата

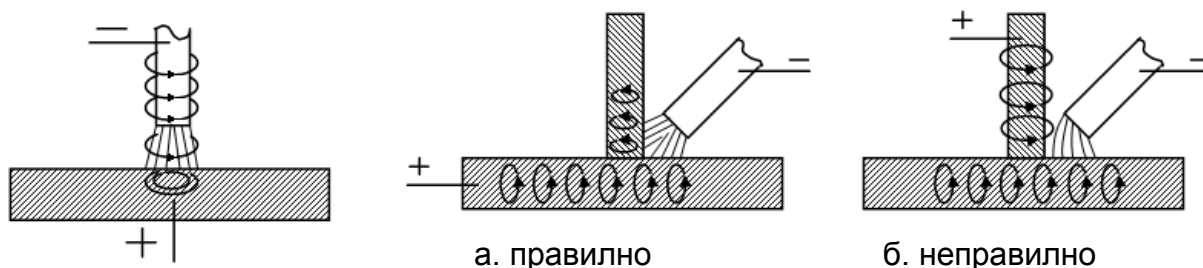
Кои се превентивните мерки против појава на скршнување на лакот?

Можно е намалување на дувањето на лакот со менување на наклонот на електродата, слика IV.15.

Намалување на дувањето на лакот се постигнува и со правилен приклучок на елементите кои учествуваат во заварувањето, со електричните водови, можноста која дава симетрично дејство на магнетното поле, слика IV.16 и слика IV.17.а.

Конфигурацијата на деловите што се заваруваат исто така влијае на дејството на магнетното поле, односно, конфигурацијата на деловите е нужно да се земе предвид при прифаќање на местото на приклучокот, слика IV.17.

Во случајот под а, кога приклучокот е поставен на подножниот дел, магнетното поле дејствува приближно симетрично во однос на оската на лакот, додека пак, во случајот под б постои несиметрично дејство на полето и, како резултат на тоа, се јавува скршнување на лакот. Од што следи дека со приклучокот под б и во најдобар случај не може да се изведе успешно заварувањето.



Сл. IV.16. Поволен приклучок Сл. IV.17. Приклучок при изведба на аголен спој

Покрај елементите кои непосредно учествуваат во заварувањето и дејствуваат на скршнувањето на лакот, одредено влијание чинат и другите делови кои се во физички контакт со металните делови што учествуваат во заварувањето. Поради тоа, понекогаш причините за оваа појава треба да се бараат и во околината на заварувањето. На пример, ако е поставен метален предмет на деловите што се заваруваат.

При заварување со еднонасочна струја вообичаено електродата е поврзана на негативниот пол (-) и претставува катода, а заваруваните елементи се поврзани на позитивниот пол (+) и претставуваат анода. Ова е т.н. директен поларитет. Намалувањето на дувањето на лакот при заварување со еднонасочна струја може да се постигне и со промена на половите при поврзувањето, со промена од директен во индиректен поларитет.

Крајно решение за избегнување на појавата на дување на лакот е да се заварува со наизменична струја, бидејќи појавата на дување на лакот практично се јавува само при заварувањето со еднонасочна струја.

IV.7. Видови извори на електрична струја за заварување

Квалитетот на изворот на струјата секако претставува еден од најважните компоненти за успешно заварување. Тоа наметнува потреба за внимателен пристап при изборот на изворот на струја, односно како во практиката почесто се применува апаратот за заварување.

Производителите на изворите нудат голем број примери со разни конструктивно-технолошки особини, секој засебно погоден за одредена технологија и можности. Разработка на целиот спектар на извори не е возможна, ниту целисходна, да се направи во овој текст туку ќе бидат дадени само групи извори со нивните заеднички особини.

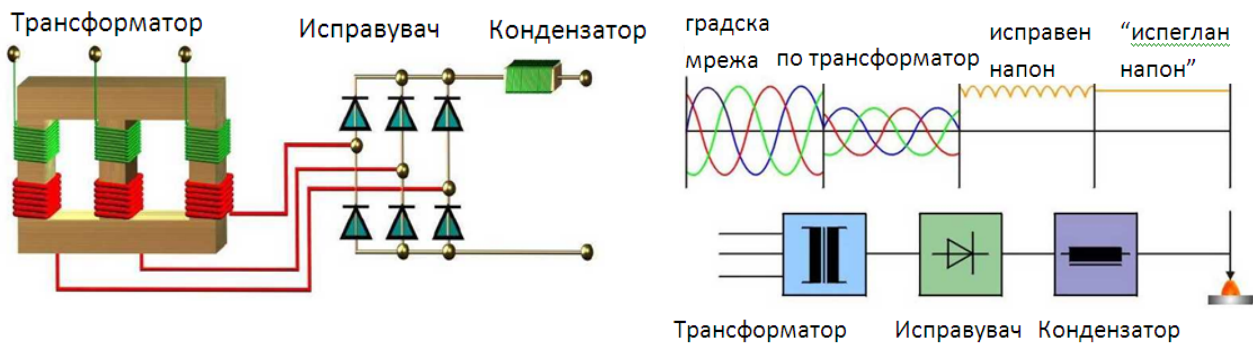
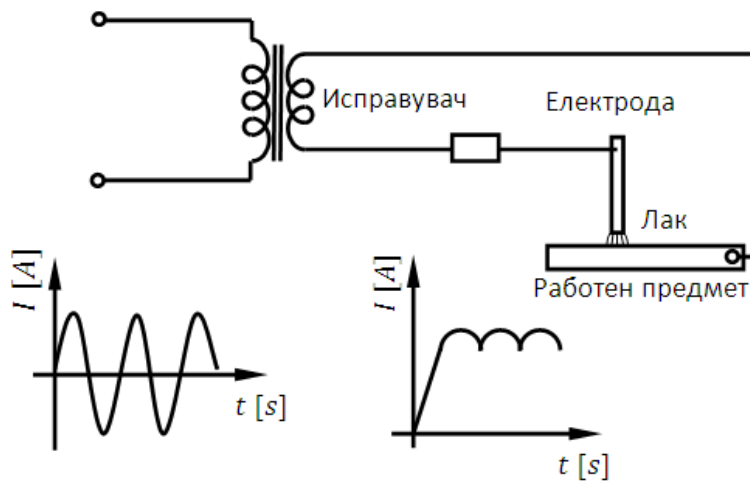
Основната поделба на изворите ја чини видот на струјата што ја даваат за заварување: еднонасочна или наизменична. Видот на струјата ги определува можностите за заварување на одделен материјал: основен и додатен.

Изворите за еднонасочна струја ги претставуваат исправувачите и претворувачите.

Исправувачите се највеќе употребувани извори, а за исправување на струјата, добиена од трансформатор кој е составен дел на исправувачот, служат селенски или германиумски плочи, односно силициумски полупроводни диоди, слика IV.18. Исправувачите се одликуваат со тивка работа и се употребуваат за сите

техники на заварување со електричен лак. Електричната мрежа ја товарат симетрично. Се произведуваат со рамна или опаѓачка карактеристика.

Трансформатор

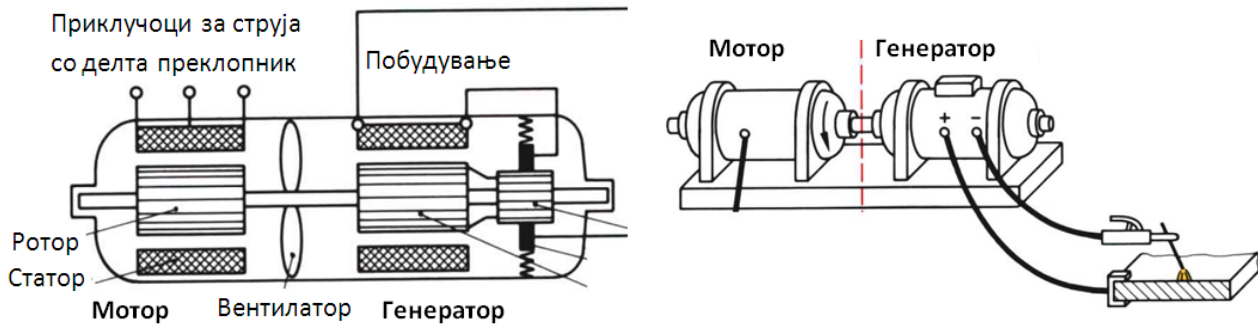


Сл. IV.18. Шема на изворот со исправувач

Иако струјата на излезот е брановидна, со осцилации на јачината од 5%, тоа не се одразува на стабилното горење на лакот.

Во поново време се повеќе се користат **инверторските исправувачи**, кои се значително полесни, поефтини и попогодни за употреба од останатите извори на струја за заварување. Не навлегувајќи во објаснувањето на принципот на работа во инверторското коло, да се напомене дека контролата на процесите на промената на струјата и напонот се извршува со дополнителни електронички склопови. Овие електронички склопови овозможуваат разновидна промена на јачината на струјата и напонот со текот на времето, со што се регулира волуменот на растопениот додатен материјал и се управува по желба видот на преносот на растопениот додатен материјал во заварувачкото купатило. Инверторските исправувачи може да имаат различни статички и динамички карактеристики, што овозможува примена на еден уред за повеќе техники на заварување, како РЕЛ, МИГ/МАГ и ТИГ.

Претворувачите ги претставуваат најстарите извори на струја за заварување. Тие може да бидат агрегати или генератори. Агрегатите користат енергија од мотор со внатрешно согорување, и тие се погодни за употреба на места каде што не постои приклучок на електрична струја. Генераторите се уреди кај кои постои директна механичка поврзаност на погонски електромотор и генератор за еднонасочна струја, слика IV.19. Се произведуваат со рамна и опаѓачка статичка карактеристика. Употребата на претворувачите е минимална поради нивните габаритни димензии и тежина, како и поради големата бучава што ја создаваат при работа.



Сл. IV.19. Шема на изворот претварач - генератор

Изворите на наизменична струја ги претставуваат трансформаторите и претворувачите на фреквенција.

Трансформаторите се раширен вид на извори на наизменична струја, бидејќи се ефтини и едноставни за манипулирање, а се произведуваат со опаѓачка карактеристика. Тие напонот од мрежата го трансформираат на потребниот напон за заварување.

Трансформаторите се составени од: јадро од железни лимови, примарна намотка врзана за мрежа, секундарна намотка врзана за струјното коло во кое се заваруваните елементи и електродата, како и регулатор на јачината на струјата. Примарната и секундарната намотка го намалуваат напонот од мрежата од 380V или 220V на напонот на празен од, мах. 100V. Регулацијата на јачината на струјата се врши со различни конструктивни решенија: со подвижно јадро (котва), со пригушница во секундарното коло и со променлив број на намотки на примарното коло. Регулацијата на јачината на струјата за заварување може да биде континуирана и степенеста.

Претворувачите на фреквенција служат за наголемување на фреквенцијата на наизменичната струја со цел за постигнување на поголема стабилност на електричниот лак. Меѓутоа тие ретко се применуваат, бидејќи сложеноста во конструкцијата и употребата преовладува над погодноста што тие ја овозможуваат.

Сите извори поседуваат некои заеднички карактеристични големини: како интермитенција X и напон на празен од U_0 .

Интермитенција претставува број, изразена во проценти, како дел од времето на оптоварување на изворот (ефективно време на заварување t_z) од вкупното време на заварување ($t_v = t_z + t_0$), кое претставува време на оптоварување на изворот и време на застој – пауза t_0 .

$$X = \frac{t_z}{t_v} = \frac{t_z}{t_z + t_0} 100(\%)$$

Така кај уредите за РЕЛ заварување, лакот гори непрекинато највеќе 5 минути, а времето на прекини поради замена на електродата, чистење на троската и слично, е најмалку 5 минути. Според тоа, уредите за РЕЛ имаат најголема интермитенција од 50%.

$$X_{\text{РЕЛ}} = \frac{t_z}{t_v} = \frac{t_z}{t_z + t_0} = \frac{5}{5 + 5} 100 = 50\%$$

За експлоатација посовршен извор е оној што е определен за поголема интермитенција, но како негативна страна се јавува цената на чинење на изворот, односно со наголемување на интермитенцијата се зголемува и цената. Поради тоа, изворот со определена интермитенција се избира според потребите при експлоатацијата, на пример: за заварување на елементи со кратки завари, односно

чести прекини, доволен е извор со мала интермитенција, а за автоматско заварување, каде, обично заварите се долги и се заварува непрекинато подолг период, потребна е повисока интермитенција, обично околу 100%.

Интермитенцијата, што мора да биде означена на секој апарат за заварување, се однесува за номинално оптоварување, слика IV.20.

Доколку изворот при заварувањето струјно е помалку оптоварен од номиналното оптоварување, тогаш се зголемува и интермитенцијата. Оваа промена нека ја илустрираме со еден пример: ако е предвидена интермитенција $X_n=60\%$ за номинална јачина на струјата на заварување од $I_n=350A$, колкава може да биде интермитенцијата $X_r=?$ за работна струја од $I_r=275A$.

Односот е:

$$\frac{I_r}{I_n} = \sqrt{\frac{X_n}{X_r}}$$

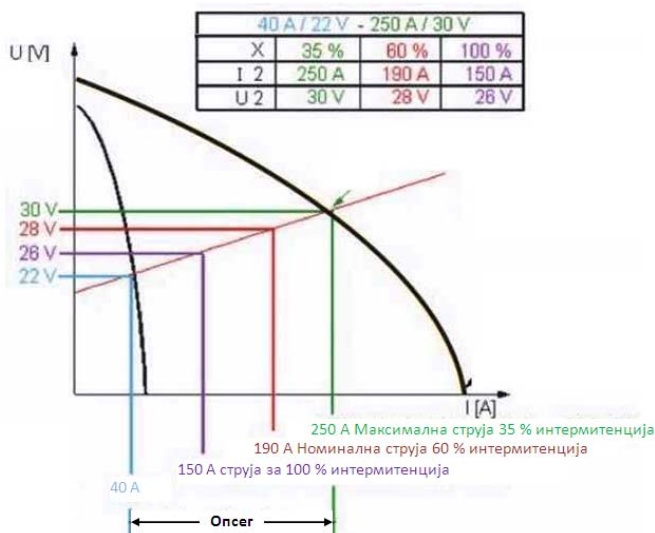
тогаш следи:

$$X_r = X_n \left(\frac{I_n}{I_r} \right)^2 = 0,6 \left(\frac{350}{275} \right)^2 = 0,97 = 97\%$$

Проблемот може да се постави и обратно, за потребна интермитенција од 100% може да се добие максималното струјно оптоварување во случај кога е нужно перманентно оптоварување.

Изворите се произведуваат за поединечни и групни работни места. Се разбира дека изворите за групни работни места мора да поседуваат многу поголем енергетски капацитет, отколку оние што служат за едно работно место.

На секој од уредите мора да е поставена информативна табличка, на која се наведени низа информации за уредот: од име на производителот, фабричко име на уредот, година на производство, до вид на уредот, техника на заварување за која е наменет, големина на напонот на празен од, интермитенциите и соодветните струја и напон до начинот на ладење на уредот, слика IV.21.



Сл. IV.20. I, U, X на уред за заварување

| | | 40A/22V - 250A/30 V | | | |
|---|--------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| U ₀ V | | X | 35% | 60% | 100% |
| I ₂ A | | I ₂ | 250 A | 200 A | 150 A |
| U ₂ V | | U ₂ | 30 V | 28 V | 26 V |
| cos. φ 0.68 (150 A) cos. φ 0.82 (250 A) | | | | | |
| U ₁ V | T A | I ₁ A | I ₁ A | I ₁ A | I ₁ A |
| 220 | T 35 A | 43 | 35.5 | 27 | |
| 380 | T 20 A | 25 | 20.5 | 15.5 | |
| I. CL. H | 50 Hz | S ₁ | 16.3 kVA | 13.5 kVA | 10.3 kVA |
| COOLING | AF | JP 21 | | | S |

Степен на заштита

Симбол за заштита, опрема од класа 2

Погодна за заварување во опасни ситуации

Сл. IV.21. Информативна табличка

V. РАЧНО ЕЛЕКТРОЛАЧНО ЗАВАРУВАЊЕ (РЕЛ)

Рачното електролачно заварување (РЕЛ), според квантитетот на примената, сè уште е една од најприменуваните техники на заварување во заварувачката технологија кај нас. Широката примена е последица на можностите и економичноста што ги пружа во голем број случаи: се заварува во сите положби и за голем број материјали и, доколку работи квалификуван заварувач, може да се постигнат завари со добар квалитет, односно да ги задоволат барањата на експлоатацијата.

Оваа техника се применува за работа во фабрички и теренски услови и, главно, просторните барања за користење на оваа техника се незначителни.

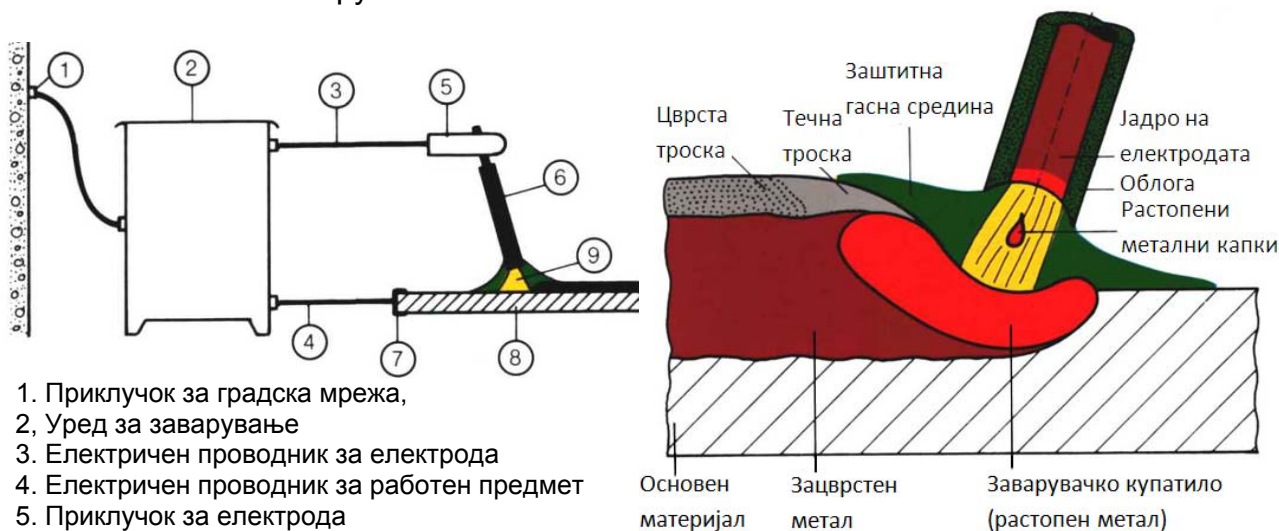
V.1. Основни принципи на работа при РЕЛ заварување

Електричниот лак се воспоставува во слободна атмосфера со метален контакт меѓу електродата, која воедно е и додатен материјал и, работниот или некој помошен предмет. Потоа електродата се оддалечува од предметот и рачно се одржува растојанието т.е. должината на електричниот лак.

Поради рачното водење на електродата, должината на лакот се менува и, со суперпонирање на ефектот на куси врски заради капење на растопениот метал од електродата, режимот на заварувањето (I и U) осцилира во пошироки граници околу точката R, слика IV.9.

Заварувањето може да се изврши со обложени и необложени електроди. Денес за индустриска примена е интересно само заварувањето со обложени електроди, поради што и понатамошните излагања ќе бидат само за истото.

На сликата V.1 се дадени главните елементи кои го овозможуваат заварувањето и резултатите на дејствување на електричниот лак; изворот на струја кој дава еднонасочен или променлив напон и кој има стрмно опаднувачка карактеристика, каблите и држачот на електродата, електрода со облога и работниот предмет кои делумно се топат за време на процесот и состојбата на околината на лакот во текот на заварувањето.



Сл. V.1. Основни елементи при РЕЛ заварување

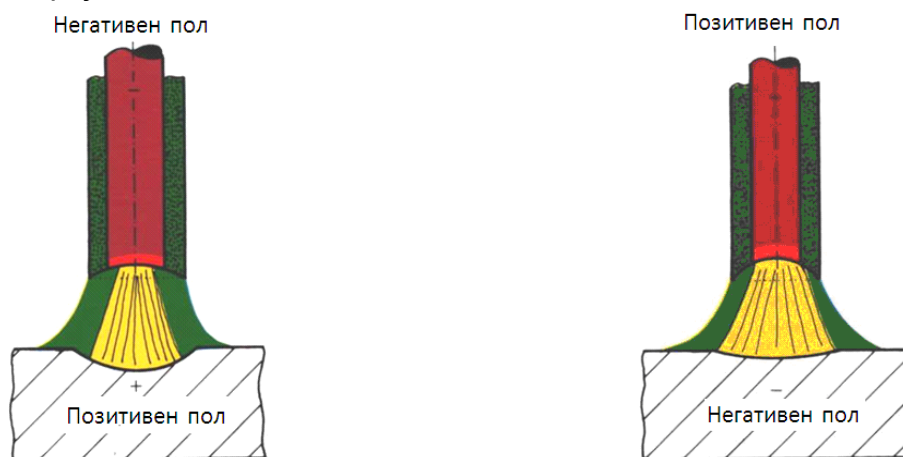
Топлината што ја ослободува електричниот лак го топи металното јадро на електродата, облогата и најблиските слоеви од основниот материјал. Како резултат на тоа, непосредно под столбот на лакот се јавува кратер, бања на течен метал, кој

е покриен со течна троска, која е производ на топењето на облогата. На одредена далечина од лакот, во линија каде што тој дејствувал, постои стврднат метал, завар покриен со стврдната троска.

При топење на облогата се ослободува облак на гасови или пари кои ја обвиваат растопената бања, играјќи улога на заштитник против дејството на околната атмосфера. Слична е улогата и на стврднатата троска која го заштитува металот на заварот во текот на ладењето.

Режимот на РЕЛ го чинат: дијаметарот и видот на електродата, висината на напонот и јачината на струјата, брзината на заварувањето, видот на електричната струја и поларитетот.

При заварување со еднонасочна струја поларитетот може да биде директен и индиректен. При директниот поларитет, слика V.2.a., додатниот материјал, електродата е на „-“ пол - катода, а основниот материјал е на „+“ пол - анода. При индиректниот поларитет додатниот материјал, електродата е на „+“ пол - анода, а основниот материјал е на „-“ пол - катода, слика V.2.б.



а. директен поларитет

б. индиректен поларитет

Сл. V.2. Поларитети при РЕЛ заварувањето со еднонасочна струја

Режимот се избира според дијаметарот и видот на електродата, а електродата се избира во зависност од работните предмети, кои, природно, секогаш се појдовниот и крајниот фактор во заварувањето. Вообичаено при оваа техника на заварување се среќаваат напони од 17 до 40V и јачина на струјата од 15 до 500A.

V.2. Работни средства за РЕЛ заварување

За РЕЛ техниката на заварување нужни се следниве средства: извор на струја, кабли, стега за „маса“, држач на електродата, заштитна маска, заштитна облека и рачен алат за помошни операции (чеканче, четка, турпија), слика V.3.



Сл. V.3. Дел од опремата за РЕЛ заварување

Рачното заварување, заради нестабилната должина на лакот, прави големи осцилации околу точката на режимот на работа, што наметнува потреба за статичка стрмоопаднувачка карактеристика на изворот, која ќе овозможи мали промени на јачината на струјата на заварување. За повисока јачина на струјата, во случај на извор со повеќе статички стрмоопаднувачки карактеристики, одговара случајот според слика IV.10.б, а за поширок распон на струи, т.е. за примена на големи и мали струи, одговара извор со карактеристики според слика IV.11., бидејќи напонот на празен од е повисок, со што се овозможува стабилно одржување на лакот. Воопшто, промената на напонот, поради промена на должината на лакот, има помало влијание на појавата на нестабилност на лакот отколку промената на јачината на струјата. Од изложеното може да се насети дека од условот на постабилен лак поволен е што повисок напон на празен од, но тој е ограничен, како што е порано разгледано, од условот за сигурност на заварувачот. Заради тоа, изворите за рачно заварување имаат карактеристики пострмни отколку за автоматизираните техники на заварување, но ограничени со максимално допуштен напон на празен од.

Поволна карактеристика на изворите за оваа техника можат да поседуваат трансформаторите за заварување со наизменична струја, и исправувачите и претворувачите за еднонасочна струја, слика V.4.



Предна и задна страна на исправувач

Трансформатор

Сл. V.4. Уреди за РЕЛ заварување

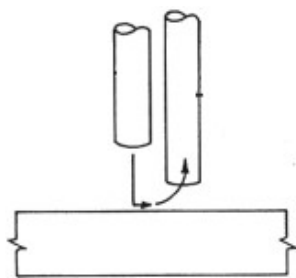
V.3. Техника на работа при РЕЛ заварување

Откако ќе бидат подготвени средствата за работа на работното место, заварувањето се одвива според однапред прифатена технологија. Во техниката на работа спаѓаат: воспоставување на лакот, траекторија на врвот на електродата, агол меѓу електродата и оската на заварот, прекинување и продолжување на заварот.

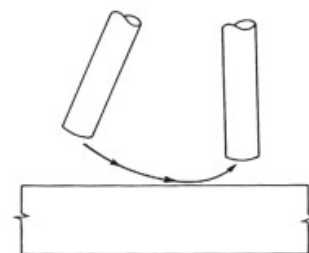
Лакот се воспоставува со допир на врвот на електродата и работниот предмет. Во моментот на допир напонот опаѓа на нула, а јачината на струјата ја достигнува максималната вредност според карактеристиката на изворот, струја на куса врска I_k , слика IV.8. Со подигање се формира електричниот лак. Ова може да се стори на два начина: со вертикално или со лачно движење, слика V.5.

По воспоставувањето на лакот потребно е одржување на неговата оптимална должина, која за сите случаи, изразена преку дијаметарот на електродата d_e , изнесува:

$$L_l = (0,5 \div 1,1) \cdot d_e$$



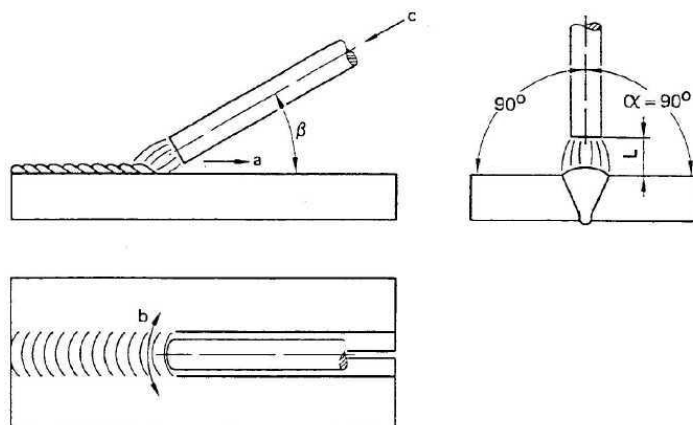
а. со вертикално доле-горе движење



б. со лачно движење

Сл. V.5. Воспоставување – палење на електричниот лак при РЕЛ заварување

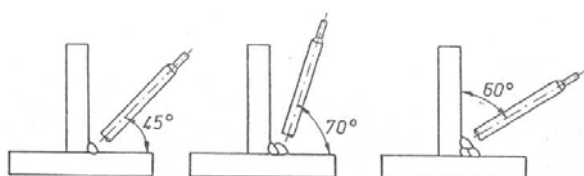
Просторната положба на електродата е прикажана со два агли α и β , а движењето на електродата е сложено, составено од три компонентални движења: а, б и с, слика V.6.



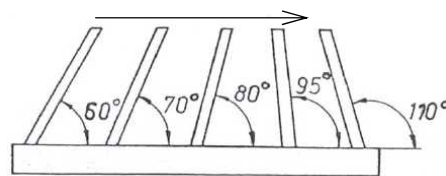
Сл. V.6. Просторна положба и движење на електродата при заварување

Аголот „ α “ е агол во рамнината нормална на оската на заварот и покажува према кој од основните материјали е наклонета електродата т.е. топлинскиот извор – електричниот лак, слика V.7.а.

Аголот „ β “ е агол во рамнината паралелна на оската на заварот и покажува на каде е наклонета електродата во однос на насоката на заварување „а“. Покажува дали толината од изворот е насочена кон топлиите или кон ладните зони, кон она што е заварено или кон она што треба да се заварува, слика V.7.б.



Сл. V.7.а. Промена на аголот α



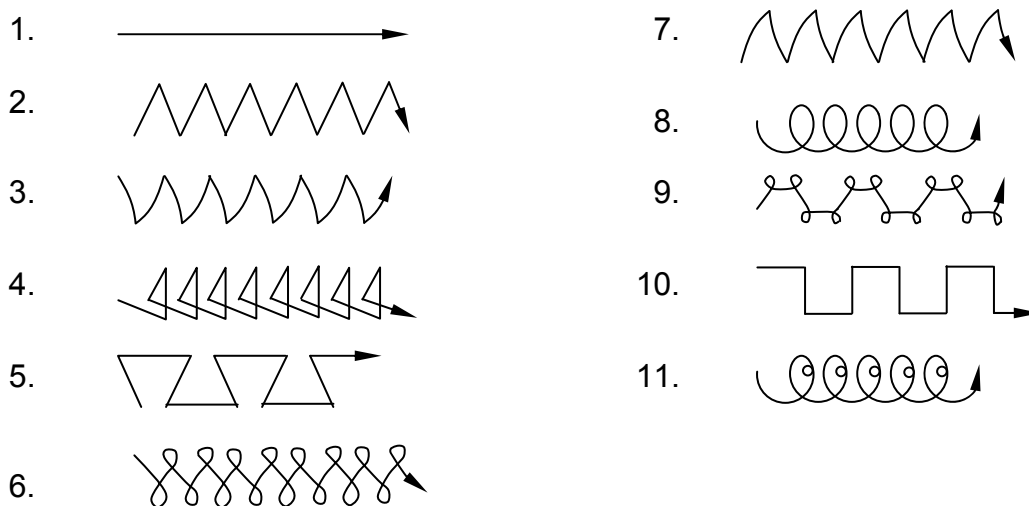
Сл. V.7.б. Промена на аголот β

Компоненталното движење „а“ е движење во правецот на заварување и се поклопува со оската на заварот.

Компоненталното движење „с“ е движење на електродата кон заварувачкото купатило. Ова движење е со спротивна насока од топењето на електродата и се поклопува со оската на електродата.

Компоненталното движење „б“ е попречно движење – нишање на врвот на електродата над заварувачкото купатило.

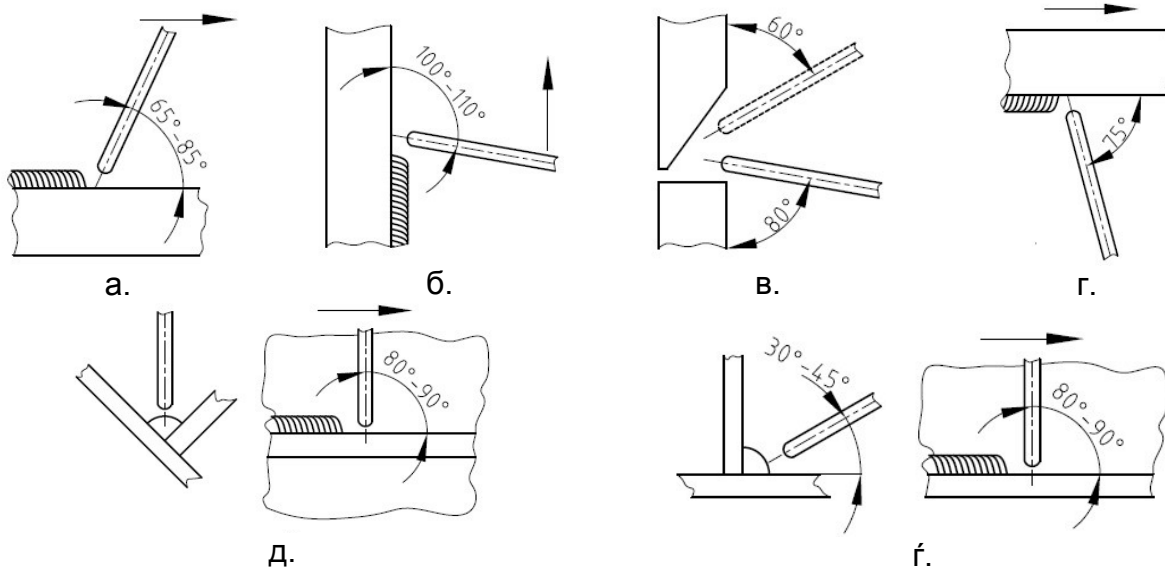
Компоненталните движења „а“ и „б“ заедно ја чинат т.н. траекторија на врвот на електродата односно водење на електродата. Неколку видови траектории прикажани се на сликата V.8.



Сл. V.8. Траектории, начини на водење на врвот на електродата

Праволиниското водење, случајот 1, содржи само една компонента на движење, по оската на заварот. Во овој случај ширината на заварот изнесува од 0,8 до 1,5 од дијаметарот на електродата. Со избор на траекторија со надолжно и попречно движење, случаите од 2 до 11, се формира завар со широчина од 2 до 4 пати од дијаметарот на електродата, зависно од конкретниот случај. Најчесто се применува водење според: 2, 5, 7 и 8, при што не постои големо задржување по краевите од заварот. Доколку е нужно поголемо проварување на краевите од заварот, погодни се траекториите 6 и 9, а случаите 4 и 10 се применуваат за изведба на аголни завари. Траекторијата 11 е погодна за поголемо проварување во средината на заварот.

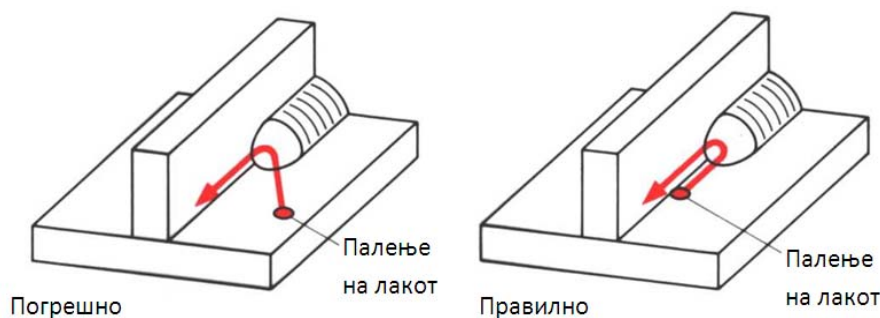
Сликата V.9. пружа објаснување за меѓуодносот на електродата и заварот, односно основниот материјал за повеќе можни положби на заварување.



Сл. V.9. Положби на електродата во однос на заварот:

- а) хоризонтална, б) вертикална, в) хоризонтално во вертикална рамнина, г) над глава, д) аголен завар во корито, е) аголен завар во хоризонтална

Прекинување на заварот најчесто се јавува заради замена на електродата. На крајот од заварот останува кратер и неметална покривка, троска. Пред да се продолжи заварувањето, троската околу кратерот внимателно се чисти со помошниот прибор, а потоа лакот се воспоставува пред кратерот, се води назад за да се пополни кратерот со додатен метал и се продолжува со определена траекторија, слика V.10.



Сл. V.10. Продолжување на заварот по прекин

Во случај кога заварот е комплетиран, се завршува со заварувањето, тогаш прекинувањето се прави со враќање на лакот кон стврднатиот растоп со ниско спуштање на електродата и потоа со подигање на електродата се прекинува лакот. Исто така е возможно задржување на лакот на крајот со кружно движење, додека кратерот се пополни со метал, Прекилот на лакот се врши со ниско спуштање на електродата кон заварувачкото купатило и потоа со подигање на електродата наназат од правецот на заварување.

V.4. Подготовка на основниот материјал за РЕЛ заварување

Квалитетот на заварените споеви е условен и од погодната подготовка на рабовите на деловите што треба да го чинат заварениот спој: коси рабови и чисти површини за спојување.



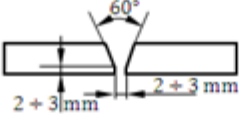

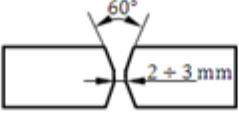
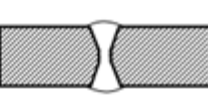








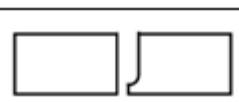



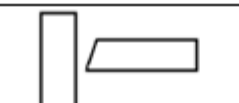
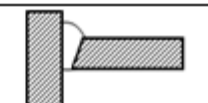
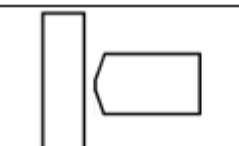
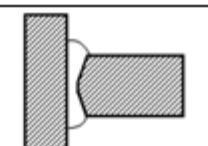
Подготовката на рабовите (жлебовите) е стандардизирана према МКС Ц3.030 и EN 29692-94 и зависи од: дебелината, видот на материјалот, видот на заварот и положбата на заварување. Разграничувањето на разни видови на жлебови е сторено со цел за економично заварување, минимална количина на додатен материјал и кусо време на заварување. Рабовите може да се обработуваат со: гасен пламен, плазмен лак или механички. Обликот на подготовката се нарекува според буква од латинското писмо, чија геометриска форма најблиску потсетува на обликот на подготовката. Знакот на заварот, на цртежите, се означува со симбол, кој, исто така, потсетува на контурите на попречниот пресек на заварот. Сето речено во овој пасус сликовито е прикажано во табелата V.1.

Табелата кажува дека постојат повеќе форми на подготовка на рабовите. Зошто е тоа нужно?

Во дискусијата за топлината беше речено дека подготовката има влијание на преносот на топлината низ материјалот. Воопшто доколку елементот има поголема дебелина, дотолку брзината на одводот на топлината, од околината на жлебот, е поголема. Подготовката го определува бројот на патеките за одвод на топлина на заварот. На пример, брзината на ладење на околината на заварот при заварување на кореновиот слој кај V подготовката е поголема отколку кај аголниот спој за еднаква дебелина на елементите. Поради тоа, за разни дебелини на елементите нужна е промена во подготовката на рабовите, со што се обезбедуваат погодни температурни услови против создавање на нееластични структури, а со тоа и до појава на пукнатини во ЗВТ.

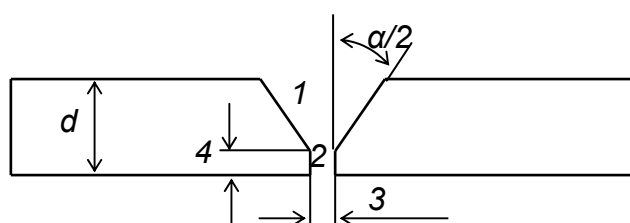
Појавата на заостанатите напони и деформации исто така диктираат посебни подготовки за разни дебелини на деловите. Овие појави се резултат на внесената количина топлина, односно депониран материјал во жлебот и, за нивното редуцирање, подготовката на рабовите е една од ефикасните можности. На пример, за еднаква дебелина на деловите, при X подготовка е потребно околу два пати помалку додатен материјал, отколку кај V подготовката. Поради тоа, првата подготовка се ползува за заварување на подебели елементи.

Табела V.1. Форми на подготовка на рабовите за заварување

| Име на подготовка | Симбол | Форма за жлеб | Форма на завар | Дебелина на материјал |
|------------------------|--------|---|--|------------------------------|
| I | |  |  | $d \leq 5 \text{ mm}$ |
| V | V |  |  | $d = 4 \div 20 \text{ mm}$ |
| X | X |  |  | $d = 10 \div 40 \text{ mm}$ |
| ½ V | ✓ |  |  | $d = 4 \div 15 \text{ mm}$ |
| K | K |  |  | $d = 10 \div 40 \text{ mm}$ |
| U | Y |  |  | $d = 20 \div 40 \text{ mm}$ |
| 2U | Y |  |  | $d = 40 \div 100 \text{ mm}$ |
| J | U |  |  | $d = 16 \div 30 \text{ mm}$ |
| 2 J | K |  |  | $d = 30 \div 50 \text{ mm}$ |
| Аголна врска ½ V | ✓ |  |  | $d = 4 \div 15 \text{ mm}$ |
| Аголна врска K | K |  |  | $d = 10 \div 40 \text{ mm}$ |

Површините на жлебовите кои имаат линеарна форма може да се обработат со гасен пламен, плазмен лак или механички, додека, пак, оние со закривени површини се обработуваат механички со профилно глодало.

Секој детал од подготвените рабови поседува име и, во овој момент, погодно е да се објаснат преку V-подготовката, слика V.11.



1. страна на жлебот
2. грло на жлебот
3. широчинана грлото
4. висина на грлото
5. агол на закосување, $\alpha/2$
6. агол на жлебот, α
7. дебелина на основниот материјал, d

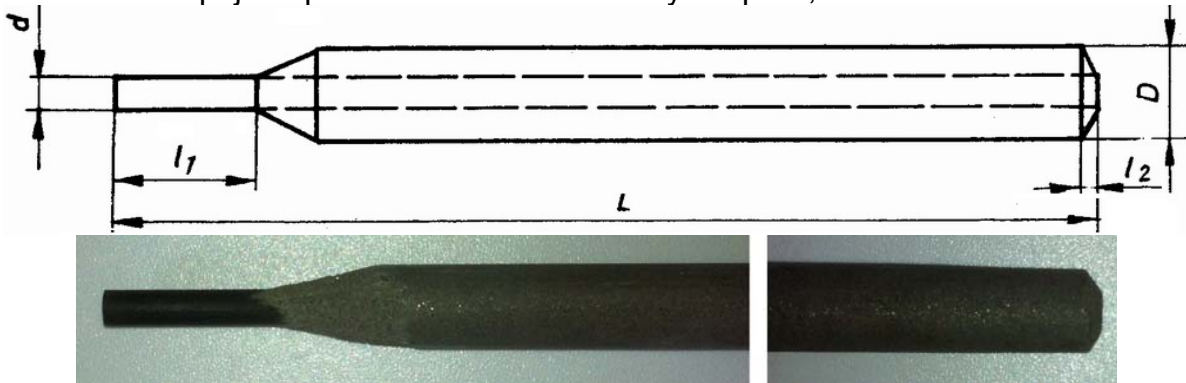
Сл. V.11. Елементи на подготовката на рабовите

Чистењето на рабовите содржи отстранување на оксиди и разни нечистотии од страните на жлебот, кои, доколку се задржат во материјалот на заварот, предизвикуваат грешки во форма на неметални вклучоци во металот на заварот или нецелосна пенетрација.

V.5. Електроди со облога за РЕЛ заварување

Првите електроди со облога ги вовел шведскиот инженер Кјелберг, со што, за заварувањето, се отвориле нови и големи перспективи. Обложените електроди се состојат од метално јадро со дијаметар d_e и врз него, покривка со дијаметар D – облога од механичка смеса на органски и минерални материи кои помагаат во изведување на еден квалитетен заварувачки процес.

Електродата има вкупна должина L , каде на едниот крај должината l_1 е необложена и служи за контакт со држачот заради електричен контакт и механичко прицврстување на електродата за сигурна манипулација, а другиот крај должината l_2 е со закосена облога, за остварување на чист допир на металното јадро со основниот материјал при палење на лакот со куса врска, слика V.12.



Сл. V.12. Електрода со облога за РЕЛ заварување

Под димензии на електродата се подразбира дијаметарот на металното јадро d_e и вкупната должина на електродата L .

Облогата содржи елементи кои формираат троска, стабилизатори на лакот, дезоксирачки елементи, легирачки елементи и друго.

Според дебелината на облогата електродите се класифицирани во три групи:

- тенок обложени $\frac{D}{d_e} \leq 1,20$
- средно обложени $1,20 < \frac{D}{d_e} \leq 1,55$
- дебело обложени $\frac{D}{d_e} \geq 1,55$



Електродите се произведуваат со стандардна должина од 300; 350 и 450mm, слика V.13., а со дијаметар на јадрото од: 1,5; 2; **2,5**; **3,25**; **4**; **5**; 6; 8; 10 и 12,5mm, слика V.14.



Сл. V.13. Електроди со различни должини



Сл. V.14. Електроди со различни дијаметри на јадрото

V.5.1. Улога на облогата на електродата

Облогата, како и металното јадро, се топи и учествува во процесот на заварување. Со самото нејзино постоење може да се погоди дека има важни улоги: електрична, физичка и металуршка.

Електричната улога на облогата содржи особини кои ја помагаат јонизацијата на гасната средина, а со цел за одржување на стабилен лак. Оваа улога на облогата посебно е акцентирана за лак со наизменична струја. Силно јонизирана гасна средина чинат солите на натриумот, калиумот, титанот, силикатите, карбонатите и друго. Овие елементи треба да ги содржи облогата за да ја врши електричната улога. Сите обложени електроди ја исполнуваат оваа улога.

Физичката улога се состои во овозможување квалитетно заварување во сите просторни положби. Оваа функција ја исполнуваат следниве особини на облогата: дебелината на облогата и вискозноста на течната троска. Дебелината на облогата влијае во смисла на ослободување на гасови и нивно механичко дејство во повлекување на растопените капки кон заварот, што е нужно при заварување во вертикална или надглавна положба поради земјината тежа. Вискозноста на течната троска е елемент, кој, чинејќи површински напони, ја задржува капката во заварот, и, покрај тоа, ја заштитува од атмосферата. Физичката улога ја извршуваат дебело обложените електроди.

Металуршката улога облогата ја врши преку заштитната способност на троската и гасовите против атмосферската средина. Покрај заштитата троската може да направи и чистење на појавените оксиди или да надополни со легирање согорени или испарени компоненти во металот на заварот. Металуршката улога ја извршуваат дебело обложените електроди.

V.5.2. Класификација на електродите

Електродите може да се класифицираат на повеќе начини: според видот на облогата, според намената, според дебелината на облогата, според видот на основниот материјал за кој се наменети, според посебни технолошки особини.

V.5.2.1. Класификација според видот на облогата

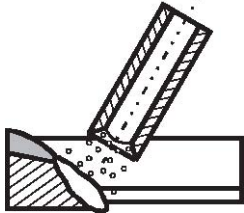
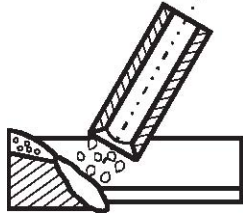
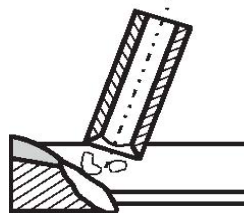
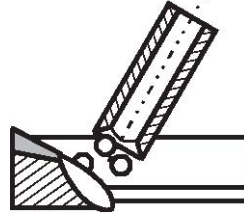
1. Оксидни облоги. Претставуваат смеса на кварц, оксиди на железо и силикати. Заварот има ниски механички карактеристики како резултат на големата содржина на FeO во металот на заварот. Изгледот на заварот е убав и, според тоа, овие облоги се употребуваат за заварување на споеви каде што преодоминантна е естетиката. Се заварува со наизменична и со еднонасочна струја.

2. Кисели облоги. Претставуваат смеса на оксиди на железо и силикати и феролегури за дезоксидање и денитрирање. Бидејќи во металот на заварот, при заварување со овие електроди, останува помала количина оксид отколку при работа со оксидните облоги, за последица се јавуваат зголемени механички карактеристики на металот на заварот. Изгледот на заварот е убав. Киселите облоги се употребуваат за заварување во сите просторни положби, со еднонасочна и со наизменична струја.

3. Рутилни облоги. Името го носат според титановиот оксид рутил или илменит (TiO) од кој се состојат со присуство од само неколку проценти на силикати, феролегури и дезоксидатори. Електродите со ваков вид на облога имаат најширока примена, бидејќи може да се заварува во сите просторни положби со еднонасочна и наизменична струја. Заварите имаат повисоки механички карактеристики, како $R_m=440\div 540\text{N/mm}^2$ и $A_5>20\%$.

4. Базични облоги. Претставуваат смеса на калциумкарбонат или мегнезиум карбонат со топители, силикати, дезоксидатори и друго. Троската од овие облоги има базичен карактер. Бидејќи сулфурот како елемент кој предизвикува кристализациони пукнатини, преоѓа од металот на заварот во троската, овие електроди се посебно погодни против појава на споменатите пукнатини, се користат за заварување на челици со висока содржина на сулфур и челици со непознати особини. За разлика од електродите со другите облоги, при овие електроди наклонот во однос на оската на заварот е $85\div 90^\circ$ во тек на заварувањето заради појавата на нестабилност на електричниот лак, а со цел да се одржува лак со минимална должина. Облогата се топи на висока температура, 2000°C , што наметнува ограничување на видот на струјата. Скоро секогаш се заварува со еднонасочна струја со индиректен поларитет, „+“ пол на електродата. Во случај на заварување со наизменична струја настануваат пори, лакот е нестабилен, се јавува распрскување на растопениот метал и заварот е со лош изглед. Овој вид на облоги се многу хидроскопни, поради што чувањето и складирањето на електродите е најчесто во добро заштитени кутии од картон или лим. Пред заварувањето вообичаено е неколку часовно загревање на електродите со цел да се исуши облогата, т.е. отстрани апсорбираната влага во облогата. Механичките карактеристики на заварите се високи, како $R_m > 500\text{N/mm}^2$ и $A_5 = 30\%$, и може да се употребуваат за најодговорни конструкции.

5. Целуозни облоги. Претставуваат смеса на цеулоза со додаток на феролегури, силикати и дезоксидатори. При топењето, облогата ослободува голема количина на гасови и многу малку троска. Заштитниот гасен облак претежно е составен од водорот, како последица на што неговата количина во металот на заварот е зголемена. Се употребуваат за заварување во сите просторни положби, а посебно за споеви каде е нужен голем провар. Јакоста на кинење на основните материјали кои се заваруваат со овој вид на електроди може да ја достигне и вредноста до 700N/mm^2 .

| кисела облога | | рутилна облога | | базична облога | | цеулозна облога | |
|---|-----|---|-----|--|-----|---|-----|
|  | |  | |  | |  | |
| Fe_3O_4 | 50% | TiO_2 | 45% | CaF_2 | 45% | Цеулоза | 40% |
| SiO_2 | 20% | Fe_3O_4 | 10% | CaCO_3 | 40% | TiO_2 | 20% |
| CaCO_3 | 10% | SiO_2 | 20% | SiO_2 | 10% | SiO_2 | 25% |
| FeMn | 20% | CaCO_3 | 10% | FeMn | 5% | FeMn | 15% |
| | | FeMn | 15% | | | | |

Сл. V.15. Состав на облогата и облик на капките од растопен додатен материјал

Како врзивно средство се користи т.н. водено стакло (Na_2SiO_3), што претставува раствор на натриумов силикат со вода.

V.5.2.2. Класификација на електродите според намената

1. **Електроди за заварување.** Служат за спојување на елементи во една целина, односно преку нивниот локален растоп се создава коалесценција. Од материјалот на електродата се бара на заварот да му даде високи механички карактеристики, а во текот на заварувањето да покаже погодни технолошки особини.

2. **Електроди за наварување.** Служат за додавање на метал за да се надополнат изгубените маси (поради триење или кршење). Материјалот, редовно, на слојот треба да му даде висока тврдост, особина која е во спротивност со степенот на жилавост. Тоа е причината зошто овие електроди несмеат да се ползуваат за заварување, бидејќи се јавуваат пукнатини во заварот. За наварување се употребуваат електроди со базична облога и, во голем број случаи, со легирачки елементи: Cr, Mn, W и други.

3. **Електроди за жлебење и сечење.** Електродите за жлебење овозможуваат отстранување на извесен слој метал, редовно отстранување на метал на завар изведен со дефекти, а со цел за поправка на спојот. Најчесто имаат облога од рутилен вид со додаток на органски материји, кои, со развивање на гасови, го помагаат отстранувањето на растопен метал со сила на струење.

V.5.2.3. Класификација на електродите според основниот материјал

1. **Електроди за заварување на нелегирани челици.** Составот на јадрото на електродата треба да одговара на составот на основниот метал. Можат да се применат сите видови облоги, во општ случај, а изборот на облогата зависи, во конкретен случај, од бараниот квалитет на заварениот спој. Во самиот избор посебно е значајно дека механичките особини на металот на заварот мора да бидат најмалку еднакви на механичките особини на основниот метал. Најголем проблем се јавува во барањето на постигнување на одреден степен ударна жилавост и деформација. Доколку не се постигне тоа со оксидните и киселите електроди, треба да се употребат рутилните или базичните електроди. Против појавата на „топли пукнатини“, чија причина е зголемена содржина на сулфур и фосфор во металот на заварот, превентивата е употреба на електрода со базична облога.

2. **Електроди за заварување на нисколегирани челици.** Имаат базична или рутилна облога, а при изборот, покрај механичките особини, големо влијание врши и хемискиот состав на основниот метал. Тоа значи дека, редовно, електродата треба да има нешто повисоки механички особини и поголема содржина на легирачки елементи од основниот метал кој се заварува.

3. **Електроди за заварување на високолегирани челици.** Предоминантен фактор за избор на електродите за заварување на овие челици е хемискиот состав на основниот метал. Металот за заварот треба да содржи еднаква или поголема содржина на легирачки елементи. Облогата на овие електроди е базична или рутилна. Базичните електроди се за заварување со еднонасочна струја индиректен поларитет, а рутилните се за заварување со еднонасочна струја директен поларитет и наизменична струја.

4. **Електроди за заварување на сив лив.** Порано се употребуваа електроди со базична облога и јадрото од нискојаглеродни челици за изведба на кратки завари. Но поради честата појава на пукнатини во металот на заварот, овие електроди се помалку се користат. Денес најчесто како додатен материјал се користат електроди со јадро од: 30÷35%Cu и 56÷79%Ni (монел метал), 98%Ni или 40÷50%Fe и 50÷60%Ni. Завари со најдобар квалитет се постигнуваат при употребата на електроди од никел. Заварувањето на сивиот лив е најчесто за поправка на оштетени одливки.

5. **Електроди за заварување на обоени метали.** Оваа група на електроди чини еден хетероген тим, како последица на разновидноста на материјалите. Но, сепак, се подразбира заварување на алуминиумот и бакарот. Составот на јадрото на електродата одговара на составот на алуминиумот и бакарот. Треба да се напомене дека електродите за заварување на алуминиум и алуминиумски легури треба да се легирани со повисока содржина на силициум, а електродите за заварување на бакар и бакарни легури треба да имаат минимална содржина на бакарни оксиди.

V.5.2.4. Класификација на електродите со посебни технолошки особини

1. **Електроди за длабока пенетрација (длабок провар).** Облогата обично е рутилна со додаток на органски материји кои ја зголемуваат пенетрацијата. Високата пенетрација овозможува заварување во тесни жлебови; на пример, без подготовка, I-завар, може да се заваруваат дебелини и до 16mm. Напонот на лакот е значително повисок отколку кај другите електроди. Во однос на заварување со други електроди, квалитетот на заварот повеќе зависи од квалитетот на основниот материјал, бидејќи металот на заварот е составен од основниот метал. Јачината на струјата се движи во границите $I_z = (15 \div 16)d_e^2$ (A), каде d_e (mm) е дијаметар на електродата.

2. **Високопродуктивни електроди.** Со додаток на железен прав во облогата, кој по топењето преминува во металот на заварот, степенот на искористување може да се зголеми на број поголем од еден. Тоа значи дека во заварот се депонира поголема тежина на металот отколку што е тежината на металното јадро на електродата.

3. **Електроди за одредени услови.** Основната измена во однос на стандардните електроди ја претставуваат додатоките во облогата кои ја чинат растопената троска со определена вискозност и површински напони за заварување во принудени положби.

V.5.3. Промена на јачината на струјата и напонот на лакот

Процесот на растопување, во кој електродата има централно влијание го чинат повеќе елементи со чиј среќен меѓуоднос се постигнува квалитетна финализација на заварениот спој.

Напонот на лакот е врзан со следниов израз:

$$U_L = k + \frac{l_L \cdot d_e}{10} \cdot \frac{I_z}{A_e} (V)$$

каде што се:

- $k(V)$ - константа, зависи од видот на металот на јадрото,
- $l_L(mm)$ - должина на лакот,
- $I_z(A)$ - јачина на струјата,
- $A_e(mm^2)$ - попречен пресек на јадрото на електродата,
-)
- $d_e(mm)$ - пречник на јадрото на електродата

Промената на некоја големина од десната страна на изразот повлекува менување на напонот на лакот. Во процесот на заварување со една електрода, можни измени можат да се јават кај јачината на струјата и должината на лакот. Тогаш, промената на напонот изнесува:

$$\Delta U_L = \frac{l_L \cdot d_e}{10 \cdot A_e} \cdot \Delta I_z (V) \text{ или } \Delta U_L = \frac{l_L \cdot d_e}{10 \cdot A_e} \cdot \Delta l_L (V).$$

Видливо е дека промената на напонот е линеарно зависна ако се менува само должината на лакот или јачината на струјата. Ако се замени за $A_e = \frac{d_e^2 \cdot \pi}{4}$, се добива:

$$\Delta U_L = 0,13 \frac{l_L}{10 \cdot d_e} \cdot \Delta I_z (V) \text{ или } \Delta U_L = 0,13 \frac{l_L}{10 \cdot d_e} \cdot \Delta l_L (V).$$

Последната трансформација на изразите покажува дека за иста јачина на струја или должина на лакот, напонот на лакот брзо паѓа со зголемување на пречникот на електродата.

Правилниот избор на јачината на струјата претставува голем придонес за квалитетно заварување. Најефикасна општа насока за избор на јачината на струјата може да се даде преку густината на струјата $j = \frac{I_z}{A_e} \left(\frac{A}{\text{mm}^2} \right)$. Приказот е даден во табелата V.2. и се однесува за дебелина на облогата дадена преку односот $\frac{D}{d_e} = 1,5$, а бројките за густината на струјата j претставуваат средни вредности за разни типови електроди.

Табела V.2. Препорачливи струи во зависност од дијаметарот на електродата

| | | | | | | | |
|--------------------------|----|------|------|------|------|------|-----|
| d_e (mm) | 2 | 2,5 | 3,25 | 4 | 5 | 6 | 8 |
| j (A/mm ²) | 16 | 15,3 | 15 | 13,5 | 12,7 | 12,3 | 9 |
| I_z (A) | 50 | 75 | 120 | 170 | 250 | 350 | 450 |

За разни видови електроди вредностите отстапуваат од горните, но, сепак, оваа табела претставува помош која се приближува до оптималното решение. Вредностите од табелата, исто така, отстапуваат за разни дебелини на облогата. Така за подебели облоги, што е современа тенденција, вредностите за густината на струјата се повисоки, а за потенка облога се пониски.

V.5.4. Технолошки карактеристики на електродите

Технолошките карактеристики на електродите ги чинат следните елементи: коефициентот на топење, коефициентот на загуби, коефициентот на депонирање, коефициентот на искористување и брзината на топење.

Коефициент на топење е тежина на материјалот од електродата кој се растопува за еден ампер јачина на струја и за единица време, или:

$$C_t = \frac{G_t}{I_z \cdot t} \left(\frac{g}{Ah} \right)$$

каде што е:

- C_t - коефициентот на топење во грамови по ампер час (g/Ah)
- G_t - маса на растопениот метал од електродата во грамови (g)
- I_z - јачината на струјата во ампери (A)
- t - време во часови (h)

Коефициент на загуби претставува процентуално губање на металот од електродата со депонирање на капки метал надвор од заварот, испарување и оксидација. Математички се прикажува на следниот начин:

$$C_g = \frac{G_t - G_d}{C_t} 100(\%)$$

каде што е:

- C_g - коефициентот на загуби во проценти (%)
- G_t - маса на растопениот метал од електродата во грамови (g)
- G_d - маса на депонираниот метал во заварот во грамови (g)

Коефициент на депонирање е количина на додатен материјал во заварот по еден ампер јачина на струја и за единица време, или:

$$C_d = \frac{G_d}{I_z \cdot t} \left(\frac{g}{Ah} \right)$$

каде што е:

- C_d - коефициентот на депонирање во грамови по ампер час (g/Ah)
- G_d - маса на депонираниот метал во заварот во грамови (g)
- I_z - јачината на струјата во апмери (A)
- t - време во часови (h)

Коефициент на искористување претставува процентуален износ на депонираната количина во однос на целокупната маса на јадрото на електродата:

$$\eta = \frac{G_d}{G_e} \cdot 100(\%)$$

каде што е:

- η - коефициентот на искористување во проценти (%)
- G_d - маса на депонираниот метал во заварот во грамови (g)
- G_e - маса на метал на јадрото на електродата во грамови (g)

Брзина на топење претставува маса на растопен метал од електродата за време од една минута:

$$C_b = \frac{G_t \cdot 60}{t} \left(\frac{g}{min} \right)$$

каде што е:

- C_b - брзина на топење во грамови за минута (g/min)
- G_t - маса на растопениот метал од електродата во грамови (g)
- t - време во часови (h)

Сите коефициенти зависат од напонот на лакот, дебелината на јадрото, видот и дебелината на облогата.

V.5.5. Обележување на обложените електроди за РЕЛ според МКС стандардите МКС Ц.Х3.010 и МКС Ц.Х3.011

Општиот дел од обележувањето на обложените електроди за РЕЛ е дефиниран според стандардот МКС Ц.Х3.010, а со стандардот МКС Ц.Х3.011 е дефинирано обележувањето на обложените електроди за РЕЛ заварување на нискојаглеродните и нисколегираните челици.

Ознаката на електродите е составена од четири дела:

- ознака за идентификација, општа ознака,
- ознака за дополнителна идентификација,
- ознака за механичките особини,
- ознака за вид на облога, коефициент на искористување и карактеристики на примената.

Општата ознака за идентификација за обложените електроди за РЕЛ заварување е буквата **Е**.

Ознаката за дополнителна идентификација, е двоцифрен број, кој е определен од јакоста на кинење на заварот R_{mz} :

- за јакост на кинење од 430 до 510 МПа, симболот е 43,
- за јакост на кинење од 510 до 610 МПа, симболот е 51.

Ознаката за механичките особини, е едноцифрен број: 0, 1, 2, 3, 4 и 5, кој се избира од табела зависно од јакоста на кинење, релативното издолжување и жилавоста.

| Ознака | Јакост на кинење R _m (MPa) | Релативно издолжување A ₅ (%) | Температура која одговара на енергија на удар од 28J T (C°) |
|--------|--|---|---|
| E 430 | од 430 до 510 | - | - |
| E 431 | од 430 до 510 | 20 | +20 |
| E 432 | од 430 до 510 | 22 | 0 |
| E 433 | од 430 до 510 | 24 | -20 |
| E 434 | од 430 до 510 | 24 | -30 |
| E 435 | од 430 до 510 | 24 | -40 |
| E 510 | од 510 до 610 | - | - |
| E 511 | од 510 до 610 | 18 | +20 |
| E 512 | од 510 до 610 | 18 | 0 |
| E 513 | од 510 до 610 | 20 | -20 |
| E 514 | од 510 до 610 | 20 | -30 |
| E 515 | од 510 до 610 | 20 | -40 |

Последниот дел од ознаката е поголем и разновиден. Истиот се состои од повеќе делови со кои се обележува видот на облогата, коефициентот на искористување, положбата на заварување, карактеристиките на електричната струја, содржината на водородот во металот на заварот и слично.

Видот на облогата се означува со буква, како:

| | |
|----|-----------------------------------|
| A | - кисела, оксиди на железото |
| O | - оксидна |
| AR | - кисела, оксид на титанот, рутил |
| R | - рутилна, среднообложена |
| RR | - рутилна, дебелообложена |
| B | - базична |
| C | - цеулозна |
| S | - други видови на облоги |

Коефициентот на искористување се обележува со трицифрен број, како:

| | |
|---------------|-------------------|
| под 105% | - без ознака |
| од 105 до 115 | - ознака 110 |
| од 115 до 125 | - ознака 120 |
| од 125 до 135 | - ознака 130 |
| од 135 до 145 | - ознака 140, итн |

Положбата на заварување се означува со бројна ознака, која ги симболизира основните положби на заварување за кои се препорачува електродата:

| | |
|---|---|
| 1 | - сите положби |
| 2 | - сите освен вертикално надолу |
| 3 | - челни и аголни споеви во хоризонтална и хоризонтално-вертикална положба |
| 4 | - челни и аголни споеви во хоризонтална положба |
| 5 | - аголни споеви во корито положба |

Видот на струјата и напонот на празен од наоѓаат свој симбол, според табелата:

| Симбол | Еднонасочна струја со поларитет | Наизменична струја со минимален напон на празен од |
|--------|---------------------------------|--|
| 0 | + | |
| 1 | + и - | 50 V |
| 2 | - | |
| 3 | + | |
| 4 | + и - | 70 V |
| 5 | - | |
| 6 | + | |
| 7 | + и - | 90 V |
| 8 | - | |
| 9 | + | |

Кај електродите со базична облога, поради ниската содржина на влага во облогата, заварите се со ниска содржина на водорот. Количината на водородот во заварот се означува со следните симболи:

| | |
|----|--|
| H | - содржина на водорот од 3 до 5 ml на 100 грама чист метал на заварот |
| 2H | - содржина на водорот од 1 до 3 ml на 100 грама чист метал на заварот |
| 3H | - содржина на водорот помалку од 1 ml на 100 грама чист метал на заварот |

ПРИМЕР:

Да се прочита ознаката: **E 514 B 150 2 0 H**

| Ознака | Јакост на кинење R_m (MPa) | Релативно издолжување A_5 (%) | Температура која одговара на енергија на удар од 28J T (C°) |
|--------|------------------------------|---------------------------------|---|
| E 514 | од 510 до 610 | 20 | -30 |

| | |
|---|------------------|
| B | - базична облога |
|---|------------------|

| | |
|-----|--|
| 150 | - Коефициентот на искористување од 145 до 155% |
|-----|--|

| | |
|---|---|
| 2 | - Положба на заварување, сите освен вертикално надолу |
|---|---|

| | |
|---|--|
| 0 | - Еднонасочна струја со поларитет + на електродата |
|---|--|

| | |
|---|---|
| H | - Содржина на водорот од 3 до 5 ml на 100 грама чист метал на заварот |
|---|---|

V.5.6. Обележување на обложените електроди за РЕЛ според - EN 499 - 95

Со стандардот EN 499 од 1995 година е дефинирано обележувањето на електродите за РЕЛ заварување на нискојаглеродните и ситнозрнестите конструктивни челици.

Ознаката на електродите е составена од осум дела:

- за идентификација, општа ознака,
- за јакостните и деформабилните карактеристики на заварот,
- за жилавост на заварот,
- за хемискиот состав на заварот,
- за вид на облога,
- за коефициентот на искористување и видот на струјата за заварување,
- за положбата на заварување,
- за максималната содржина на водородот во заварот.

Општата ознака за идентификација за обложените електроди за РЕЛ заварување е буквата **E**.

Ознаката за јакостните и деформабилните карактеристики на заварот, кој е определен од границата на течење, односно R_t или $R_{0,2}$ на металот на заварот:

| Ознака | Граница на течење R_t или $R_{0,2}$ (N/mm ²) | Јакост на кинење R_m (N/mm ²) | Релативно издолжување A_5 (%) |
|--------|---|--|------------------------------------|
| 35 | ≥355 | 440÷570 | 22 |
| 38 | ≥380 | 470÷600 | 20 |
| 42 | ≥420 | 500÷640 | 20 |
| 46 | ≥460 | 530÷680 | 20 |
| 50 | ≥500 | 560÷720 | 18 |

Ознаката за жилавоста на металот на заварот се однесува на температурата која одговара на енергија на удар од 47 J:

| Ознака | Температура која одговара на енергија на удар од 47J T (C°) |
|--------|--|
| Z | - |
| A | +20 |
| 0 | 0 |
| 2 | -20 |
| 3 | -30 |
| 4 | -40 |
| 5 | -50 |
| 6 | -60 |

Ознаката за хемискиот состав на заварот е според табелата, и се однесува за метал на заварот со соодветна содржина на Mn, Mo и Ni, и при содржина на: Mo<0,2%, Ni<0,3%, Cr<0,2%, V<0,05%, Nb<0,05% и Cu<0,3%:

| Ознака | Хемиски состав (%) | | |
|------------|----------------------------|---------|----------|
| | Mn | Mo | Ni |
| без ознака | 2,0 | - | - |
| Mo | 1,4 | 0,3÷0,6 | - |
| MnMo | >1,4÷2,0 | 0,3÷0,6 | - |
| 1Ni | 1,4 | - | 0,6÷1,2 |
| 2Ni | 1,4 | - | 1,8÷2,6 |
| 3Ni | 1,4 | - | >2,6÷3,8 |
| Mn1Ni | >1,4÷2,0 | - | 0,6÷1,2 |
| 1NiMo | 1,4 | 0,3÷0,6 | 0,6÷1,2 |
| Z | секој друг поинаков состав | | |

Ознаката за видот на облогата на електродата се состои од букви дадени во табелата. За потенцирање се ознаките со две букви, кои се однесуваат за новите т.н. електроди со двослојна облога, кај кои внатрешниот слој е рутилен, а надворешните од: рутилен, цеулозен, кисел или базичен тип.

| Ознака | Вид на облогата на електродата | Ознака | Вид на облогата на електродата |
|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|
| A | кисела | RR | рутилна, дебелообложена |
| C | цеулозна | RC | рутилно-цеулозна |
| R | рутилна | RA | рутилно-кисела |
| B | базична | RB | рутилно-базична |

Ознаката за коефициент на искористување и видот на електричната струја за заварување - поларитетот, е прикажана со број од 1 до 8, како во табелата:

| Ознака | Коефициентот на искористување η (%) | Вид на струја и поларитет, при $U_0=65$ (V) за наизменична струја |
|--------|--|---|
| 1 | ≤ 105 | наизменична и еднонасочна |
| 2 | ≤ 105 | еднонасочна |
| 3 | $>105 \leq 125$ | наизменична и еднонасочна |
| 4 | $>105 \leq 125$ | еднонасочна |
| 5 | $>125 \leq 160$ | наизменична и еднонасочна |
| 6 | $>125 \leq 160$ | еднонасочна |
| 7 | >160 | наизменична и еднонасочна |
| 8 | >160 | еднонасочна |

Положбата на заварување се означува со бројна ознака, која ги симболизира основните положби на заварување за кои се препорачува електродата:

| Ознака | Положба на заварување |
|--------|---|
| 1 | сите положби |
| 2 | сите освен вертикално надолу |
| 3 | челни споеви во корито положба, аголни споеви во корито, хоризонтална и хоризонтално-вертикална положба |
| 4 | челни и аголни споеви во корито положба |
| 5 | за вертикално надолу и положбите од 3 |

Кај електродите со базична облога, количината на водородот во заварот се означува според табелата:

| Ознака | Мах. содржина на водородот во чист метал на заварот H_2 (ml/100g) |
|--------|---|
| H5 | 5 |
| H10 | 10 |
| H15 | 15 |

ПРИМЕР:

Да се прочита ознаката: **E 50 6 Mn1Ni B 3 2 H5**

| Ознака | Граница на течење R_t или $R_{0,2}$ (N/mm ²) | Јакост на кинење R_m (N/mm ²) | Релативно издолжување A_5 (%) | Температура која одговара на енергија на удар од 47J T (C°) |
|---------------|---|---|---|---|
| E 50 6 | ≥ 500 | 560÷720 | 18 | -60 |
| | Хемиски состав (%) | | | |
| | Mn | Mo | Ni | |
| Mn1Ni | $>1,4 \div 2,0$ | - | $0,6 \div 1,2$ | |
| | Вид на облогата на електродата | | | |
| B | базична облога | | | |
| | Коефициентот на искористување η (%) | | Вид на струја и поларитет, при $U_0=65$ (V) за наизменична струја | |
| 3 | $>105 \leq 125$ | | наизменична и еднонасочна | |
| | Положба на заварување | | | |
| 2 | сите освен вертикално надолу | | | |
| | Мах. содржина на водородот во чист метал на заварот H_2 (ml/100g) | | | |
| H5 | 5 | | | |

V.5.7. Избор на обложените електроди за РЕЛ

Задачата на изборот ја содржат:

- дијаметарот на електродата,
- составот и механичките карактеристики,
- видот и дебелината на облогата.

За сите видови материјали, дијаметарот на јадрото на електродата се избира во зависност од дебелината на основниот материјал, табела V.3.

Табела V.3. Препораки за избор на d_e (mm) од видот на заварот и t_{om} (mm)

| Сочелен завар | | Аголен завар | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| дебелина на о.м. t_{om} (mm) | дијаметар на д.м. d_e (mm) | дебелина на о.м. t_{om} (mm) | дијаметар на д.м. d_e (mm) |
| 1,5 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2,5 | 3 | 2,5-3,25 |
| 3 | 2,5 | 4 | 4 |
| 4-5 | 3,25 | 5 | 4 |
| 5-7 | 4 | 6 | 4 |
| 8 | 4 | 8 | 4 |
| 10 | 4 | 10 | 4-5 |
| 12 | 4-5 | 12 | 4-5 |

При повеќеслојно заварување, за поголеми дебелини на деловите, кореновиот премин може да се изведе со електрода со $d_e=3,25$ (mm), а другите слоеви со $d_e=4$ (mm) или $d_e=5$ (mm).

Составот на металот на електродата и механичките карактеристики треба да се еднакви или, до некој степен, подобри од особините на основниот материјал. Оваа констатација важи за јаглородните и нисколегираните челици и обоените метали, додека пак за леаното железо и високолегираните челици принципите на избор се поинакви.

Помош при изборот на обложените електроди за РЕЛ заварување пружаат и разновидните печатени и електронски изданија на проспекти со додатни материјали од разни производители, како и разновидни софтверски решенија со огромни бази на податоци за особините на електродите и основните материјали.

VI. ЗАВАРУВАЊЕ СО ЕЛЕКТРИЧЕН ЛАК ВО ЗАШТИТНА АТМОСФЕРА ОД ГАСОВИ: МАГ, МИГ и ТИГ ЗАВАРУВАЊЕ

Кај овие техники на заварување, електричниот лак гори помеѓу топлива или нетоплива електрода и основниот материјал во заштитна атмосфера од гасови.

Техниките на заварување со електричен лак во заштитна атмосфера од гасови се разновидни по принципиелна изведба, особини и примена. Во оваа група на електролачни техники припаѓаат заварувањата во заштитна атмосфера од:

- активен гас со топлива електрода - МАГ,
- инертен гас со топлива електрода - МИГ,
- инертен гас со нетоплива електрода - ТИГ.

Сé почесто се среќаваат изведби на комбинација од МИГ и МАГ техниките, односно заварување со гасни смеси во кои има инертни и активни гасови.

Од понов датум се техниките од оваа група кај кои додатниот материјал е наполнета жица со прашок, кој е сличен по состав на облогата на електродите за РЕЛ заварување.

Најголемиот број на иновации во заварувањето со електричен лак во изминатите две децении се токму во заварувањето со електричен лак во заштитна атмосфера од гасови.

VI.1. Заштитни гасови

Како заштитна гасна атмосфера се користат чисто инертни или чисто активни гасови, а сé почесто се користат и двојни, тројни или повеќе компонентни гасни смеси од инертни и активни гасови.

Најчесто користената инертна гасна средина е од аргон (Ar) или хелиум (He), или смеса од нив.

Како активна заштитна средна најчесто се користи јаглероден диоксид (CO₂).

Поретко како додатоци на основните гасови се користат кислородот (O) и водородот (H).

Аргонот припаѓа на групата благородни гасови, поседува атомска маса од 39,984, а во атмосферата постои 0,94% волуменски и 1,33% маса. За техничка примена се добива со фракциона дестилација на течен воздух, при што се добива суров аргон со хемиски состав од приближно: 71%Ar, 24,5%N₂, 3%O₂ и 1,5%H₂. Во целина, суровиот аргон не претставува инертен гас заради значително учество на другите гасови. Заради тоа, неопходно е да се пречисти, за да се добијат задоволувачки својства како неопходност за добивање на квалитетни завари.

На местото на експлоатација аргонот се транспортира во челични шишиња со волумен од 40 литри и под притисок од 15MPa (150 бари). Ознаката на секое шише, според МКС Н.Ф1.018, мора да содржи: знак на производителот, реден број на шишето, година на изработка, полно име на гасот, волумен, пробен притисок, датум на последното испитување, знак на извршителот на испитувањето и знак за термичката обработка.

Според истиот стандард, аргонот, според квалитетот се произведува во 4 класи:

- А со најмалку 99,999%Ar,
- В со најмалку 99,99%Ar,
- С со најмалку 99,96%Ar,
- D со најмалку 85,00%Ar.

За заварување се користи квалитетот С, а при заварување на титан и циркониум неопходна е заштита од квалтет В.

Хелиумот е хемиски елемент од групата благородни гасови со атомска маса од 4,0026, без мирис, боја и вкус. Тој станува течен на температура од $-268,9^{\circ}\text{C}$, на нормален притисок, познат како He I, а на температура од $-270,9^{\circ}\text{C}$ преоѓа во He II, кој исто така, е во течна состојба, и при тоа топлинската спроводливост на течноста нараснува за три милиони пати. Во цврста состојба, замрзнува, преоѓа на температура од $-272,2^{\circ}\text{C}$. Во поголеми количини постои на Сонцето и ѕвездите и непрекинато се создава како последица на нуклеарните процеси. Сличен процес, по вештачки пат, се случува и на Земјата при експлозија на водородна бомба. На Земјата хелиумот се наоѓа во повеќе минерали, термални извори, а во атмосферата, на површината на Земјата е застапен со 0,005% волуменски, а во горните слоеви и повеќе. Хемиски е инертен, несогорува и не се растворува во растопени метали, што е суштинска погодност за заварувањето.

За заварувањето, примената на хелиумот, како чист гас не е рационална, иако задоволува за најголем број технолошки проблеми, бидејќи набавната цена е висока. Од овој аспект, аргонот е супериорен и како последица на тоа, технолошките постапки со инертни заштитни гасови вообичаено значи примена на аргон.

Јаглеродниот диоксид, CO_2 , претставува соединение на јаглеродот и кислородот, со специфична маса околу 1,5 пати поголема од воздухот и, според тоа, се наоѓа во најдолните слоеви од атмосферата. Гасот е безбоен со малку кисел вкус и мирис. Во атмосферата е застапен со 0,03%. До местото на употреба се транспортира во челични шишиња во течна состојба.

При нормални температури на околината тој покажува инертни особини, односно не стапува во реакција при допир со други материи. На високи температури се разлага на јаглероден монооксид и слободен кислород. Степенот на разлагање зависи од висината на температурата во регионот на заварувањето. Со порастот на степенот на разлагање се зголемува реактивноста на гасната смеса, се создаваат оксиди кои го снижуваат квалитетот на заварениот спој. Поради тоа, овој заштитен гас не се применува за голем број на метали, кои имаат афинитет кон создавање на оксиди.

Квалитетот на гасот е дефиниран со стандардот МКС Н.Ф1.016, според кој за заварување се применува гас кој треба да содржи најмалку 99,8% CO_2 , а содржината на вода е ограничена на $0,1\text{g/m}^3$. Јаглеродниот диоксид штетно влијае на човекот доколку неговата содржина во атмосферата е поголема од 3%. Штетноста се манифестира со истоштеност, главоболка, вртоглавица... Поради ова нетреба да се работи во простории кои не се проветруваат или заварувачот треба да е обезбеден со соодветни лични заштитни сретства и аспиратори за гасови на местото за заварување.

Примената на гасовите зависи од нивните карактеристики и набавната цена.

Во табелата VI.1. се дадени некои карактеристики на гасовите според стандардот DIN EN 439, при 0°C и 1,013 бари.

Табела VI.1. Карактеристики на некои гасови според стандардот DIN EN 439

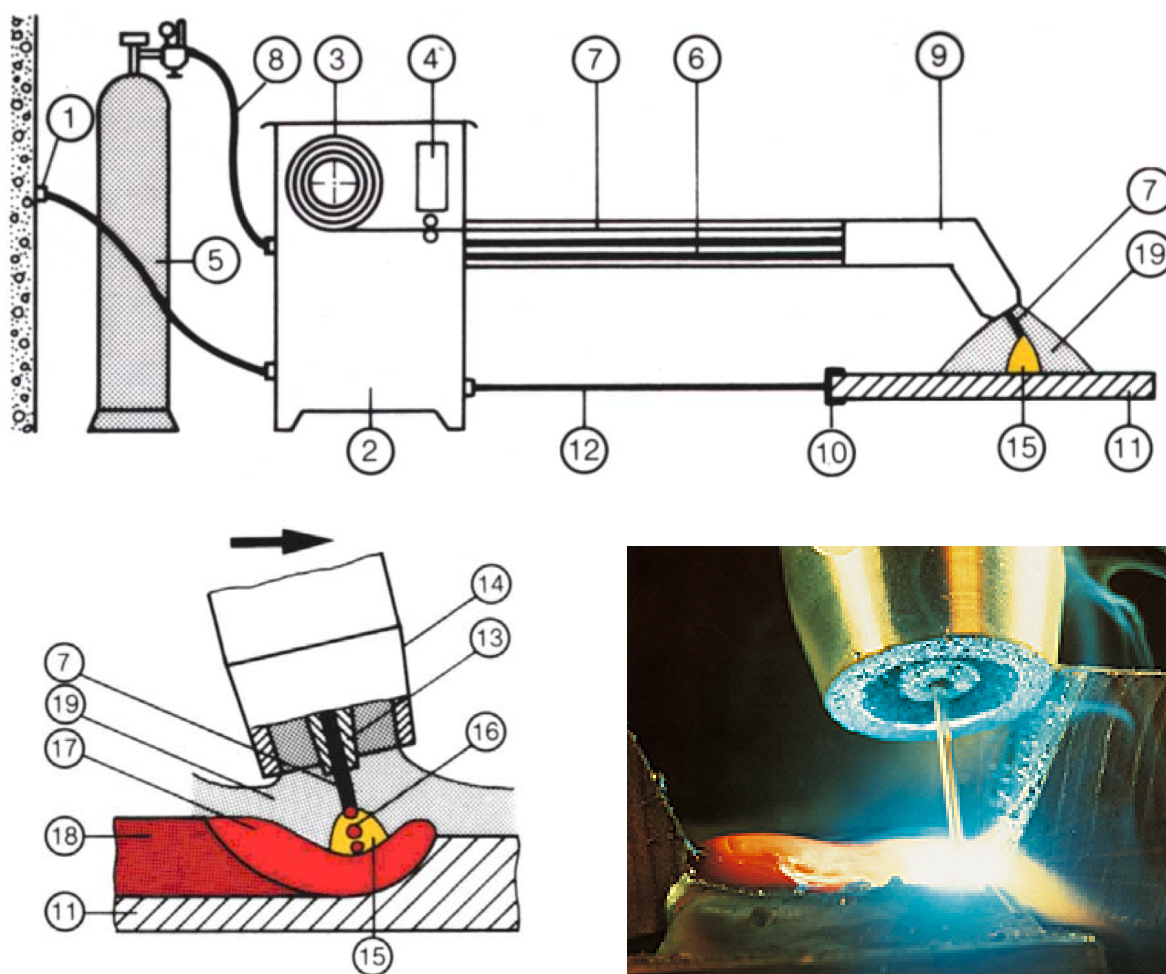
| Гас | Хемиска ознака | Густина kg/m^3 | Релативна густина во однос на воздухот | Активост при заварување |
|------------------|----------------|-------------------------|--|-------------------------|
| Аргон | Ar | 1,784 | 1,380 | инертен |
| Хелиум | He | 0,178 | 0,138 | инертен |
| Јаглерод диоксид | CO_2 | 1,977 | 1,529 | оксидирачки |
| Кислород | O_2 | 1,429 | 1,105 | оксидирачки |
| Азот | N_2 | 1,251 | 0,968 | променлива |
| Водорот | H_2 | 0,090 | 0,070 | редуцирачки |
| Воздух | | 1,293 | 1,000 | |

VI.2. ЗАВАРУВАЊЕ СО ЕЛЕКТРИЧЕН ЛАК СО ТОПЛИВА ЕЛЕКТРОДА ВО ЗАШТИТНА АТМОСФЕРА ОД: ИНЕРТЕН ГАС - МИГ, АКТИВЕН ГАС - МАГ

VI.2.1. Основи на МИГ, односно, МАГ заварувањето

МИГ, односно, МАГ заварувањето претставува делумно или целосно автоматизиран процес на заварување со гола електрода, жица, која покрај функцијата на електрода, претставува додатен материјал. МИГ заварувањето се изведува во заштитна атмосфера од инертен гас, најчесто аргон, а МАГ заварувањето во заштитна атмосфера од активен гас, најчесто јаглерод диоксид.

Пренесувањето на електричната енергија се врши преку контактната цевка со што електродата претставува еден пол од електричното коло, а другиот пол е работниот предмет. Концентрично на контактната цевка, постои млазник. Низ меѓупросторот струи заштитниот гас кој го заштитува електричниот лак и растпениот метал од контакт со атмосферата, слика VI.1.



1. Приклучок за градска мрежа
2. Уред за заварување
3. Макара со додатен материјал, жица
4. Уред за континуирано додавање на жицата
5. Шише со заштитен гас
6. Електричен проводник за електродната жица
7. Електродна жица
8. Црево за водење на заштитниот гас од шишето до горилникот
9. Горилник

10. Приклучок за работниот предмет
11. Работен предмет, основен материјал
12. Електричен проводник за работен предмет
13. Контактна чаура – цевка за довод на струја
14. Чаура за довод на заштитен гас - млазник
15. Електричен лак
16. Капки од растопен додатен материјал
17. Заварувачко купатило – растопен метал
18. Стврднат метал на заварот
19. Заштитен гас

Сл.VI.1. Основни елементи при МИГ-МАГ заварување

Оваа улога на заштитниот гас е суштинска во оваа технологија, бидејќи е оневозможено создавање штетни соединенија во металот на заварот. Инертниот гас не стапува во реакција со растопениот материјал и на тој начин се создадени услови за добивање на квалитетни споеви, што не е случај со активниот гас.

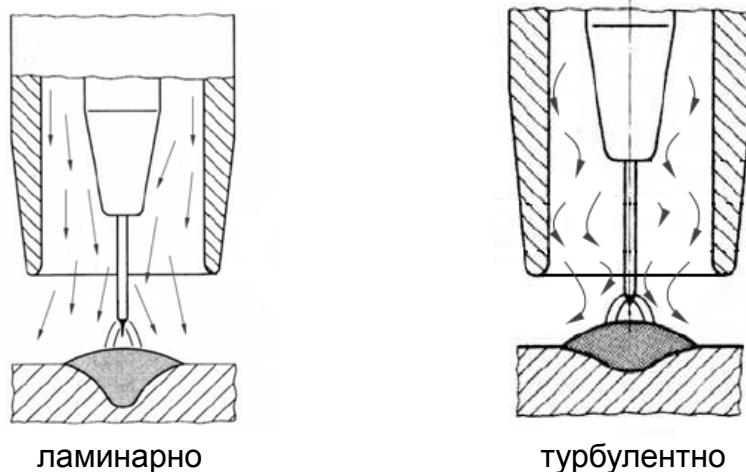
МИГ заварувањето се применува за заварување на повеќе метални материјали, но најчесто се применува за заварување на подебели елементи од високолегирани челици, алуминиум и алуминиумски легури, бакар и бакарни легури и слични материјали.

МАГ заварувањето е модифициран ефикасен и економичен вид на МИГ заварувањето на јаглеродните челици. Скапиот аргон е заменет со многу поефтиниот јаглероден диоксид. Поради разлагањето на диоксидот на зголемени температури на монооксид и кислород, МАГ техниката не се употребува за заварување на легирани челици, како ниту за заварување на алуминиум, бакар и нивните легури.

Во опремата за МАГ заварување на излезот од шишето пред регулаторот задолжително треба да има греач на гасот. Греачот е да ја намали содржината на вода, влажноста на гасот, а со тоа да се намали распрскувањето на растопениот додатен материјал и да се зголеми квалитетот на заварот.

Како неопходен услов за квалитетно заварување претставува беспрекорната заштита на облакот на заштитниот гас од дејство на елементите на атмосферата врз растопениот метал. Ефикасноста на заштитата зависи од протокот на гасот низ млазникот, односно брзината на струење. Определување на брзината на струење се врши врз основа на режимот на заварување, конструкцијата на млазникот и положбата на заварување.

Воопшто, можни се два вида на струење: ламинарно и турбулентно, слика VI.2. Ефикасна заштита овозможува ламинарното струење, додека кај турбулентното постои можност на пробив на околната атмосфера во зоната на растопениот метал.



Сл. VI.2. Струење на заштитниот гас

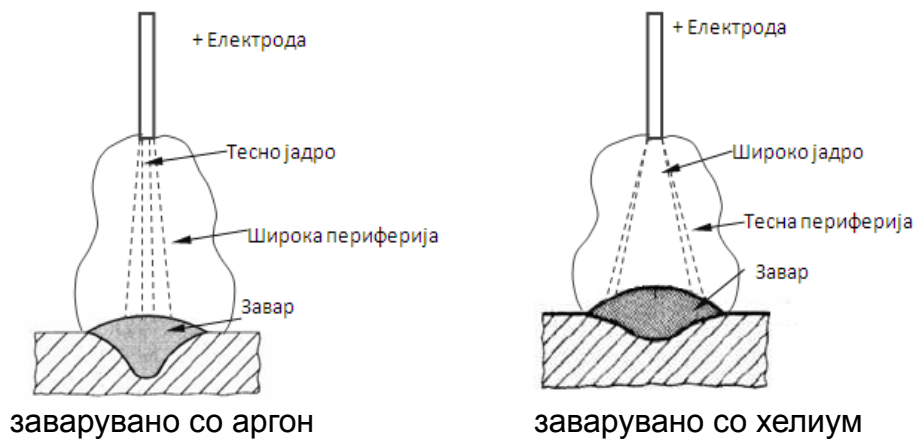
Дали струењето на гасот ќе биде ламинарно или турбулентно зависи од една страна од особините на гасот: динамичката вискозност и густината, како и од брзината на струење на гасот, и од друга страна од димензиите, дијаметарот на отворот на млазникот и дијаметарот на електродата.

Со оглед дека како заштитни гасови кај МИГ заварувањето се користат аргонот или хелиумот, потребно е да направиме споредба на истите од аспект на нивното влијание при заварувањето.

Аргонот, најтешкиот инертен гас, приближно е десет пати потежок од хелиумот, поради тоа, аргонот поефикасно заштитува при заварување во хоризонтална или корито положба. Хелиумот како полесен гас од воздухот прави турбулентно струење на излезот од млазницата. За еднаква ефикасност во заштитата, потребната

количина на хелиумот е 2 до 3 пати поголема отколку на аргонот. Овој факт, покрај повисоката цена на хелиумот, ја фаворизира поголемата примена на аргонот.

Покрај наведеното, употребата на аргонот или хелиумот, поради нивната различна топлинска спроводливост, предизвикува и други специфики во електричниот лак, слика VI.3. Аргонот, како помалку топлоспроводлив, предизвикува смалено ширење на топлината во радијален правец од оската на електричниот лак. Поради ова, се јавува јадро на лакот со помал пречник и голема густина на топлина. Хелиумот, како потоплоспроводлив гас, предизвикува зголемено ширење на топлината во радијален правец од оската на електричниот лак. Поради ова се јавува јадро на електричниот лак на поголем пречник и со помала густина на топлина. Резултатот од овие разлики се манифестира во обликот на попречниот пресек на заварот. При заварување во заштитна атмосфера од аргон се добива завар со мала широчина и поголема длабочина. При заварувањето во заштита од хелиум, заварот е со поголема широчина и помала длабочина.

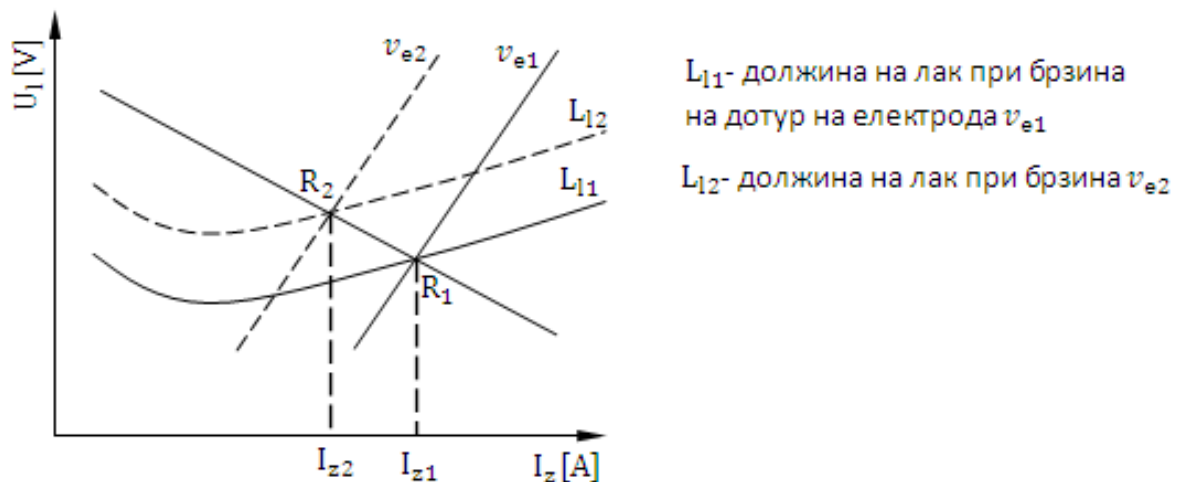


Сл. VI.3. Влијание на заштитниот гас на обликот на електричниот лак и заварот

Јаглеродниот диоксид по своите особини, густина и топлинспроводливост, е помеѓу аргонот и хелиумот. Поради што обликот на лакот и обликот и димензиите на добиениот завар со МАГ е помеѓу лакот и заварот при МИГ заварување со аргон и хелиум при исти параметри на ист основен материјал.

VI.2.2. Уреди за МИГ-МАГ заварување

Изворите на струја за МИГ-МАГ заварување се со благо опаднувачка карактеристика, која овозможува погодна саморегулација на режимот, слика VI.4.

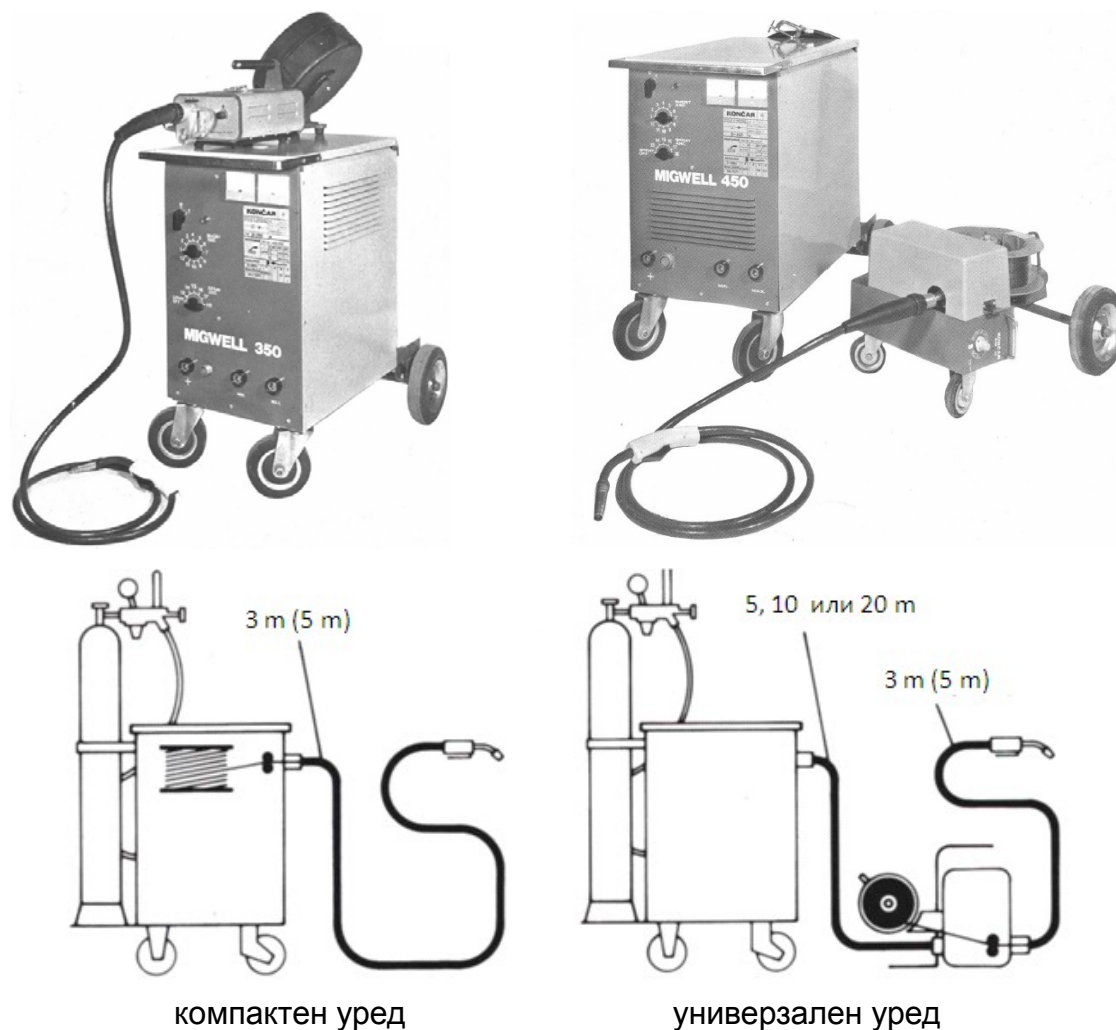


Сл. VI.4. Карактеристика на изворот и режим на заварување при МИГ-МАГ

Точката на режимот на заварување R_1 се добива со избор на јачината на струјата за заварување и брзината на дотур на електродната жица, I_{z1} и V_{e1} . Ако брзината на дотур V_{e1} се намали на некоја вредност V_{e2} , тогаш должината на лакот се зголемува од L_{L1} на L_{L2} . Оваа промена повлекува пораст на напонот на лакот од U_{L1} на U_{L2} и смалување на јачината на струјата на заварување од I_{z1} на I_{z2} , и режимот на заварување се преместува во точка R_2 . Бидејќи е познато дека коефициентот на топење на електродата се намалува со намалување на јачината на струјата, тогаш е јасно дека при горната промена се забавува топењето на електродата, должината на лакот се скратува, струјата на заварување се зголемува со скратувањето на лакот и одново се воспоставува номиналниот режим во точка R_1 .

Напонот на лакот се менува во тесни граници како резултат на благо опаднувачката карактеристика на изворот. Ваква регулација, во принцип е возможна и кај стрмо опаднувачката карактеристика, но во тој случај напонот се менува во широки граници, а јачината на струјата во релативно потесни граници. Во овој случај саморегулацијата е побавна и помалку ефикасна. Поради оваа квалитативна разлика, изворите на струја со благо опаднувачка карактеристика се супериорни над оние со стрмо опаднувачка карактеристика.

На слика VI.5 се прикажани компактна и универзална изведба на уредите за МИГ-МАГ заварување, со составни делови прикажани на слика VI.1.

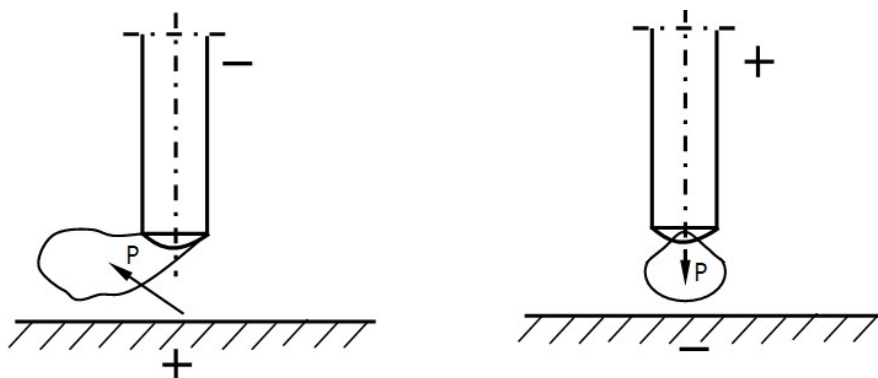


Сл. VI.5. Изведба на уредите за МИГ –МАГ заварување

Покрај компактната и универзалната изведба на уредите, се среќаваат и изведби со т.н. тандем систем за движење на додатниот материјал, пиштол со мала намотка, синхронизиран систем на турни-потегни и слични.

VI.2.3 Вид на електрична струја и видови пренос на растопениот додатен материјал врз основниот материјал кај МИГ-МАГ заварувањето

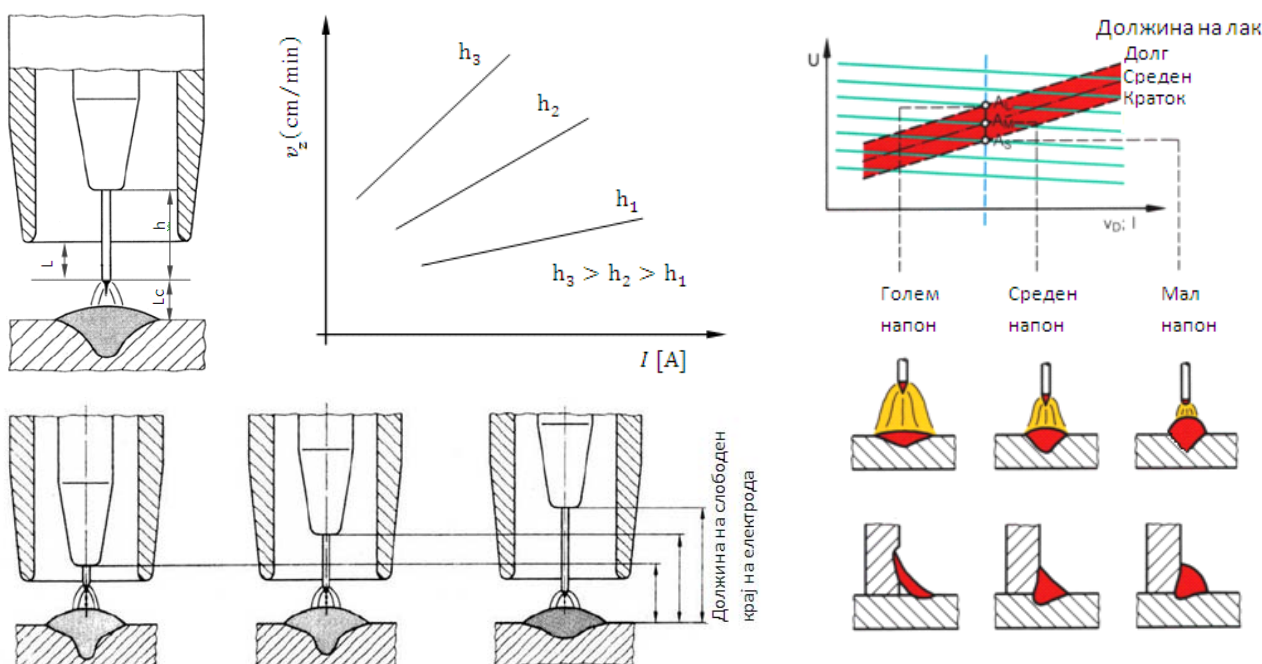
Поради појавата на коса електродинамичка сила, интензивното дување на лакот, кај МИГ-МАГ заварувањето се користи еднонасочна струја со индиректен поларитет, „+“ пол на електродата - додатниот материјал, слика VI.6.



Сл. VI.6. Дејство на електродинамичката сила врз растопената капка од додатниот материјал при директен и индиректен поларитет кај МИГ-МАГ заварување

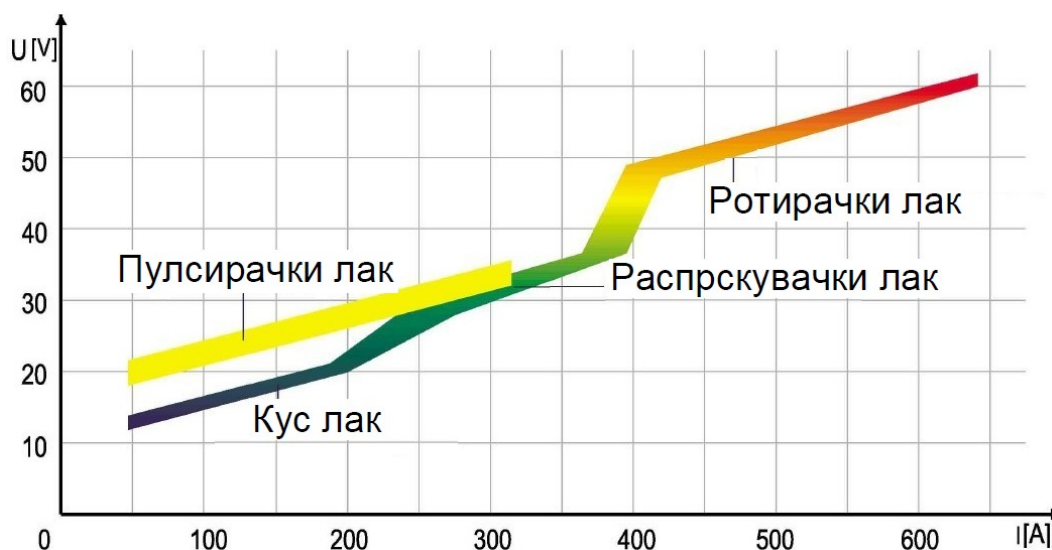
Струјата која се користи кај МИГ-МАГ заварувањето е со голема густина, поголема од 100A/mm^2 , што предизвикува голема брзина на топење од 35 до 130g/min и голема пенетрација, со што се добива поголема продуктивност споредено со РЕЛ заварувањето.

Покрај густината на струјата, на брзината на топење влијае и слободната должина на електродата. Со зголемување на должината се зголемува електричниот отпор, а со тоа се зголемува и загревањето на електродата. Сето ова ја зголемува брзината на топење на електродата. Со зголемувањето на брзината на топење, при непроменлива брзина на дотур на жицата, доаѓа до зголемување на должината на лакот, а со тоа и до зголемување на напонот на лакот. Поради зголемувањето на напонот на лакот, доаѓа до намалување на јачината на струјата за заварување, поради што се намалува длабочината на топење во основниот материјал. Заварот е со зголемена ширина и намалена пенетрација, слика VI.7.



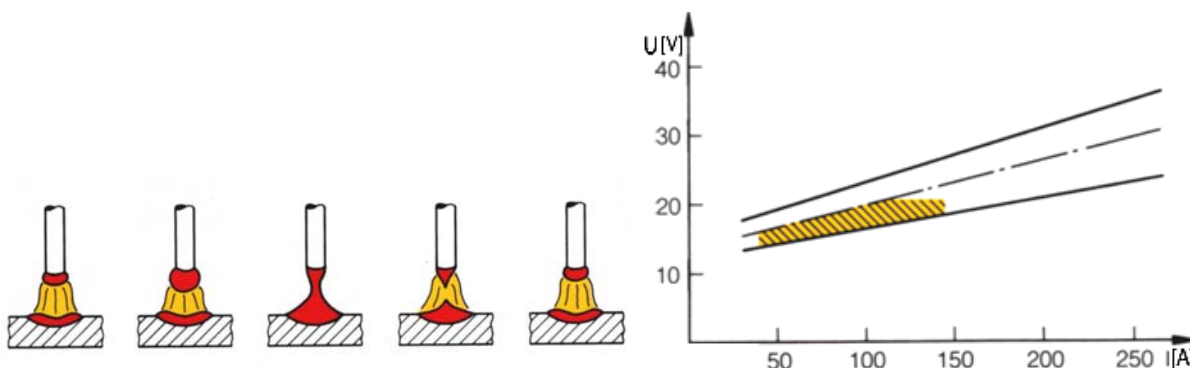
Сл. VI.7. Влијание на слободниот крај на електродната жица

Во зависност од густината на електричната струја се јавуваат повеќе начини на пренос на растопениот додатен материјал во заварувачкото купатило во основниот материјал. Најчесто преносот на растопениот додатен материјал се врши со **кус лак** или со **распрскувачки лак**, а во поново време и со **пулсирачки лак** или со **ротирачки лак**, слика VI.8.



Сл. VI.8. Видови на пренос на растопениот додатен материјал низ лакот

При заварувањето со **кус лак** растопената капка од електродата ја допира растопената зона од основниот метал за време на преносот на капката. Овој начин на пренос на металот го опфаќа подрачјето на ниски струи, ниски напони и мали дијаметри на електродите, слика VI.9.

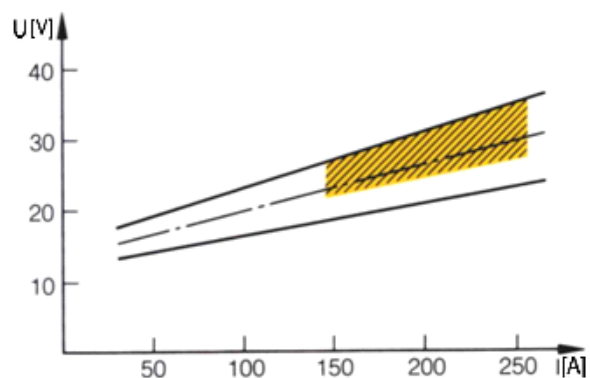
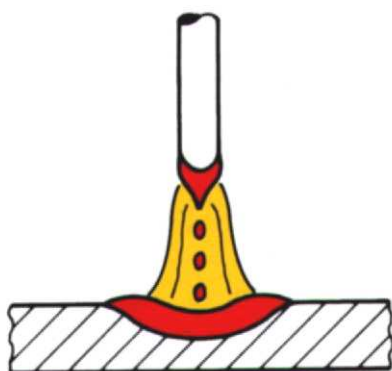


Сл. VI.9. Пренос со кус лак

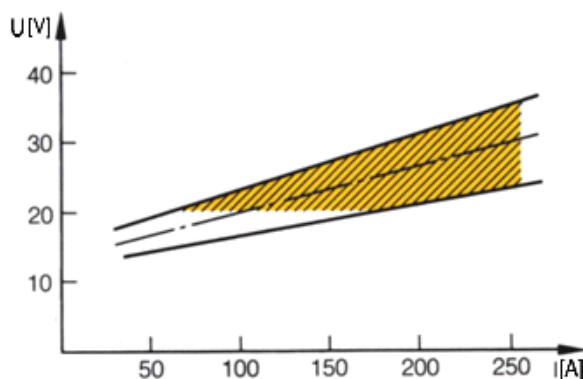
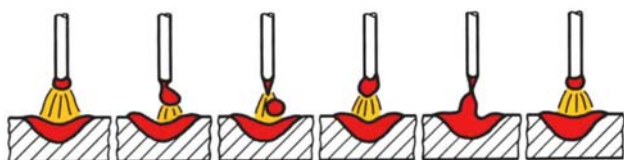
Во процесот на заварување со **распрскувачки лак** преносот на растопените капки се врши со трансфер низ столбот на лакот до заварувачкото купатило. Распрскувачкиот лак припаѓа во полето на повисоки напони и струи, со што во лакот се генерира поголема количина на топлина, со што се зголемува брзината на топење. Овој начин на пренос може да се подели во две групи:

- Кога, како заштитен гас се користи аргон или смеса на аргон со кислород, растопените капки се мали и никогаш не предизвикуваат куси споеви во лакот, преносот е во млаз од ситни капки, слика VI.10.

- Кога се користи смеса од аргон со јаглерод диоксид, се јавува растопена капка на врвот на електродата која може да се зголемува и да го надмине дијаметарот на електродата, а со тоа да предизвика куса спој во лакот. Оваа појава се нарекува глобуларен пренос, кој може да премине во заварување со кус лак, ако кусите споеви се повторуваат со висока фреквенција, слика VI.11.



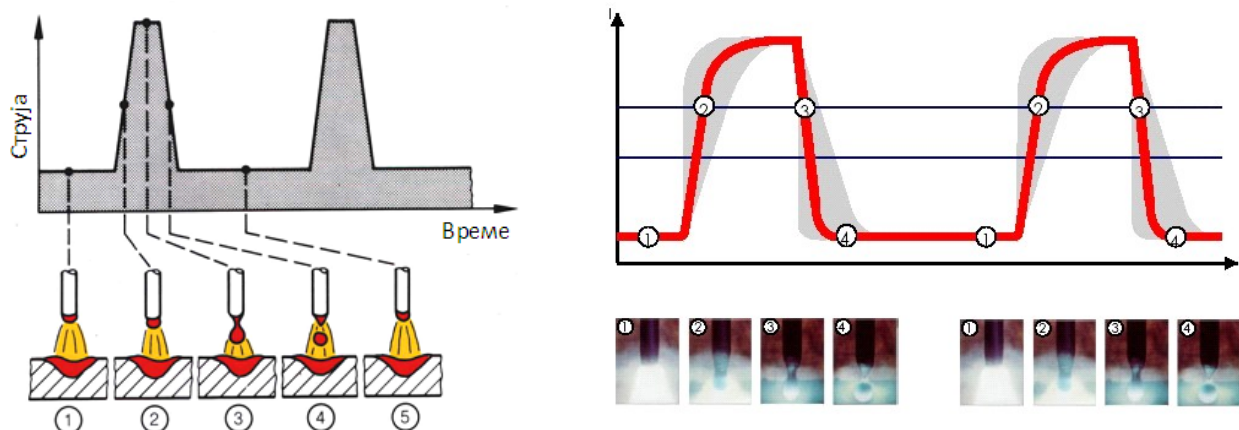
Сл. VI.10 Пренос со распрскувачки лак во заштита од Ar или Ar+O₂



Сл. VI.11. Пренос со распрскувачки лак во заштита од Ar+CO₂

Заварувањето со кус лак е за потенки елементи, а заварувањето со распрскувачки лак е за подебели елементи.

За помало топлинско оптоварување на основните материјали и депонирање на точно одреден волумен на растопен додатен материјал, кај современите уреди за МИГ-МАГ заварување се користи **пулсирачки лак**, кај кој струјата протекува пулсно, променливо по интензитет со текот на времето. Постојано протекува минимална струја, со која се одржува горењето на лакот, а со обликот и височината на струјниот пулс се дефинира количината на растопениот додатен материјал, слика VI.12.



Сл. VI.12. Пренос со пулсирачки лак

При оптимално избрани параметри пренесувањето на растопениот додатен материјал е во циклус по една растопена капка за еден пулс.

При пулсно дејство на електричен лак, потребно е изворот на струја да поддржи стабилно горење на електричниот лак и при многу мали струи, што со конвенционалните уреди за заварување е многу тешко.

Во поново време развиени се голем број на облици на пулсна промена на јачината на струјата за заварување и напонот на лакот. Сите тие именувани се со комерцијални имиња од производителот на уредите за заварување. Најактуелни се: ChopArc, T.I.M.E., CMT, ColdArc, ForceArc и други. Обликот на пулсот зависи од видот на додатниот материјал и од видот на заштитниот гас.

Ако се работи со чист аргон, лицето на заварот е со полош квалитет, се јавува распрскување. Но со додавање на O_2 или CO_2 до 1%, стабилноста на лакот се подобрува, а со тоа значително се намалува распрскувањето на растопениот метал.

Преносот со **ротирачки лак** се јавува при повисока струја на заварување, преку 500А, и голема брзина на топење на додатниот материјал, преку 25m/min или повеќе од 10kg/h, слика VI.13. Лакот гори во гасна заштитна средина со точно утврден хемиски состав: 72%Ar, 25%He и 3% O_2 . Секој од составните делови на гасната смеса има соодветно влијание врз стабилноста на лакот, брзината на топење на додатниот материјал и квалитетот на заварот. Лакот ротира со брзина од 800 до 1000min⁻¹. Ротирањето на лакот ги расфрлува растопените капки од додатниот материјал по широчина на заварувачкото купатило, при што нема потреба од нишање – траекторија при заварувањето за постигнување на поширок завар. Ова особено е битно при заварувањето со робот, при кое компоненталното движење „b“ (види слика V.6.) не треба да се прави.



Сл. VI.13. Пренос со ротирачки лак

VI.2.4. Влијание на режимот на заварување кај МИГ-МАГ

При подготовката на елементите од основните материјали за заварување со МИГ-МАГ потребно е аголот на закосување да е помал од 60°, помал од закосувањето за соодветни дебелини кај РЕЛ. Ова е поради поголемата пенетрација, која се постигнува со МИГ-МАГ, благодарение на големата густина на струјата и малиот дијаметар на додатниот материјал.

Режимот на МИГ-МАГ заварување го чинат: јачина на струјата, дијаметарот на електродната жица, брзината на додавање на електродната жица, вид и потрошувачка на заштитен гас и брзина на заварување.

Како влијаат овие елементи од режимот на заварување врз обликот и димензиите на заварот?

Со зголемување на јачината на струјата се зголемува топлинската енергија од лакот, со што се зголемува брзината на топење на електродната жица, се зголемува пенетрацијата и вкупните димензии на заварот.

Со зголемување на напонот на лакот, се зголемува должината, а со тоа и широчината на лакот, поради што заварот е со зголемена широчина и намалена пенетрација.

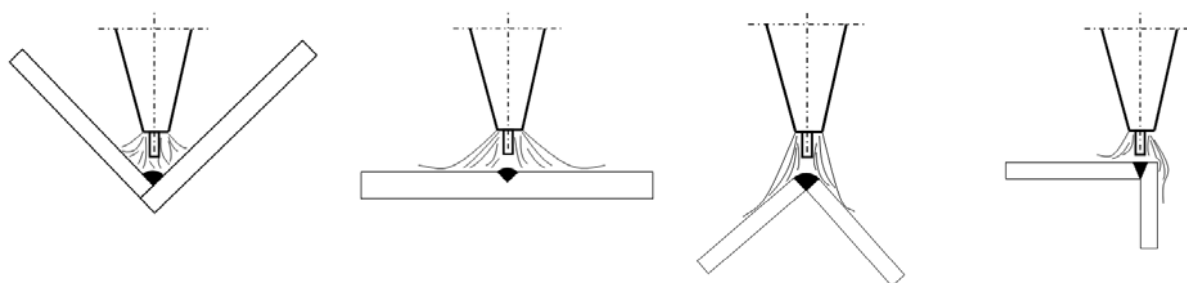
Со зголемување на дијаметарот на електродната жица, при непроменета јачина на струјата, се намалува густината на струјата, поради што се намалува пенетрацијата, а се зголемува широчината на заварот.

Со зголемување на брзината на заварување се намалува попречниот пресек на заварот, се намалува широчината и пенетрацијата, при благо зголемување на надвисувањето на заварот.

Покрај веќе споменатите влијанија на: јачината на струјата, напонот на лакот, дијаметарот на додатниот материјал, брзината на заварување, кај МИГ-МАГ заварувањето големо влијание има потрошувачката на заштитниот гас, преку: видот на гасот, протокот на гасот, положбата на заварување, брзината на заварување, дијаметарот на електродната жица и видот на заварениот спој.

Местото на работа влијае со струењето на воздухот. Потрошувачката на гасот е поголема кога струењето на околната атмосфера е поинтензивно, на отворен простор или во просторија каде постои провев е потребна поголема потрошувачка на гасот, отколку во затворена просторија без провев.

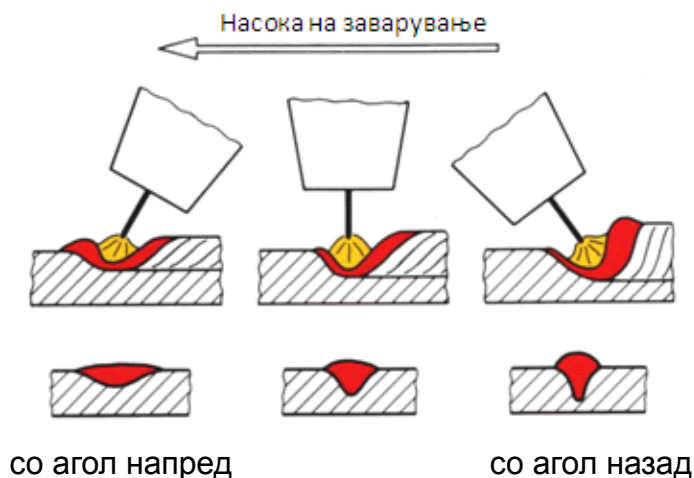
Видот на спојот, односно меѓусебната положба на заварот и елементите што се заваруваат, има големо влијание врз потребниот проток на заштитен гас, слика VI.14. Заварувањето во корито бара најмала потрошувачка, бидејќи аголот на одвод на гасот е најмал. Поголема потрошувачка бара заварувањето на челна спој во хоризонтална положба, како резултат на поголемиот агол на растурање на заштитниот гас. Најголем проток на гас е потребен за заварување на агол однадвор или рабна спој.



Сл. VI.14. Влијание на видот на заварениот спој на потрошувачката на заштитен гас

Изборот на оптимален проток на заштитниот гас е важен елемент, бидејќи влијае на квалитетот на заварот. Мал проток претставува неефикасна заштита, а преголем проток ја смалува ефективностa на лакот со ефектот на ладење и механички дејствува на растопената зона со силата на струење со што се деформира заварот и се јавуваат порозност.

Влијание има и меѓусебниот однос на горилникот и оската на заварот, а кој зависи од положбата на заварување. Според односот на насоката на заварување и оската на горилникот се разликуваат два начини на заварување: заварување со агол напред и заварување со агол назад, слика VI.15.



Сл. VI.15. Влијание на положбата на горилникот во однос на оската на заварот

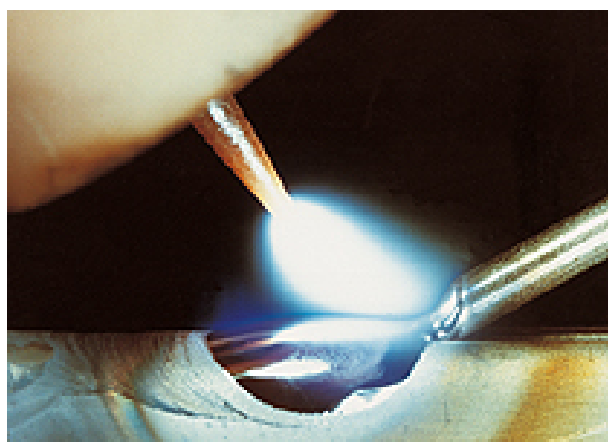
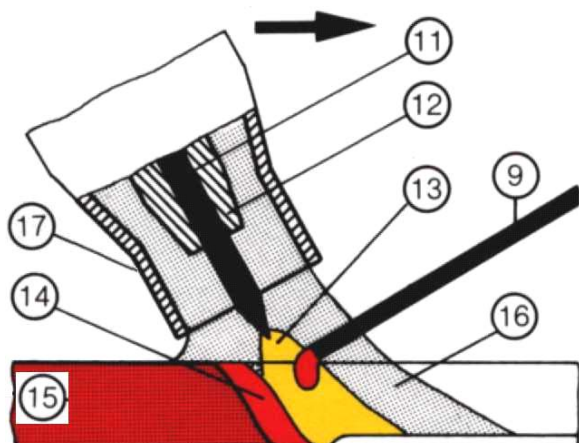
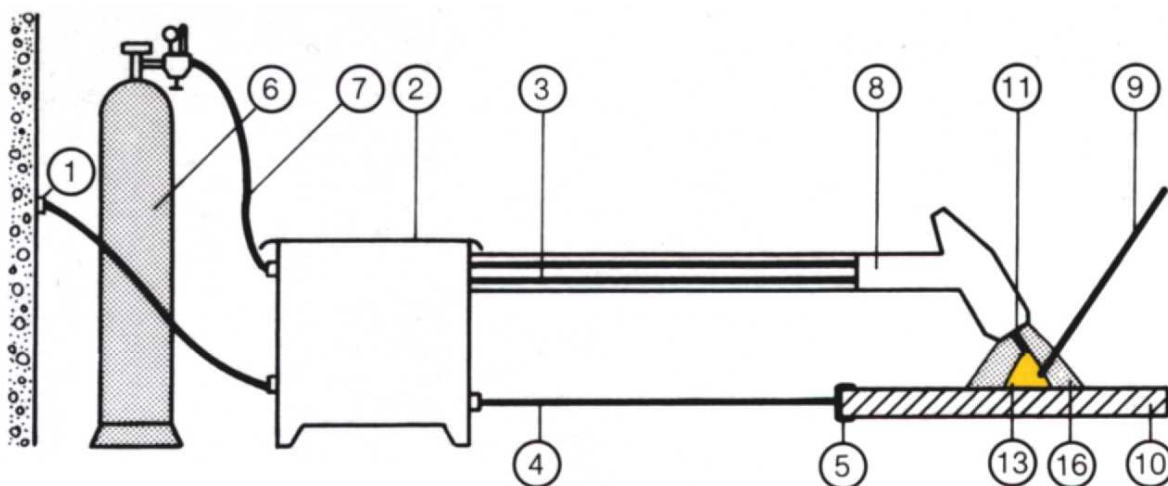
Со заварувањето со агол напред, во однос на заварувањето со агол назад, се добива: помала длабочина на топење како резултат на насочувањето на лакот кон

поладните надојдувачки зони од основниот материјал, поголема широчина на заварот, поубаво лице на заварот, подобар преглед на местото на заварување, но склоноста кон појава на пори во заварот е поголема. Заварувањето со агол напред се применува за заварување на потенки елементи, бидејќи длабочината на топење е помала и бидејќи топлинското оптоварување на основниот материјал е помало. Заварувањето со агол назад се одликува со поголема длабочина на топење и поголемо топлинско оптоварување на основниот материјал, при што истото се користи за заварување на подебели елементи.

VI.3. Заварување со електричен лак со нетоплива електрода во заштитна атмосфера од инертен гас - ТИГ

VI.3.1. Основи на ТИГ заварувањето

Кај ТИГ техниката на заварување електричниот лак гори помеѓу нетопливата електрода од волфрам и основниот материјал, во заштитна атмосфера од инертен гас, најчесто аргон, слика VI.16.



1. Приклучок за градска мрежа
2. Уред за заварување
3. Црево со електричен и командни кабли, црева за заштитен гас и вода за ладење
4. Електричен проводник за работен предмет
5. Приклучок за работниот предмет
6. Шише со заштитен гас
7. Црево за заштитен гас
8. Горилник

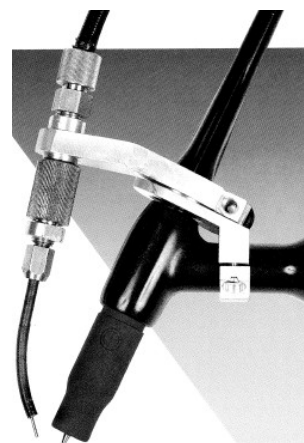
9. Додатен материјал - прачка
10. Работен предмет, основен материјал
11. Нетоплива волфрамова електрода
12. Контактна чаура – цевка за довод на струја
13. Електричен лак
14. Заварувачко купатило – растопен метал
15. Стврднат метал на заварот
16. Заштитен гас
17. Керамичка чаура за довод на заштитен гас

Сл.VI.16. Основни елементи при ТИГ заварување

Зависно од дебелината на основните материјали, заварувањето со ТИГ може да се изведе без додатен материјал за потенките материјали, и со додатен материјал за подебелите материјали.

Додатниот материјал не е електрично активен, и зависно од видот на изведбата, може да биде во облик на прачка и се додава рачно, или во облик на жица и се додава континуирано со помош на механизам, како и кај МИГ-МАГ заварувањето.

Како и кај МИГ-МАГ, и тука електродата добива струја преку контактната цевка. Основниот материјал се топи од топлината на лакот, а електродата од волфрам се загрева но не се топи. Поради тоа потребно е интензивно принудно ладење на волфрамовата електрода, со вода во пиштолот за заварување, а самиот пиштол завршува со керамичка чаура, која е поотпорна на високи температури, слика VI.17.

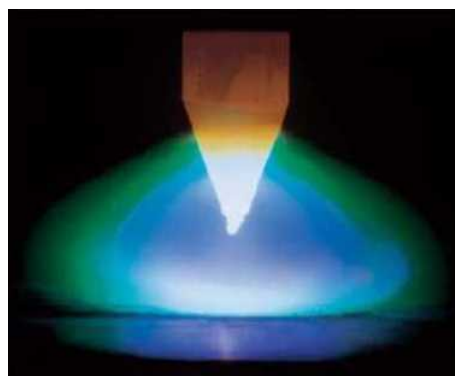


Сл. VI.17. Горилници за ТИГ заварување

Влијанието на видот на заштитниот гас и тука е идентично, како кај МИГ. Лакот кога гори во заштита од аргон е потесен, а кога гори во заштита од хелиум е поширок. Соодветно на тоа се добиваат завари, тесни и длабоки со аргон, и широки но плитки со хелиум, при непроменети други параметри на заварување, слика VI.18.



ТИГ лак во заштита од аргон



ТИГ лак во заштита од хелиум

Сл. VI.18. Влијание на заштитниот гас на формата на лакот кај ТИГ заварување

VI.3.2. Уреди за ТИГ заварување, вид на електрична струја и палење на лакот

Опремата за ТИГ заварување, со детален приказ на горилникот, прикажана е на сликите VI.16 и VI.17.

Изворите на струја за ТИГ заварување може да бидат исправувачи или трансформатори т.е. претварачи на фреквенција.

Извор на струја има стрмо опаднувачка карактеристика. Бидејќи кај ТИГ заварувањето електродата не се топи, должината на лакот е постојана и најповолен режим е минималното менување на јачината на струјата. Нема потреба од саморегулација, како кај МИГ-МАГ заварувањето.

Во командната кутија на уредот има високофреквентен пулсен генератор за безконтактно палење на лакот.

Уредите за ТИГ заварување може да бидат изведени за универзална примена, за повеќе техники на заварување, како РЕЛ и заварување со плазмен лак. На сликата VI.19. прикажани се современи уреди за ТИГ заварување.



Сл. VI.19. Уреди за ТИГ заварување

Кај ТИГ заварување се користи еднонасочна струја со директен и индиректен поларитет, како и наизменична струја. Влијанието на видот на електричната струја и поларитетот на обликот на заварот е прикажано на сликата VI.20.

Со еднонасочна струја со директен поларитет, „-“ пол на електродата и „+“ на основниот материјал, се заваруваат челичните материјали. При овој поларитет, електроните дополнително го загреваат основниот материјал, со што се постигнува поголема пенетрација, при намалена широчина на заварот. Ова е вообичаено за заварување на подебели елементи од материјали со повисока точка на топење.

Индиректниот поларитет, „+“ пол на електродата и „-“ пол на основниот материјал, поретко се применува, поради поинтензивното загревање на нетопливата електрода. Со овој поларитет се добиваат поплатки, а пошироки завари. Индиректниот поларитет е погоден за заварување на материјали кои имаат пониска точка на топење и се склони да образуваат оксиди, како што е алуминиумот.

Наизменичната струја, како и еднонасочната струја со индиректен поларитет, вообичаено се користи за заварување на материјали кои градат тешкотопливи тврди оксиди, како алуминиумот, магнезиумот и нивните легури. При наизменична струја, нетопливата електрода помалку се загрева, поради наизменичното менување на поларитетот. Заварот добиен со наизменична струја по облик и димензии е помеѓу заварите добиени со директен и индиректен поларитет.



Сл. VI.20. Влијание на видот на струјата и поларитетот на обликот на заварот

При заварувањето со наизменична струја треба да се работи со висока фреквенција, од високофреквентен генератор, за да се осигура стабилно горење на лакот. Ако се работи со ниска фреквенција на струјата, 50Hz, фреквенција од градската мрежа, во една секунда настануваат 100 палења и гасења на лакот, поради што процесот е нестабилен, а со тоа и квалитетот на заварот е лош.

Палењето на лакот, помеѓу нетопливата волфрамова електрода и основниот материјал најчесто се прави безконтактно, без допир, без куса спој. Ова се прави со отскокање на искра од електродата, при протекување на струја, високонапонски пулс од високофреквентниот генератор. Поради нискиот потенцијал за јонизација на заштитниот гас, аргонот, се ослободуваат електрони и се јонизира просторот помеѓу електродите, со што се воспоставува лакот. Безконтактно палење на лакот се врши при заварување со еднонасочна и наизменична струја. Бидејќи високонапонските импулси се опасни за заврвачот, за иницирање на лакот најчесто се користи високофреквентна струја, која по воспоставување на лакот се исклучува, поради нејзиното штетно дејство врз радиоспоевите во околината.

Кај современите уреди за ТИГ се применува и палењето на лакот со куса спој, но при тоа волфрамовата електрода побргу се троши.

VI.3.3. Електроди за ТИГ заварување

Дијаметарот, обликот на врвот и местоположбата на електродата во пиштолот, како и легурата од која е изработена електродата за ТИГ заварување имаат големо влијание врз квалитетот на заварот.

Електродите за ТИГ заварување се во форма на кратка жица - прачка со дијаметар од 1,0; 1,6; 2,4; 3,2 и 4mm, со должина од 178mm (7").

Електродите се изработуваат од чист волфрам (W) или волфрам со додаток на 1-2%цериум (Ce), 1-4%ториум (Th), 0,8%цирконииум (Zr) или 1%лантал (La).

За заварување со еднонасочна струја најчесто се користат електроди со додаток од 2%ториум, а за заварување со наизменична струја се користат електроди со додаток на цирконииум.

| Ознака | Хемиски состав | Боја |
|--------|----------------|------------------|
| W | 100%W | зелена |
| WC 10 | 99%W, 1%Ce | виолетова |
| WC 20 | 98%W, 2%Ce | сива |
| WT 10 | 99%W, 1%Th | жолта |
| WT 20 | 98%W, 2%Th | црвена |
| WT 30 | 97%W, 3%Th | светло виолетова |
| WT 40 | 96%W, 4%Th | портокалова |
| WZ 8 | 99,2%W, 0,8%Zr | бела |
| WL 10 | 99%W, 1%La | црна |

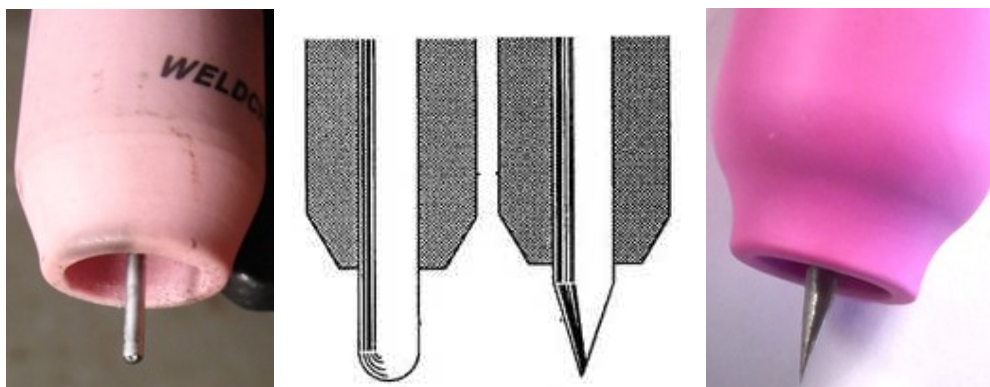


Обликот на врвот на електродата може да биде полутопчест, при заварување со наизменична струја и конусен при заварување со еднонасочна струја, слика VI.21.

Полутопчестиот облик на врвот се добива со топење на електродата. Се воспоставува електричен лак помеѓу необработениот врв на електродата и дебело бакарно парче. Се користи еднонасочна струја со индиректен поларитет, „+“ на електродата. Врвот на електродата се загрева и почнува да се топи, при што се формира полутопчест облик.

Конусниот облик на врвот се добива со брусеење, со посебни брусилки за таа намена. Врвот на конусот треба да е симетричен и да завршува во точка. Височината на конусот зависи од струјата на заварување. Така за мали струи височината е од 1,5

до 3 пати од дијаметарот на електродата, а за нормални јачини на струјата височината на конусот е околу 1,5 пати од дијаметарот на електродата.



Сл. VI.21. Врв на електродата за ТИГ заварување

Должината на извлекување на електродата надвор од керамичкиот млазник зависи од видот на заварот која се изведува. Така при изведба на сочелен завар слободниот крај е до 5mm, а при изведба на аголен завар слободниот крај на електродата е поголем од 5mm. Поголемиот слободен крај на електродата предизвикува отежната заштита на истата и прекумерно предгреење поради зголемувањето на електричниот отпор.

VI.3.4. Примена на ТИГ заварувањето

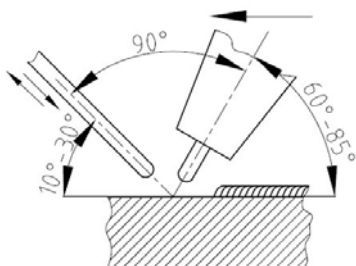
ТИГ техниката се применува за заварување на потенки елементи од високолегирани челици, алуминиум и алуминиумски легури, бакар и бакарни легури и слични материјали, слика VI.24.

При подготовката на елементите од овие материјали за заварување со ТИГ потребно е аголот на закосување да е поголем од 60° , поголем од закосувањето за соодветни дебелини кај РЕЛ. Ова е поради помалата пенетрација, која се постигнува со ТИГ, поради помалата густина на струјата.

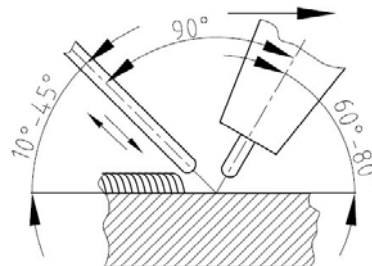
Како и кај заварувањето со гасен пламен и при ТИГ заварувањето може да биде во лево или во десно.

Лева насока на заварување се нарекува поради насоката на формирање на заварениот спој во однос на операторот. Горилникот е насочен кон надојдувачките зони од заварот, односно ладните слоеви, при што металот е помалку топлински оптоварен, слика VI.22.а. Ова ја одредува примената на оваа техника на работа, се заваруваат предмети со мали дебелини, често и без употреба на додатен материјал.

Заварувањето во десно се одликува со десна насока на напредување на заварот во однос на операторот, слика VI.22.б. Горилникот е насочен кон растопената вана, со што се јавува поголема концентрација на топлина во растопот и, како резултат на тоа, се постигнува подлабока пенетрација. Ова овозможува заварување на подебели елементи во однос на заварувањето во лево.



Сл. VI.22.а. Заварување на лево



Сл. VI.22.б. Заварување на десно

Техниката на заварување може да се изведе без додатен материјал за потенки елементи и со додатен материјал за подебели елементи, слика VI.23.



ТИГ заварување без додатен материјал

ТИГ заварување со додатен материјал

Сл. VI.23. Рачно ТИГ заварување



ТИГ заварување на алуминиум

ТИГ заварување на високолегиран челик

Сл. VI.24. Рачно ТИГ заварување на разновидни материјали

VI.4. Заварување со електричен лак со топлива електрода во заштитна атмосфера од смеси од гасови, МИГ/МАГ заварување

VI.4.1. Основи на МИГ/МАГ заварувањето

Поради обемиот и разновиден вид на материјали кои се заваруваат, вообичаено е за истите да се користат и други заштитни гасови, освен инертните чист аргон или хелиум и активниот јаглерод диоксид. Затоа се наметнува оправданоста од постоење на гасни смеси во кои ќе има инертни и активни гасови, во однос соодветен на природата на заваруваните материјали. Така на пример за заварување на челик со легирачки елементи до 4,5% се користи заштита од CO_2 или МАГ заварување, а за челиците со легирачки елементи поголема од 6% се користи заштита од инертни гасови МИГ заварување или ТИГ заварување. Но со оглед на блискоста во хемискиот состав и особините на овие два материјали, несомнено се

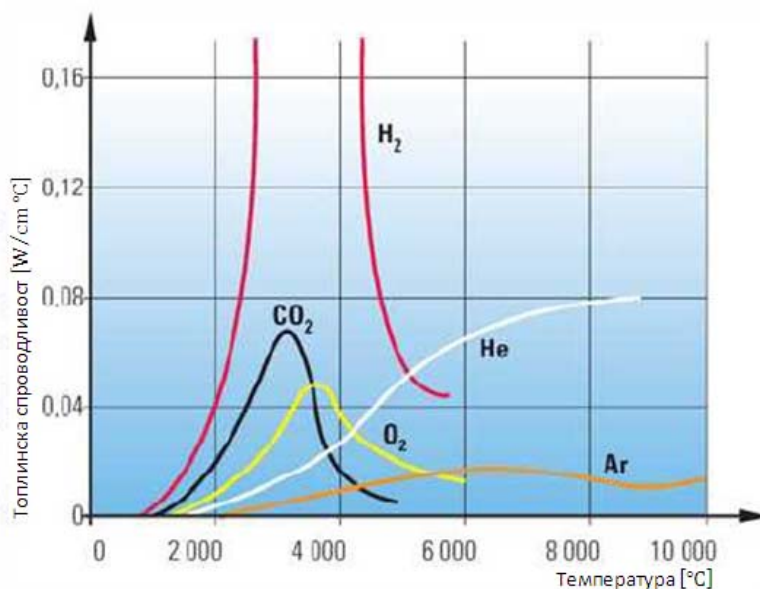
наметнува заклучокот дека најоптимално заварување би било во заштита од смеса од активен и инертен гас.

Основите на заварувањето во заштитна атмосфера од смеси на гасови, МИГ/МАГ заварувањето се идентични како и основите на МИГ, односно МАГ заварувањето. Идентични се уредите за заварување и користениот поларитет за заварување, видовите пренос на растопениот додатен материјал, како и влијанијата на режимот на заварување.

Тука главен акцент се става на дејството и влијанието на составот на заштитната гасна смеса.

Заштитните гасови дејствуваат специфично на електричниот лак и, како резултат на тоа, се јавуваат различни облици на попречниот пресек на заварите. Тоа влијание е пред сè поради различната природа и однесување на гасот при заварувањето, при зголемени температури. Тука пред сè најголемо влијание има топлинспроводливоста, густината и активноста на гасот.

На сликата VI.25. е прикажана промената на топлинспроводливоста на некои заштитни гасови со зголемување на температурата.



Сл. VI.25. Промена на топлинспроводливоста со зголемување на температурата

Забележливо е дека кај едноатомните гасови, аргонот и хелиумот, со зголемување на температурата топлинспроводливоста се зголемува.

Кај повеќеатомните гасови или соединенија, како јаглерод диоксидот, водородот и кислородот, со зголемување на температурата до одредена вредност и топлинспроводливоста се зголемува. Со постигнување на температурата на разлагање, дисоцијација на гасовите, со понатамошно зголемување на температурата топлинспроводливоста се намалува. Но се менува и природата на заштитните гасови, од инертни во активни – оксидирачки или редуцирачки.

Покрај од топлинспроводливоста, примената на гасовите зависи и од другите нивни карактеристики и набавната цена.

Така веќе видовме како влијае составот на гасот, аргон или хелиум, при МИГ-МАГ заварувањето, слика VI.3. Истото влијание гасовите го имаат и при ТИГ заварување, слика VI.18. На сликите VI.3 и VI.18 се гледа разликата во обликот на електричниот лак кој гори во заштита од аргон и во заштита од хелиум. Поради поголемата топлинспроводливост на хелиумот, лакот е доста поширок, споредено со лакот кој гори во заштита од аргон. Соодветно на тоа и при ТИГ во заштита од аргон се добива тесен и длабок завар, а во заштита од хелиум се добива широк и плиток завар.

VI.4.2. Видови гасни смеси и нивна примена

Гасните смеси кои се применуваат во заварувањето, според бројот на компонентите може да бидат: двојни или бинарни, тројни и четворни.

Од групата на двојни смеси, најупотребувани се комбинациите од Ar-O₂ и Ar-CO₂, табела VI.2. Во употреба се и двојните смеси од комбинациите: (70÷95)%CO₂ + (5÷30)%O₂, како и 30%Ar + 70%He, 95%Ar + 5%H₂ и 85%Ar + 15%H₂.

Табела VI.2. Двојни заштитни гасни смеси Ar + O₂ и Ar + CO₂

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| 99%Ar + 1%O ₂ | 98%Ar + 2%CO ₂ |
| 98%Ar + 2%O ₂ | 90%Ar + 10%CO ₂ |
| 97%Ar + 2%O ₂ | 85%Ar + 15%CO ₂ |
| 95%Ar + 5%O ₂ | 84%Ar + 16%CO ₂ |
| 92%Ar + 8%O ₂ | 82%Ar + 18%CO ₂ |
| 88%Ar + 12%O ₂ | 80%Ar + 20%CO ₂ |
| | 75%Ar + 25%CO ₂ |
| | 70%Ar + 30%CO ₂ |

Тројните гасни смеси се среќаваат како комбинации на: Ar + CO₂ + O₂, Ar + He + CO₂ и Ar + He + O₂. Некои од најприменуваните тројни гасни смеси се дадени во табелата VI.3.

Табела VI.3. Тројни заштитни гасни смеси

| |
|---|
| 93%Ar + 5%CO ₂ + 2%O ₂ |
| 90%Ar + 5%CO ₂ + 5%O ₂ |
| 89%Ar + 5%CO ₂ + 6%O ₂ |
| 84%Ar + 13%CO ₂ + 3%O ₂ |
| 83%Ar + 14%CO ₂ + 3%O ₂ |
| 80%Ar + 15%CO ₂ + 5%O ₂ |
| 78%Ar + 20%CO ₂ + 2%O ₂ |
| 7,5%Ar + 90%He + 2,5%O ₂ |

Од четворните гасни смеси најприменувани се комбинациите од: (64÷65)%Ar + 30%He + (4÷5)%CO₂ + 1%H₂.

Составот на гасната смеша влијае на металуршката структура на заварот. Овој ефект е последица на реакцијата на растопениот метал со гасните компоненти од гасната смеша. Реакцијата настанува во случај кога во гасната смеша постојат активни компоненти, кога се работи со заштита од: Ar + O₂, Ar + CO₂ или CO₂ преку дејството на кислородот. Со зголемување на активните компоненти, во однос на инертните, гасната смеша има зголемена тенденција кон реакција со растопениот метал. На пример, гасната смеша од Ar + CO₂ има пониска оксидирачка моќ, отколку чистиот CO₂. Друг ефект е збогатувањето на заварот со јаглерод при разлагањето на CO₂, кое е особено неповолно за аустенитните не'ргосувачки челици, со што им се смалува антикорозивноста.

За заварување на високолегирани аустенитни челици најповолни се гасните смеси: 75%Ar + 25%CO₂, 90%Ar + 5%CO₂ + 5%O₂, 83%Ar + 14%CO₂ + 3%O₂, 99%Ar + 1%O₂, 98%Ar + 2%O₂.

Високолегираните феритни челици најдобро се заваруваат со следните смеси: 90%Ar + 10%CO₂, 85%Ar + 15%CO₂, 84%Ar + 16%CO₂, 80%Ar + 20%CO₂, 75%Ar + 25%CO₂, 93%Ar + 5%CO₂ + 25 O₂, 90%Ar + 5%CO₂ + 5%O₂, 83%Ar + 14%CO₂ + 3%O₂, 78%Ar + 20%CO₂ + 2%O₂, 94%Ar + 6%O₂.

Најдобри резултати во заварувањето на алуминиумот и неговите легури се постигнува со смесите: 70%Ar + 30%He и 30%Ar + 70%He.

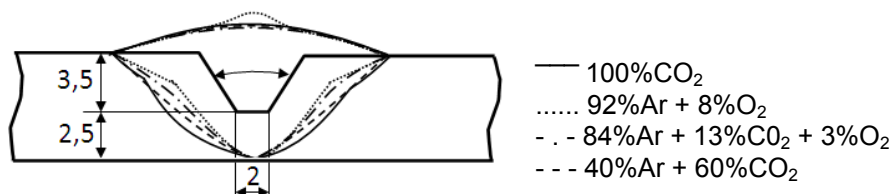
Во табелата VI.4. дадени се извадоци од стандардот DIN EN 439, за заштитните гасни смеси кои се користат за МИГ/МАГ заварувањето.

Табела VI.4. Заштитни гасни смеси за МИГ/МАГ заварување, според DIN EN 439

| Рб | Заштитен гас / гасна смеса | Ознака | Хемиско однесување | Употреба за | Пренос на растопениот ДМ во |
|----|---|--------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 100%Ar | I1 | инертен | сите метали | млаз и пулсен лак |
| 2 | 100%He | I2 | инертен | сите метали | млаз и пулсен лак |
| 3 | Ar + (25÷75)%He | I3 | инертен | метали со помала точка на топење | млаз и пулсен лак |
| 4 | 100%N ₂ | F | инертен | бакар | млаз |
| 5 | Ar + 0,5%O ₂ | M1-3 | многу слабо оксидирачки | алуминиум и неговите легури | млаз и пулсен лак |
| 6 | Ar + 1%O ₂ | M1-3 | многу слабо оксидирачки | нисколегирани хром-никел челици | млаз и пулсен лак |
| 7 | Ar + 2%O ₂ | M1-3 | слабо оксидирачки | негирани челици | млаз и пулсен лак |
| 8 | Ar + (3÷5)%O ₂ | M2-2 | оксидирачки | јаглородни и нисколегирани челици | млаз |
| 9 | Ar + (20÷50)%CO ₂ | M3-1 | оксидирачки | јаглородни и нисколегирани челици | млаз и кус лак |
| 10 | CO ₂ | C1 | оксидирачки | јаглородни и нисколегирани челици | млаз и кус лак |
| 11 | Ar + (5÷20)%CO ₂ | M2-1 | оксидирачки | јаглородни и нисколегирани челици | млаз и кус лак |
| 12 | Ar + 15%CO ₂ +6%O ₂ | M2-4 | оксидирачки | јаглородни и нисколегирани челици | млаз и кус лак |
| 13 | Ar + 18%CO ₂ +2%O ₂ | M2-4 | оксидирачки | јаглородни и нисколегирани челици | млаз и кус лак |
| 14 | CO ₂ + 20%O ₂ | C2 | оксидирачки | конструктивни челици | млаз, кус лак и глобуларно |
| 15 | Ar + (5÷10)%H ₂ | R1 | оксидирачки | високолегирани челици | млаз и кус лак |
| 16 | 90%He + 7,5%Ar + 2,5%CO ₂ | | слабо оксидирачки | нерѓосувачки челици | кус лак |
| 17 | (60÷70)%He + (25÷35)%Ar + (4÷5)%CO ₂ | | оксидирачки | нисколегирани челици | кус лак |

VI.4.3. Влијание на составот на гасната смеса врз формата на заварот

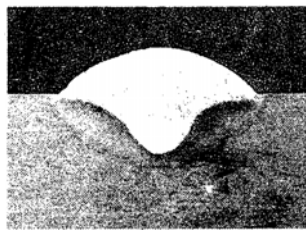
Најголемо влијание врз формата на заварот има топлинопроводливоста на заштитниот гас, односно взаемниот однос на компонентите во гасната смеса. Поголемуто учество на аргонот во смесата ќе доведе до појава на завар со помала широчина и поголема длабочина. Поголемуто учество на хелиумот или јаглород диоксидот во смесата ќе доведе до појава на завар со поголема широчина и помала длабочина, слика VI.26 и слика VI.27.



Сл. VI.26. Зависност на формата на заварот од гасната смеса



89%Ar + 6%O₂ + 5%CO₂



80%Ar + 20%CO₂

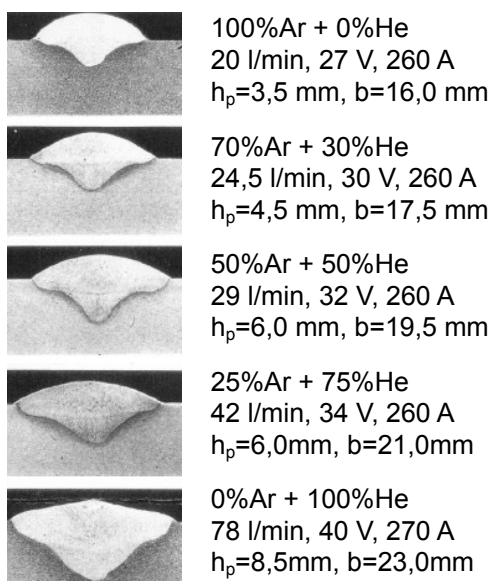


100%CO₂

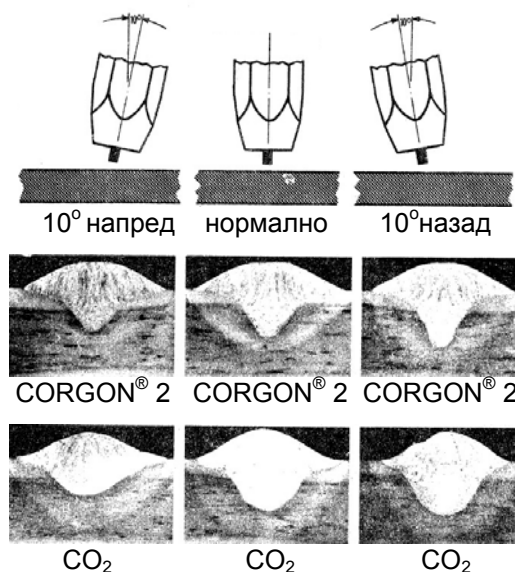
Сл. VI.27. Макроснимки на завари изведени со различни заштитни гасови

Многупати претходно анализираниите разлики во заштитата од аргон и хелиум и влијанието на учеството на аргонот или хелиумот во гасната смеса, врз обликот на заварот, врз неговата длабочина и широчина, прикажани се на сликата VI.28. Макроснимките се на завари изведени со МИГ заварување на основен материјал AlMg3, со додатен материјал со $d_e=1,6\text{mm}$, слободен крај на жицата $h=17\text{mm}$, брзина на дотур на жицата $V_e=9,1\text{m/min}$ и брзина на заварување $V_z=44\text{cm/min}$.

На сликата VI.29. е прикажано взаемното влијание на составот на гасната смеса и аголот на наклонот на горилникот во однос на насоката на заварување. Подлабока пенетрација се добива кога оската на горилникот прави остар агол со насоката на заварување. Гасната смеса CORGON[®] 2 е составена од 84%Ar + 13%CO₂ + 3%O₂. Најмала пенетрација се јавува кога оската на горилникот прави тап агол со насоката на заварување, бидејќи лакот е насочен кон надојдувачките, ладни зони од основниот материјал.



Сл. VI.28. Влијание на %Ar + %He на обликот на заварот



Сл. VI.29. Влијание на гасната смеса и аголот на наклонот на горилникот

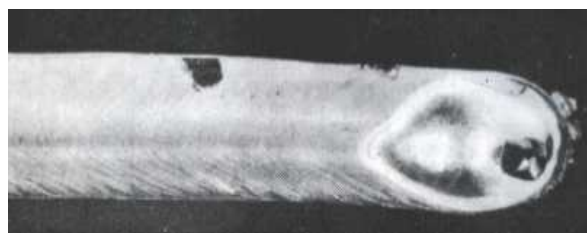
Составот на гасната смеса, покрај на обликот на заварот, има големо влијание и врз изгледот на лицето на заварот. Лицето на заварот изведен во заштита од аргон е со полош квалитет и променлива широчина, слика VI.30.а. и VI.31.а. Со додавање на мала содржина на оксидирачки гасови, најчесто кислород, се менува површинскиот притисок врз растопеното заварувачко купатило и лицето на заварот е со повисок квалитет и рамномерна широчина, слика VI.30.б. и VI.31.б.

На слика VI.30. прикажан е изгледот на лицето на заварот изведен со МИГ на високолегиран челик во заштита од 100%Ar и заштита од 92%Ar + 8%O₂.

На слика VI.31. прикажан е изгледот на лицето на заварот изведен со МИГ на јаглороден челик во заштита од 100%Ar и заштита од 95%Ar + 5%O₂.



а. МИГ заварено со 100%Ar



б. МИГ заварено со 92%Ar + 8%O₂

Сл. VI.30. Изглед на лицето на завар на високолегиран челик



а. МИГ заварено со 100%Ar



б. МИГ заварено со 95%Ar + 5%O₂

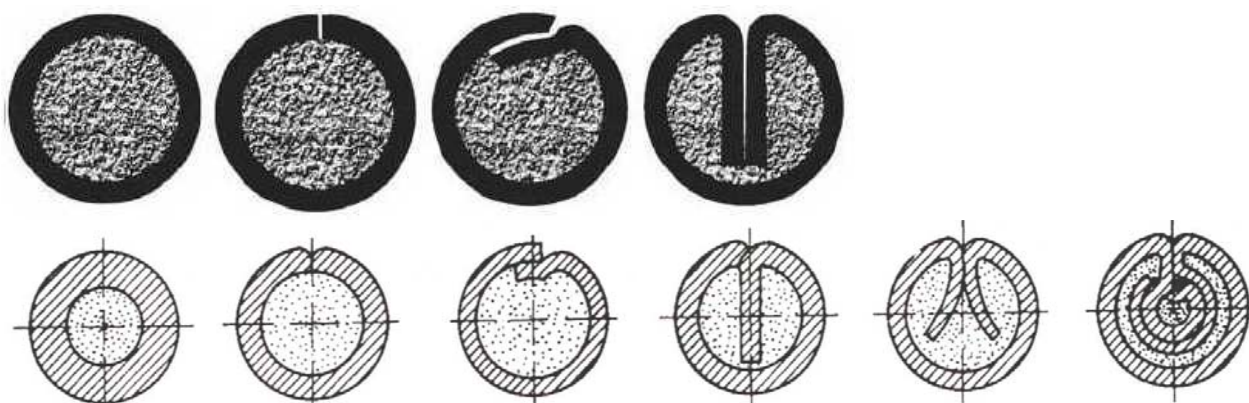
Сл. VI.31. Изглед на лицето на завар на јаглороден челик

VI.5. Заварување со електричен лак со топлива полнета електродна жица

Заварување со полнети жици е техника кај која лакот гори во заштитна атмосфера од гасови кои се ослободуваат при топењето на прашокот со кој е исполнета жицата или со гас донесен на идентичен начин како кај МИГ/МАГ заварувањето.

Лакот гори помеѓу основните материјали и електродната полнета жица. Жицата е полна од внатрешната страна со прашок идентичен како и облогите на електродите за РЕЛ заварување, најчесто рутилен или базичен. Во поново време полнењето на електродната жица се изведува и со додаток од метален прашок, со што се постигнува поголема продуктивност и легирање на заварот.

Електродната жица може да се изведе со најразлични форми на попречните пресеци, некои од нив прикажани на сликата VI.32.



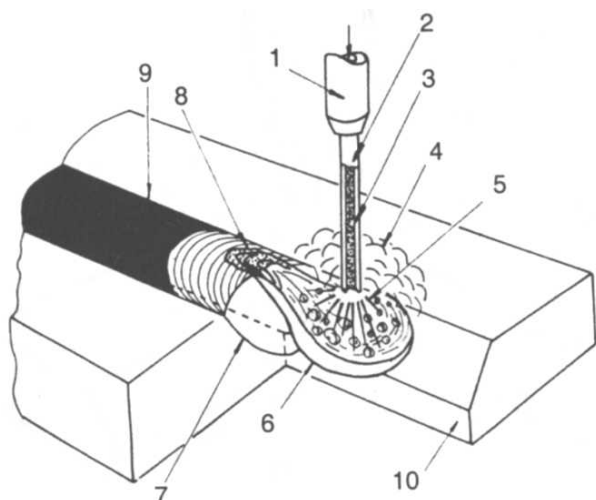
Сл. VI.32. Изглед на попречниот пресек на полнета жица

Полнетите жици не се стандардизирани по МКС стандардите. Тие може да бидат произведени како безрабни со извлекување и рабни со деформација - свиткување и превиткување од лента.

Зависно од начинот на производство на жицата се разликува и степенот на полнење или односот на површината на металниот дел од пресекот и пресекот полн со прашок. Така безрабните жици се покрути и полнењето е од 12÷14%, додека кај рабните жици тој степен зависи од изведбата на попречниот пресек, така челно затворените жици имаат полнење од 18÷24%, додека преклопно споените имаат од 30÷45% полнење.

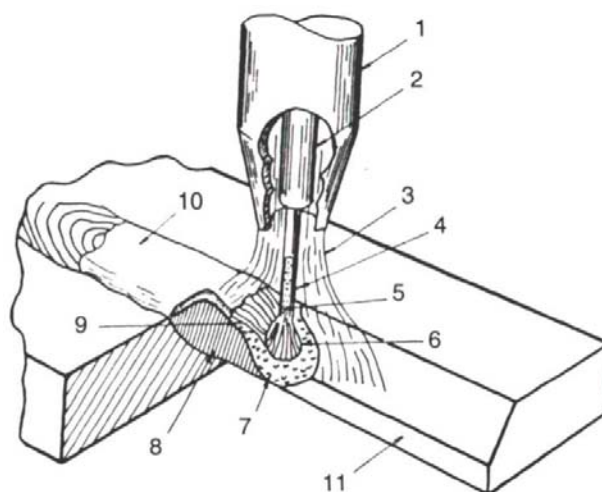
Дијаметрите во кои се изведуваат полнетите жици се од 1,2 до 5mm, но најчесто употребувани се жиците со дијаметри од 1,2 до 3,2 mm.

Заварувањето со полнети жици може да се изведе како заварување без дополнителен заштитен гас или заварување со самозащитна жица, слика. VI.33.а. и како заварување со дополнителен заштитен гас, слика. VI.33.б., најчесто CO₂ или гасна смеса 75%Ar + 25%CO₂.



а. Заварување без заштитен гас

1. контактна чаура, 2. електродна жица,
3. полнење на електродата, 4. заштитен гасен облак, 5. електричен лак, 6. растопен материјал, 7. зацврснат материјал, 8. течна троска, 9. зацврсната троска, 10. основен материјал



б. Заварување со заштитен гас

1. млазница за гас, 2. контактна чаура, 3. заштитен гас, 4. електродна жица, 5. полнење на електродата, 6. електричен лак, 7. растопен материјал, 8. зацврснат материјал, 9. течна троска, 10. зацврсната троска, 11. основен материјал

Сл. VI.33. Изведби на заварувањето со полнети жици

Во случај кога не се користи заштитен гас, полнењето на жицата помеѓу другото содржи материји кои создаваат заштитни гасови, како и поголема количина на дезоксидатори. Дел од полнењето на жицата се материји кои создаваат троска, која го штити заварот од околината и го забавува неговото ладење.

Заварувањето со полнети жици има предности споредено со РЕЛ со обложени електроди и МИГ/МАГ со масивна – полна метална жица. Во однос на двете техники, ова заварување се одликува со голема продуктивност и подобар квалитет на заварот, поради дополнителното дејство на прашокот од полнењето, така што денес оваа техника е се' повеќе применувана во праксата.

Недостаток на техниката е поскапата опрема за заварување, како изворите на струја за заварување, кои најчесто работат со пулсирачка струја, така и посовфистицираниот систем за котинуиран дотур на жицата, кој поради чувствителноста на жицата на деформации, е поблаг, понежен и притисокот го пренесува преку поголем број парови од фриксиони тркала. Горилникот за заварување со дополнителна гасна заштита е идентитечен како и горилникот за МИГ/МАГ заварување, но горилникот за заварување без дополнителна гасна заштита е со посложена изведба.

Заварувањето со полнети жици се изведува рачно, полуавтоматско или автоматско, а се заваруваат нискојаглеродни и нисколегирани челици, а поретко се заваруваат високолегирани челици.

Поради помалата метална површина од пресекот на полнетата жица, споредено за исти дијаметар кај масивните – полни жици, при иста струја на заварување, тука брзината на топење на жицата е значително поголема, а со тоа и брзината на дотур на жицата и брзината на заварување.

На сликата VI.34. е прикажано заварувањето со полнета жица во гасна заштитна средина.



Сл. VI.34. Заварување со полнета жица

VI.6. Заварување со електричен лак со топлива електрода под прашок, ЕПП заварување

VI.6.1. Основи на ЕПП заварувањето

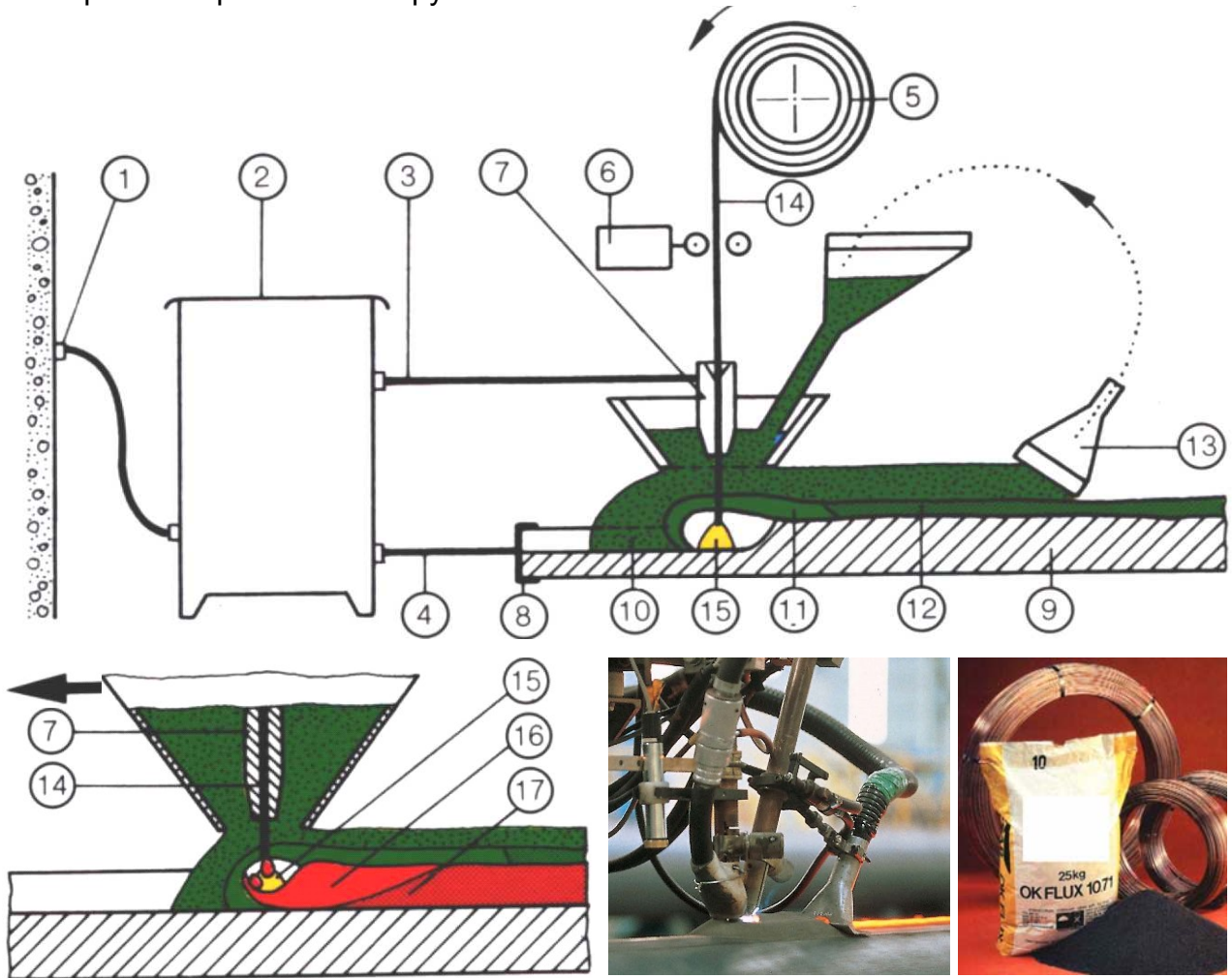
Заварувањето под прашок, ЕПП заварувањето, претставува целосно автоматизиран процес, кај кој електричниот лак се одржува помеѓу необложена топлива жица – електродата и работниот материјал. Електричниот лак, крајот на електродата и растопениот метал – заварувачкото купатило, се покриени со фино гранулиран заштитен прашок, кој ја има истата улога како и облогата на електродата кај РЕЛ, слика VI.35.

Додавањето на жицата е автоматизирано, преку посебен уред, со брзина која е зависна од јачината на струјата на заварување.

Заштитниот прашок се донесува преку цевка од сад, кој се наоѓа во горниот дел на уредот, а неговиот дотур до работниот предмет се врши под дејство на гравитацијата. Битно е доводот на прашокот да биде постојан – непрекинат, заради непрекината и ефикасна заштита по целата должина на заварот. Протокот – количината на додадениот прашок треба да биде доволен за целосно покривање на лакот, заварувачкото купатило и стврднатиот дел од заварот.

Заштитниот прашок го спречува контактот со атмосферата, како и распрскувањето на растопениот метал. Поради тоа, лицето на заварот е со висок квалитет, мазно и рамномерно, слика VI.36.а. Дел од прашокот се топи, плива над растопениот метал, и во фазата на ладење се стврднува во вид на цврста троска, која го штити заварот од реакција со атмосферата. Воедно заштитниот прашок го забавува процесот на ладење, со што се создаваат услови за добивање на погодна металуршка структура на заварот и неговата околина, слика VI.36.б.

Делот од прашокот кој не е растопен, рачно или со шмукач се враќа во садот и повторно се користи за заварување.



- | | |
|---|---|
| 1. Приклучок за градска мрежа | 10. Заштитен прашок |
| 2. Уред за заварување | 11. Растопен заштитен прашок – течна троска |
| 3. Електричен проводник за електродната жица | 12. Стврдната троска |
| 4. Електричен проводник за работниот предмет | 13. Шмукач на нерастопениот заштитен прашок |
| 5. Макара со додатен материјал, жица | 14. Електродна жица |
| 6. Уред за континуирано додавање на жицата | 15. Електричен лак |
| 7. Контактна чаура – цевка за довод на струја | 16. Заварувачко купатило – растопен метал |
| 8. Приклучок за работниот предмет | 17. Стврднат метал на заварот |
| 9. Работен предмет, основен материјал | |

Сл. VI.35. Основни елементи при ЕПП заварување



а. Изглед на лицето на заварот



б. Макроснимка на заварот и ЗВТ

Сл. VI.36. Завар изведен со ЕПП заварување

VI.6.2. Заштитен прашок и негово влијание

Заштитниот прашок кај ЕПП заварувањето ги има истите улоги како и облогата на електродата кај РЕЛ.

Според начинот на производство, покривните прашоци се изработуваат како топени и нетопени прашоци.

Топените прашоци се изработуваат од силикати со топење во печки. После топењето, масата се стврднува и се дроба на ситни зрна со потребна гранулација.

Нетопените прашоци претставуваат механичка смеса на прашкообразни и зрнести материјали: метали, феротопители, карбонати и друго. Зрната на прашокот се составени од сите или од некои од овие материјали, кои во прашокот се врзуваат со средства за врзување. Овие прашоци се нарекуваат уште и керамички или агломерирани прашоци.

Друга поделба на прашоците е според нивната хемиска особеност, на базични и кисели. Базичните прашоци овозможуваат базичен процес на заварување, како и при работа со базични обложени електроди кај РЕЛ. Со овие прашоци се добиваат споеви со висока јакост и подобри деформациони карактеристики.

Според хемискиот состав, присуството на одделни елементи, прашоците може да се поделат на:

- високосилициумски, со содржина на SiO_2 до 45%,
- нискосилициумски, со содржина на SiO_2 до 0,5%,
- безсилициумски,
- високомангански со содржина на MnO над 30%,
- средномангански со содржина на MnO од 15 до 30%,
- нискомангански.

Какви прашоци одговараат за поедини материјали?

При заварување на нискојаглеродните челици се одвива интензивно испарување на јаглеродот и согорување на манганот, заради што прашокот, заедно со електродната жица, треба да извршат компензација на загубата на манганот во металот на заварот и да ја спречи реакцијата на јаглеродот во оксид. Заради тоа, за заварување на нискојаглеродните и нисколегираните челици, прашокот и електродата треба да депонираат во металот на заварот манган и силициум, за да се добие спој со висока јакост, без пори и пукнатини. Силициумот го спречува оксидирањето на јаглеродот и појавувањето на пори во заварот. При ниска содржина на манган во заварот се јавува склоност кон појава на пукнатини.

Примената на нискојаглеродна електрода за заварување на нискојаглеродни челици може да се допушти само во комбинација со високосилициумски и мангански прашок. Спротивно, при употреба на безмангански прашок, овие челици смеат да се заваруваат со специјална електрода со зголемена содржина на манган.

Прашокот мора да биде заштитен од влага, во спротивно влагата тешко се отстранува и во металот на заварот постои опасност од појава на пори.

Со зголемена содржина, во прашокот, на средствата за стабилизација на заварувачкиот процес, се зголемува должината на лакот, а со тоа и напонот на лакот, заради што расте широчината на заварот, а се смалува длабочината на пенетрацијата. Зголемената специфична маса на прашокот предизвикува смалување на гасниот простор во растопената троска околу лакот. Како последица на тоа, лакот помалу се раширува, се зголемува притисокот на гасниот простор и растопениот метал полесно се истиснува од под лакот. Слојот на растопен метал под лакот е со помала дебелина, а со тоа се подобрува топлинската размена меѓу лакот и основниот метал. Од тоа може да се заклучи дека се зголемува длабочината на пенетрација и се намалува широчината на заварот.

VI.6.3. Уреди за ЕПП заварување и вид на електрична струја

Уредот за ЕПП заварување, и деталниот приказ на заварувачката глава прикажани се на слика VI.35. Уредот за ЕПП заварување најчесто е автоматски, слика VI.37, истиот се состои од:

- заварувачка глава, преку која се додава електродата во заварувачката зона,
- механизам и шини за движење на лакот во насоката на заварување,
- сад и цевковод за дотур на заштитен прашок,
- командна кутија за избор и регулирање на режимот на заварување,
- извор на струја за заварување,
- механизам за додавање на електродната жица.



Сл. VI.37. Уреди за ЕПП заварување

Изворите на струја за ЕПП заварување најчесто се исправувачи, а поретко трансформатори.

Примарните барања што треба да ги задоволи уредот се рамномерното топење на електродата и рамномерното додавање на електродата во зоната на заварување, односно брзината на топење да е еднаква со брзината на додавање на електродата. Според промената на брзината на топење, уредите се делат на:

- уреди со непроменлива брзина на додавање на електродата,
- уреди со променлива брзина на додавање на електродата, во зависност од моментната вредност на напонот на лакот.

Заварувачките уреди со непроменлива брзина на топење работат со саморегулирачки режим на лакот со намалување на јачината на струјата при зголемување на должината на лакот.

Заварувачките уреди со променлива брзина на топење, работат со спротивен процес на регулација, брзината на додавање на електродата се регулира во зависност од напонот на лакот.

Еден автоматски уред за ЕПП заварување вообичаено не е наменет за поголем број дијаметри на електродите. Ова ограничување е заради потребата од менување на заварувачката глава и механизмот за хранење со електродна жица.

Уредите за ЕПП заварување може да бидат со подвижна заварувачка глава, придвижувани со трактор, слика VI.37. Уредите може да бидат изведени и со неподвижна или подвижна заварувачка глава, кај кои заваруваните елементи се движат или мируваат. Изведбата во овој случај може да биде со конзолен, слика VI.38. или портален држач на заварувачката глава, слика VI.39., и неопходна е дополнителна опрема за движење на заваруваните елементи.



Сл. VI.38. ЕПП заварување со конзолен уред на кружен завар од внатре и надвор



Сл. VI.39. ЕПП заварување со портален уред

ЕПП заварувањето најчесто користи еднонасочна струја и поретко наизменична струја.

Заварувањето со еднонасочна струја со директен поларитет („-“ пол на електродата и „+“ пол на основниот материјал) се одликува со поголема пенетрација во заваруваниот метал, отколку со индиректен поларитет, за 40 до 50%. Од друга страна одвивањето на процесот со индиректен поларитет предизвикува смалено загревање на работниот предмет, а зголемено загревање и топење на електродата со што се зголемува брзината на депонирање на додатен материјал.

ЕПП заварувањето се одликува со длабока пенетрација и, според тоа, директниот поларитет претставува најрационално врзување, при што се смалува потребната количина додатен материјал, а со тоа и се создадени услови за заварување со голема брзина. Длабоката пенетрација овозможува и специфична подготовка на рабовите на предметите со мал попречен пресек на жлебот, а со тоа и мала потрошувачка на додатен метал по единица должина на заварот и, се разбира, техниката е поекономична. Покрај тоа, заварувањето со директен поларитет претставува добра превентива против појава на пори во заварот. Директниот поларитет, главно се применува за челни завари.

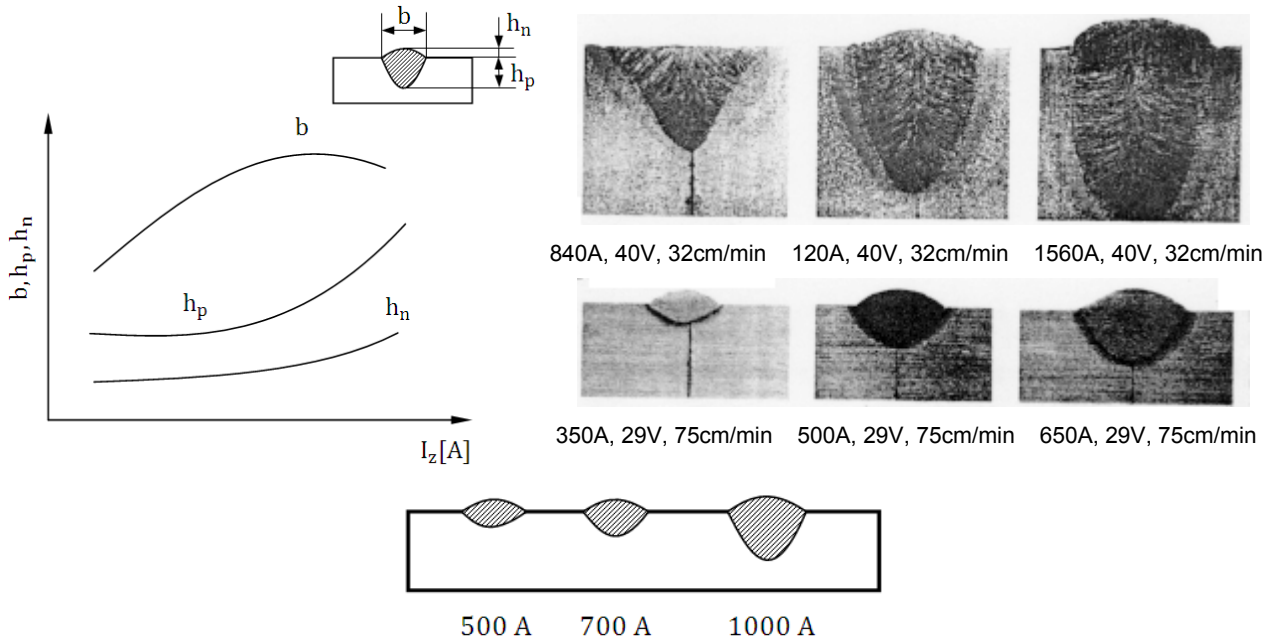
Индиректниот поларитет се применува за аголни завари и наварување каде што длабочината на пенетрација не е примарна цел туку брзината на топење на додатниот материјал.

Заварувањето со наизменична струја се применува за поедини случаи, кога постои проблем од дување на лакот при еднонасочната струја.

VI.6.4. Влијание на режимот на заварување кај ЕПП

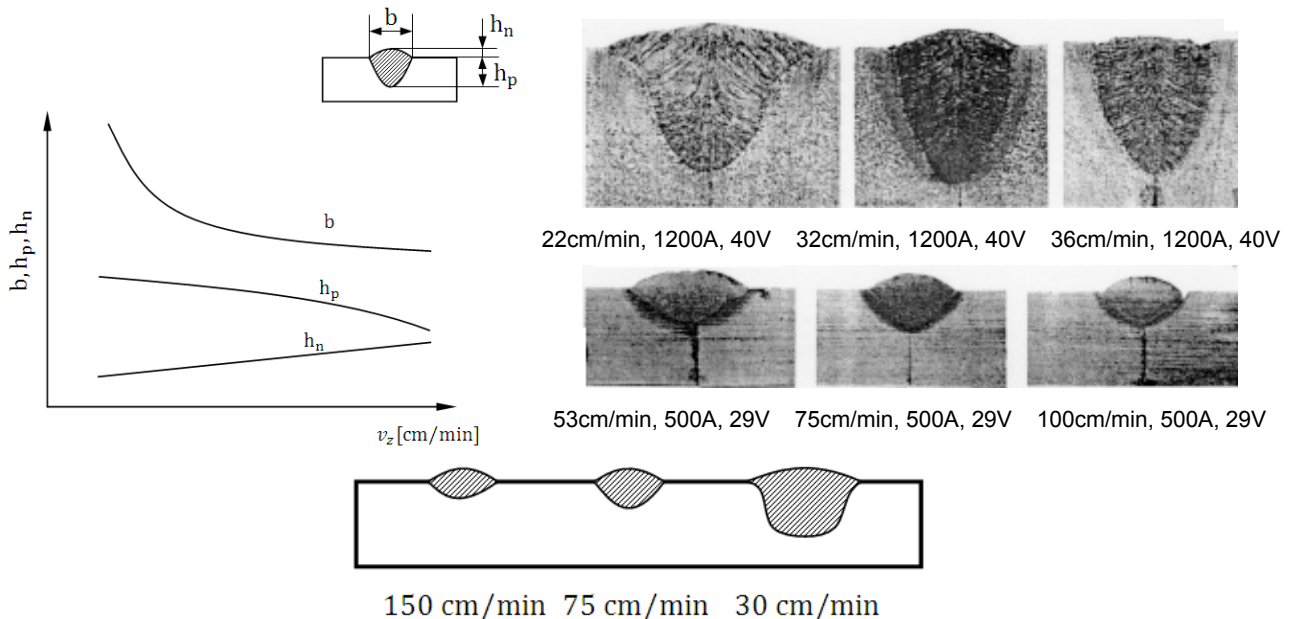
Јачината на струјата ја определува брзината на топење на електродата и длабочината на пенетрацијата. Со зголемување на јачината на струјата се зголемуваат: брзината на топење, длабочината на пенетрација и надвисувањето на заварот.

При преголема струја се добива висок и тесен завар со прегорување на рабовите. Промената на попречниот пресек на заварот во зависност од менувањето на струјата, а за непроменети други параметри, е покажано на сликата VI.40.



Сл. VI.40. Влијание на струјата за заварување врз формата на заварот

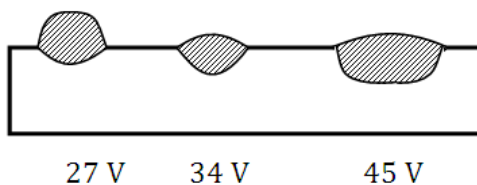
Брзината на заварување мора да биде во определен однос со јачината на струјата, бидејќи од неа зависи брзината на топење на електродата. Оптималниот однос меѓу овие два параметри дава правилно исполнување на жлебот. Промената на попречниот пресек на заварот во зависност од менувањето на брзината на движење на лакот, а за непроменети други параметри, е покажано на сликата VI.41.



Сл. VI.41. Влијание на брзината на заварување врз формата на заварот

Преголема брзина на движење на лакот предизвикува појава на бразди на рабовите на заварот. Воопшто зголемената брзина на заварување предизвикува намалување на широчината, намалување на пенетрацијата и зголемување на надвисувањето на заварот. Односно, се намалува волуменот на растопениот метал на единица должина, бидејќи брзината на топење е непроменета.

Напонот на лакот влијае на формата на попречниот пресек и на надворешниот изглед на заварот. Висината на напонот зависи од должината на лакот и составот на гасовите во атмосферата на лакот. Зголемувањето на напонот е резултат на зголемувањето на должина на лакот, а со тоа, и на широчината на лакот. Поради тоа се зголемува широчината на заварот, а се смалува пенетрацијата. Промената на попречниот пресек на заварот во зависност од менувањето на напонот на лакот, а за непроменети други параметри, е покажано на сликата VI.42.



Сл. VI.42. Влијание на напонот на лакот врз формата на заварот

Дијаметарот на електродата за непроменлива јачина на струја на заварување, дејствува смалувачки на пенетрацијата, а зголемувачки на широчината на заварот. Ова е последица на смалената густина на струјата, односно на намалувањето на специфичната силина на електричниот лак (топлинскиот флукс W/cm^2). Во табелата VI.5 е дадена взаемната зависност на дијаметарот на електродата d_e , длабочината на пенетрација h_p , јачината на струјата I_z и густината на струјата за заварување j_z .

Табела VI.5. Взаемна зависност на d_e , h_p , I_z , j_z

| d_e (mm) | Длабочина на пенетрација, h_p (mm) | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | |
| 2 | 200 | 300 | 350 | 400 | 500 | 600 | I_z (A) |
| | 64 | 104 | 127 | 143 | 157 | 200 | j_z (A/mm ²) |
| 3 | 300 | 350 | 400 | 500 | 625 | 750 | I_z (A) |
| | 43 | 50 | 57 | 71 | 89 | 107 | j_z (A/mm ²) |
| 4 | 375 | 425 | 500 | 550 | 675 | 800 | I_z (A) |
| | 29 | 35 | 40 | 44 | 53 | 64 | j_z (A/mm ²) |
| 5 | 450 | 500 | 550 | 600 | 725 | 825 | I_z (A) |
| | 23 | 26 | 28 | 31 | 37 | 42 | j_z (A/mm ²) |

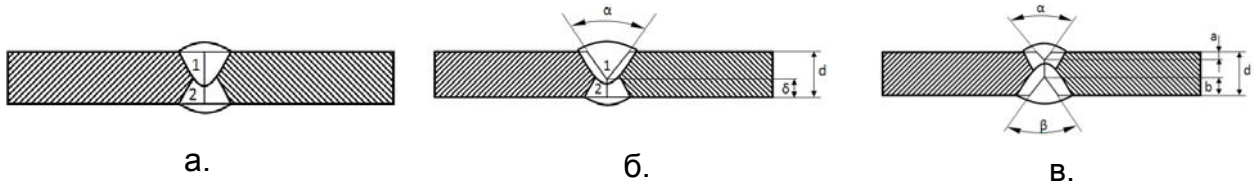
Слободниот крај на електродата има исто влијание како и при заварувањето со електричен лак со топлива електрода во заштитна атмосфера од гасови, МИГ-МАГ заварување. Со зголемување на слободната должина на електродата, се зголемува предгреењето на истата, а со тоа се зголемува брзината на топење и доаѓа до издолжување на електричниот лак. Со издолжувањето на електричниот лак се зголемува напонот на лакот, а се смалува јачината на струјата за заварување, а поради тоа се намалува длабочината на пенетрација.

VI.6.5. Подготовка на рабовите и исполнување на попречниот пресек на заварот при ЕПП заварување

Најважен елемент за специфичните форми на подготовка на рабовите за ЕПП заварувањето е можноста на техниката за достигнување на длабока пенетрација на топење на основниот материјал. Оваа можност резултира во форми на подготовка

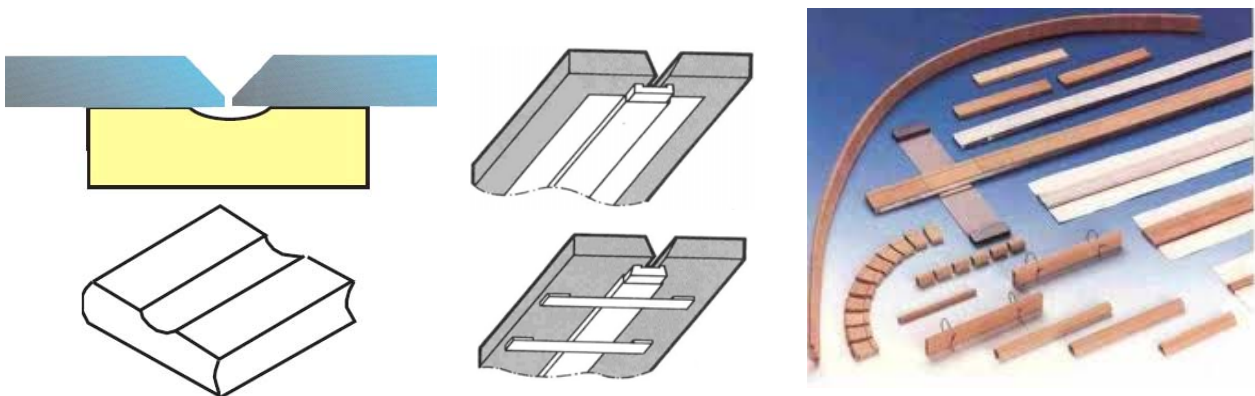
со помали закосувања на рабовите, односно закосувањето на рабовите се врши за значително подебели основни материјали.

Така за сочелните споеви, елементите со дебелина до 15mm се заваруваат без закосување на рабовите, со еден или два премини, слика VI.43.a. Подебелите елементи до 25mm, се подготвуваат со мало закосување на дел од дебелината, се прави Y подготовка, со агол на закосување од 50° до 60° и височина на грлото до 10mm, слика VI.43.б. Дебелите елементи, до 35mm, се заваруваат со двојна Y подготовка, со агол на закосување од 60° до 90° и височина на грлото преку 10mm, слика VI.43.в. Во сите случаи на подготовки нема зјај помеѓу елементите.



Сл. VI.43. Подготовка на основниот материјал за ЕПП заварување

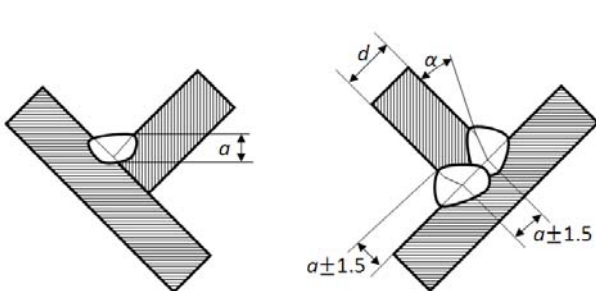
Ако се изврши подготовка за сочелно заварување со зјај, тогаш неопходна е примена на бакарни или керамички профилирани подлошки од страната на коренот, со цел спречување на појава на протекување на растопениот материјал и грешки во коренот, слика VI.44. Прицврстувањето на подлошките може да се изврши со самолеплива алуминиумска фолија или со магнетни држачи.



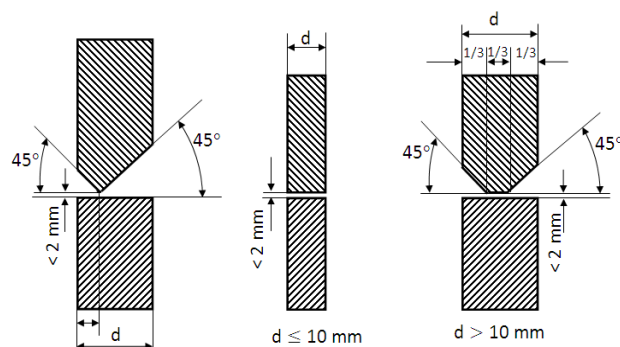
Сл. VI.44. Профилирани подлошки за оформување на коренот при ЕПП заварување

Аголните завари се изведуваат во корито или хоризонтална положба на заварување. За дебелини преку 15mm се прави закосување на рабовите на еден од заваруваните елементи, а со цел да се постигне пенетрација по целата дебелина на елементот, слика VI.45.

При заварување на хоризонтални сочелни завари во вертикална рамнина, долниот елемент не се закосува за да се спречи разливање на растопениот метал под дејство на гравитацијата, слика VI.46.



Сл. VI.45. ЕПП заварување во корито положба



Сл. VI.46. Подготовка за ЕПП заварување во вертикална положба

VI.6.6. Избор на режими на ЕПП заварување

Длабочината на пенетрација h_p , може да се изрази според следнава формула:

$$h_p = k \cdot I_z [\text{mm}]$$

каде k [$\text{mm}/100\text{A}$] е коефициент на пропорционалност кој, во зависност од видот на струјата и поларитетот, се движи од 1,0 до 2,0.

При изборот на режимите прво ограничување претставува попречниот пресек на еден премин од металот на заварот A_z , кој не треба да е поголем од 100mm^2 . Од овој услов може да се определат режимите на заварување, а земајќи ги предвид технолошките карактеристики на техниката.

За определена, барана, длабочина на пенетрација може да се добие јачината на струјата:

$$I_z = \frac{h_p}{k} [\text{A}]$$

Дијаметарот на електродата се добива од условот:

$$I_z = j_z \cdot \frac{d_e^2 \cdot \pi}{4} [\text{A}] \Rightarrow d_e = 2 \cdot \sqrt{\frac{I_z}{j_z \cdot \pi}} [\text{mm}]$$

Густијата на струјата, за одделни дијаметри на електродите, е дадена во табелата VI.6.

Табела VI.6. Густина на струјата за одделни дијаметри на електродите

| d_e [mm] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| j_z [A/mm^2] | $90 \div 400$ | $65 \div 200$ | $45 \div 60$ | $35 \div 60$ | $30 \div 50$ |

Брзината на заварување е:

$$V_z = \frac{C_t \cdot I_z}{100 \cdot A_z \cdot \gamma} [\text{m/h}]$$

каде што вистинскиот коефициент на топење C_t е збир од коефициентот на топење на собна температура C_{t0} и зголемувањето на коефициентот на топење поради предгревањето на жицата ΔC_t , поради проток на струја од контактната цевка до врвот на електродата, односно:

$$C_t = C_{t0} + \Delta C_t [\text{gr / Ah}]$$

Коефициентот на топење на собна температура C_{t0} , зависно од видот на струјата и поларитетот се определува како:

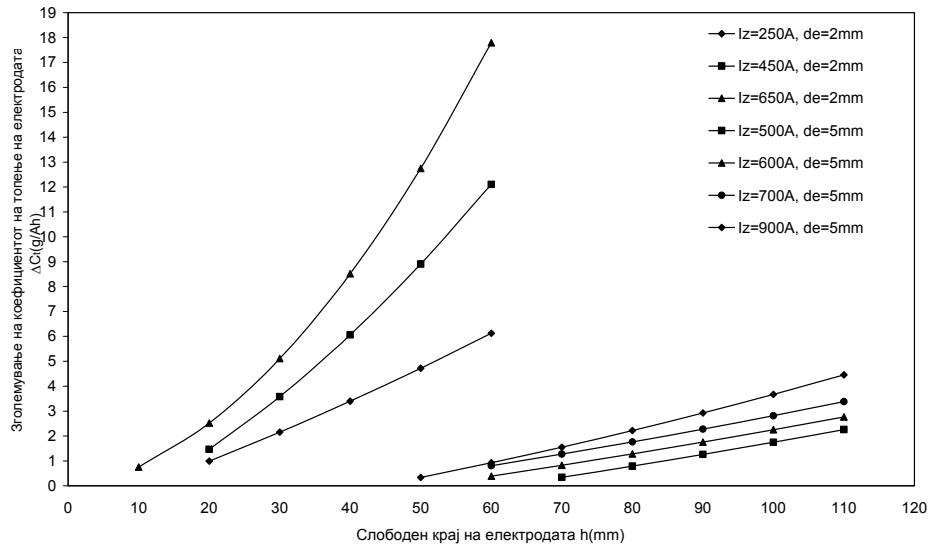
$$C_{t0} = 11,6 \pm 0,4 [\text{g / Ah}] \quad - \text{ за еднонасочна струја со индиректен поларитет}$$

$$C_{t0} = A + B \cdot \frac{I_z}{d_e} [\text{g / Ah}] \quad - \text{ за еднонасочна струја со директен поларитет и за наизменична струја}$$

Коефициентите A и B ги имаат следниве вредности:

| | | |
|--------------------|-----|-------|
| коефициент | A | B |
| директен поларитет | 2,3 | 0,065 |
| наизменична струја | 7,0 | 0,04 |

Зголемувањето на коефициентот на топење на електродата ΔC_t зависи од должината на слободниот крај на електродата, дијаметарот на електродата и јачината на струјата, слика VI.47.



Сл. VI.48. Зголемување на коефициентот на топење на електродата ΔC_t

Брзината на дотур на електродата треба да е еднаква со брзината на топење на електродата, која е во согласност со коефициентот на топење, од кој услов се извлекува вредноста на брзината на топење:

$$V_e = \frac{C_t \cdot I_z \cdot 4}{d_e^2 \cdot \pi \cdot \gamma} [\text{m/h}]$$

VI.6.7. Примена на ЕПП техниката на зварување

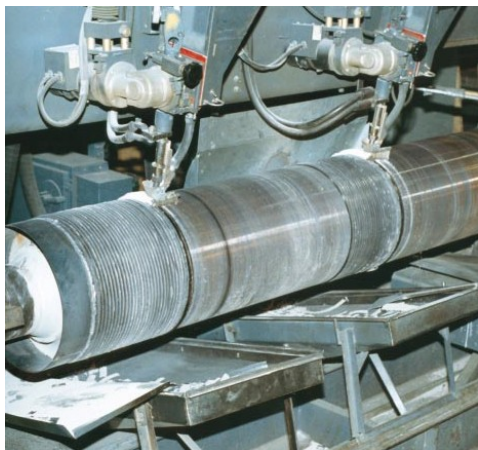
Кај ЕПП зварувањето се користат високи струи, од 300А до преку 1500А, поради што се добиваат завари со голем длабочина, а притоа и брзината на зварување е доста висока, се мери во m/min т.е. cm/s , и е до десет пати побрзо во споредба со РЕЛ зварувањето. Поради високата струја за зварување, подготовката на елементите за сочелно зварување е поедноставна, за дебелина до 15mm е I подготовка без зјај, слика VI.43.a., со што и потрошувачката на додатниот материјал е помала.

ЕПП зварувањето се користи за сервиска изведба на долги и прави завари или за кружни завари со голем радиус. Успешно се зваруваат носачи, цевки, резервоари, садови под притисок, слика VI.39., вообичаено со големи габаритни димензии и од лимови со голема дебелина, слика VI.49.



Сл. VI.49. Примена на ЕПП зварувањето

Покрај за заварување, ЕПП техниката се користи и за наварување, при што додатниот материјал може да биде во облик на жица, слика VI.50.а, за помали широчини, и во облик на лента, слика VI.50.б, за поголеми широчини на наварување.



Сл. VI.50.а. ЕПП наварување со жица

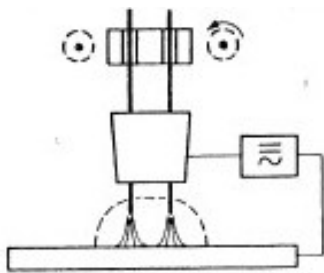


Сл. VI.50.б. ЕПП наварување со лента

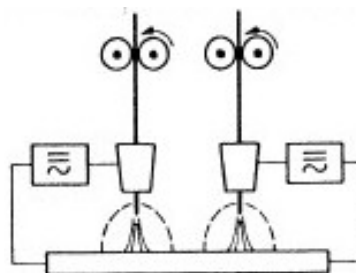
VI.6.8. Електролачно заварување под прашок со повеќе електроди - жици

Електролачното заварување под прашок може да се изведе и со повеќе електроди, помеѓу кои и работниот предмет истовремено се воспоставени повеќе електрични лакови, кои се одржуваат во една заедничка заштитна средина од прашок. На овој начин се зголемува продуктивноста на процесот, а покрај тоа се постигнуваат и некои технолошко конструктивни предности на заварените spoevi.

Изведбата на ЕПП заварувањето со две електроди може да биде со напојување на лаковите од еден извор во една заедничка контактна чаура – цевка за довод на струја, слика VI.51.а., или со напојување на лаковите од два извори со засебни контактни чаури, т.н. тандем заварување, слика VI.51.б.,



а. ... во заедничка контактна чаура



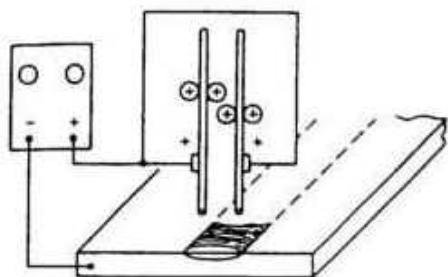
б. ... во засебни контактни чаури - тандем

Сл. VI.51. ЕПП заварување со две електроди

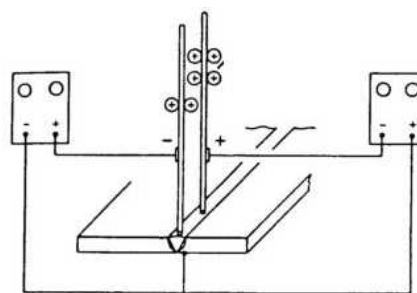
Електродите при заварувањето може да се поставени паралелно, слика VI.52.а. или сериски - последователно, слика VI.52.б. При паралелното поставување на електродите една до друга се постигнува поголема широчина. При сериското - последователното поставување на електродите една зад друга се постигнуваат завари со поголема длабочина, а непроменета широчина.

Уредите со заедничка контактна чаура најчесто имаат флексибилна заварувачка глава која ротира за 90°, поради што може да се заварува паралелно или последователно. Со уредите со засебни контактни чаури најчесто се заварува последователно.

Изворот на струја за повеќе лачното ЕПП заварување е со поголема силина, за да го подржи истовременото горење на два и повеќе електрични лакови.



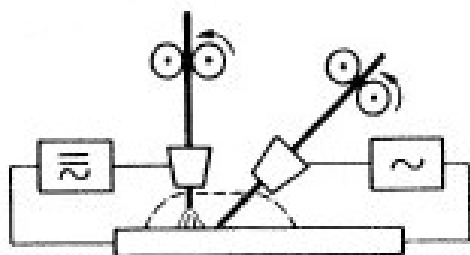
Сл. VI.52.а. Паралелно заварување



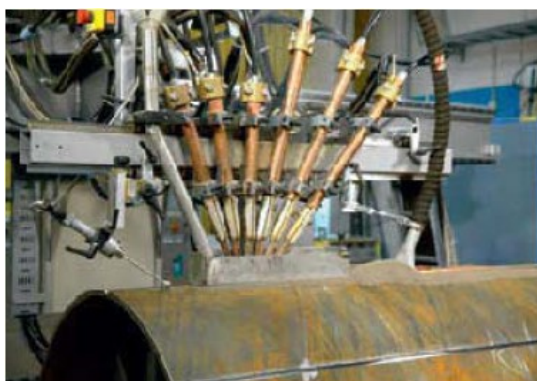
Сл. VI.52.б. Последователно заварување

За зголемување на продуктивноста на процесот на ЕПП заварување, во заварувачкото купатило, може да се внесе дополнителна жица, која, предходно е електроотпорно загреана. Загреаната жица се растопува со што се зголемува количината на депониран додатен материјал. Додавањето на жицата е автоматизирано, а самата жица не е дел од електричното коло, меѓу неа и основниот материјал не се воспоставува електричен лак.

Заварувањето со дополнителна загреана жица може да се изведе како еднолачно ЕПП заварување со една загреана жица, слика VI.53 и како повеќелачно заварување со повеќе загреани жици, слика VI.54.



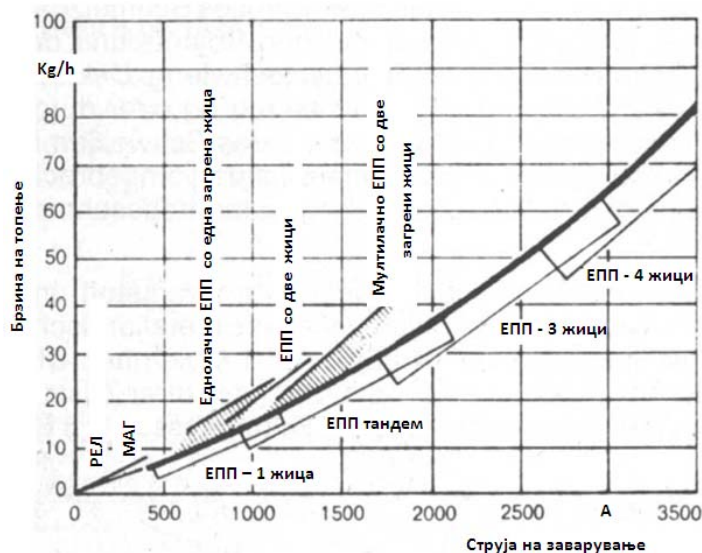
Сл. VI.53. Еднолачно ЕПП заварување со една дополнителна загреана жица



Сл. VI.54. Повеќе лачно ЕПП заварување со повеќе дополнителни загреани жици

Заварување со повеќе електрични лакови и повеќе загреани жици најчесто се користи при изведба на аголни завари со големи димензии, за кои е потребно поголемо количество на додатен материјал.

На сликата VI.55. е даден приказот на зависноста на брзината на топење на додатниот материјал од јачината на струјата за заварување за различни техники на заварување со електричен лак. На сликата јасно се гледа високата продуктивност, големата брзина на топење, соодветна на високите струи за заварување, за различните изведби на ЕПП заварувањето.



Сл. VI.55. Јачина на струјата за заварување и брзината на топење на електродата за техниките на заварување со електричен лак

VI.7. Заварување и сродни процеси со плазмен лак

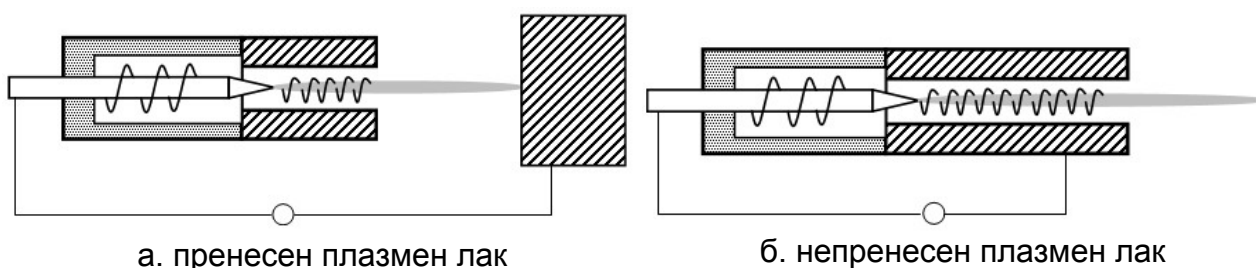
VI.7.1. Основи на плазмениот лак

Основниот принцип на овој процес се одликува со загревање на плазмаобразен гас, како што е азот (N_2) или водород (H_2), на доволно висока температура, со што гасните молекули стануваат јонизирани атоми.

Загревањето на работниот материјал се врши со изворот на топлина кој е комбинација на електричен лак и гас - плазма.

Главна одлика на овој процес во однос на другите, кои како извор на топлина користат електричен лак, е воспоставувањето на помошен лак во горилникот. Овој помошен лак во горилникот се воспоставува помеѓу катодата од волфрам и анодата која е во форма на чаура (гизла) од бакар, а е внатре во комората на горилникот.

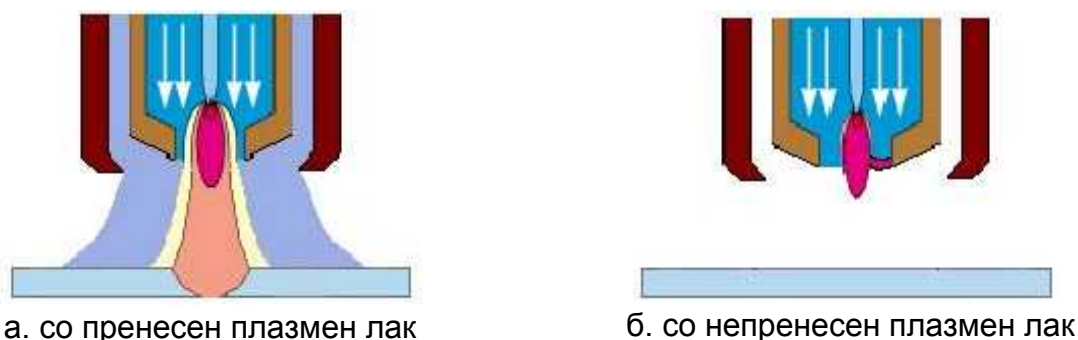
Според начинот на загревање на работниот предмет се јавуваат две варијанти на техниката со плазмен лак и тоа со пренесен, слика VI.56.a., и непренесен лак, слика VI.56.б.



Сл. VI.56. Основни видови на изведби на плазмениот лак

Кај пренесениот или извлечениот плазмен лак, работниот предмет е електрично активен, односно претставува продолжена анода. Помошниот лак се генерира во комората помеѓу волфрамовата катода и анодата - бакарната чаура во горилникот и продолжува до работниот материјал, со што лакот се извлекува надвор од комората, слика VI.57.а. Како резултат на ова извлечениот лак е дополнителен топлински извор, и при тоа се користат поголеми струи и се постигнува поголема густина на енергијата од 10^4 до 10^5 W/cm².

Кај непренесениот плазмен лак, плазмениот лак се формира околу помошниот електричен лак, кој се воспоставува помеѓу волфрамовата катода и анодата од бакар - чаурата во горилникот, слика VI.57.б. Работниот предмет не е електрично активен. Пренесувањето на топлината се врши со контакт на млазот со работниот предмет. Плазмениот млаз е целосно независен од работниот предмет. Кај оваа изведба се користат помали струи и се постигнува помала густина на енергијата од 10^3 до 10^4 W/cm².



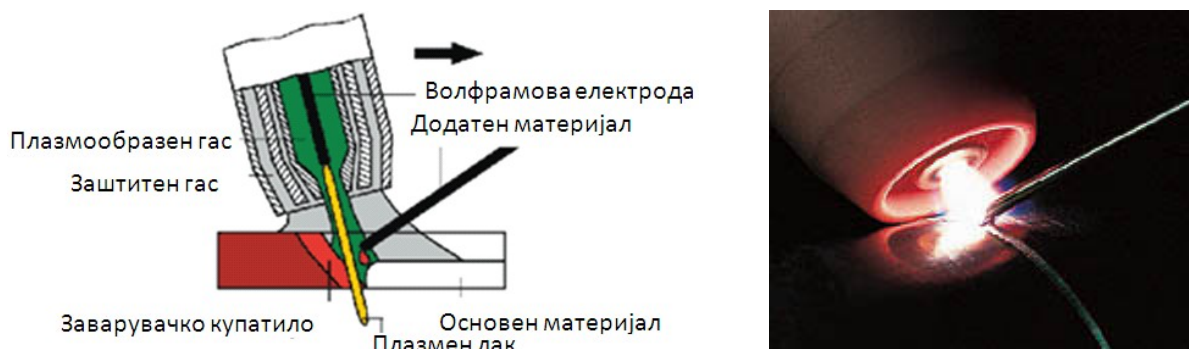
Сл. VI.57. Загревање на материјалите

Оваа разлика помеѓу двата вида загревање на материјалите ги предодредува подрачјата на примена на секој од нив. Со пренесениот лак се заварува или термички сече, а со непренесениот лак се врши термичко нанесување - метализација, микро заварување или лемење. За секоја од овие постапки на примена се користат различни изведби на горилници за плазмен лак.

VI.7.2. Заварување со плазмен лак

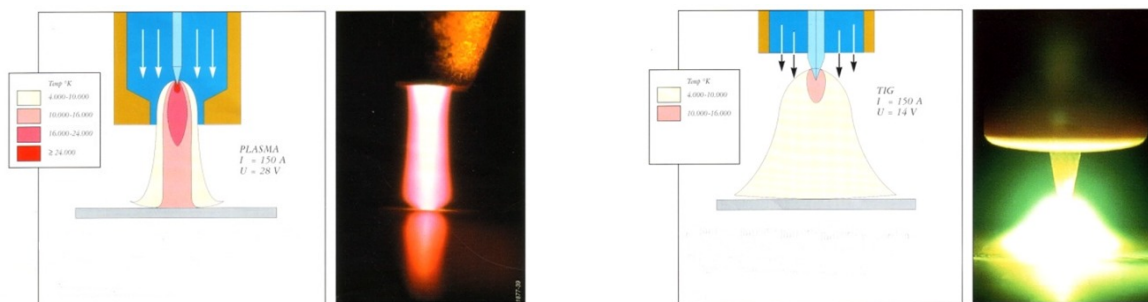
Заварувањето со пренесен плазмен лак, според карактеристиките се споредува со ТИГ заварувањето. Заварувањето со пренесен лак е до три пати по продуктивно од ТИГ заварувањето.

Околу волфрамовата електрода струи плазмаобразниот гас, а помеѓу бакарната контактна чаура и керамичката чаура, околу плазмениот лак струи инертен заштитен гас, најчесто аргон. Заштитниот гас го штити плазмениот лак и заварувачкото купатило од контакт и реакција со околната атмосфера, слика VI.58.

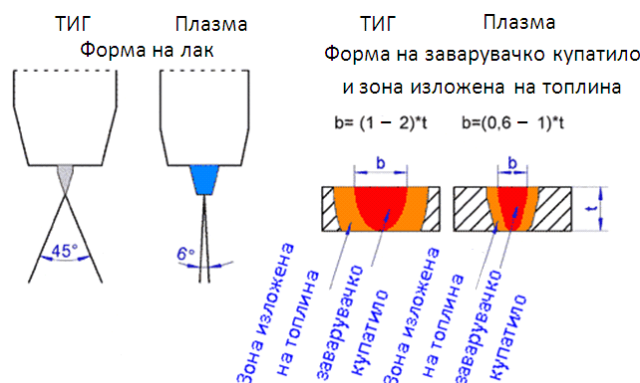


Сл. VI.58. Заварување со плазмен лак

Плазмениот лак е потесен во споредба со ТИГ електричниот лак, и со него се добиваат завари со помали димензии, поради поконцентрираната топлинска енергија, слика VI.59. и слика VI.60.



Сл. VI.59. Споредба на плазмен лак со ТИГ електричен лак



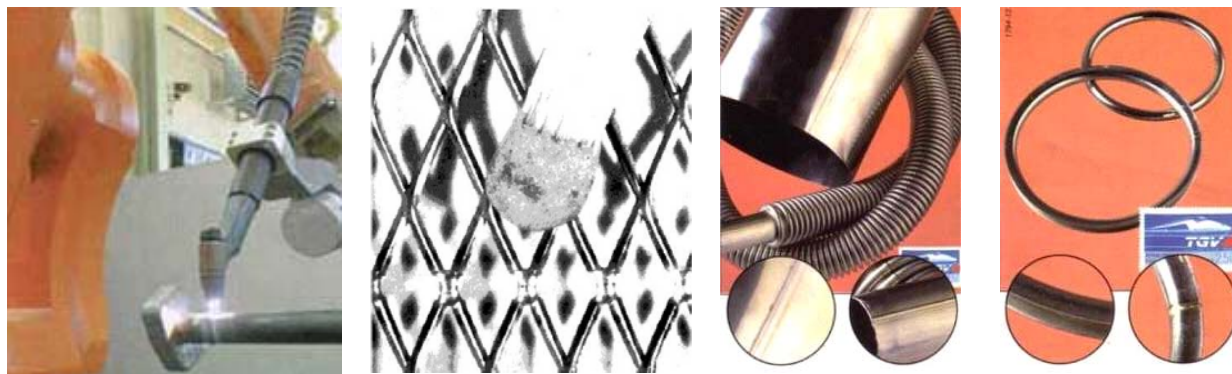
Сл. VI.60. Форма на лакот и заварите добиени со плазмен и ТИГ електричен лак

Плазмаобразниот гас има значително влијание на длабочината на топење на основниот материјал. При определени јачини на струјата, смеса на аргон со неколку проценти на водород дава поголема пенетрација, отколку чист аргон. Искуствено е утврдено дека оптимална гасна смеса за заварување е кога водородот е во границите од 5 до 7%.

Поради поголемата концентрација на енергијата на плазмениот лак, споредено со електричните лакови кај РЕЛ и ТИГ техниките на заварување, подготовките на елементите за сочелно заварување со плазмен лак се поедноставни, со помал агол на закосување.

Со плазмен лак се заваруваат високо легирани челици, обоени метали и нивните легури: алуминиум, бакар, никел и слични. Самото заварување може да се изведе од рачно до роботизирано, со или без употреба на додатен материјал.

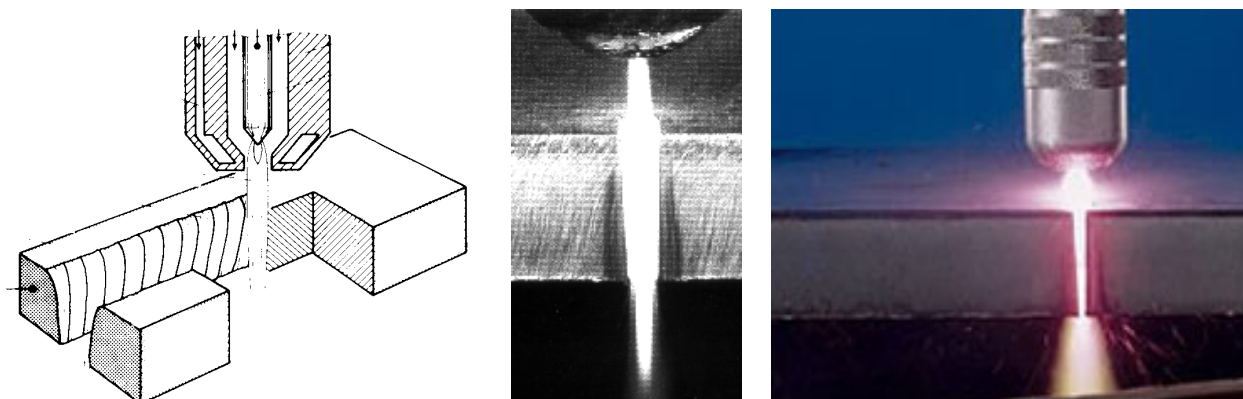
Поради помалата енергија, поуспешно се заваруваат потенките материјали и елементи со минијатурни димензии, слика VI.61.



Сл. VI.61. Заварени елементи со плазмен лак

VI.7.3. Сечење со плазмен лак

Топлинската енергија на плазмениот лак го топи и делумно испарува металниот материјал, а кинетичката енергија од гасот го исфрлува растопениот метал од местото на сечење, слика VI.62.



Сл. VI.62. Сечење со плазмен лак

Сечењето може да се изведе со пренесен и непренесен плазмен лак.

При сечењето со пренесен плазмен лак и работниот предмет е вклучен во електричното коло. При оваа техника потешко се регулира должината на лакот, особено при рачното сечење и напонот на лакот е многу висок. Овие недостатоци ги нема при сечењето со непренесен плазмен лак, каде работниот предмет не е вклучен во електрично коло.

При сечењето се користат едноатомни гасови, како аргон и хелиум, и повеќе атомни гасови (водорот и азот) за јонизација, при што повеќе атомните прво дисоцираат во едноатомни, па потоа се јонизираат.

Најчесто применувани гасни смеси за сечење со плазмен лак, дадени се во табела VI.6.

Табела VI.6. Гасни смеси за сечење со плазмен лак

| гасна смеса | забелешки | Cr-Ni челици | Cu | Al | Ni |
|--|--|--------------|----|-----|-----|
| Ar + 35%N ₂ | најголема брзина на сечење | (x) | x | x | x |
| N ₂ + 20%N ₂ | нај применувано | x | x | (x) | (x) |
| Ar + 33%N ₂ + 33%N ₂ | машинско сечење и најуниверзална примена | x | x | x | x |

Заштитата на пресекоот може да биде од инертни гасови, воздух под притисок или мешавина од гас и вода.

Сечењето може да се реализира во повеќе варијанти:

- Сечење со топење, при ова до раздвојување доаѓа по пат на топење. Се користат гасови кои не реагираат со волфрамовата катода, како: азот, аргон и водород, или азот, неон, аргон и хелиум.

- Сечење со паралелно дејство на оксидација. Се користи воздух под притисок или кислород, со што се предизвикува егзотермна реакција, која го забрзува процесот. Се трошат брзо волфрамовата катода и бакарната диза. Со оваа варијанта се сечат само челични материјали.

Сечењето со воден млаз и плазмен лак се користи за сечење на Cr-Ni челици. При ова се користи азот како гас за сечење. Материјалите кои не се сечат со азот, како ситнозрнестите челици, се сечат со кислород.

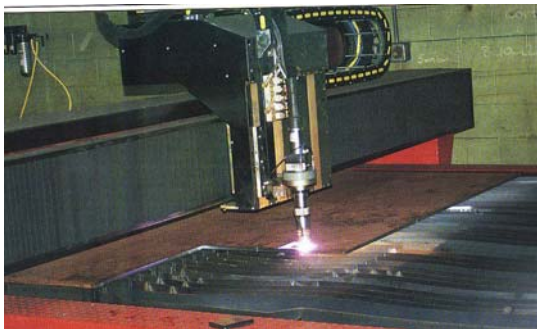
VI.7.3.1. Опрема и начини на сечење со плазмен лак

Освен горилникот, изворот на струја и гасовите, се' друго кај уредите за сечење со плазмен лак се исти со уредите за сечење со гасен пламен. Во колку истиот уред се користи за двете техники на термичко сечење, треба да се води сметка за брзината на сечење, бидејќи брзината на сечење со плазмен лак е неколку пати поголема од брзината на сечење со гасен пламен.

Сечењето може да биде рачно, слика VI.63. или машинско слика VI.64. Рачното сечење е со помала моќност и со него се сечат потенки елементи. Подебелите елементи се сечат машински, при што струјата е околу 1000А, а напонот обично се движи во интервалот од 200 до 400V.



Сл. VI.63. Рачно сечење со плазмен лак



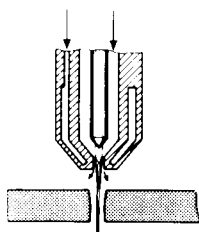
Сл. VI.64. Машинско сечење со плазмен лак

Машинското сечење се изведува како:

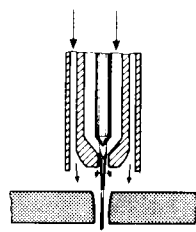
- Конвенционално сечење или суво сечење, при кое бакарната дизна мора добро да се лади, слика VI.65.а.

- Сечење со секундарен притисок од гас за заштита на волфрамовата катода. Странично во плазмениот лак се носи воздух под притисок или кислород, слика VI.65.б.

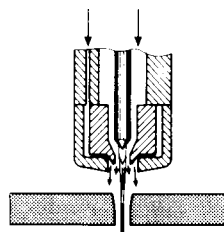
- Сечење со млаз од вода, при што процесот на сечење е потпомогнат од кинетичкото дејство на водениот млаз, слика VI.65.в и слика VI.65.г.



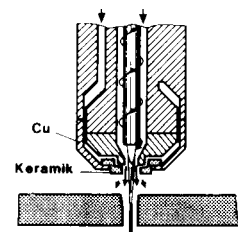
Сл. VI.65.а.



Сл. VI.65.б.



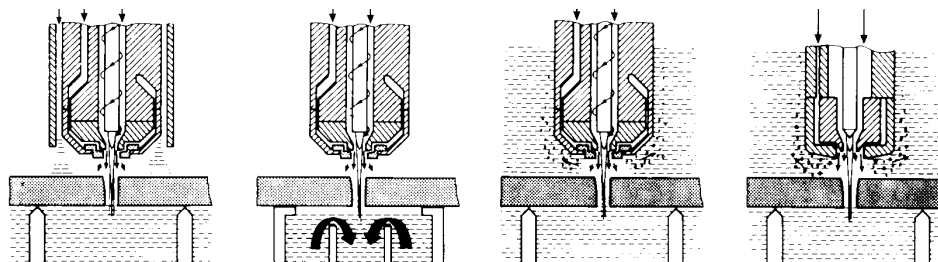
Сл. VI.65.в.



Сл. VI.65.г.

Помалите уреди работат со т.н. сув принцип, а поголемите и поновите со т.н. водено-плазмено сечење, слика VI.66 и слика VI.64.

За намалување на штетните појави и заштита на околината се користи вода, но со различни изведби прикажани на сликата VI.66. Водата има повеќекратна улога, ги прифаќа продуктите на сечењето, ја намалува бучавата, го намалува ултравиолетовото зрачење. Делот кој се сече може да е делумно потопен во вода, слика VI.66.а и VI.66.б., и целосно потопен во вода слика VI.66.в и VI.66.г.



Сл. VI.66.а.

Сл. VI.66.б.

Сл. VI.66.в.

Сл. VI.66.г.

При изведбите прикажани на слика VI.66.а и слика VI.66.б., водениот млаз овозможува побрзо ладење и побрзо одведување на продуктите на сечењето.

При изведбите прикажани на слика VI.66.в и слика VI.66.г., работниот предмет е потопен под вода на длабочина од 60 до 80mm. При тоа се намалува димот, прашината, бучавата и зрачењето. Трошењето на енергијата при сечењето под вода е помало во споредба со сечењето во атмосфера. Економски е исплатливо сечењето во вода на конструктивни челици со дебелина до 15mm и високолегирани челици до околу 20mm.

VI.7.3.2. Примена на сечењето со плазмен лак

Сечењето со плазмен лак има широка примена за материјалите кои неможат да се сечат со гасен пламен, како високолегирани челици, алуминиум, бакар, но се применува и за сечење на јаглородни челици и нисколегирани челици, бидејќи е намалена можноста за појава на прснатини.

Посебни предности воденото сечење има при сечењето на Cr-Ni челици, каде не се јавува површинска оксидација.

Доброто ладење и големата брзина на сечење ја намалуваат ЗВТ. Ладењето најчесто е со вода или воздух. Пресечната површина е со висок квалитет и пресекот е тесен. Квалитетот на пресекот е во зависност од основниот материјал и плазмениот лак со додатниот гас. На слика VI.67. е прикажан изгледот на пресечните површини на високолегиран челичен лим (X5CrNi18-10) со дебелина од 30mm, со разновидни изведби на сечењето со плазмен лак и различни плазмаобразни и додатни гасови.



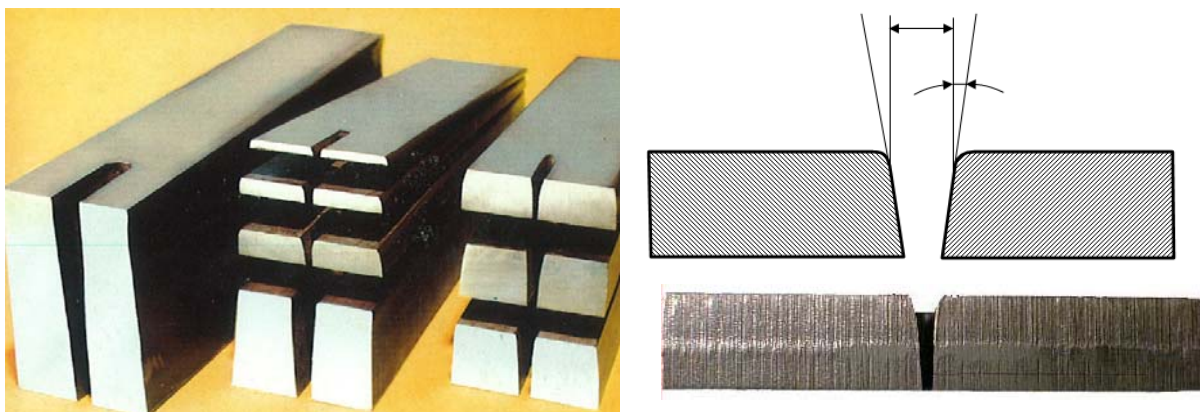
Конвенционално сечење без секундарен медиум, со плазмаобразен гас Ar/H₂/N₂



Сечење со секундарен притисок од вртложен гас N₂ и плазмаобразен гас Ar/H₂

Сл. VI.67. Влијание на плазмаобразниот и додатниот гас врз пресечната површина

Пресекот секогаш на горната страна е поширок, а доле потесен, така во зависност од дебелината на елементите кои се сечат мора да се води сметка за корекција од 2° до 3°, слика VI.68.



Сл. VI.68. Пример на исечени елементи со плазмен лак

Сечењето со плазма има негативности, а тие се: појава на ултравиолетово зрачење, голема бука, скапиот уред и разновидните гасови.

Со оваа техника на термичко сечење се сечат челици со дебелина до 120mm и алуминиум до 150mm.

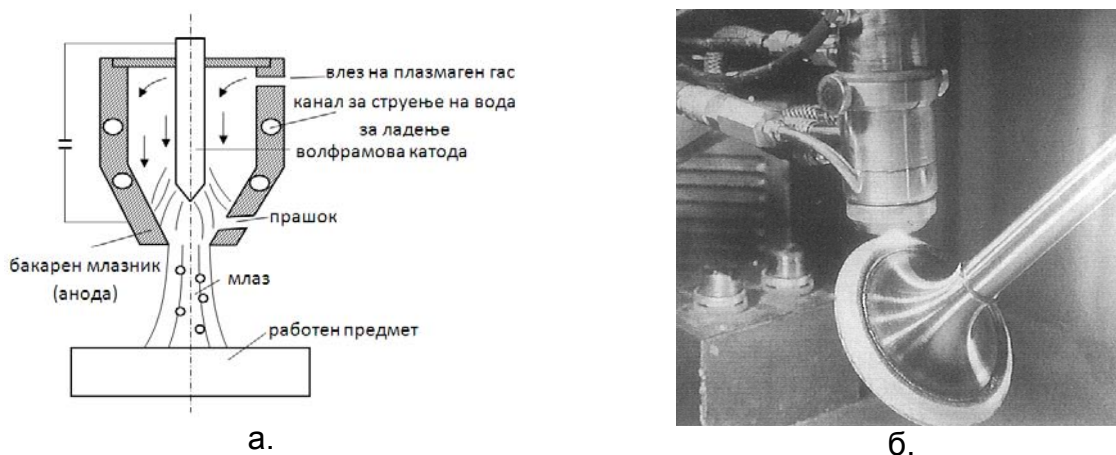
VI.7.4. Метализација со плазмен лак

За метализација, како извор на топлина се користи изведбата со непренесен (внатрешен) плазмен лак.

Загревањето на работниот предмет се одвива по пат на топлоспроводливост, преку контакт на плазмениот лак со површината на предметот и со зрачење.

Во полето на електричниот лак се создава млаз на плазма, кој поради експанзија предизвикана од високите температури струи низ млазникот со голема брзина. На излезот од млазникот постои канал, слика VI.69.а., низ кој се доведува додатен материјал во вид на прашок или жица.

Поголемо значење како додатен материјал има прашокот, кој под силата на струење се повлекува во млазот, се доведува во тестеста состојба и се судрува со површината на основниот материјал. При тоа зрната се сплескуваат врз површината и се создава спој помеѓу нив и основниот материјал. Спојот помеѓу овие два материјали се остварува на повеќе начини и тоа со: атхезија, кохезија и дифузија. Кој начин на поврзување ќе има доминантна улога ќе зависи од видот на основниот и додатниот материјал, подготовката на површината на основниот материјал и слично.



Сл. VI.69. Метализација со плазмен лак

Примената на метализацијата со плазмен лак е голема и разновидна, на сликата VI.69.б., дадено метализација со плазмен лак на вентил од мотор со внатрешно согорување.

VI.8. Грешки во заварите изведени со топење на металите

При изведбата на заварите со топење, како резултат на несовршеноста на техниките и технологијата на заварување, особините на заваруваните материјали и конструктивните решенија на споевите, се јавуваат грешки во заварите, блиската зона под влијание на топлината (ЗВТ) и основниот материјал (ОМ). Називите и класификацијата на грешките во заварите дадени се во стандардот МКС Ц.Т3.020, усогласен со DIN EN ISO 6520-1 од 2007 година. Според наведените стандарди грешките се класифицирани во шест групи, секоја означена со број, и тоа:

- 1 - пукнатини,
- 2 - гасни пори и шуплини,
- 3 - вклучоци во цврста состојба,
- 4 - налепување и недостаток на провар,
- 5 - грешки во обликот и димензиите,
- 6 - останати грешки.

Во постарите стандарди, пред 1982 година, класификацијата на грешките во заварите е исто така во шест групи, секоја означена со голема буква, за која од страна на Меѓународниот Институт за Заварување МИЗ (IIW) се изготвени соодветни споредбени радиограми, и тоа:

- A - гасни пори,
- B - неметални вклучоци,
- C - грешки во врзувањето,
- D - грешки во коренот,
- E - пукнатини,
- F - грешки на лицето на заварот.

Во секоја група може да се јават повеќе видови грешки, класифицирани во подгрупи. Заедничко за сите грешки е тоа што ја намалуваат носечката можност на заварените споеви, а во некои случаи може да предизвикаат и лом на конструкцијата.

Зависно од дефинираниот квалитет на заварените споеви, согласно со намената и експлоатационските услови на заварената конструкција, некои од појавените грешки во заварите може да се толерираат, дозволено е нивното присуство во определена мера. Но некои видови грешки, како пукнатините, воопшто не се толерираат и заварот мора да се поправи, односно избруси и повторно завари.

Грешките по своите димензии и местоположба се најразлични, може да бидат со микронски димензии, невидливи со голо око на површината или по дебелина на материјалот. Дел од површинските грешки се со макро димензии и видливи се со голо око. За утврдување на постоењето на грешки од заварувањето во заварот и ЗВТ се спроведуваат низа од контроли и испитувања без разорување, и во помал обем испитувања со разорување. Најчесто се вршат радиографски испитувања, испитување со ултразвук, со магнетен флуks, со пенетранти, металографски испитувања и визуелна и димензиона контрола. Присуството на грешки од заварувањето неретко може да се утврди и со механичките испитувања на затегнување, свиткување и испитување на жилавоста на металот на заварот и ЗВТ.

Во продолжение ќе бидат претставени грешките во заварите со топење на металите според стандардот DIN EN ISO 6520-1, нивната ознака – референтниот број групата и подгрупите, називот на грешката, објаснување за истата, скица за нејзин графички приказ, во некои случаи за некои видови грешки поткрепен со слика од радиограм или фотографија.

VI.8.1. Грешки од група 1, Пукнатини

Пукнатините претставуваат најопасните грешки, кои се јавуваат при заварувањето со топење на металите, поради што се поместени во првата група на грешки, обележана за референтниот број 100 или со старите ознаки со буквата Е. Пукнатините се грешки кои не се толерираат, задолжително се отстрануваат со брусење и повторно заварување. По својата големина може да бидат микроскопски, невидливи со голо око, и макроскопски, со поголеми димензии, видливи со голо око. Се јавуваат на површината и по длабочина на материјалот. Во заварот се јавуваат т.н. топли пукнатини или кристализациони пукнатини, кои се со макро димензии, и настануваат кога металот на заварот почнува да кристализира. Многу поопасни се т.н. ладни прснатини, пукнатини со микро димензии, кои се јавуваат во ЗВТ и се шират во металот на заварот, на ниски температури, се забележуваат дури и повеќе денови по заварувањето. Тие се појавуваат поради влијанието на заробениот водород, заостанатите напони и структурните трансформации.

| Ознака | Група, назив, објаснување и скица | |
|--------|--|--|
| 100 | Група број 1, Пукнатини. Дисконтинуитет поради локален лом, кој може да настане како последица на ладење или напонска состојба. | |
| 1001 | Микропукнатина. Пукнатина со микроскопски димензии. Видлива само со микроскоп. | |
| 101 | Надолжна пукнатина. Пукнатини чии главен правец е паралелен со оската на заварот. Може да се појават: | |
| 1011 | - во металот на заварот | |
| 1012 | - на границата на топење | |
| 1013 | - во зоната под влијание на топлината | |
| 1014 | - во основниот материјал | |
| 102 | Попречна пукнатина. Пукнатини чии главен правец е нормален со оската на заварот. Може да се појават: | |
| 1021 | - во металот на заварот | |
| 1022 | - во зоната под влијание на топлината | |
| 1023 | - во основниот материјал | |
| 103 | Свездеста пукнатина. Пукнатини кои излегуваат од една точка. Може да се појават: | |
| 1031 | - во металот на заварот | |
| 1032 | - во зоната под влијание на топлината | |
| 1033 | - во основниот материјал | |
| 104 | Пукнатина во кратерот. Пукнатини во завршниот кратер на заварот. Може да бидат: | |
| 1045 | - надолжни | |
| 1046 | - попречни | |
| 1047 | - свездести | |
| 105 | Група од раздвоени пукнатини, со ориентација во различни правци. Може да се појават: | |
| 1051 | - во металот на заварот | |
| 1053 | - во зоната под влијание на топлината | |
| 1054 | - во основниот материјал | |
| 106 | Разгранети пукнатини. Група од пукнатини кои се меѓусебно поврзани, во облик на гранки од дрво. Треба да се разликуваат од пукнатините од групите 103 и 105. Може да бидат: | |
| 1061 | - во металот на заварот | |
| 1063 | - во зоната под влијание на топлината | |
| 1064 | - во основниот материјал | |



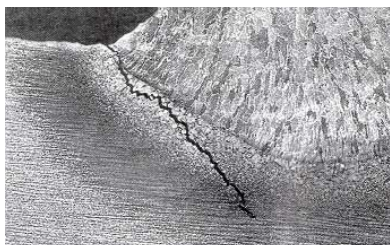
1011 Надолжна пукнатина



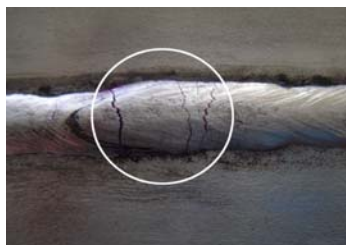
1011 Топла пукнатина



1012 Пукнатина на границата на топење



1013 Пукнатина во ЗВТ

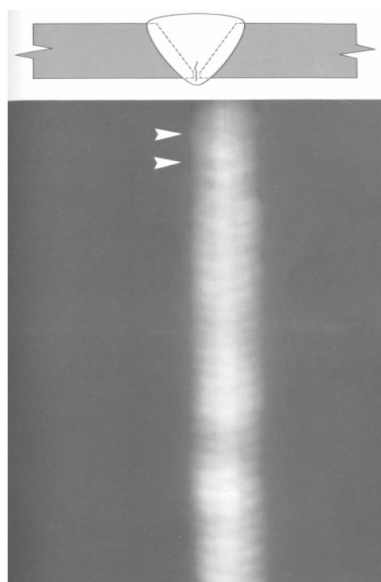


1021 Попречни пукнатини

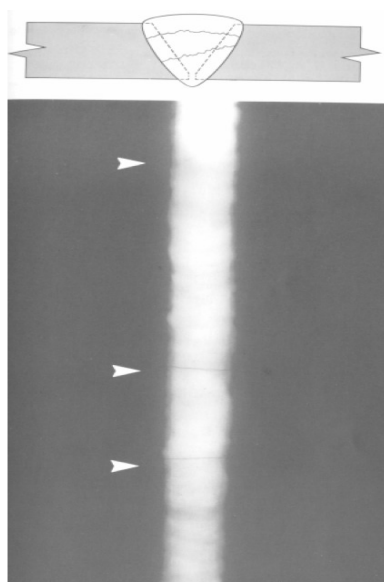


1045 Пукнатина во кратерот

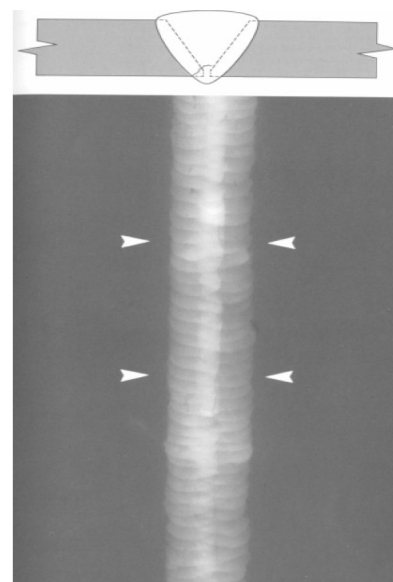
Сл. VI.70. Фотографии за за некои видови пукнатини



101 (E1)
Надолжна пукнатина



102 (E2)
Попречни пукнатини

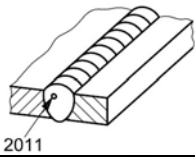
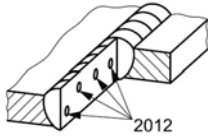
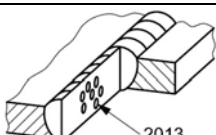
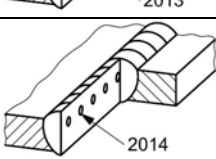
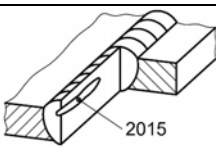
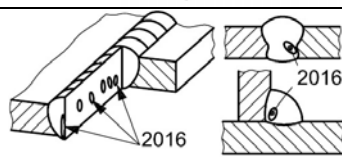
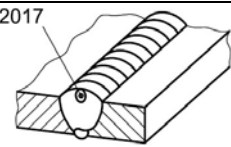
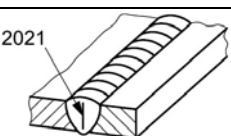
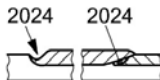
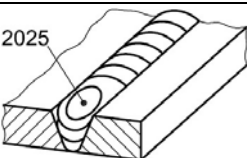


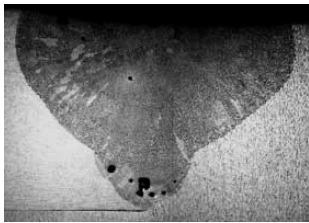
105 (E3)
... со произволен правец

Сл. VI.71. Радиограми за некои видови пукнатини

VI.8.2. Грешки од група 2, Вклучоци на гас, гасни пори и шуплини

Вклучоците на гас, во облик на сферични и издолжени гасни пори се грешки кои се јавуваат во металот на заварот, материјалот кој бил во растопена состојба, обележана за референтниот број 200 или со старите ознаки со буквата А. Тоа се грешки кои настануваат поради заробување на гасови за време на стврдувањето на растопениот метал на заварот. По својата големина најчесто се макроскопски, со поголеми димензии видливи со голо око, а поретко се микроскопски, невидливи со голо око. Се јавуваат на површината и по длабочина на материјалот. Причините за нивно појавување се: нечисти рабови на подготовката, употреба на стари и влажни електроди, електроди со несоодветна облога, многу кус електричен лак, преголема брзина на заврзување, ниска струја за заварување, недоволен и нерамномерен проток на заштитен гас, несоодветна подготовка на заштитниот гас и слично.

| Ознака | Група, назив, објаснување и скица | |
|--------|--|---|
| 200 | Група број 2, Вклучоци на гас, гасни пори и шуплини Гасен меур образуван од присуство на заробен гас. | |
| 201 | Вклучок на гас | |
| 2011 | Сферичен – топчест гасен меур |  |
| 2012 | Сферични гасни меури правилно распоредени во металот на заварот. Треба да се разликуваат од гнездо од пори (2013) и пори во низа (2014) |  |
| 2013 | Гнездо од гасни пори, група од пори со безреден концентриран распоред |  |
| 2014 | Гасни пори во низа, распоредени паралелно и по должината на оската на заварот |  |
| 2015 | Издолжени гасни пори. Голем гасен меур кој не е со сферична форма. Најголемата димензија му е скоро паралелна со оската на заварот. |  |
| 2016 | Издолжени гасни пори. Гасни пори во облик на цевкасти шуплини во металот на заварот настанати со ослободување на гасови. Обликот и положбата на овие пори се одредени со начинот на стврдувањето и потеклото на гасот. Понекогаш се распоредени во форма рибен скелет. |  |
| 2017 | Поединечни површински гасни пори. Гасни пори со мали димензии, кои се отвориле на површината на заварот. |  |
| 2018 | Површинска порозност. Поединечни гасни пори со големи димензии или повеќе мали пори во група, кои се отвориле на површината на заварот. | |
| 202 | Шуплини настанати како последица на собирањето на металот на заварот во фазата на стврдување – кристализација. | |
| 2021 | Меѓудендритна шуплина. Вертикална макро шуплина со издолжен облик која се создава помеѓу дендритите во текот на ладењето и во која е заробен гас. Овие шуплини воглавно се под прав агол на лицето на заварот. |  |
| 2024 | Шуплина во кратерот. Шуплина која се јавува на местото на продолжување на заварот и која не е елиминирана пред или за време на изведбата на следниот слој – завар. |  |
| 2025 | Отворена шуплина на крајот на заварот, во кратерот. Се јавува во облик на отворен кратер, дупка, која ја намалува површината на попречниот пресек на заварот. |  |
| 203 | Микрошуплина. Шуплина со микроскопски димензии. Видлива само со микроскоп. | |
| 2031 | Интердендритна микрошуплина. Издолжена шуплина формирана на границите помеѓу дендритните кристали за време на ладењето. | |
| 2032 | Транскристална микрошуплина. Издолжена шуплина формирана при кристализацијата, која се развива нормално на границите на зрната и истите ги раздвојува попречно. | |



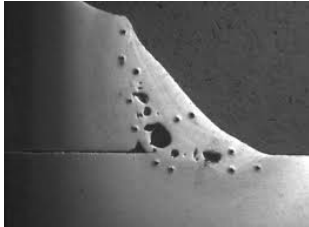
2011 Сферични пори



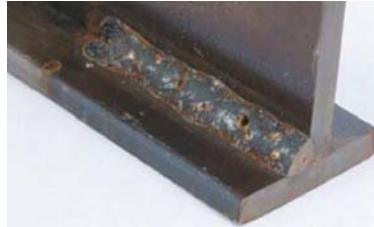
2013 Гнездо од пори



2014 Пори во низа



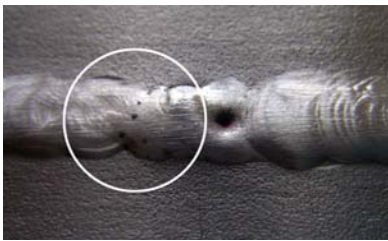
2016 Издолжени пори



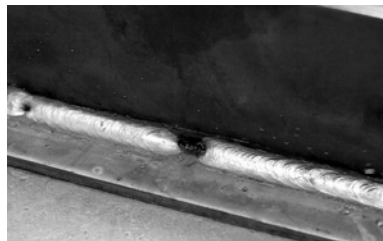
2017 Поединечни површински



2018 Површинска порозност



2018 Површинска порозност

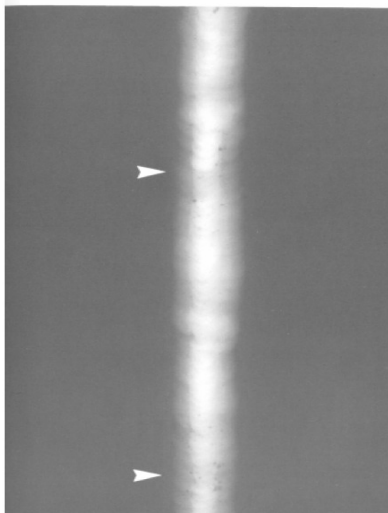
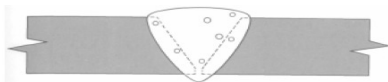


2024 Шуплина во кратер

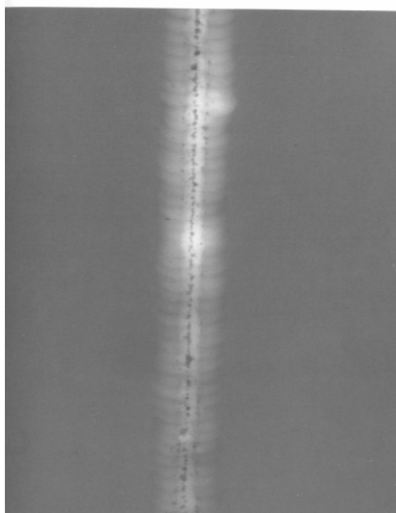


2025 Шуплина во краен кратер

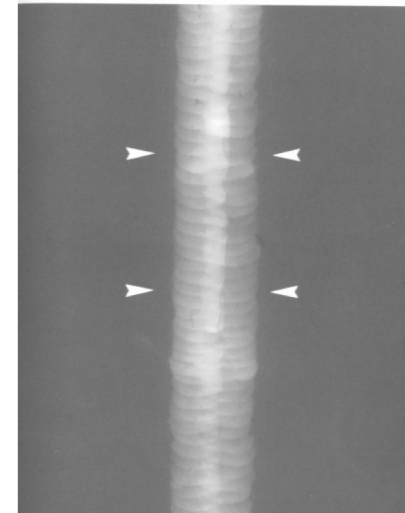
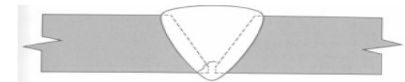
Сл. VI.72. Фотографии за некои видови вклучоци на гас, гасни пори и шуплини



2011 (A1)
Поединечни гасни пори



2012 (A3)
Пори во низа



2013 (A4)
Гнездо од пори

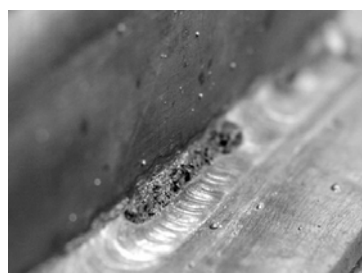
Сл. VI.73. Радиограми за некои видови вклучоци на гас, гасни пори и шуплини

VI.8.3. Грешки од група 3, Вклучоци во цврста состојба

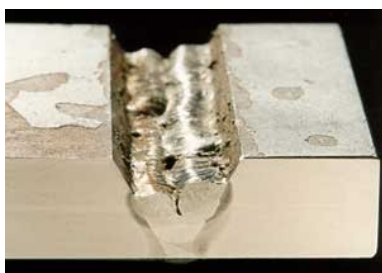
Вклучоците во цврста состојба најчесто се од неметална природа, како заробена троска, заробен заштитен прашок, оксиди и поретко заробени метални компоненти од нетоплива електрода или облога на додатен материјал. Тоа се

грешки кои се јавуваат во металот на заварот, материјалот кој бил во растопена состојба, обележани за референтниот број 300 или со старите ознаки со В и мал дел од групата F. Се јавуваат на површината и по длабочина на материјалот. Вклучоците во цврста состојба го намалуваат попречниот пресек на заварот, со што му се намалува носивоста, а уште повеќе, се јавуваат како концентратори на напоните. Причините за нивно појавување се: нечисти рабови на подготовката, неправилно водење на електродата, мала јачина на струјата за заварување, недоволно чистење на троската пред нанесување на следниот премин при повеќеслојното заварување и слично. Овие грешки најчесто се јавуваат при РЕЛ и ЕПП заварувањето, а многу поретко при заварувањето со техниките во заштитна гасна средина.

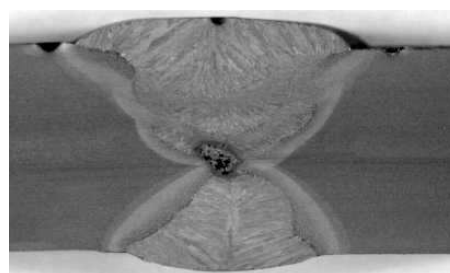
| Ознака | Група, назив, објаснување и скица | |
|--------|---|--|
| 300 | Група број 3, Вклучоци во цврста состојба Туѓо тело во цврста состојба заробено во металот на заварот | |
| 301 | Вклучок од троска. Остаток од троска заробен во металот на заварот. Sprema распоред вклучоците од троска може да бидат: | |
| 3011 | - во линија, во низа |  |
| 3012 | - изолирана, поединечна троска |  |
| 3013 | - групирана, гнезда од троска, |  |
| 302 | Вклучок од заштитен прашок. Заштитен прашок заробен во металот на заварот. Sprema распоредот заробените заштитен прашок може да биде: | |
| 3021 | - во линија, во низа, скица како за 3011 | |
| 3022 | - изолирано, поединечно заробен прашок, скица како за 3012 | |
| 3023 | - групирани, гнезда од прашок, скица како за 3013 | |
| 303 | Вклучок од оксиди. Метални оксиди заробени во металот на заварот во текот на зацврстувањето – кристализацијата. Sprema распоредот заробените оксиди може да бидат: | |
| 3031 | - во линија, во низа, скица како за 3011 | |
| 3032 | - изолирано, поединечно заробен оксид, скица како за 3012 | |
| 3033 | - групирани, гнезда од оксиди, скица како за 3013 | |
| 3034 | - филм, тенок слој од метален оксид, кој се создава при посебни услови, а посебно кај алуминиумските легури, заради недоволната заштита од влијанието на околната атмосфера, се јавуваат во форма на слоеви од наслаги заради вртложението на растопот во заварувачкото купатило. | |
| 304 | Метални вклучоци. Метални честици од туѓ метал заробени во металот на заварот. Зависно од видот на заробените метал може да бидат од: | |
| 3041 | - волфрам | |
| 3042 | - бакар | |
| 3043 | - други метали | |



3011 Троска во низа

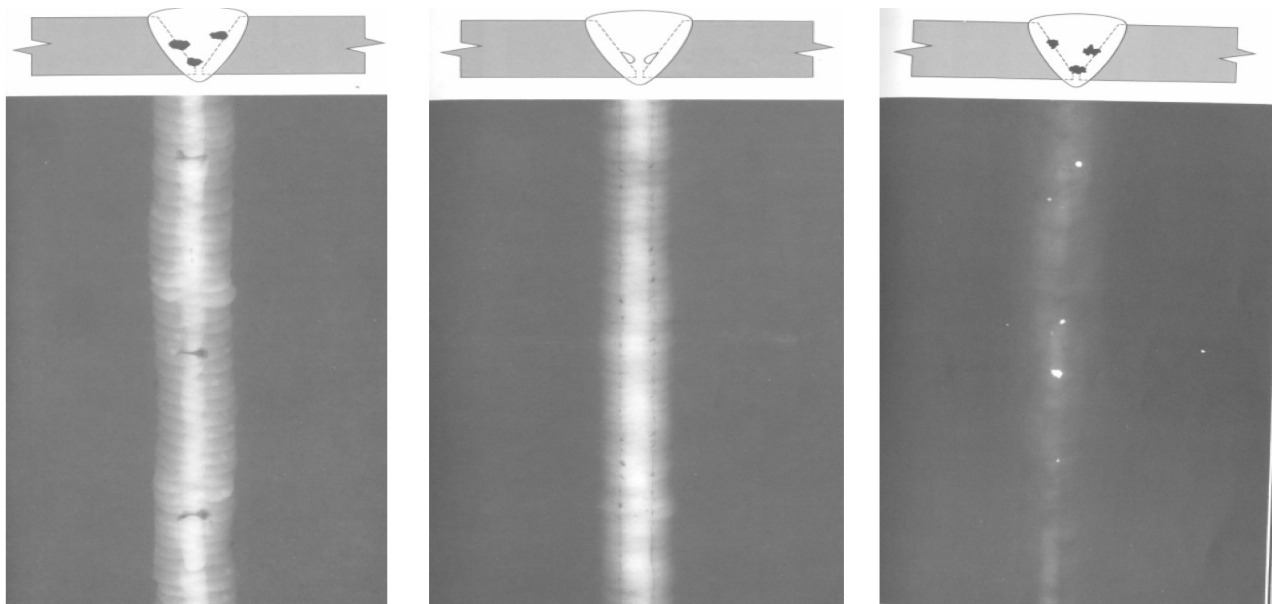


3012 Поединечна троска



3013 Гнезда од троска

Сл. VI.74. Фотографии за некои видови вклучоци во цврста состојба



3013 (B3)

Гнезда од троска

3031 (B5)

Оксидни вклучоци

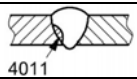

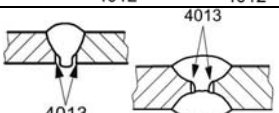
3041 (F12)


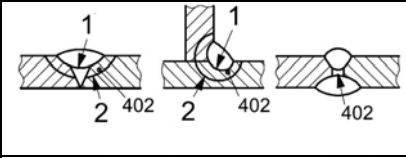
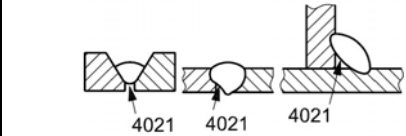
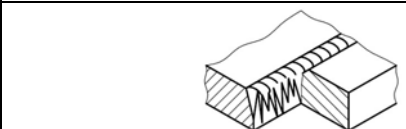
Вклучоци од W електрода

Сл. VI.75. Радиограми за некои видови вклучоци во цврста состојба

VI.8.4. Грешки од група 4, Недостаток на врзување и недоволна пенетрација

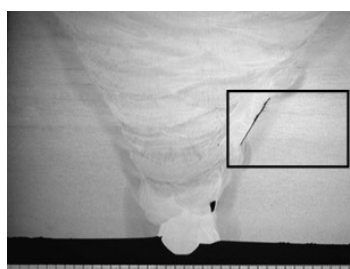
Грешките во врзувањето, недостаток на фузија и недоволна пенетрација, се грешки поради неостварен материјален континуитет помеѓу основните и додатниот материјал или помеѓу слоевите од депонираниот додатен материјал. Тие се јавуваат во сите локалитети по дебелината и должината на заварот. Најопасни се грешките појавени во коренот на заварот. Обележани се со референтниот број 400 или со старите ознаки со С и поголем дел од групата D. Овие грешки, поради намалувањето на пресекот на заварот и поради прекилот на материјалниот континуитет, ја намалуваат носивоста на заварот, а уште повеќе, се јавуваат како концентратори на напоните. Причините за нивно појавување се: преголемата брзина на заварување, неусогласена со јачината на струјата за заварување, преголем дијаметар на додатниот материјал и несоодветна (помала) јачина на струјата за заварување, неправилна подготовка на елементите за сочелно заварување, димензиите на грлото се несоодветно избрани, височината на грлото е преголема, а широчината на грлото е премала. Дел од овие грешки, особено оние кои се однесуваат на локалитетот околу и во коренот на заварот, заедно со пукнатините, не се толерираат, задолжително се врши нивно отстранување со брусење и повторно заварување.

| Ознака | Група, назив, објаснување и скица | |
|--------|--|---|
| 400 | Група број 4, Недостаток на врзување (налепување) и недоволна пенетрација | |
| 401 | Налепување , недостаток на врзувањето помеѓу нанесениот додатен материјал и основниот материјал или помеѓу два соседни слоеви - премини на нанесениот додатен материјал. Треба да се разликуваат следните видови на недостаток на врзувањето: | |
| 4011 | - бочно налепување на страните од подготовката - жлебот |  |
| 4012 | - налепување помеѓу соседните слоеви - премини |  |
| 4013 | - налепување во коренот на заварот |  |

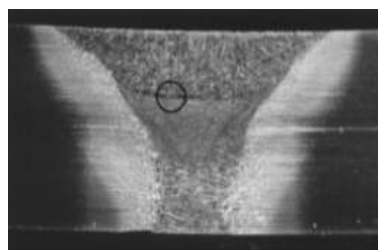
| | | |
|------|--|---|
| 4014 | - микро налепување или ладен преклоп |  |
| 402 | Недоволна пенетрација , недостаток на проварување. Делумно отсуство на топење на страните од подготовката – жлебот, така што останува празнина помеѓу страните. 1 - остварена, актуелна пенетрација 2 - номинална, потребна пенетрација |  |
| 4021 | Недоволна пенетрација во коренот, непроварен корен, едната или двете страни од грлото на коренот не се растопени. |  |
| 403 | Зголемена неуниформна пенетрација , при заварувањето со електронски или ласерски сноп се јавува во назабена нерамномерна форма, во која може да се појават шуплини, меури, пукнатини итн. |  |



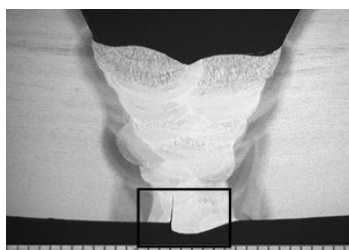
401 Налепување на лицето



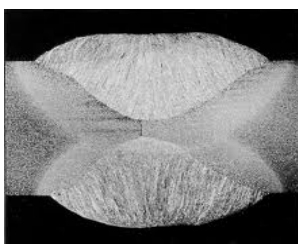
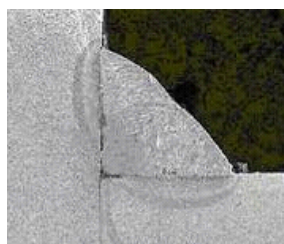
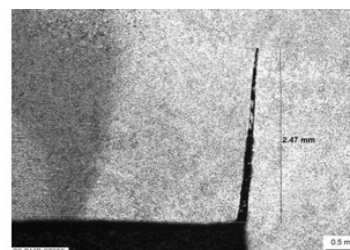
4011 Бочно налепување



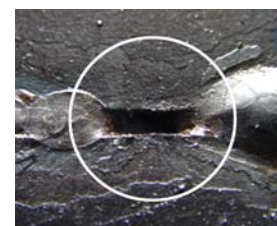
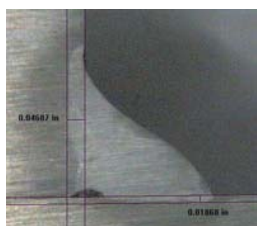
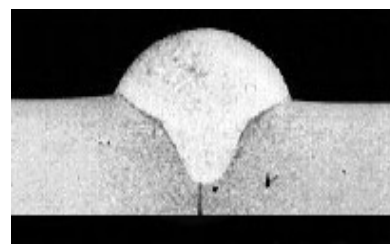
4012 Налепување помеѓу соседни слоеви - премини



4013 Налепување во коренот

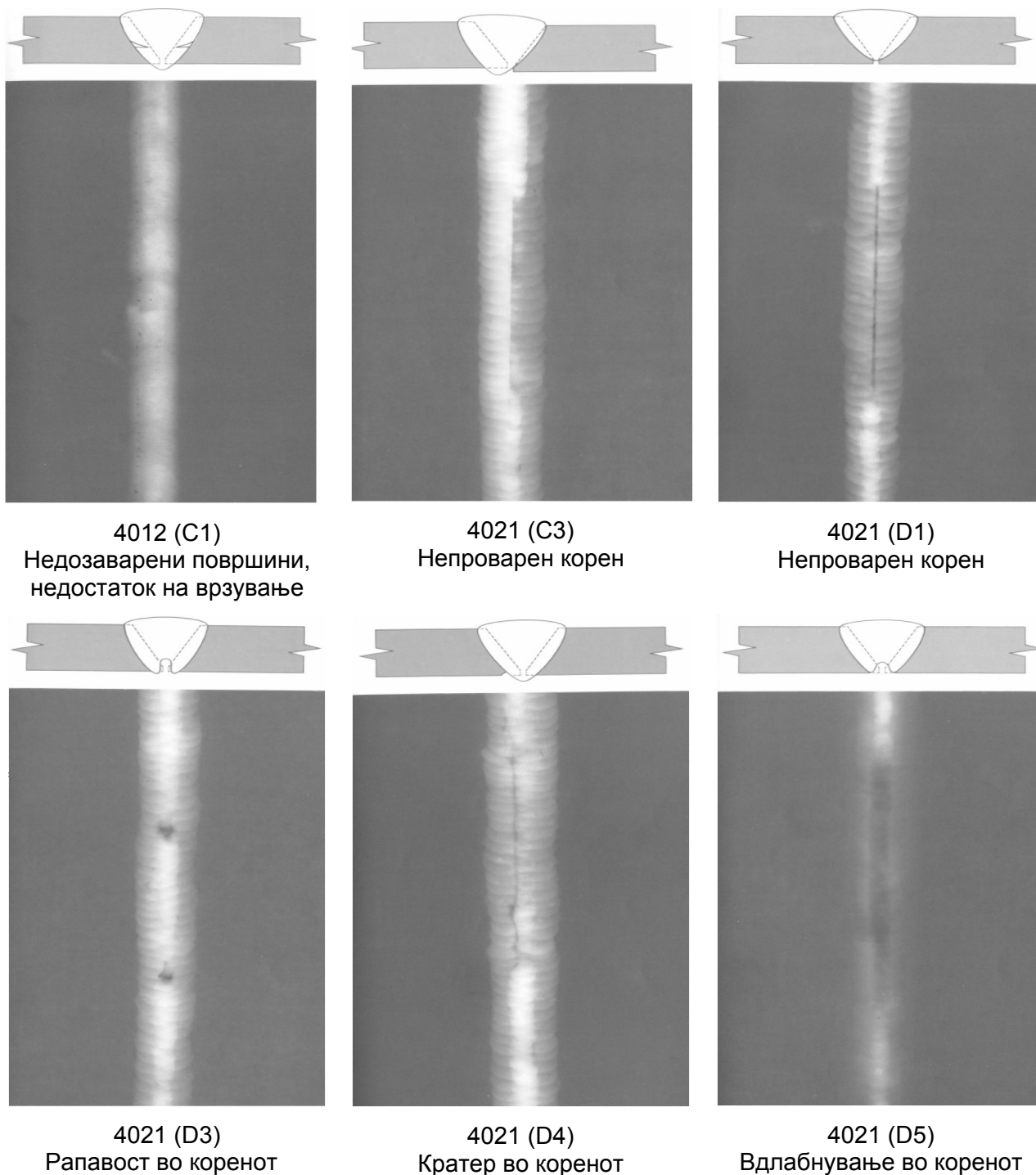


402 Недоволна пенетрација



4021 Недоволна пенетрација во коренот – непроварен корен

Сл. VI.76. Фотографии за разни видови недостаток на врзување (налепување) и недоволна пенетрација

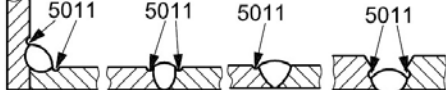
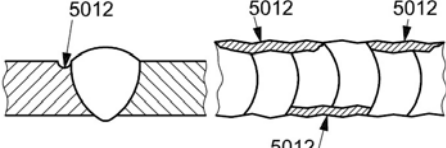
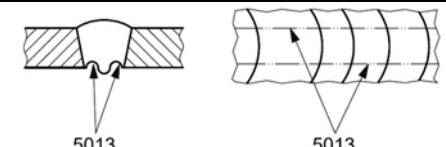
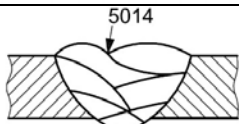
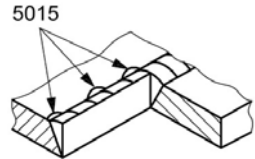

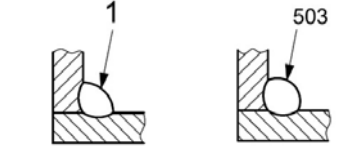
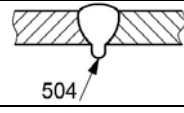
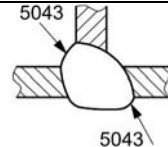
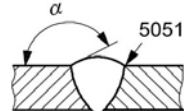


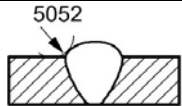
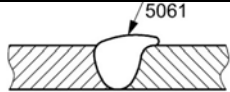
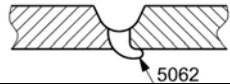

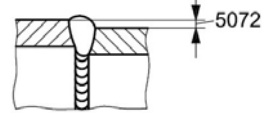

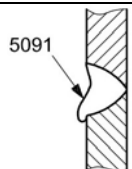

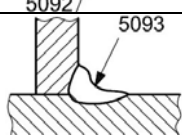
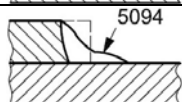
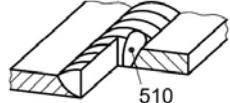
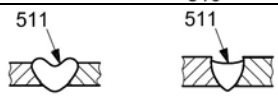
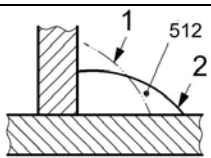
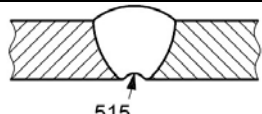
Сл. VI.77. Радиограми за некои видови недостаток на врзување (налепување) и недоволна пенетрација

VI.8.5. Грешки од група 5, Грешки во обликот и димензиите

Грешките во обликот и димензиите, се грешки кои вообичаено се појавуваат на надворешната страна на лицето на заварот и поретко во внатрешната страна, од страната на коренот на заварот. Обележани се со референтниот број 500 или со старите ознаки со буквата F. Овие грешки се разновидни и најбројни во подгрупите. Се јавуваат како прегоретини, бразди – вдлабнатини, преголемо надвисување, преголема дебелина на заварот, нерамномерна широчина на заварот, нерамномерни краци на аголниот завар, смолкнување, преголем провар, свлекување – разливање на металот на заварот и слични. Причините за појавата на овие

разновидни и многубројни грешки се најразлични: почнувајќи од несоодветен избор на технологија на заварување, преку неисправно изведување на заварувањето, недоволна обученост на заварувачот, до неисправност на уредите за заварување.

| Ознака | Група, назив, објаснување и скица | |
|--------|--|---|
| | Група број 5, Грешки во обликот и димензиите | |
| 500 | Грешки во обликот , грешки на надворешните површини на заварите или грешки во геометријата на спојот. | |
| 501 | Неправилни жлебови – бразди , на покривната страна во основниот материјал или во предходно изведениот слој – премин во металот на заварот, предизвикани од заварувањето. | |
| 5011 | Недостаток на метал во облик на бразда, кој се протега по голема должина по работ на заварот. |  |
| 5012 | Недостаток на метал во облик на бразда, кој се протега по мала должина, местимично по работ на заварот. |  |
| 5013 | Недостаток на метал на бочните страни на коренот на заварот, во облик на бразди, кои се настанати поради собирање на металот на заварот. |  |
| 5014 | Недостаток на метал заварот во облик на бразда, помеѓу површинските премини, кој се протега по должината на заварот. |  |
| 5015 | Местимично прекинати на бразди по должината на заварот, по работ на заварот или по лицето на заварот. |  |
| 502 | Преголемо надвисување на лицето на заварот. Голема количина на нанесен додатен материјал во металот на заварот во завршните слоеви. 1 – нормално надисување на заварот |  |
| 503 | Преголемо испакнување – конвексно надвисување на лицето на аголен завар. Голема количина на нанесен додатен материјал во металот на заварот во завршните слоеви. 1 – нормално испакнување на заварот |  |
| 504 | Преголем провар. Вишок на метал во коренот на заварот изведен еднострано. |  |
| 5041 | Локални прокапини во коренот, односно местимично преголем провар. | |
| 5042 | Континуирано прокапување во коренот по должината на заварот. | |
| 5043 | Прекумерно топење, завар со прекумерен попречен пресек. |  |
| 505 | Грешка во преминот , премногу мал агол помеѓу рамнината на површината на основниот материјал и тангентната рамнина на површината на заварот која поминува низ линијата на спојување | |
| 5051 | Многу мал агол на преминот од заварот кон основниот материјал. |  |

| | | |
|------|--|---|
| 5052 | Многу мал радиус на преминот од заварот кон основниот материјал. |  |
| 506 | Прелевање , вишок на нанесен додатен материјал, кој се разлива по површината на основниот материјал, без да се спои со него. | |
| 5061 | Прелевање на вишокот додатен материјал од страната на лицето на заварот. |  |
| 5062 | Прелевање на вишокот додатен материјал од страната на коренот на заварот. |  |
| 507 | Смолкнување , паралелно поместување на два заварени елементи во паралелни површини кои не се во иста рамнина. | |
| 5071 | Смолкнување кај лимови - плочи |  |
| 5072 | Смолкнување кај цевки |  |
| 508 | Отстапување од правецот , од предвидениот агол помеѓу двата заварени елементи |  |
| 509 | Вдлабнување на лицето на заварот . Свлекување – лизгање на нанесениот додатен материјал, поради големото топење и дејството на гравитацијата се јавува вишок или недостаток на материјал. Може да се појави како: | |
| 5091 | Свлекување во хоризонтален завар изведен во вертикална рамнина |  |
| 5092 | Свлекување во хоризонтален завар изведен во хоризонтална, корито или надглавна положба на заварување |  |
| 5093 | Свлекување при изведба на аголна спој со аголен завар |  |
| 5094 | Свлекување при изведба на преклопна спој со аголен завар |  |
| 510 | Прегоретина во заварувачкото купатило , создавање на кратер во металот на заварот или по рабовите на заварот. |  |
| 511 | Недоволна дебелина на заварот , поради појава на надолжни, локални и континуирани бразди – канали на лицето на заварот, поради недоволната количина на нанесен додатен материјал |  |
| 512 | Грешка во симетричноста на аголен завар. 1 – номинален облик, 2 – најчест облик, |  |
| 513 | Нерамномерна, прекумерна промена на широчината на заварот по должина. | |
| 514 | Нерамномерна, прекумерна промена на лицето на заварот по должина. | |
| 515 | Шуплина поради собирање во коренот . Намалување на дебелината во коренот поради собирање на металот на заварот. |  |
| 516 | Порозност во коренот . Се создава порозен, сунѓераст завар во коренот, поради вриење на металот на заварот за време на стврдувањето – кристализацијата. | |

| | | |
|------|---|--|
| 517 | Лош продолжеток на заварот. Местимична нерамномерност на површината на местото на наставување - продолжување на заварот. |  |
| 5171 | Лош продолжеток, лошо наставување на лицето на заварот | |
| 5172 | Лош продолжеток, лошо наставување на коренот на заварот | |
| 520 | Прекумерна дисторзија , димензионални отстапувања поради собирање и деформирање на заварите. | |
| 521 | Неточни димензии на заварите. Отстапување од пропишаните димензии на заварите. | |
| 5211 | Прекумерна дебелина на заварот. Заварот е со преголема дебелина. 1 – номинална дебелина на заварот, 2 – најчеста дебелина на заварот, |  |
| 5212 | Прекумерна широчина на заварот. Заварот е со преголема широчина. 1 – номинална широчина на заварот, 2 – најчеста широчина на заварот, |  |
| 5213 | Мала дебелина на аголен завар. 1 – номинална дебелина на заварот, 2 – најчеста дебелина на заварот, |  |
| 5214 | Прекумерна дебелина на аголен завар. 1 – номинална дебелина на заварот, 2 – најчеста дебелина на заварот, |  |



501 Бразда во ОМ



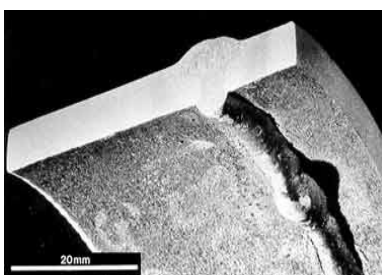
5011 Бразда во ОМ



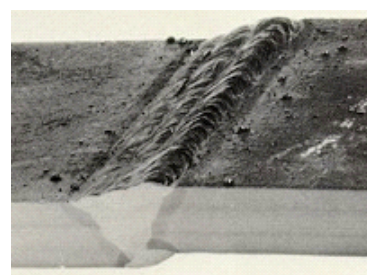
5012 Местимични бразди



5015 Местимични бразди



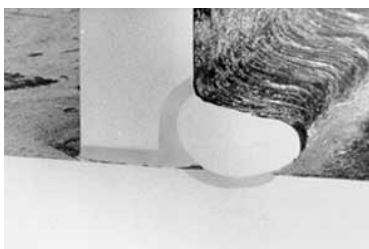
504 Преголем провар



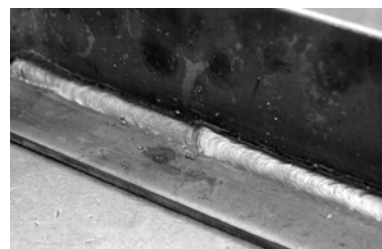
5071 Смолкување



5092 Свлекување

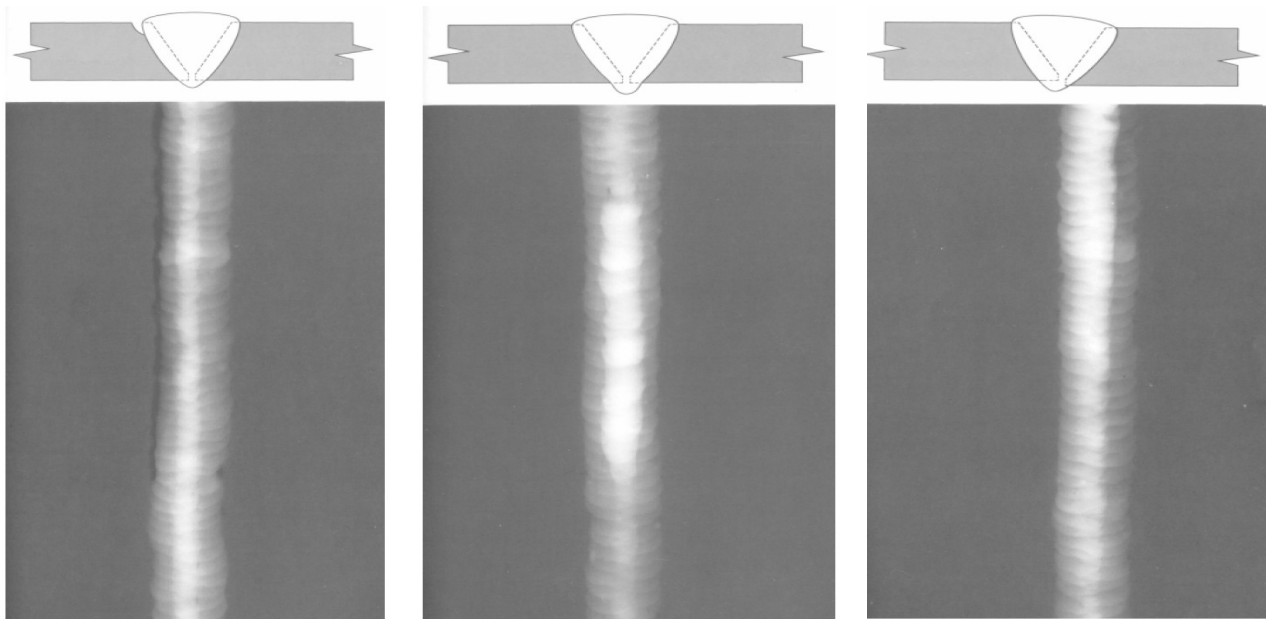


5093 Свлекување



517 Лош продолжеток

Сл. VI.78. Фотографии за некои видови грешки во обликот и димензиите



5011 (F6)
Нерастопен раб

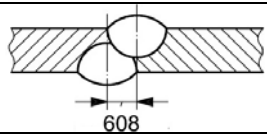
504 (D2)
Прокапување во коренот

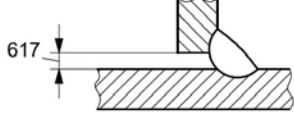

5071 (F7)
Смолкнување

Сл. VI.79. Радиограми за некои видови грешки во обликот и димензиите

VI.8.6. Грешки од група 6, Останати грешки

Во оваа група на грешки припаѓаат сите грешки, кои не се опфатени и класифицирани во предходните групи на грешки. Обележани се со референтниот број 600 или со старите ознаки со помал дел од групата F. Станува збор за разновидни грешки на лицето на заварот, на површината на заваруваниот материјал и во металот на заварот.

| Ознака | Група, назив, објаснување и скица |
|--------|---|
| | Група број 6, Останати грешки |
| 600 | Останати грешки , сите грешки кои не се опфатени и не може да се класифицираат во претходните групи на грешки. |
| 601 | Трага од воспоставување – палење на електричниот лак. Местимични оштетувања на површината на основниот материјал заради случајно воспоставување на електричниот лак во близината на заварот. |
| 602 | Распрскување. Распрскани капки на растопен метал кој се исфрла во текот на изведбата на заварувањето и кој се припојува на основниот материјал или на веќе стврднатиот метал на заварот. |
| 6021 | Распрскување на волфрам. Честички од волфрамовата електрода пренесени на површината на на основниот материјал или на веќе стврднатиот метал на заварот |
| 603 | Местимично корнење, раслојување на материјалот. Местимично оштетување на основниот материјал настанато при отстранување на помошните заварени елементи. |
| 604 | Траги од брусеење. Местимично оштетување поради несоодветно изведено брусеење. |
| 605 | Трага од секач, удар со чекан. Местимично оштетување поради несоодветна обработка со секач, чекан, четка и други алати. |
| 606 | Прекумерно брусеење. Намалување на дебелината заради прекумерно брусеење. |
| 607 | Недостатоци во припојувањето, грешки во припоите пред заварувањето. |
| 6071 | Непроварени припои или разрушени – прекинати припои. |
| 6072 | Припои со преголемо топење и појава на прокапување. |
| 608 | Неусогласеност на заварите изведени со двострано заварување. Отстапување – разлика во централните линии на двата завари изведени на спротивните страни од спојот. |
| |  |
| 610 | Темперна боја, видлив оксиден слој. Лесно оксидирана површина во зоната на заварување, на пример кај нерѓосувачки челици. |

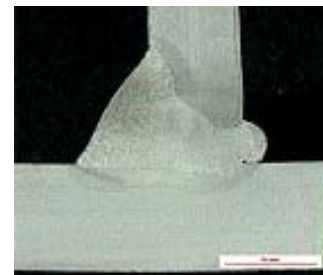
| | | |
|------|--|---|
| 6101 | Промена на бојата, разлевање. Видливо затемнети површински слоеви на металот на заварот и ЗВТ предизвикани од топлината од заварувањето и/или недостаток на заштита, на пример кај титанот. | |
| 613 | Оштетена – намалена површина, поради силно оксидирана површина во зоната на заварување. | |
| 614 | Остатоци од прашок или топител, кој не е доволно отстранет од површината. | |
| 615 | Остатоци од троска, кои не се отстранети од површината - лицето на заварот | |
| 617 | Неправилно растојание во коренот помеѓу елементите при изведба на аголен завар. Растојанието е или преголемо или премало. |  |
| 618 | Брановидност во ЗВТ, се јавува при заварување на лесните метали поради преголемо загревање и подолго време на ладење. |  |



602 Распрскување на додатен материјал



608 Отстапување од централната линија на двостран завар



617 Неправилна широчина во коренот

Сл. VI.80. Фотографии за некои други видови грешки

VII. ЗАВАРУВАЊЕ СО ЕЛЕКТРИЧЕН ОТПОР

При протекување на електрична струја низ метален материјал доаѓа до загревање на истиот. При тоа, интензитетот на појавената топлина, а сразмерно со тоа, и на степенот на загреаноста на материјалот (температурата), во прв ред зависат од: обликот, димензиите и природата на материјалот и од јачината и времетраењето на протекувањето на електричната струја.

Вака развиената топлинска енергија во материјалот, надополнета со надворешна механичка енергија во облик на притисок пренесен преку електрично спроводливите потискувачи, се основа за процесот на спојување на материјалите со заварување со електричен отпор.

Со оглед дека топлината потребна за заварување се генерира во основниот метал, не се доведува од надвор во облик на електричен лак или слично, и немањето потреба од додатен материјал, споевите изведени со оваа техника се одликуваат со посебен квалитет и карактеристики.

Во зависност од големината, обликот на површините и технолошките карактеристики на процесот, развиени се поголем број техники на заварување со електричен отпор, од кои поголема примена имаат:

- заварување во точка,
- заварување во линија, шевно,
- рељефно, проекционо, брадавичесто заварување,
- сочелно заварување, со искрење или без искрење,
- заварување со високофреквентна струја.

VII.1. Основи на процесот на заварување со електричен отпор

Основа на процесот на заварување со електричен отпор е појавата на загревањето на материјалот, кога низ него ќе протече електрична струја.

Електричната струја која се користи при заварувањето со електричен отпор може да биде еднонасочна или наизменична, со тоа што наизменичната има доминантна употреба. Јачините на користените струи се доста високи, од 0,1 до 300kA. Поради релативно малиот електричен отпор на металните материјали кои се заваруваат, напоните се доста мали, од 0,5 до 25V.

Карактеристично за заварувањето со електричен отпор е тоа што времетраењето на протекувањето на електричната струја е доста кратко, и во зависност од техниката и карактеристиките на елементите кои се заваруваат (вид на основни материјали, дебелина, облик и состојба на површината) се движи од 0,05s до наколку десетици секунди, или најчесто се изразува во број на периоди (една периода е $1/50=0,02s$).

Електрично спроводливите потискувачи со кои од надвор се надоплонува процесот со механичка енергија, во зависност од видот на техниката, се изработуваат во најразновидни облици и димензии, но секогаш од високоелектрично спроводливи материјали, најчесто бакар и бакарни легури, со задоволителни механички карактеристики, пред се' тврдост. Така при точкестото заварување се во облик на трнови, при шевното заварување се во облик на вртливи дискови, а при рељефното заварување се во облик на трнови или плочи со поголеми површини.

Интензитетот на развиената топлина во металниот материјал низ кој протекува електрична струја, се определува преку законот на Џаул:

$$Q = U \cdot I \cdot t \text{ (J)}$$

или имајќи го предвид законот на Ом: $I = U/R \rightarrow U = I \cdot R$, законот на Џаул го добива обликот:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (J)}$$

каде се:

- I (A) - јачина на електричната струја,
- U (V) - напон,
- R (Ω) - електричен отпор на материјалите,
- t (s) - време на протекување на електричната струја.

Од претходно претставените зависности може да се заклучи дека интензитетот на развиената топлина е право пропорционален со јачината и времетраењето на протекување на електричната струја и електричниот отпор на материјалот.

Со исклучок на електричниот отпор R, преостанатите параметри I и t се надворешни и диктирани од електричното коло во кое ќе биде вклучен материјалот.

Електричниот отпор е карактеристика на материјалот и зависи од обликот и димензиите во кои е материјалот и неговата природа, претставена преку внатрешната структура и хемискиот состав. На големината на електричниот отпор влијае и околната средина во која ќе се најде материјалот, и тоа најповеќе преку промената на температурата, а значително и поради реакцијата на околината со површината на материјалот: оксидација, корозија и слично. Промената на електричниот отпор во зависност од димензиите и природата на материјалот е претставена со:

$$R = \frac{L}{A} \cdot \rho \text{ (}\Omega\text{)}$$

каде се:

- ρ (Ω/m) - специфичен електричен отпор,
- L (m) - должина на материјалот - проводникот,
- A (m^2) - површина на попречниот пресек на проводникот.

Промената на електричниот отпор во зависност од природата на материјалот и промената на температурата е претставена со:

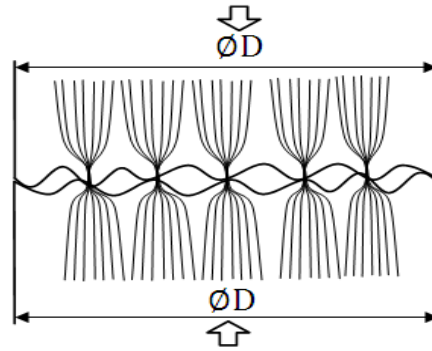
$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \text{ (}\Omega\text{)}$$

каде се:

- R (Ω) - електричен отпор при набљудувана температура T $^{\circ}\text{C}$,
- R₀ (Ω) - електричен отпор при 20 $^{\circ}\text{C}$,
- α (1/ $^{\circ}\text{C}$) - температурен коефициент,
- $\Delta T = T - 20^{\circ}\text{C}$ - темпетарурна разлика,
- T ($^{\circ}\text{C}$) - температура на набљудување.

Процесот на формирање на спојот е заснован пред се' на електричната отпорност помеѓу контактните површини на преклопно поставените елементи, кои се спојуваат. Оваа отпорност е најголема во споредба со сите други електрични отпори кои се јавуваат. Електричниот отпор меѓу контактните површини зависи од повеќе фактори, но најпрво од природата на материјалите на двете метални површини кои се во контакт, од состојбата на контактните површини во поглед на нечистотии, оксиди и рапавост (нерамнини). Со оглед дека, микроскопски набљудувано, целата преклопна површина не е електрично спроводлива, поради појавата на разни нечистотии и нерамнини, преносот на електричната струја ќе се одвива само низ мали контактни метални мостови, слика VII.1. Поради големата густина на електричната струја низ металните мостови, тие интензивно се загреваат и омекнуваат. Со дополнителното дејство од силата на притисок од надвор, пренесена преку електроспроводноливите потискувачи, металните мостови кои омекнале поизразено се деформираат. Со тоа контактните површини се зголемуваат, со што густината на електричната струја опаѓа и контактниот електричен отпор се намалува.

Но претходно постигнатата температура е доволно висока и потпомогната од силата на притисок овозможува спојување на двата метални елементи.



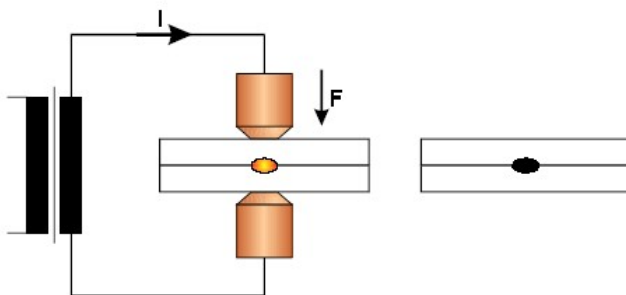
Сл. VII.1. Пренос на електричната струја низ металните мостови

VII.2. Заварување со електричен отпор во точка

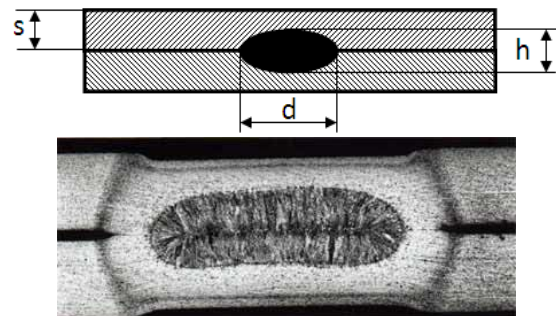
VII.2.1. Основи на техниката на заварување со електричен отпор во точка

Заварувањето со електричен отпор во точка (ЗЕОТ) претставува техника за преклопно спојување на два или повеќе тенки елементи, најчесто лимови, кај која електроспроводливите потискувачи, електродите, се во облик на трнови, слика VII.2.

Заварениот спој при оваа техника на заварување е во облик на леќа, слика VII.3. Пресекот со рамнина паралелна на рамнината на преклопот е круг, а пресекот со рамнина нормална на рамнината на преклопот е елипса.



Сл. VII.2. Изведба на заварувањето со ЕОТ



Сл. VII.3. Заварен спој изведен со ЗЕОТ

Самото спојување се изведува на следниот начин: Елементите кои се спојуваат се поставуваат преклопно врз долниот неподвижен електроспроводлив потискувач, по што со активирање на уредот горниот подвижен потискувач ги притиска двата елементи. Со тоа се затвара секундарното електрично коло од уредот за заварување, и на местото на допир помеѓу двата елементи доаѓа до интензивно загревање, поради највисокиот контактен електричен отпор. Со загревањето електричниот отпор на материјалите кои се заваруваат се зголемува, а со тоа се зголемува и дополнително генерираната топлина, но сега по длабочина во двата материјали. Ова загревање предизвикува топење на материјалите по длабочина, сразмерно на дебелините и електричните отпори на материјалите и параметрите на секундарното електрично коло од уредот за заварување: I и U .

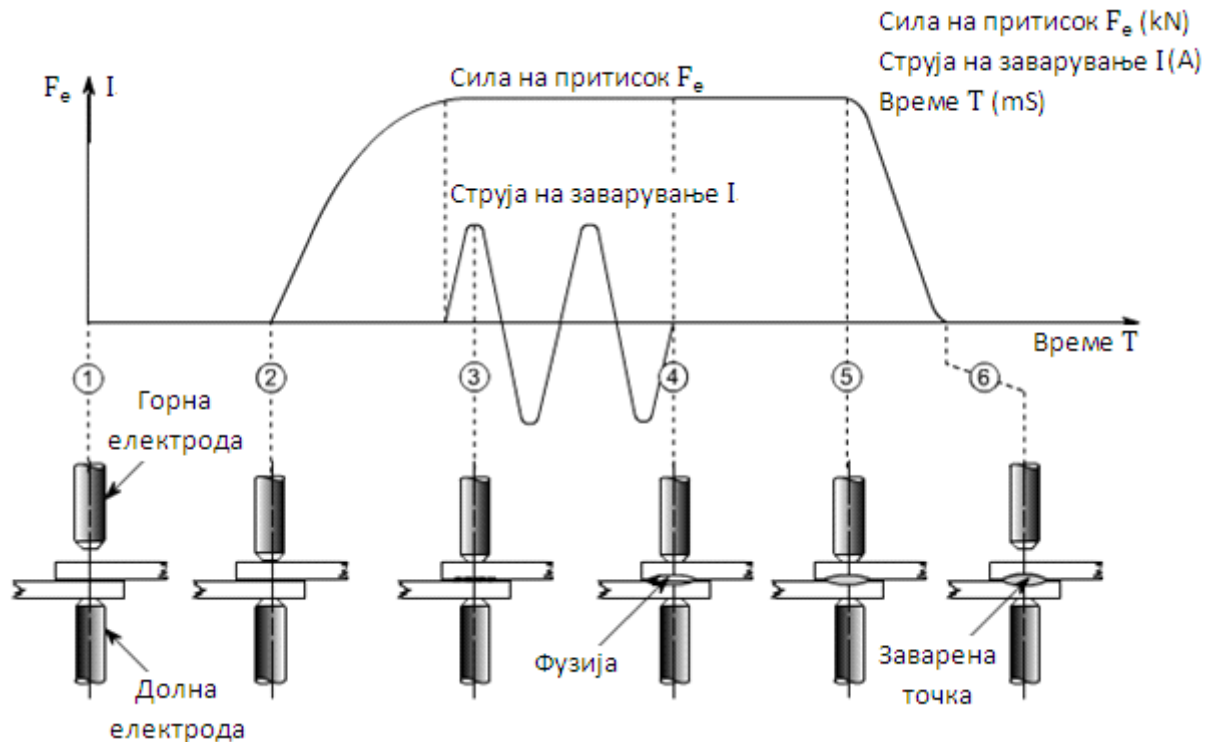
За сето ова време додека протекува електричната струја, силата на притисок од потискувачите постои и истата може да биде со постојан или променлив интензитет.

После определено време t , се прекинува протокот на електричната струја, но притисокот од потискувачите сеуште дејствува. Во оваа фаза доаѓа до интензивно ладење на заварената точка поради оддавање на топлината низ основните

материјали и низ потискувачите, кои најчесто во внатрешноста се шупливи и интензивно се ладат со вода.

Во последната фаза, престанува дејството на силата на притисок од потискувачите, горниот подвижен потискувач се крева и завршува циклусот за изведба на една заварена точка.

Шематски приказ на циклусот за изведба на една заварена точка е претставен на слика VII.4.



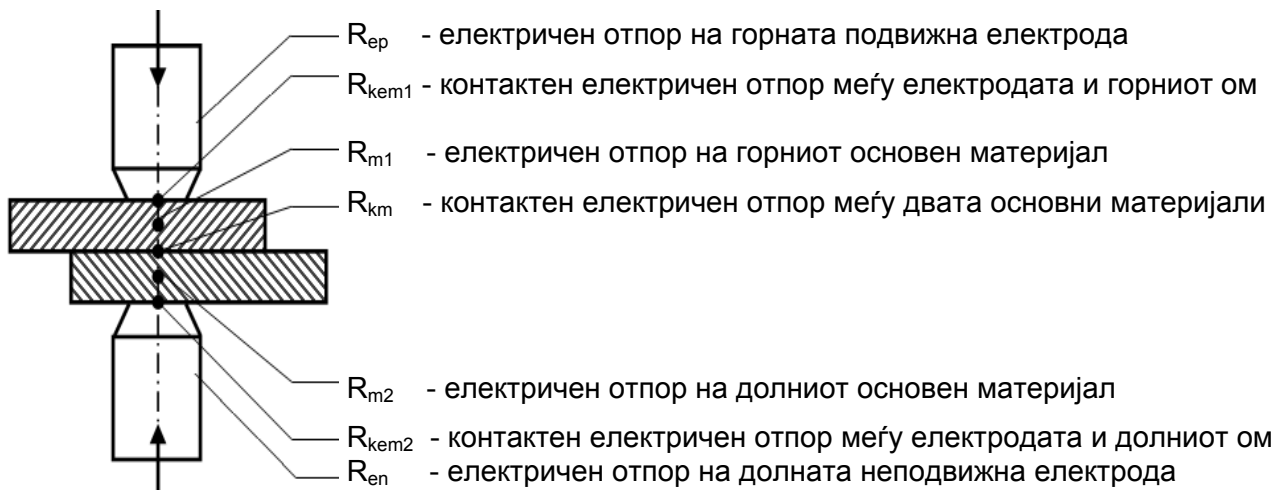
Сл. VII.4. Циклус за изведба на една заварена точка

На обликот и димензиите на заварената точка влијае правилниот избор на елементите на режимот на заварување:

- I (A) - јачина на електричната струја,
- t (s) - време на протекување на електричната струја,
- F_e (N) - сила на притисок од потискувачите,
- U (V) - напон,
- Обликот, димензиите и материјалот од кој се изработени потискувачите, електродите,
- Како и пред се' природата на материјалите кои се заваруваат.

VII.2.2. Анализа на електричните отпори при заварувањето со електричен отпор во точка

Не навлегувајќи во детална анализа на секундарното електрично коло од уредот за ЗЕОТ, чии составен дел се потискувачите (електродите) и елементите кои се спојуваат, и целокупната промена на електричниот отпор во истото, анализата ќе биде извршена само на електричните отпори кои се јавуваат во системот електроди и елементи кои се спојуваат. Овие отпори имаат најголемо влијание врз обликот, димензиите и квалитетот на заварената точка. На слика VII.5. се претставени електричните отпори кои се јавуваат во системот електроди и елементи кои се спојуваат.



Сл. VII.5. Електрични отпори во системот електроди и елементи кои се спојуваат

Вкупниот електричен отпор во овој систем е:

$$R = R_{ep} + R_{kem2} + R_{m2} + R_{km} + R_{m1} + R_{kem1} + R_{en} \quad (\Omega)$$

Во случај на спојување на два елементи од иста природа и дебелина со електроди изработени од ист материјал, дел од отпорите се еднакви:

$$R_{m1} = R_{m2} = R_m$$

$$R_{en} = R_{ep} = R_e$$

$$R_{kem1} = R_{kem2} = R_{kem}$$

Поради што вкупниот отпор ќе биде:

$$R = 2R_e + 2R_{kem} + 2R_m + R_{km}$$

Со оглед дека потискувачите се изработуваат од електроспроводливи материјали со многу мал електричен отпор, најчесто Си или неговите легури, $R_e \ll R_m$, промените на електричните отпори во нив се занемарливо мали, па електричните отпори R_{en} и R_{ep} , односно $2R_e$, може да се занемарат. Тогаш вкупниот отпор ќе биде:

$$R = 2R_{kem} + 2R_m + R_{km}$$

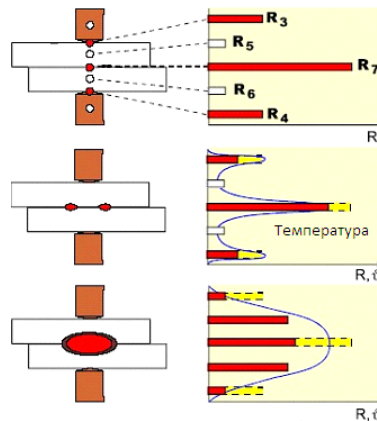
Електричните отпори R_{m1} и R_{m2} се карактеристики на основните материјали кои се заваруваат и тие се значително помали од контактните отпорности, кои покрај од видовите на основните материјали зависат и од состојбата на допирните површини и силата на притисок од електродите.

Притисните површини од електродите се изработуваат со висок квалитет, со што контактните електрични отпори меѓу нив и површините на елементите кои се спојуваат се помали, во споредба со контактните електрични отпори меѓу површините на допир на елементите кои се спојуваат.

$$R_{km} > R_{kem} \gg R_m$$

Вкупната отпорност со тек на времето на заварување се менува, на почетокот при протекување на електричната струја таа претежно е еднаква на контактната електрична отпорност меѓу елементите кои се заваруваат. На интензитетот на оваа отпорност R_{km} , покрај рапавоста на површините и присуството на оксиди, значително влијаат и: тврдоста, специфичниот деформационен отпор, електричната и топлинската спроводливост на материјалите кои се спојуваат, зголемувањето на површината на заварената точка. Со зголемување на силата на притисок од електродите и со зголемувањето на температурата, отпорот R_{km} (R_7) забрзано опаѓа,

слика VII.6. Тоа се објаснува со зголемување на електричната спроводлива површина, поради сплеснување на нерамнините и поради разорување на оксидите на зголемени температури.



Сл. VII.6. Промена на електричните отпори со зголемување на температурата

Додека со зголемувањето на температурата електричните отпори на основните материјали R_{m1} (R_5) и R_{m2} (R_6) се зголемуваат и тие остануваат единствени иницијатори за понатамошното генерирање на топлината. Топлината и понатаму е најголема во близината на допирот меѓу двете површини на елементите кои се заваруваат, поради тоа што на ова место предгреењето предизвикано од R_{km} е најголемо. По определено време електричните отпори R_{m1} и R_{m2} повторно опаѓаат поради зголемување на површината на заварената точка.

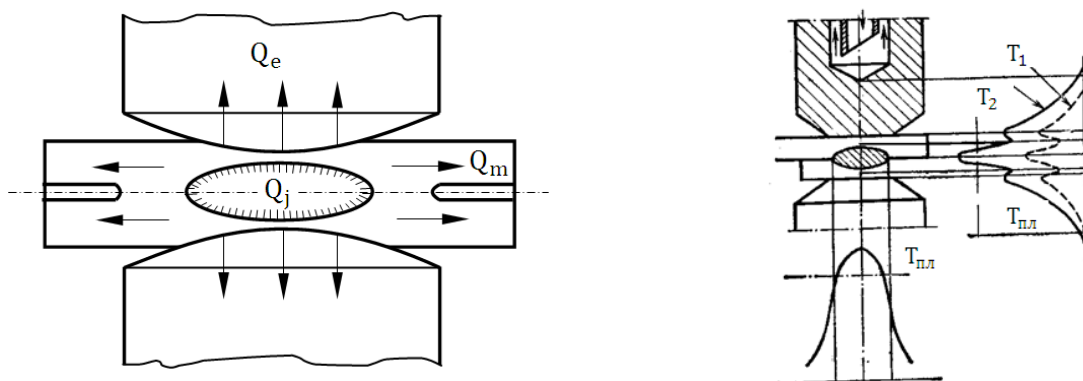
Количината на топлина Q која се развива во зоната на заварување, зависи од јачината на струјата за заварување I_z , времетраењето на нејзиното протекување t_z и вкупниот електричен отпор R , и таа се определува по законот на Џаул, по равенката:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (J)}$$

Количината на вкупно генерираната топлина се распределува на три дела, прикажано на слика VII.7.a, каде се:

- Q_j - топлина за загревање и топење на јадрото на заварената точка,
- Q_m - топлина за загревање на металот кој го обиколува јадрото,
- Q_e - топлина која поминува во електродите.

$$Q = Q_j + Q_m + Q_e \text{ (J)}$$



Сл. VII.7. Распределба на вкупно генерираната топлина и температура при ЗЕОТ

Количината на генерираната топлина Q мора да биде поголема од количината на топлина Q_j потребна за оформување на заварената точка, поради загубите во околниот метал и електродите Q_m и Q_e .

Во претходните излагања е споменато дека заварените точки имаат две оски на симетрија: едната која лежи во рамнината на спојувањето и другата која е

нормална на рамнината на спојувањето. Ваков облик на заварената точка е директна последица од начинот на распределба на топлината при оваа техника на заварување. За рамнините паралелни на рамнината на спојување, температурното поле се претставува со кружни центрични изотерми, а во рамнините нормални на рамнината на спојување со концентрични елиптични изотерми.

VII.2.3. Влијание на режимот на заварувањето со електричен отпор во точка

Режимот на заварувањето со електричен отпор во точка го чинат:

- I_z (kA) - јачина на струјата за заварување,
- t_z (периоди)- време на протекување на струјата за заварување,
- F_e (N) - сила на притисок од електродите,
- U_z (V) - напон на заварување,
- Материјал за изработка, облик и димензии на електродите.

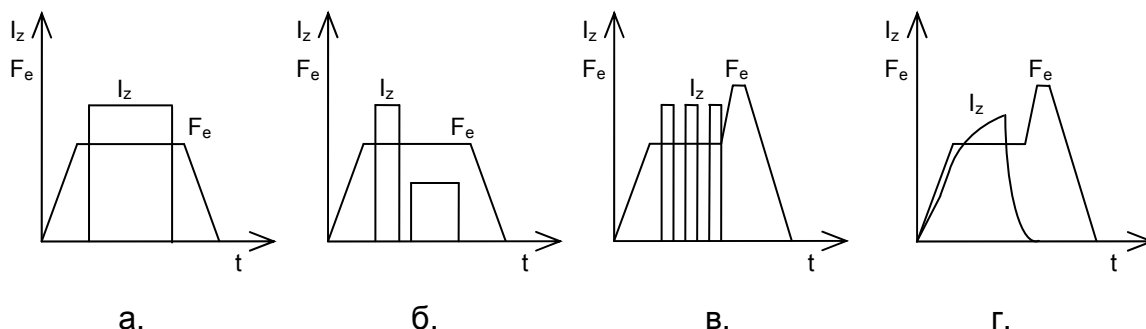
Во зависност од меѓусебниот однос на: I_z , t_z и F_e , режимите на ЗЕОТ може да се поделат во три групи:

- тврд, остар режим,
- среден режим,
- мек, благ режим.

Со зголемување на силата на притисок и јачината на струјата, а со истовремено намалување на времето на протекување на струјата се зголемува степенот на тврдост на режимот.

Сите претходно споменати елементи на режимот можат да се изберат и контролираат, но при тоа мора да се води сметка за нивното взаемно влијание. Изборот на нивниот оптимален сооднос е главен проблем при ЗЕОТ и тој зависи од: природата, обликот и димензиите на материјалите кои се заваруваат. Што се однесува до U_z , кај уредите за ЗЕОТ на челични материјали, тој не се избира туку истиот е дефиниран со внатрешната карактеристика на уредот во зависност од избраната јачина на струјата I_z . Додека кај уредите за ЗЕОТ на обоените метали, кои се одликуваат со високи моќности, напонот се избира посебно, но сепак во зависност од другите елементи на режимот.

Во зависност од промените на струјата I_z и силата на притисок на електродите F_e , со текот на времето на заварување, се среќаваат разновидни циклуси на ЗЕОТ, некои од нив прикажани се на слика VII.8.



Сл. VII.8. Циклуси на заварувањето со електричен отпор во точка

Циклусот на слика VII.8.а, претставува ЗЕОТ со еден пулс и со константна сила на притисок од електродите. Се применува за заварување на нискојаглеродни челици со дебелина до 4mm.

Циклусот на слика VII.8.б, претставува ЗЕОТ со два пулса. Првиот пулс е со повисока струја и со него се врши заварувањето, а вториот пулс е со пониска струја и со него се врши дополнително загревање, за намалување на брзината на ладење т.е. како дополнителна топлинска обработка. Овој циклус се користи за заварување на челиците кои се склони на закалување.

Циклусот на слика VII.8.в, е ЗЕОТ со повеќе пулсеви и со променлива сила на притисок од електродите. Се применува за заварување на нискојаглеродни челици со дебелина преку 6mm.

Циклусот на слика VII.8.г, е ЗЕОТ со променлива јачина на струја за заварување и променлива сила на притисок од електродите. Се применува за заварување на алуминиум со дебелина преку 1,5mm.

Трите патаметри специфично влијаат на формирањето, обликот и квалитетот на заварената точка.

Силата на притисок на електродите се смета како статичка сила. При изборот на истата главна водилка е јакоста на кинење на заваруваниот материјал. Оваа сила треба да се употреби пред почетокот на протекување на струјата, за да бидат работните предмети силно притиснати еден со друг, а со што се овозможува проток на електричната струја.

Јачината на струјата за заварување има најголемо влијание врз големината и квалитетот на заварената точка. Нејзината големина е ограничена од два фактора: минималната вредност е определена со потребната топлина за појава на топење на контактните слоеви, а максималната вредност е ограничена со појавата на омекнување на горните слоеви од работниот предмет со што доаѓа до втиснување на електродите во предметот и до исфрлање на растопен метал на допирните површини. Меѓутоа, воопшто со зголемување на струјата до извесна граница се зголемува јакоста на заварената точка.

Интензитетот на силата, покрај природата на материјалот, го определува електричниот отпор, а со тоа и загревањето во околината на спојувањето. Недоволно голема сила предизвикува излевање на растопен метал помеѓу заваруваните елементи, внатрешни грешки и прегоретини на површината. Превисока сила предизвикува оштетување на површините, одвојување на работните предмети и бара повисока струја за заварување, бидејќи се смалува контактниот отпор, поради зголемување на контактната површина низ која протекува струјата. Со зголемување на силата на притисок се смалува и дијаметарот на заварената точка и длабочината на топење.

Времето на проток на струјата влијае на вкупно генерираната топлина во работниот предмет. Вкупната топлина може да се ограничи со ограничување на ова време, а за зголемена струја и притисок од електродите, но до некоја гранична вредност.

Определувањето на параметрите на највлијателните елементи од режимот за заварување, при постојаност на влијанијата од дополнителните фактори, се врши во зависност од поставениот излезен параметар: димензии на заварените точки или сила на разорување на заварените точки.

При изборот на параметрите на основните елементи од режимот за ЗЕОТ: I_z , t_z и F_e постои взаемно дејство. Со слободен избор на параметарот на еден од елементите, параметрите на преостанатите два се веќе ограничени.

Самото определување на параметрите може да се базира на искусвени податоци или да се реализира по методот на проби.

Кај методот на проби најпрво се избираат електроди со определени карактеристики, облик, димензии и материјал за изработка, потоа се избираат времето на протекување на електричната струја t_z и силата на притисок од електродите F_e , според таблични или искусвени податоци. Се започнува со заварување со струја со најниска вредност и истата постепено се зголемува додека не се добие заварена точка со претходно определени димензии. Доколку со зголемувањето на струјата не се постигнат бараните димензии на заварената точка, може да се намали силата на притисок од електродите F_e или да се зголеми времето на протекување на електричната струја t_z .

Врз основа на практични искуства за оваа намена изготвени се табели во кои, во зависност од видот на материјалите кои се заваруваат, нивните димензии и степенот на тврдост на режимот, дадени се препорачливи вредности за основните елементи од режимот за ЗЕОТ: I_z , t_z и F_e .

Често пати за оваа намена се користат и номограми, во кои се на графички начин претставени зависностите на основните елементи од режимот за заварување. Од номограмот може да се определи и вредноста на очекуваната сила на смолкнување на заварената точка, реализрана со претходно избраните параметри.

VII.2.4. Уреди за заварување со електричен отпор во точка

За изведба на квалитетен заварен спој, точка, од уредот за ЗЕОТ се бара да:

- спроведе електрична струја од изворот, електричната мрежа, до елементите кои се спојуваат, со најмали можни енергетски загуби,
- одржува постојан притисок со определен интензитет врз елементите кои се спојуваат,
- овозможува лесно подесување и контрола на параметрите од режимот за заварување, пред и за време на самиот процес на спојување.

Со правилен избор на видот на уредот за ЗЕОТ во значителна мера се допринесува за квалитетот на заварените точки. Изборот треба да се врши врз основа на природата на материјалите кои се заваруваат, нивните облици и димензии и намената на заварените елементи.

Претходно дефинираните барања, секој уред за ЗЕОТ ги задоволува преку трите основни конститутивни единици, без разлика на конструктивната изведба на уредот, а тие се:

Електричен дел, кој се состои од:

- извор на енергија за заварување, најчесто трансформатор,
- уред за електрично управување, тиристори и игнитрони,
- склопки за вклучување или исклучување од мрежниот напон,
- електрични проводници.

Механички дел, кој се состои од систем за задвижување на електродите и обезбедување на сила на притисок со определен интензитет и за определено време.

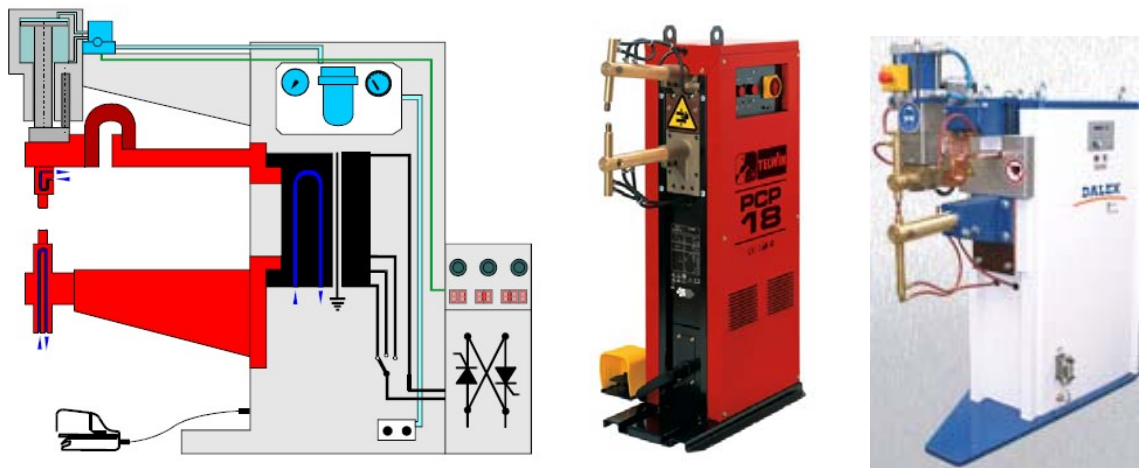
Управувачки дел, составен од електронски систем за програмирање и контрола на параметрите од режимот за заварување.

За преобразба на електричната енергија од електричната мрежа во електрична енергија погодна за заварување, најчесто се користат трансформатори за намалување на напонот. При тоа електричната енергија може директно од електричната мрежа да доаѓа во примарната намотка од трансформаторот или најпрво да биде акумулирана во кондензатор, а од таму до примарната намотка од трансформаторот.

Трансформаторите кои се користат за оваа намена се карактеризираат со високи струи на излезот од секундарната намотка, редна големина kA, и релативно мал напон, мах до 25V во празен од.

Трансформаторските уреди за ЗЕОТ најчесто се приклучуваат на трифазна електрична мрежа, а кондензаторските на еднофазна.

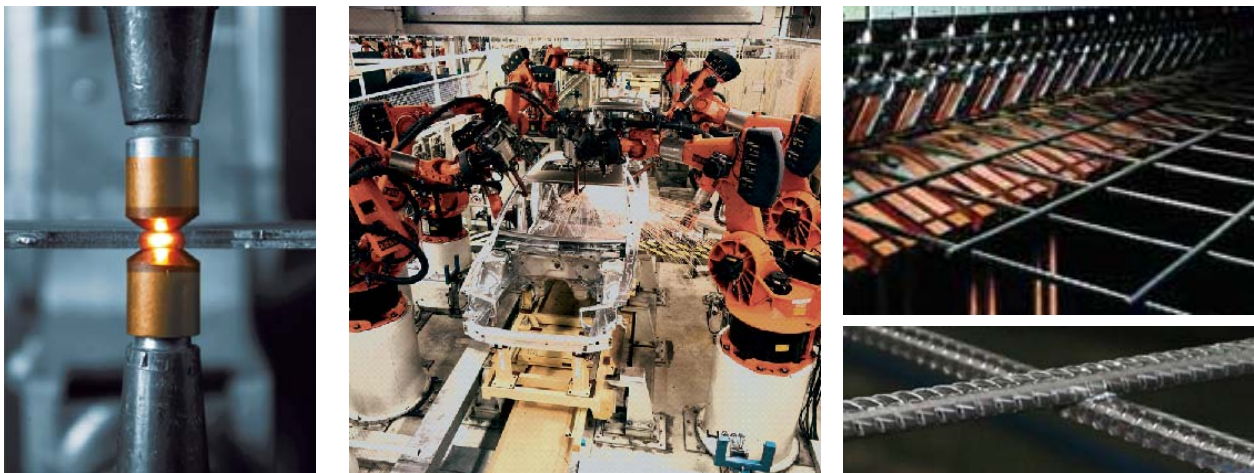
Поради промените на мрежниот напон, предизвикани од вклучувањето и исклучувањето на други потрошувачи во мрежата, се менува и напонот во трансформаторскиот уред. Ова нестабилност на параметрите од пропишаниот режим на заварување се одразува врз квалитетот на заварениот спој, што не е случај и при употреба на кондензаторски уред. На слика VII.9. прикажани се уреди за ЗЕОТ.



Сл. VII.9. Уреди за заварување со електричен отпор во точка

VII.2.5. Примена на заварувањето со електричен отпор во точка

Заварувањето со електричен отпор во точка најчесто се употребува за преклопно спојување на тенки лимови од конструктивен челик, легиран челик или алуминиумски материјали во автомобилската индустрија при градба на каросерии. Воопшто се користи за спојување на конструкции со тенки видови, а за најразлична намена. Неретко се користи и за спојување на линерани тела со мал попречен пресек, жици или прачки, за разновидна употреба во градежништвото, архитектурата и слично, слика VII.10.



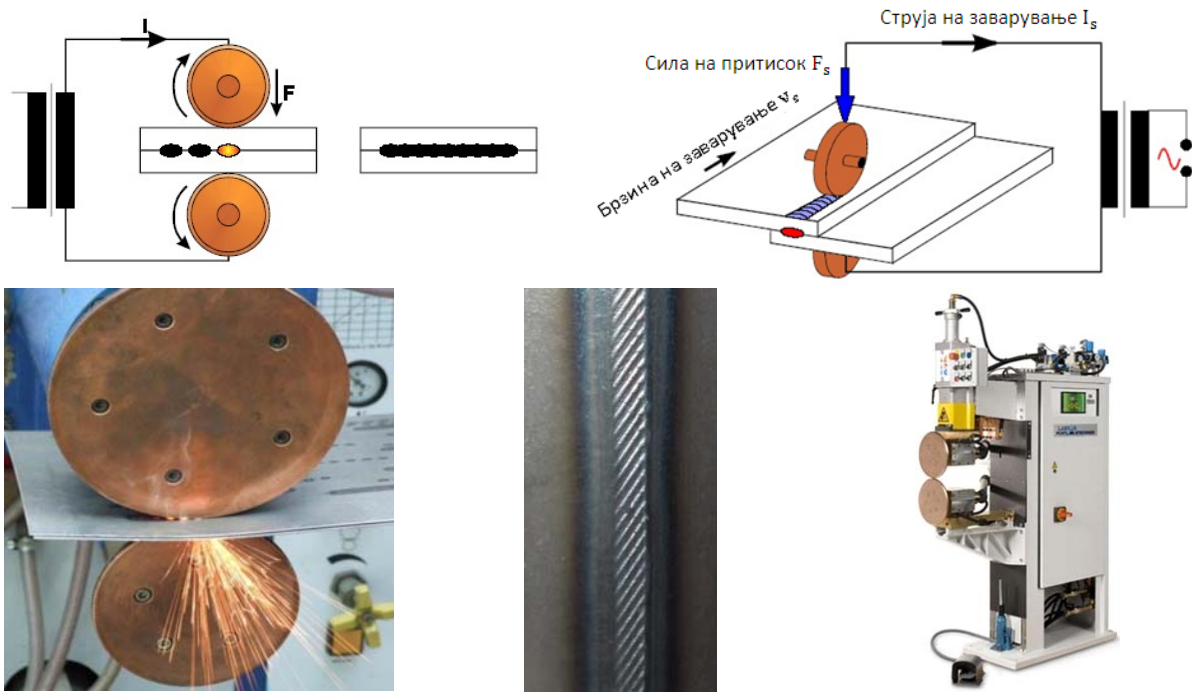
Сл. VII.10. Примери на употреба на заварувањето со електричен отпор во точка

VII.3. Заварување со електричен отпор во линја, шевно

VII.3.1. Основи на техниката на заварување со електричен отпор во линија

И со техниката на заварување со електричен отпор во линија преклопно се спојуваат тенки елементи со континуирани или со испрекинати споеви, зависно од режимот на заварување, односно примената и бараните карактеристики на спојот.

Елементите што се заваруваат се поставуваат меѓу две бакарни електроди, дискови, низ кои протекува струја и кои ротираат околу својата оска. Електродите, исто така, ја пренесуваат и силата на притисок врз работните предмети, слика VII.11.



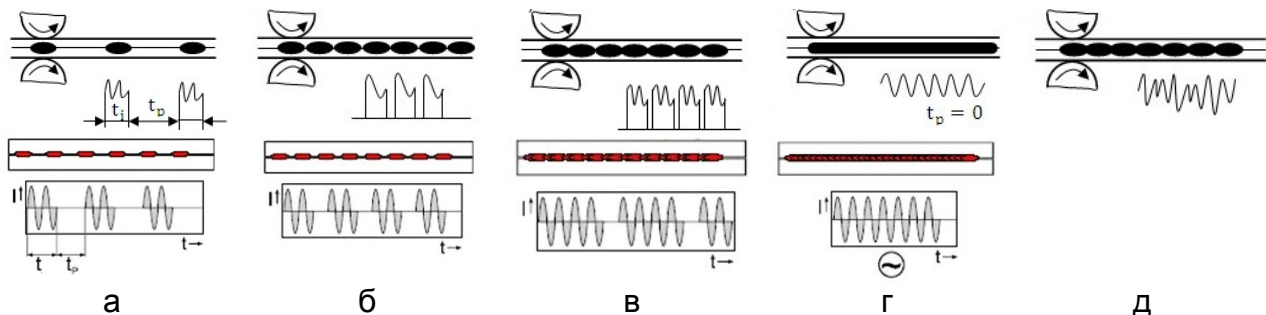
Сл. VII.11. Изведба на заварувањето со електричен отпор во линија, шевно

Механизмот на создавање на заварениот спој кај оваа техника е идентичен како кај заварувањето во точка.

Ротирањето на електродите овозможува транслаторно движење на предметите и, заедно со топлината што се ослободува на контактните површини, се создаваат услови за образување на спој во правец на движење на деловите. Во електродите се внесува голема количина топлина, што наметнува потреба за интензивно ладење. Тоа се прави со струење на вода низ канали во електродите.

Електричната струја до деловите се доведува континуирано или испрекинато.

Испрекинатото протекување на струјата може да се изведе со разни односи на времето на проток на струјата t_i , и времето на пауза t_p . Тој однос битно влијае на формата на заварениот спој, слика VII.12.



Сл. VII.12. Влијание на односот $t_i \div t_p$ на формата на заварениот спој

Случајот а, го покажува спојот кога времето на пауза t_p е многу подолго од времето на пропуштањето на струјата t_i . Тогаш се добиваат заварени точки и оваа форма е еквивалентна на заварувањето во точка.

Кога времето на пропуштање на струјата t_i е поголемо од времето на пауза t_p се добиваат точки во низа и со зголемување на односот t_i/t_p заварениот спој се приближува до чисто линиско заварување, случаи б и в.

Случајот г претставува чисто линиско заварување, струјата протекува непрекинато, односно $t_p = 0$.

Случајот д е заварување со непрекинат проток на струја, но со променлива јачина на струјата.

VII.3.2. Режи́ми на заварување со електричен отпор во линија

Режимот на заварувањето со електричен отпор во линија го чинат:

- I_z (kA) - јачина на струјата за заварување,
- t_i (периоди)- време на протекување на струјата за заварување,
- t_p (периоди)- време на пауза, кога не протекува струјата за заварување,
- F_e (N) - сила на притисок од електродите,
- V_z (m/min) - брзина на движење на предметот, периферна брзина на дисковите - електродите,
- b_e (mm) - широчина на дискот – електродата.

- Материјал за изработка, облик и димензии на дисковите - електродите.

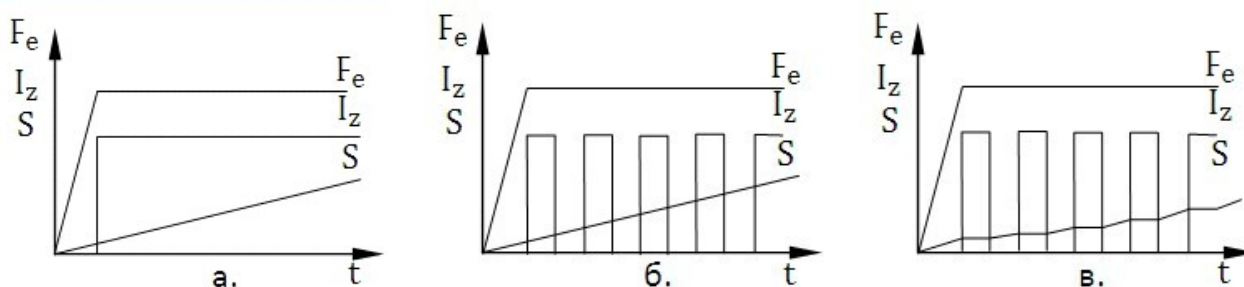
Квалитетот на заварениот спој во најголема мера зависи од изборот на правилен сооднос помеѓу: I_z , F_e и V_z . Влијанието на односот $t_i \div t_p$ е врз формата на заварот и за тоа е дискутирано во предходното излагање.

Во основа можни се три видови на циклуси на заварувањето со електричен отпор во линија:

а. Континуирано движење на предметите со константен притисок и непрекинат проток на електричната струја, слика VII.13.а.

б. Континуирано движење на предметите со константен притисок и прекинат проток на електричната струја, пулсирачки, слика VII.13.б.

в. Движење на предметите со прекин, со константен притисок и прекинат проток на електричната струја. Движењето се запира во моментот на протекување на струјата, слика VII.13.в.



Сл. VII.13. Видови на циклуси при заварувањето со електричен отпор во линија

Првиот циклус ретко се применува, бидејќи квалитетот на заварување е сиромашен и електродите брзо се трошат, како резултат на брзото загревање.

Вториот циклус е најприменуван, а главно се користи за заварување на челиците.

Третиот циклус се применува за заварување на алуминиум, бидејќи тој е потоплоспроводлив и со помал електричен отпор, па е нужна поголема количина топлина за да се изведе квалитетно заварување.

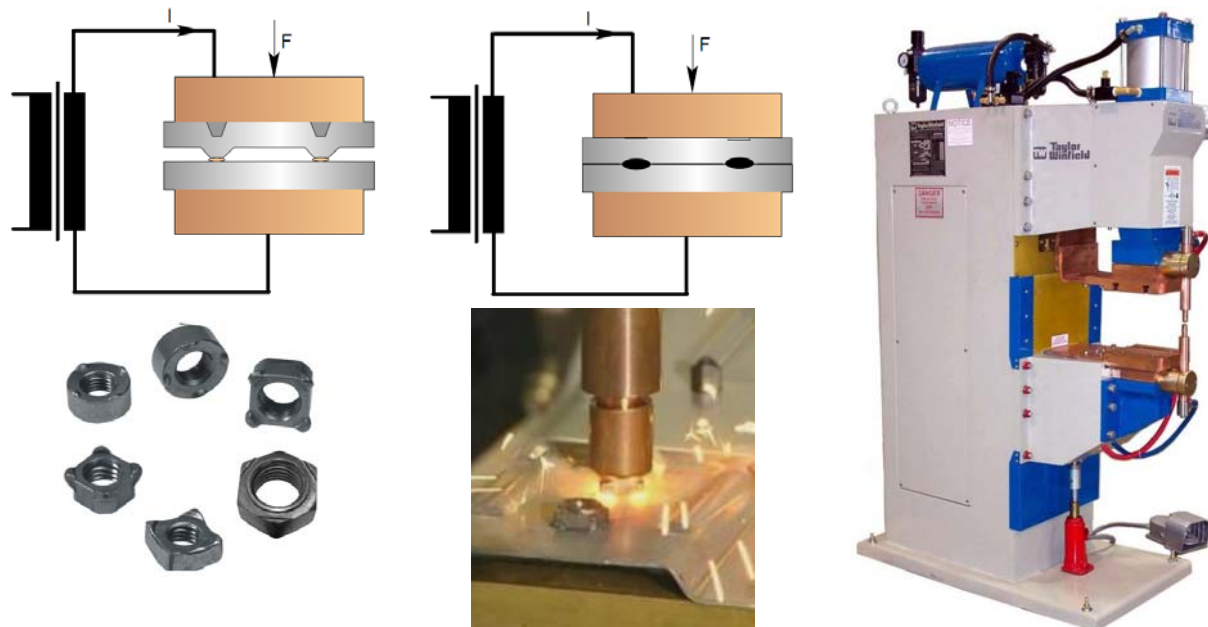
Во табелата VII.1. дадени се споредбено параметри за заварување на елементи со иста дебелина од 1mm, од нискојаглороден челик, нерѓосувачки челик и алуминиум.

Табела VII.1. Параметри за преклопно заварување со електричен отпор во линија

| материјал | I_z (kA) | t_i (s) | t_p (s) | V_z (m/min) | F_e (kN) | b_e (mm) |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|---------------|------------|------------|
| нискојаглороден челик | 15 | 0,06 | 0,06 | 1,75 | 4,0 | 6,0 |
| нерѓосувачки челик | 5 | 0,06 | 0,06 | 1,00 | 2,7 | 7,0 |
| алуминиум | 32 | 0,06 | 0,10 | 0,75 | 3,4 | 3,6 |

VII.4. Заварување со електричен отпор на рељефни површини

Со оваа техника на заварување со електричен отпор преклопно се спојуваат поголеми површини, но при тоа спојувањето не е по целата преклопна површина, туку само на местата на кои претходно се изработени рељефи, брадавици, ритчиња, со определен облик и димензии, слика VII.14.



Сл. VII.14. Изведба на заварувањето со електричен отпор на рељефни површини

Обликот и димензиите на рељефите зависи од дебелината на елементите кои се спојуваат и од видот на материјалите од кои се изработени.

Концентрирајќи се електричната струја низ така мали површини, се зголемува нејзината густина со што се зголемува и контактниот електричен отпор, а како последица на тоа се зголемува и количината на генерираната топлина на местото на допир помеѓу рељефите и рамниот елемент.

При овој вид на заварување потребни се помали јачини на струја и помала сила на притисок од електродите во однос на заварувањето со електричен отпор во точка, при заварување на елементи со исти дебелини и изработени од исти материјали.

Како недостаток на оваа техника може да се смета дополнителната операција на изработка на рељефите. Инаку заварувањето се изведува на сличен или ист уред како за ЗЕОТ, со таа разлика што електродите се со поголеми дијаметри, површини или се во облик на плочи.

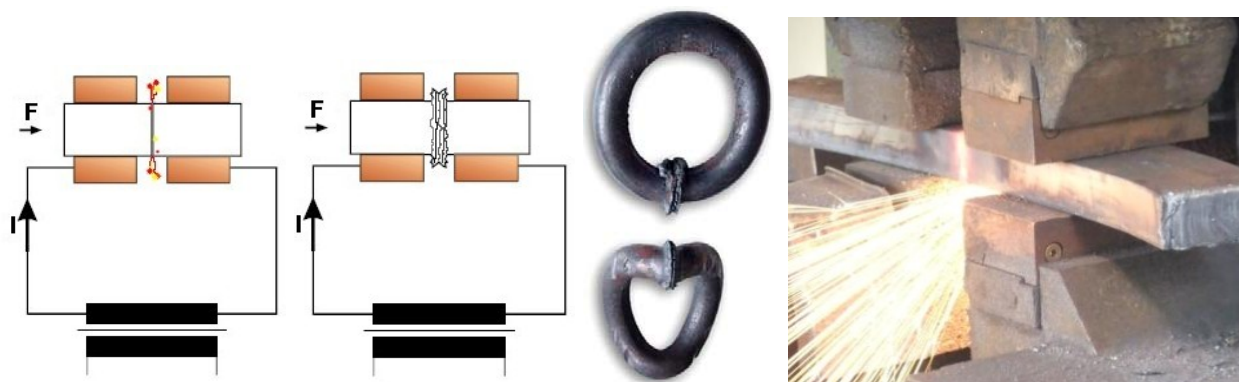
VII.5. Челно заварување со и без искрење

Металните елементи што се заваруваат челно се прицврстуваат со две електроди, во облик на стегачи.

Едниот носач на електродата е неподвижен, а другиот подвижен, кое овозможува приближување и одалечување на работните предмети.

Од кога електричната струја ќе биде вклучена, работните предмети се приближуваат и при доволно приближување се јавува протекување на струја на куса врска помеѓу двете површини, кое што предизвикува загревање на сочелните површини. Потоа предметите се одалечуваат за да има време металот околу челната површина да се загрее порамномерно. Процесот на одалечување и приближување може да се обнови неколку пати, но и само еднаш. Оваа фаза се

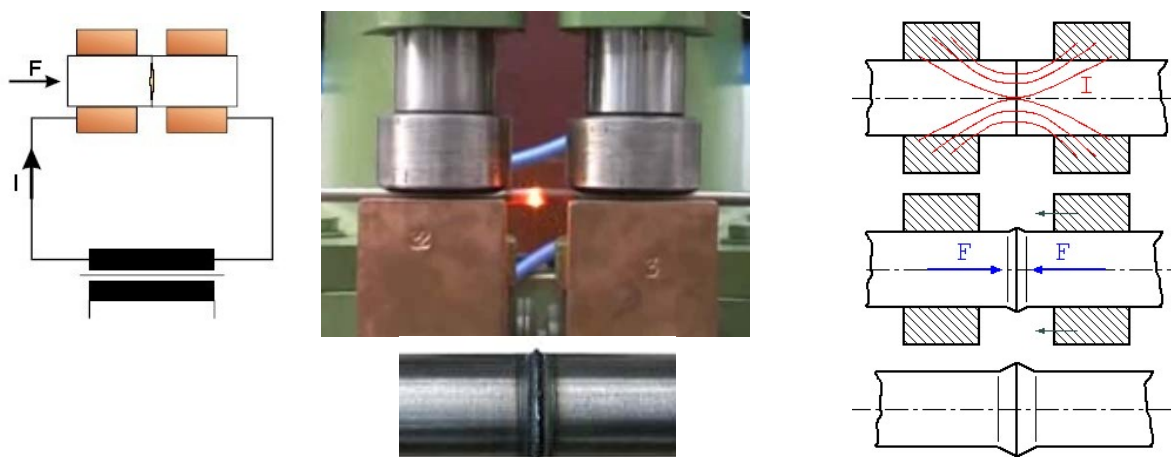
нарекува предгреење. По постигнувањето на бараната температура на работните предмети се врши само приближување и притискање. Во оваа фаза се јавува испарување на металот, а тенденцијата за излегување на гасовите се манифестира со бројни мали експлозии, при што надвор излегуваат ситни капки на растопен метал кои се гледаат како искри. Според овој ефект е добиено и името на техниката, заварување со искрење, слика VII.15.



Сл. VII.15. Челно заварување со искрење

Оваа техника се применува за заварување на челични прачки, цевки, лимови, кои во најголем број се феритни метали. Техниката се среќава и при сочелно спојување на железнички шини.

Сличен процес на заварување претставува техниката на сочелно заварување со електричен отпор со притискање без искрење. Во овој случај се работи со пониски струи, а загревањето на предметите се врши со електричен отпор, поради проток на струјата. Загревањето е побавно и кога предметите доволно ќе се загреат со силата на притисок се извршува нивно спојување, слика VII.16.



Сл. VII.16. Челно заварување без искрење

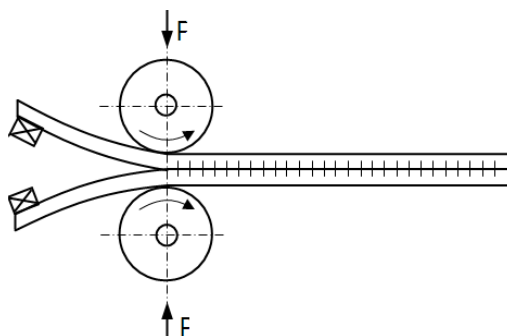
Оваа техника на заварување, исто така, се применува за челно спојување на челични прачки, цевки, жици со помали димензии. Техниката се среќава и при сочелно спојување на алки за ланци.

VII.6. Заварување со електричен отпор со високофреквентна струја

Оваа заварување го исползува феноменот на електричната струја со висока фреквенција да тече на или близу површината на еден спроводник, а не низ целиот попречен пресек. Друг феномен на овој вид струја е да тежи да тече по спроводник со ниска спроводливост, а не со низок електричен отпор. Овие две особини овозможуваат заварување и на многу тенки елементи и ефективниот електричен

отпор е многу поголем во однос на протекувањето на струјата со фреквенција од 50Hz. Тоа значи дека јачината на струјата, потребна да ослободи определена количина топлина, е пониска за работа со високофреквентна струја. За заварување се применува струја со фреквенција од 400 до 1600kHz.

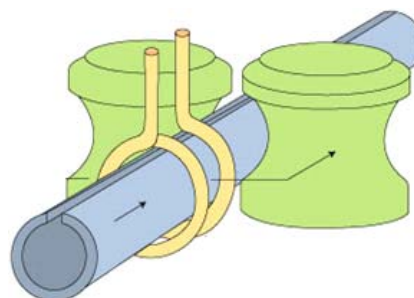
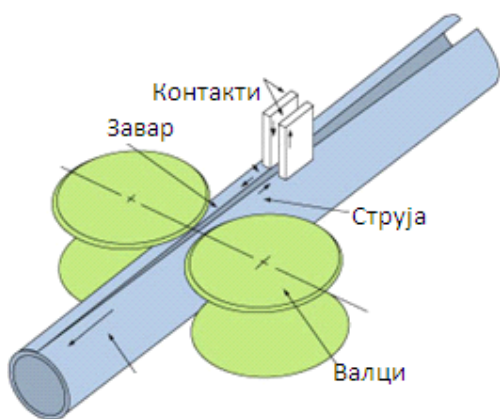
Во работните предмети струјата се доведува низ лизгачки контакти и тече по рабовите на предметите. Во точката на контактот на предметите се развива голема количина топлина која, во содејство со сила на притисок, овозможува заварување на предметите, слика VII.17.



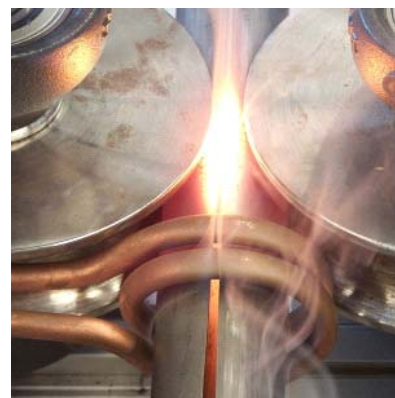
Сл. VII.17. Заварување со електричен отпор со високофреквентна струја

Загревањето во контактот се врши на мал волумен од металот и, како последица на тоа, оваа техника се карактеризира со голема брзина на заварување, од 40 до 140m/min. Моќта на изворот на струја се движи од 140 до 280kW.

Најчеста примена на оваа техника се среќава во производството на заварени цевки, слика VII.18.а. За производство на цевки со помали дијаметри, покрај загревањето со контакт, се среќава и загревање со индукција, слика VII.18.б. Подготовката и заварувањето на цевките се врши во една автоматизирана линија.



а. заварување со контакт



б. заварување со индукција

Сл. VII.18. Заварување на цевки со електричен отпор со високофреквентна струја

VIII. ТЕХНИКИ НА ЗАВАРУВАЊЕ СО ДРУГИ ЕЛЕКТРИЧНИ ИЗВОРИ

Оваа група техники ја користат електричната енергија како извор на топлина, но, меѓусебно, значително се разликуваат според карактерот на непосредниот извор на топлина, трансформацијата на енергијата и технолошките можности на одделни процеси. Како резултат на тоа, во овој дел неможе да се проучуваат нивните заеднички особини, бидејќи тие не постојат, за разлика од техниките, кои како извор на топлина го користат електричниот лак или загревањето со електричен отпор.

VIII.1. Заварување со дифузија

Современата техника стимулира примена на нови материјали, нови обработки и компонирање, како резултат на барањата што ги поставуваат условите на експлоатација на конструктивните елементи. Овој тренд не ја заобиколи ни заварувачката технологија и како последица се јавија нови техники, со нови можности за спојување на материјалите со: електронски сноп, ласерски сноп, дифузија и други.

Заварувањето со дифузија поставува една истакната техника на спојување во компонирањето на конструктивни елементи во воздухопловната, нуклеатната, електронската индустрија и други.

Во принцип, оваа техника е иницирана уште во старите времиња, како заварување со ковање. Меѓутоа, заварувањето во вакуум, со можностите што сега ги пружа, е почнато во 1953 година од големиот руски истражувач Казаков. Тој имаше посебна заслуга во спектакуларниот потфат што го виде светот: во орбитата околу Земјата со оваа техника беше изведено заварување надвор од вселенскиот брод.

Пионерскиот потфат на Казаков беше продолжен од многу истражувачи кои ја овозможиле примената на ова заварување во индустријата.

VIII.1.1. Дифузија

Оваа техника на заварување претставува спојување на материјали во цврста состојба, па интересот ќе биде свртен кон дифузијата во оваа агрегатна состојба.

Дифузија претставува процес на интерпенетрација на два материјала кои се во контакт, поради разлика во концентрациите. Процесот е резултат на природната тенденција на материјалите да воспостават хомогена распределба на нивните честици низ еден систем, кој што може да се смета како форма на вториот закон на термодинамиката.

Кога два флуида, течни или гасовити, се постават во контакт, се измешуваат без надворешна интервенција, а процесот трае додека смесата на се хомогенизира. Истиот феномен може да се случи и кај цврстите тела, но процесот е многу бавен.

Основниот закон за дифузија на еден елемент во другиот го поставил Фик, чија математичка интерпретација во Ox координатниот систем е:

$$dm_x \approx A \cdot \frac{dc}{dx} dt$$

каде A е површина во рамнината yz , низ која минуваат честиците, C е концентрација на материја во единица волумен на дифундирани честици, t е време. Ако се стави константата на пропорционалност односно коефициентот на дифузија, D , и изразот се преуреди, се добива следниот облик:

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{dm_x}{dt} = -D \cdot \frac{dc}{dx}$$

Левата страна од изразот го претставува преминот на количината материјал во единица време, нормално низ единична површина. Негативниот предзнак на

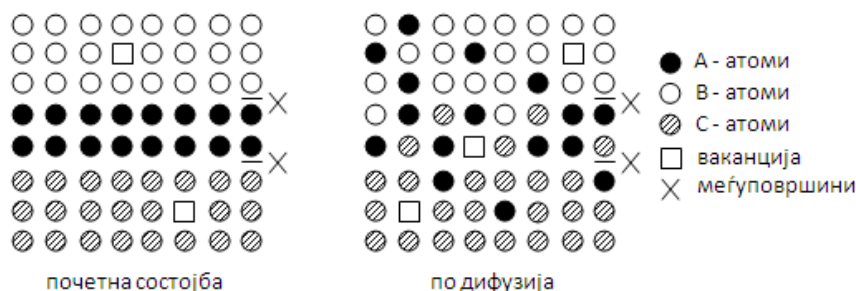
десната страна покажува дека насоката на дифузијата е кон материјалот со помала концентрација на дифундирани честици. Коефициентот на дифузија, D , зависи од материјалниот систем, температурата, кристалната структура, а се мери во cm^2/s .

Дифузијата се забрзува и олеснува со зголемување на температурата преку ефектите на смален напон на течење на материјалот, со што се постигнуваат поповолни услови за поголем близок контакт на површините и второ, се обезбедува поголема раздвиженост на атомите кои дифундираат.

При заварувањето, дифузниот процес се јавува во две фази:

1. пластична деформација која предизвикува близок контакт и го разбива оксидот од површината,
2. дифузија и пораст на зрната низ контактната површина со што се постигнува коалесценција на елементите - крајна цел.

Некои материјали меѓу себе не можат да се мешаат, односно невозможна е дифузија на атоми од еден во друг или, пак, кај некои тој процес е незадоволителен. Поради тоа, нужно е да се вметне меѓуслој, со ниска граница на течење, за да се олесни дифузијата. Ова е посебно полезно од аспект на деформација на спојот, бидејќи пластичните деформации се локализираат на, главно, тенкиот меѓуслој и немаат забележително влијание за појава на глобални отстапувања на геометријата на спојот. Покрај тоа, меѓуслојот овозможува: дифузија при пониски температури отколку што е температурата на основниот материјал, пониски притисоци меѓу површините, а овозможува појава на интерметални легури. Процесот на дифузија со меѓуслој, принципиелно е прикажан на слика VIII.1.



Сл. VIII.1. Дифузија на атоми со меѓуслој како дифузионен елемент

Настанува дифузија на атомите од трите елементи. Меѓуслојот треба да има особина неговите атоми брзо да скокаат од меѓуповршините во внатрешноста на основниот материјал за да го забрзаат спојувањето. Исто така, меѓуслојот треба да остане во цврста смеша, за да не се создадат крти интерметални соединенија, и се разбира, неговата форма треба да овозможи лесно поставување меѓу основните елементи. Меѓуслојот е во форма на фолија, електролим или депозит на параа.

VIII.1.2. Влијателни параметри при заварувањето со дифузија

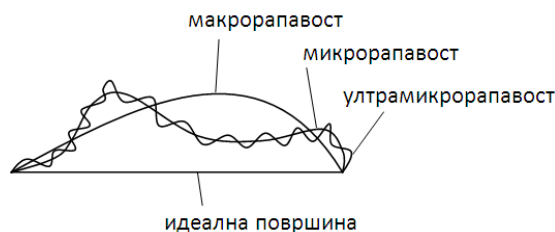
За разлика од некои техники каде деформацијата преку пластично течење е главниот услов за разбивање на оксидната покривка и создавање на близок контакт, заварувањето со дифузија предизвикува деформации само во микропоглед, а дифузијата е главниот фактор за формирање на заварен спој.

Заварувањето со дифузија може да се изведе на температура на околината и на зголемени температури. При ниски температури, брзината на дифузија е мала, а процесот бара близок контакт на многу чисти и мазни површини.

Рапавоста на површините се класифицира на макро, микро и ултрамикро рапавост, слика VIII.2.

При контакт на две површини, а под влијание на притисок, микронерамнините се сплескуваат, со што се зголемуваат површините на контакт, а со тоа се зголемува

дифузијата на атомите. Значењето на деформацијата на микрорапавоста го илустрира и фактот дека површината на почетниот контакт и на одлично обработена површина обично е помала за милион пати од номиналната површина на предметот, што претставува мала вредност за да се изведе доволна дифузија. Зголемувањето на контактот е пропорционално на применетиот притисок.



Сл. VIII.2. Форми на отстапување на реалната површина од идеалната

Покрај рапавоста на површините, постојат и нечистотии на кои мора да се смета: оксидна покривка, апсорбирани гасови, влага и поларизирани молекули. Оваа покривка го оневозможува контактот на материјалите што се заваруваат без примена на притисок, кој ја разбива покривката и се создава потребниот контакт.

Веќе е видливо дека реалните површини не се идеално мазни, ниту чисти. Оваа вистина наложува потреба од напори за добивање на што почисти и помазни површини. Поради тоа, по финалната механичка обработка потребно е хемиско чистење, обично со киселини, или механичко чистење со четки со метални влакна или брусење. Ефектот на нерамнините се смалува со микропластични деформации за да се прошири металниот контакт. Меѓутоа, овие фактори, кои го хендикепираат заварувањето, во извесна мера секогаш се присутни и со нив мора да се смета.

По обработката на површините, понатамошното загадување може да се спречи со заштитни мерки: во заштитна атмосфера на инертни гасови или во вакуум. Вакуумот пружа континуирана заштита за време на заварувањето, како и за време на подготовката.

Температурата на загревање е, исто така, важен елемент во тенденцијата за создавање на квалитетен спој: температурата лесно се контролира; со нејзино зголемување се зголемува подвижноста на атомите; сите процеси што се јавуваат при заварувањето се чувствителни на температурата. Од досегашните истражувања е утврдено дека јакоста на спојот се зголемува со зголемување на температурата, но еднозначен закон неможе да се воспостави бидејќи на јакоста влијаат и многу други фактори.

Дифузните реакции се менуваат со времето. Со времетраењето на дифузијата се зголемува и длабочината до која допираат дифузираните атоми според законот:

$$h = K \cdot \sqrt{D \cdot t}$$

каде h е длабочина на дифузијата, K е константа, t е времетраење, D е коефициент на дифузија. Длабочината на дифузијата расте со времето до определена точка, а потоа нема никакво значење. Воопшто, зависно од заваруваните материјали, од другите параметри и апаратурата, времето се движи во широки граници, од неколку секунди до неколку часови.

Притисокот, влијае на заварувањето со дифузија на повеќе начини. Покрај предизвикување на микродеформации, притисокот влијае и на смалување на температурата на рекристализација во спојот и, во краен случај, зголемен притисок дава појак спој за исто време и температура. Големината на притисокот се движи од 5 до 30000 N/mm².

На заварувањето со дифузија влијаат и металуршките фактори од кои два посебно се експонирани: алотропските трансформации и микроструктурата. Во случај на неповолни комбинации на материјалите за заварување, на располагање

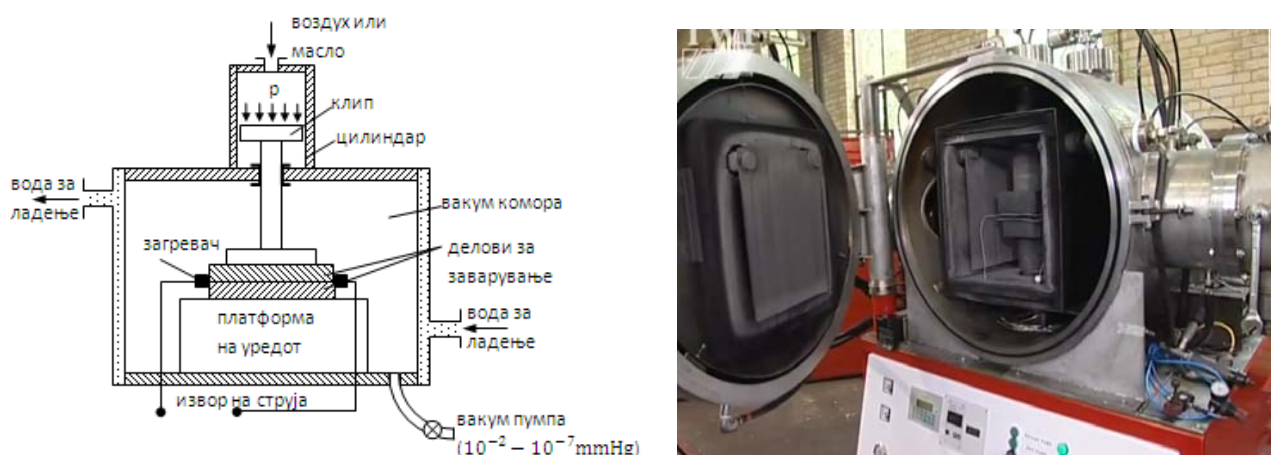
стои можноста за учество на меѓуслоевни, кои, со правилен избор, можат да пружат добра заварлива комбинација.

Од досега изнесеното произлегува дека заварувањето со дифузија во цврста состојба, претставува процес на спојување предизвикан од температура, време и притисок, кои овозможуваат коалесценција на посебно подготвени делови. Во поглед на средината каде што се изведува овој процес, возможно е дифузијата да се постигне во атмосфера, во заштита на инертни гасови или во вакуум.

VIII.1.3. Уреди за заварување со дифузија

Заварувањето со дифузија е класифицирано во групата на други електротермички извори, бидејќи, главно користи електричен извор за постигнување на бараната температура. Овој извор е единствено можен за заварување во вакуум.

Уредот треба да овозможи погоден избор на притисок, температура, времетраење на процесот, заштитна атмосфера против загадување и оксидација на површините на предметите и, при заварување во вакуум, да се постигне доволно висок вакуум. На слика VIII.3. е даден приказ на уред за заварување со дифузија во вакуум, со неговите главни компоненти.



Сл. VIII.3. Уред за заварување со дифузија во вакуум

Најчест извор на сила на притисок претставува пневматскиот систем, бидејќи тој овозможува „меко“ оптоварување, што е посебно важен елемент, поради ширење на материјалите на повишени температури. Но, сепак, можни се и механички или хидраулични системи како извор на притисок помеѓу контактните површини.

Температурата може да се постигне со индукција, електричен отпор, со кондукција или радијација.

Заштитната атмосфера може да се постигне со струење или со полнење на комората со некој од инертните гасови, додека средината на вакуум се постигнува со вакуум пумпи, кои ја исцрпуваат атмосферата од херметизираната комора.

Од практичен аспект, при заварувањето во вакуум, за разлика од процесите во атмосфера, доволен е многу помал притисок, вообичаено од 50 до 100 N/mm². Вака малите притисоци не предизвикуваат забележителни деформации, според тоа, вакуум верзијата е погодна за заварување на елементи со ригорозно точна геометрија на спојот.

VIII.1.4. Основни и меѓуслојни материјали за заварување со дифузија

Заварувањето со дифузија овозможува спојување на комбинации на материјали со број недостиген за другите техники на заварување. Но, според

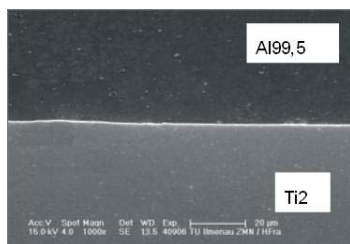
продуктивноста, потребите и цената на процесот, оправдување наоѓа за спојување на скапи и посебни конструкции, односно во области кои беа веќе спомнати.

Возможно е квалитетно спојување на голем број метали и нивните легури, како: алуминиум, бакар, хром, никел, сите видов челици, титан, па дури и керамика.

Некои комбинации заварени со дифузија прикажани се на слика VIII.4.



алуминиум – конструктивен
челик – легиран челик



алуминиум - титан



челик - бакар

Сл. VIII.4. Заварени комбинации

Меѓуслојните материјали, чија улога беше опишана, најчесто се во форма на фолии од: Ni-Be, Ni-Cr-Mn-Be, Zr, Ti, Ta, Ag и други.

Генерален закон за параметрите на заварување на разни комбинации на материјали не постои, но, сепак од досегашното искуство се добиени повеќе информации за оптимални параметри во определени услов, кои можат да послужат како ориентир во решавањето на некој конкретен проблем. Некои информации се дадени во табела VIII.1.

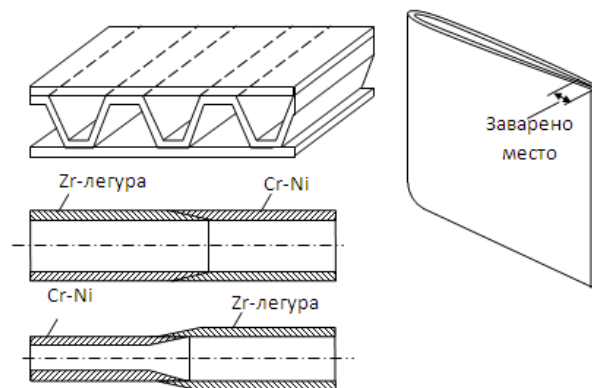
Табела VIII.1. Параметри за заварување со дифузија на некои комбинации на материјали

| материјали | меѓуслој | T(°C) | p (N/cm ²) | t (min) | атмосфера |
|------------|----------|----------|------------------------|---------|-----------|
| Be-Be | - | 815±1000 | 7100 | 240 | He |
| Al-Cu | - | 500 | 710 | 0,25 | - |
| Al-Al | Si | 580 | 700±1400 | 1,0 | V |
| Al-Zr | - | 540 | 1560±3550 | 15 | V |
| Al-Ni | - | 500 | 1560±3550 | 4 | V |
| LŽ-LŽ | - | 800 | 360 | 10 | V |
| Č-Č | Ni | 925 | 1420 | 30 | - |
| Cr-Cr | - | 1150 | 7100 | 180 | - |
| Mo-Mo | Ti | 925 | 7100 | 120 | Ar |
| Ta-Ta | Ti, Zr | 870 | 7100 | 10 | V |

VIII.1.5. Примена на заварувањето со дифузија

Најраспространета примена заварувањето со дифузија има во нуклеарната, воздухопловната, ракетната и електронската индустрија, а за спојување на делови кои се изложени на високи температури. Конструктивните елементи за млазни и ракетни мотори или за нуклеарни реактори работат под екстремно неповолни услови и, поради тоа, се применуваат материјали кои одговараат на тие услови, односно специјални легури, керамика или метали кои немаат секојдневна примена во широката индустрија. За такви материјали, другите техники на спојување се неприменливи, а со оваа техника се компонираат делови со точна геометрија и со одлични механички карактеристики.

Видот на споевите може да биде најразличен: решетки, цевки, лимови, профили и слично. На сликата VIII.5. се прикажани споеви изведени со заварување со дифузија, применети во споменатите гранки на техниката.



Сл. VIII.5. Примери на споєви изведени со заварување со дифузија

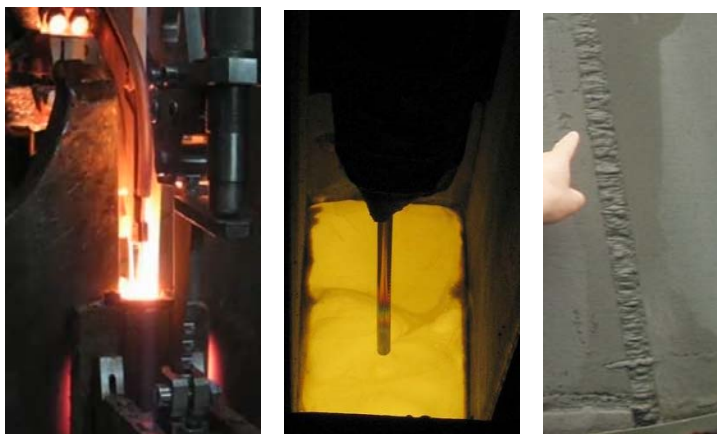
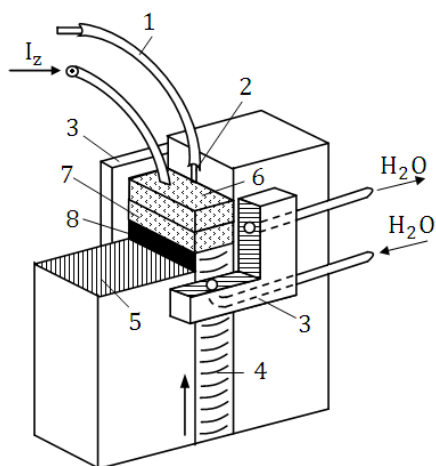
VIII.2. Електрично заварување под троска, ЕЗПТ

Топлината за заварување под троска се генерира како резултат на проток на електрична струја низ растопен прашок, кој, воедно, служи и како заштитна средина против влијанието на атмосферските елементи врз растопениот метал, а процесот се одвива со топење на основниот и додатниот метал.

Процесот се одликува со висока продуктивност, бидејќи коефициентот на топење на електродата изнесува $25 \div 35 \text{ g/Аh}$. Друга особина е практичната примена; може да се заваруваат екстремно големи дебелини.

Техниката е развиена за време на Втората светска војна во Институтот Патон во Киев, а првата примена и е за заварувањето на куполите на тенковите Т-34.

Заварувањето се изведува во вертикална рамнина, оддолу нагоре, слика VIII.6.



1. електрична водилка, 2. електрода, 3. бакарни плочи, 4. завар, 5. основен метал, 6. течна троска, 7. течен метал, 8. стврдат метал

Сл. VIII.6. Електрично заварување под троска

Една или повеќе електроди се вметнуваат во слабо електроспроводлив прашок кој се топи и станува течна троска. Високата температура на троската овозможува топење на електродата и основниот метал. Металот, како потешок материјал се спушта на дното од бањата, а троската плива по горните слоеви и продолжува да го топи металот.

Топлинската енергија што се развива во троската е $P = U \cdot I$ (W), а количината на развиената топлина е $Q = U \cdot I \cdot t$ (J).

Оваа топлина, во околината на врвот на електродата, предизвикува температура поголема од 2000°C , што овозможува топење на најголемиот број

метали. Меѓутоа, во споредба со електричниот лак, се загрева поголема зона и, според тоа, греењето и ладењето се побавни.

Со оваа техника се заваруваат тешки конструктивни елементи со голема дебелина. За вакви елементи, заради спојување на рабовите без закосување, во однос на техниките со електричен лак, е потребна помала количина на додатен метал. Друга предност лежи во подрачјето на деформациите, зварените елементи речиси скоро не се деформираат попречно, затоа што ширчината на заварот е рамномерна по целата дебелина.

Во индустријата оваа техника се применува во бродоградбата и за репаративно заварување на одливки со големи дебелини на ѕидовите.

VIII.3. Заварување со електронски сноп

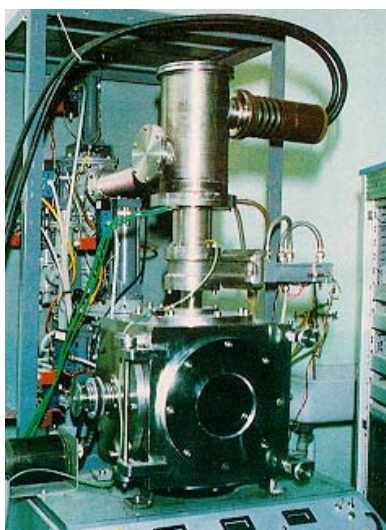
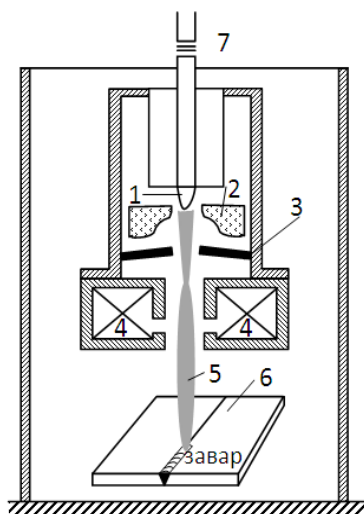
Од површината на доволно загреан материјал, а под дејство на електрично поле настанува емисија на електрони. Протокот на електроните, како термоемисиона појава, се вика електронски сноп. Брзината на електроните е поголема од 50% од брзината на светлината, што значи дека поседуваат значителна кинетичка енергија. При судир на електроните со цврсто тело, настанува трансформација на кинетичката енергија во топлинска, во најголемиот дел, и мал дел во X-радијација, компонента која наметнува посебна заштита на околината на снопот заради штетноста на овие зраци врз живите ткива.

Фокусиран електронскиот сноп поседува голема густина на силина, до 10^9 W/cm². Вака големи густини на силина, вообичаено, не се нужни во технологијата на заварувањето, туку тие се ограничуваат на околу 10^6 W/cm².

Електронскиот сноп се појавил во 1957 година како резултат на напредокот на електрониката на висока моќ и уредите со висок вакуум.

VIII.3.1. Основи на заварувањето со електронски сноп

Оваа техника на заварување се изведува во средина на вакуум до 10^{-5} mmHg. Вака висок вакуум дозволува присуство на околу 10 делови на еден милион атмосферски елементи. Поради тоа, заварувањето во ваква атмосфера претставува идеална средина за работа и со најреактивните метали. Уред за заварување со електронски сноп е прикажан на слика VIII. 7.



1. грејно тело, 2. катода, 3. анода, 4. електромагнетни леќи,
5. електронски сноп, 6. работен предмет, 7. трансформатор

Сл. VIII. 7. Уред за заварување со електронски сноп

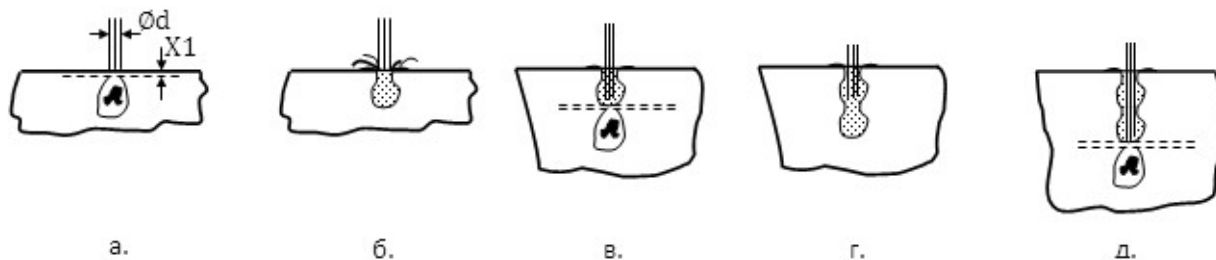
Уредот за заварување со електронски сноп се состои од вакуумска комора во која се емитираат слободни електрони од катодата 2 и се насочуваат кон работниот предмет 6 кој е, исто така во комората. Ослободувањето на електроните предходно е стимулирано со загревање на катодата од страна на грејното тело 1. Стварање на висок еднонасочен напон предизвикува забрзување на електроните, неопходен услов за добивање доволна кинетичка енергија, која, се трансформира во топлина со судрување на работниот предмет, ќе оствари услови за топење на металот што се заварува. Обликот на катодата и анодата мора да биде погоден за да настане фокусирање на снопот. Меѓутоа, под дејство на одбивните сили на честици од ист пол, настанува расејување на снопот, заради што е нужно да се рефокусира со електромагнетни леќи 4. Површината на работниот предмет се наоѓа во околината на фокусот, затоа што во него постои најголема концентрација на силина.

Висок вакуум во комората е единствена можна средина за задржување на фокусиран електронски сноп од една страна, и оневозможување појава на електричен лак помеѓу под висок напон катодата и анодата, од друга страна. Во случај на зголемување на притисокот во комората се јавува дифузија на снопот и, во краен случај, го оневозможува неговото одржување.

Електромагнетниот систем за рефокусирање овозможува регулација на фокусното растојание, односно должината на снопот, како и степенот на фокусирање. Дијаметарот на фокусот може да достигне вредност дури до $0,0005\text{mm}$, но вообичаените дијаметри за заварување се движат од $0,5$ до $2,5\text{mm}$.

VIII.3.2. Механизам на топење на металите под дејство на електронски сноп

Како резултат на високата концентрација на силина, металот под снопот се загрева на висока температура и се топи, па дури и испарува. Испарувањето на металот е појава која овозможува длабока пенетрација. Без овој ефект, со постојните уреди, може да се растопи метал на длабочина до $0,1\text{mm}$. Меѓутоа, со испарување на металот настанува разретчување на средината под снопот и, според тоа, електроните може да пенетрираат подлабоко. Каков е механизмот на пенетрација, покажано е на слика VIII. 8.



Сл. VIII. 8. Механизам на топење под дејство на електронски сноп

Електронскиот сноп, со дијаметар d и напон за забрзување на електроните U , се пробива низ длабочината x_1 без да има посебно влијание на овој слој. Во подлабоките слоеви, електронскиот сноп се шири и електроните ќе бидат запрени од масата на металот, при што се загрева една зона со овален облик, слика а. Во тој процес тенкиот слој на површината се прекинува, слика б. Со ова прекинување се отвора канал преку кој се извршува декомпресија на внатрешната зона со излегување на метални пари. Силата на струење на переата го задржува каналот отворен. Како резултат на тоа се отвора кружен отвор и како таков се задржува со силата на струење на пареата. Меѓутоа, со излегување на пареата, средината на кратерот се разретчува, а со тоа снопот се рефокусира на дното од кратерот. Потоа процесот се повторува и резултатот на тоа е прикажан на сликите г и д.

VIII.3.3. Режим на заварување и форма на заварот изведен со електронски сноп

Електроните поседуваат многу мала маса од $9,1 \cdot 10^{-28}$ грами. Меѓутоа, тие може да се забрзаат до многу голема брзина со што добиваат значителна енергија. На пример, под напон од 150000V, еден електрон може да се забрза, за кратко растојание, до околу 160000 km/s. Да се спомне, дека брзината на електронот се зголемува со напонот. Јачината на струјата на електронскиот сноп е растечка со бројот на електрони во снопот за единица време.

Кинетичката енергија на електронот е:

$$K_e = \frac{m_e V_e^2}{2}$$

каде се:

m_e - маса на електронот,

V_e - брзина на електронот.

Еден електрон забрзан со напон од еден волт, добива кинетичка енергија од еден електронволт која е еднаква на:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ erg}$$

Јачината на струјата кај овие уреди е мала и се изразува во милиампери, mA. На пример, еден реален режим за заварување се електронски сноп е кога напонот е 150kV и јачината на струјата 10mA,

$$1 \text{ A} = 6,28 \cdot 10^{18} \text{ електрони/секунда,}$$

тогаш

$$10 \text{ mA} = 6,28 \cdot 10^{16} \text{ електрони/секунда.}$$

Според горниот пример, за $U = 150 \text{ kV}$ и $I = 10 \text{ mA}$, силината на снопот изнесува: $E = 6,28 \cdot 10^{16} \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ ерг/секунда.}$

Знаејќи дека $1 \text{ W} = 10^7 \text{ ерг/секунда}$, произлегува дека горната енергија одговра на силина од $1,5 \cdot 10^3 \text{ W}$, односно $1,5 \text{ kW}$.

Од посебна важност е како оваа силина се распределува на површината на работниот предмет.

Најважниот параметар е напонот за забрзување на електроните. Тој е важен и за контролирање на дијаметарот на снопот во рамнината при судар со работниот предмет. Со зголемување на напонот се намалува јачината на струјата, односно бројот на електрони во снопот. Тоа овозможува добивање на сноп со помал дијаметар. Следниот израз го покажува меѓуодносот на овие три параметри:

$$d = \left(\frac{I}{U} \right)^{\frac{3}{8}} [\text{cm}]$$

каде се:

d (cm) - дијаметар на снопот,

I (mA) - јачина на струјата,

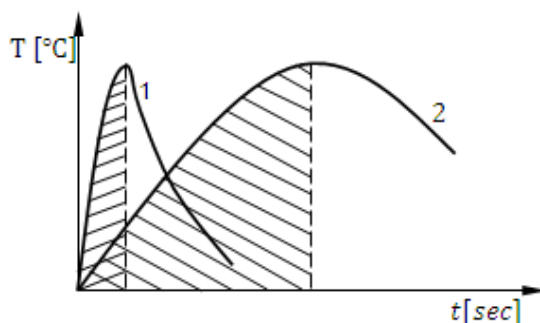
U (kV) - напон на забрзување на електроните.

Специфичната силина на снопот е:

$$q = \frac{P}{A} = \frac{4 \cdot U \cdot I}{d^2 \cdot \pi} \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right]$$

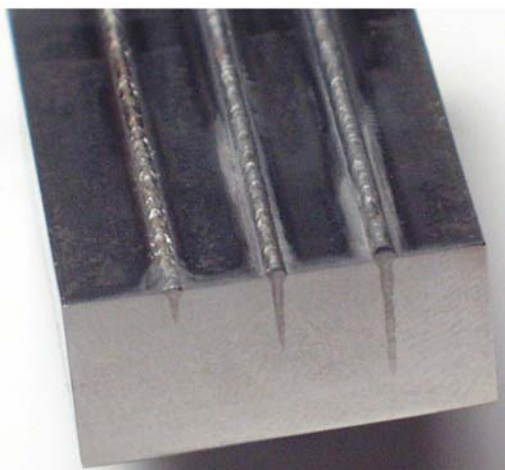
Веќе беше речено, дека специфичната силина на електронскиот сноп достигнува до 10^9 W/cm^2 , а дијаметарот на снопот и до 0,0005 mm. Ако се земе силина од 1,5 kW и дијаметар од 0,001cm, тогаш специфичната силина изнесува $4,5 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$. За разлика од техниките со електричен лак, кои имаат специфична силина со 10^5 W/cm^2 . Тоа се рефлектира во далеку поголема длабочина на пенертацијата при заварување со електронски сноп. Уште повеќе, за заварување на еднакви дебелини, процесот со електронски сноп бара од 10 до 30 пати помалку

енергија по единица должина на заварот, како последица на потесна зона на загревање за заварување, помали загуби на топлина во околината и заради топлоспроводливоста низ основниот метал и поголема брзина на заварување. Овој заклучок може подобро да се разбере ако се споредат кривите 1 и 2 од слика VIII.9. Кривата 1, заедно со апцисната оска, заградува површина која е еднаква на потрошената топлина за заварување со електронски сноп, а кривата 2 за заварување со ТИГ техниката. Очигледно е дека потрошената енергија со електронски сноп е повеќекратно помала.

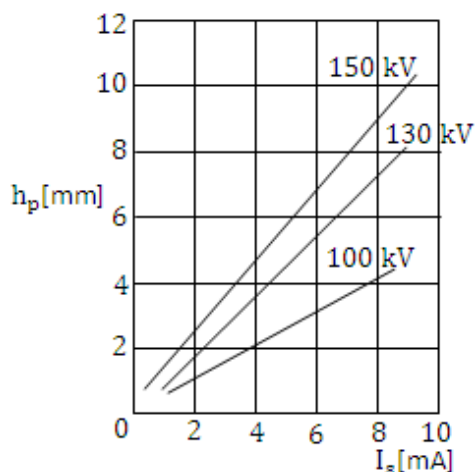


Сл. VIII.9. Криви на температура и време за електронски сноп и ТИГ електричен лак

Карактеристиките на електронскиот сноп, како извор на топлина, резултираат во специфични облици на заварените споеви, тесни и длабоки завари, слика VIII.10.



Сл. VIII.10. Форми на завари изведени со електронски сноп



Сл. VIII.11. Влијание на I и U на длабочина на пенетрацијата на заварот

Длабочината на пенетрација, за определен метал, зависи од силината на снопот, односно напонот и јачината на струјата. Со зголемување на овие големини се зголемува пенетрацијата. Сликата VIII.11. ја претставува зависноста на пенетрацијата од овие параметри при брзина на заварување од 70 cm/min, а работниот предмет е високолегиран челик.

Брзината на заварување влијае благо смалувачки на пенетрацијата.

VIII.3.4. Особини на заварените споеви изведени со електронски сноп

Меѓу главните одлики на заварите изведени со електронски сноп е чистотата на металот, која е заслуга на вакуумската околина на процесот. Тоа овозможува одлично заварување и на најреактивните метали.

Друга одлика на заварените споеви е речиси занемарливата деформација во процесот на ладење. Ова е резултат на малата количина на растопен метал и малата зона под влијание на топлината, во однос на заварените споеви со

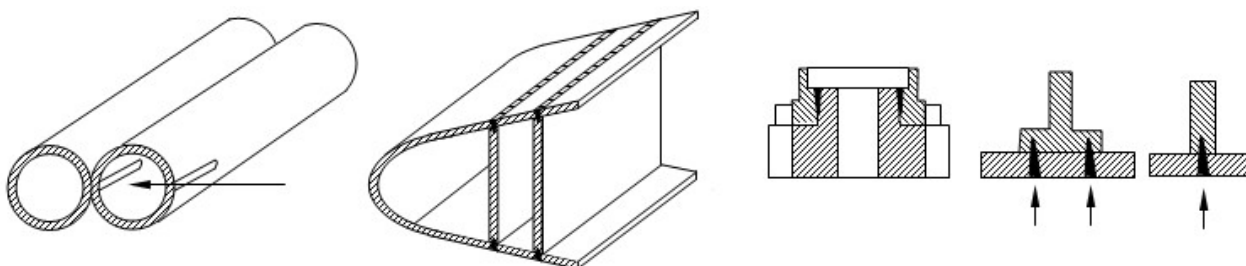
електричен лак. Сликата VIII.12. покажува случаи на заварени споеви со дебелина од 12 mm со ТИГ електричен лак и со електронски сноп, каде е забележлива разликата во деформациите. Оваа дискусија може да се продолжи и во однос на големината на заостанатите напони: Кај споевите заварени со електронски сноп тие, како и деформациите, се од понизок ред на големина.

Како резултат на смалените заостанати напони и малата ЗВТ, заварите добиени со електронски сноп се одликуваат со две металуршки предности: 1. смалена тенденција за појава на пукнатини и 2. подобрени особини на заварот заради смалените металуршки оштетувања.



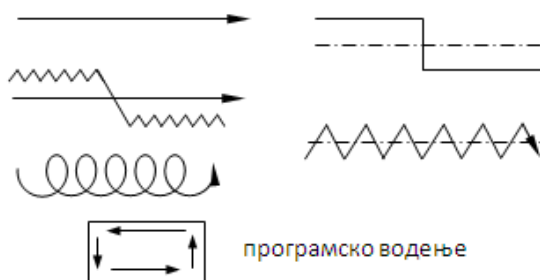
Сл. VIII.12. Споредба на сочелни заварени споеви изведени со електронски сноп и ТИГ електричен лак

Од аспект на обликот на споевите, можностите за заварување со електронски сноп се посебно широки. Може да се заваруваат праволиниски, кружни, испрекинати, завари зад тенки видови, пакет предмети и слично. Сликата VIII.13. покажува повеќе видови споеви заварени со електронски сноп, од каде може да се согледа способноста на техниката за добивање на најразлични видови конструкции.



Сл. VIII.13. Видови заварени споеви со електронски сноп

Широчината на заварот, покрај од степенот на фокусирање на снопот, зависи и од неговата траекторија, а попречното нишање го овозможува магнетниот девијационен систем, кој се наоѓа во височина на долниот дел од снопот. Сликата VIII.14. ги покажува вообичаените траектории на врвот од снопот.



Сл. VIII.14. Видови траектории при заварување со електронски сноп

VIII.3.5. Примена на заварувањето со електронски сноп

Најчесто, примената на заварувањето со електронски сноп е во: нуклеарната, авионската, ракетната, електронската, подморничката индустрија и други. Заедничко за сите случаи е големата цена и одговорност на конструкциите. Покрај тоа, заварените споеви се одликуваат со мала деформација и геометрија каква само може да се посака.

Техниката на заварување со електронски сноп ги има следните предности:

- длабока пенетрација и мала ЗВТ,
- голема брзина на заварување,
- поволна металуршка структура на заварот и ЗВТ,
- минимална потрошувачка на енергија на единица должина од заварот,
- заварување на разни комбинации метали, еднородни и разнородни, екстремно тенки до екстремно дебели,

додека како недостатоци за одбележување се:

- високата цена на уредот,
- долго време на подготовка за заварување,
- постигнување на вакуум,
- ограничен работен простор,
- емисија на X- зраци.

Почетната примена на оваа техника се ограничила за заварување на високореактивните метали, кои си ги снижуваат механичките и хемиските особини при допир и со минимални количини атмосферски елементи, главно кислород и азот. Тоа се металите: алуминиум, молибден, тантал, волфрам, берилиум, титан, колумбиум, циркониум и некои високолегирани челици, слика VIII.15.



инконел (Ni+Cr) со
ховадур (Cu+Be)



инконел (Ni+Cr)



алуминиум

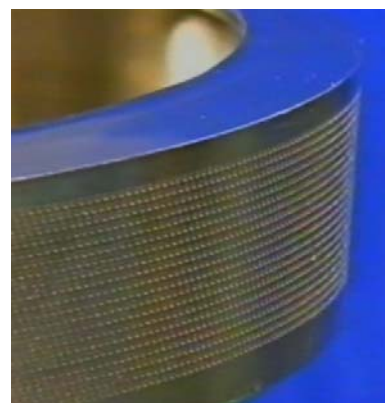
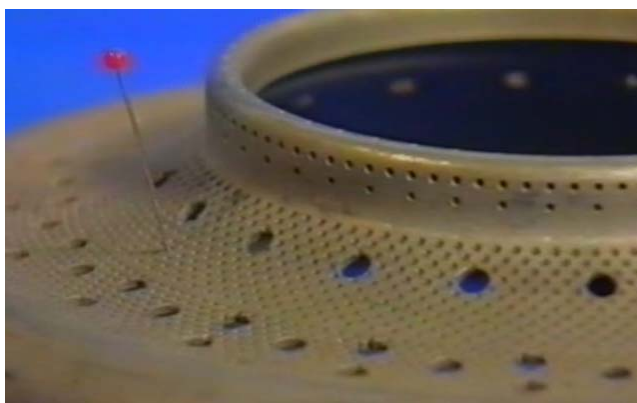


челик

Сл. VIII.15. Завари изведени со електронски сноп

Денес, примената е проширена на широк спектар на метали и легури, а особено за обележување е заварувањето на неметални керамички материјали, во електрониката и електротехниката.

Примената на електронскиот сноп е се' поголема и во сродните техники на заварувањето, за облагородување на површината и за дупчење, слика VIII.16.

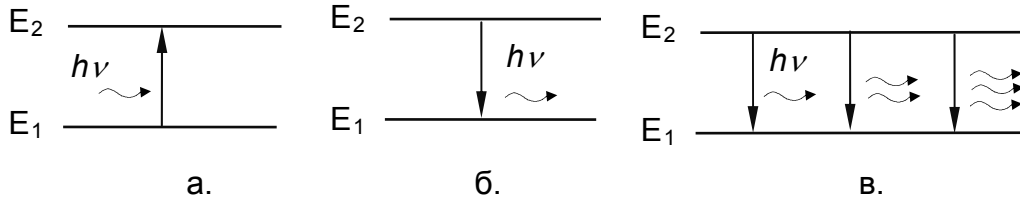


Сл. VIII.16. Отвори изведени со дупчење со електронски сноп

VIII.4. Заварување и сродни процеси со ласерски сноп

VIII.4.1. Ласер

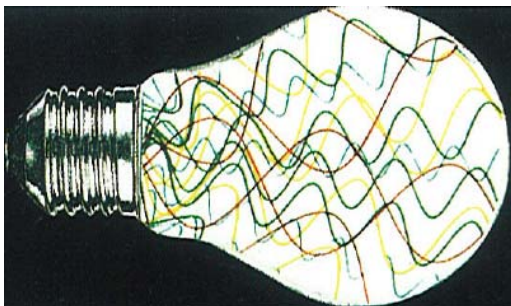
Со апсорпција на еден светлосен квант со енергија $h \cdot \nu$ еден електрон се префрла од основната (E_1) на возбудената (E_2) состојба, слика VIII.17.a, со што атомот, молекулот или кристалот се возбудува „ехцитира“. Во возбудената состојба (E_2) електронот останува кратко време, а потоа се враќа во основната (E_1) состојба при што емитира фотон со енергија $h \nu = E_2 - E_1$, слика VIII.17.б.



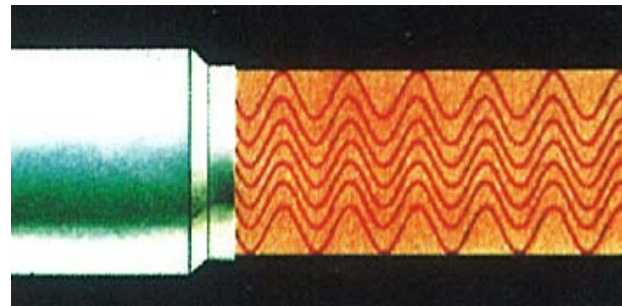
Сл. VIII.17. Спонтана емисија на светлината

Во 1917 година Алберт Ајнштајн покажал дека светлосните кванти со енергија $h \nu$ можат да предизвикаат не само прескакање на електроните од пониска (E_1) на повисока (E_2) енергетска состојба при што таа енергија се апсорбира, но и прескакање од повисока (E_2) на пониска енергетска состојба (E_1), при што се емитира фотон со иста енергија, слика VIII.17.в.

Овие премини на електроните од возбудената (E_2) на основната (E_1) состојба ќе бидат спонтани, хаотични, па и емитираните светлосни фотони од различните атоми ќе имаат различни фази и правци на простирање. Оваа емисија на светлината која настанува поради спонтани премини на електроните од повисоки кон пониски енергетски нивоа е спонтана емисија, а емитираната светлина е некохерентна - со различни фази и правци на простирање, слика VIII.18.a.



а. некохерентна - диферентна светлина



б. кохерентна светлина

Сл. VIII.18. Видови светлина

Со упад на светлостни фотони со одредена енергија доаѓа до стимулирана т.е. принудена емисија на светлината. Емитираната светлина од одделни атоми, молекули или кристали е кохерентна со иста фреквенција, исти фази и правци на простирање, слика VIII.18.б.

Практично засилување на електромагнетните бранови со стимулирана емисија за прв пат е реализирано во 1954 година од Басов и Прохоров во СССР и Таунс, Гордон и Цајгер во САД. Во 1960 година Теодор Мајман го конструирал првиот засилувач на светлински бранови по пат на стимулирана емисија, кој е наречен **ЛАСЕР**. Кратенката ЛАСЕР доаѓа од: **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, односно „засилување на светлината со стимулирана емисија на радијација“ или на германски „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Lichtstrahlung“.

Првиот конструиран ласер е со рубинов кристал, односно кристал Al_2O_3 , во кој дел од атомите на Al се заменети со атоми на Cr.

Наредната 1961 година Џаван го конструирал ласерот со гасна активна средина од смеса на He:Ne=10:1. Нешто подоцна, 1970 година Басов во СССР го конструирал првиот гасен ласер од типот Excimer.

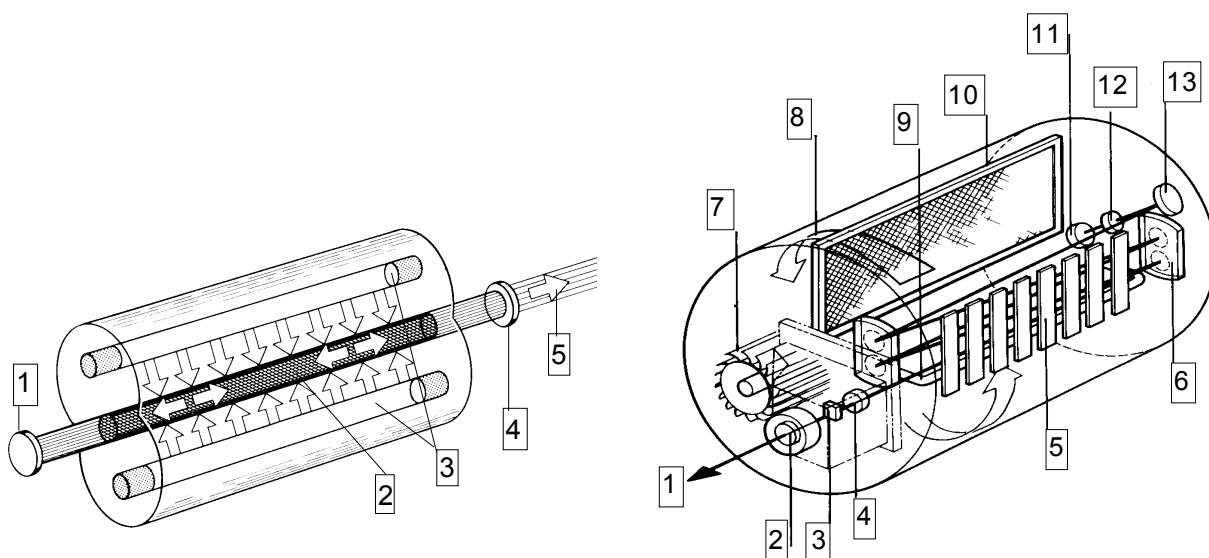
Десетина години по конструирањето е отпочнато и со активната примена на ласерот како средство за работа во индустријата. Така 1972 година во Џенерал Моторс е вклучен првиот ласер во една производна линија. Денес бројот на ласерите кои се со најразлична примена во светската индустрија се изразува во стотици илјади.

VIII.4.1.1. Видови ласери

Ласерот претставува генератор на електромагнетни бранови во дијапазонот на ултравиолетовата и инфрацрвената светлина, карактеризирана со висок степен на монохроматичност и висока кохерентност.

Ласерот е електро-оптички уред кој ја претвара електричната во електромагнетна енергија, која понатаму во интеракција со материјалот на кој дејствува се претвара во топлинска енергија.

Основен составен дел на ласерот е комората - резонатор со огледала. Обично се работи за систем на огледала од кои првото е потполно рефлектно, а последното само делумно рефлектно т.е. полупропусно. Во комората е сместен активниот медиум способен за ласерски процес. Активниот медиум може да биде во цврста, гасовита и многу ретко во течна агрегатна состојба. Соодветно на тоа и ласерите се поделени на цврсти, гасни и течни.



1. огледало,
2. кристал,
3. ксенонски ламби,
4. полуогледало,
5. ласерски сноп

а. комора на цврст ласер

1. ласерски сноп, 2. излезен прозор,
3. брава, 4. вклучно огледало,
5. сегментна анода, 6. огледало,
7. тангенцијални перки,
8. правец на струење на гасот,
9. катода, 10. ладилник,
11. мерач на протокот,
12. рефлектирачко огледало,
13. поларизаторно огледало,

б. комора на гасен ласер

Сл. VIII.19. Видови ласери

Кај **цврстите ласери**, слика VIII.19.a, активниот медиум е монокристал или стаклена прачка со должина пропорционална со брановата должина на емитираната светлина (λ). Активниот медиум најчесто е изработен од:

- Nd:YAG (Neodium Ionen, Yttrium-Aluminium-Granat) ($Y_3Al_5O_{12}$), со бранова должина $\lambda = 1060 \text{ nm}$ и моќност од 400 W до околу 5 kW при пулсно дејство.
- Nd:Glass, со бранова должина $\lambda = 1060 \text{ nm}$ и моќност поголема од 10 W при пулсно дејство и моќност $\ll 0,5 \text{ kW}$ при квазиконтинуирано дејство.
- GaAs, со бранова должина $\lambda = 840 \text{ nm}$ и моќност до 1 W . Галиумарсенидот е најчесто применуван материјал кај т.н. диодни ласери.

Во поново време во употреба се посебен вид на цврсти ласери т.н. **Fiber Laser** односно **Faserlaser**, кај кои активниот медиум е сноп од повеќе оптички влакна од: ербиум, итербиум, неодим, тулиум и слични материјали. Дијаметарот на оптичкото влакно е околу $10 \text{ }\mu\text{m}$, а должината е неколку метри. Вообичаената моќност им е до 100 W до 10 kW .

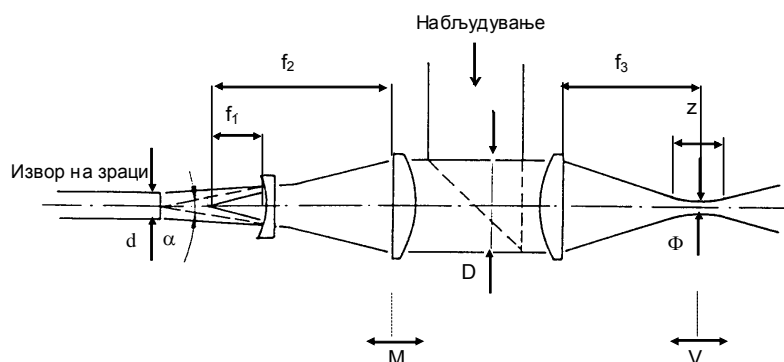
Кај **гасните ласери**, слика VIII.19.б, како активен медиум најчесто се користи гасна смеса од $\text{CO}_2 : \text{He} : \text{N}_2 = 5 : 1 : 1$, во која He е за ладење, а N_2 ја зголемува екситацијата на CO_2 . Брановата должина на емитираната светлина кај овој вид ласери е $\lambda = 10600 \text{ nm}$, а енергијата од 100 W до 25 kW при континуирано дејство.

Ласерите кај кои како активен медиум се користат гасови со двоатомни молекули (N_2 , He-Ne, Ar, He, KrF) се посебен вид на гасни ласери, познати како EXCIMER (возбудени двоатомни - **Excited dimer**).

Со донесување на енергија на активниот медиум се активира процесот. Кај цврстите ласери енергијата се доведува со интензивна некохерентна светлина од ксенонска лампа, а кај гасните ласери со протекување на гасниот медиум низ јако електрично поле.

Во процесот на работа, се врши ладење на кристалите и ламбите со проточна вода, која претходно е дејонизирана во филтер кој е вграден во самиот уред. Ламбите треба да се менуваат по 10^6 до 10^7 пулсирања, а јонизациониот филтер еднаш годишно.

При излезот од резонантната комора, ласерскиот сноп има дијаметар од неколку cm, и дивергенција од неколку mrad. Но со оптичкиот систем од леќи се врши обликување, фокусирање и водење на ласерскиот сноп. Оптичкиот систем на ласерот прикажан е на слика VIII.20. Со поместување на леќата 2 и промена на растојанието f_3 се менува положбата на фокусот на ласерскиот сноп во однос на површината на обработуваниот дел, односно се подесува дефокусирањето.



Сл. VIII.20. Шематски приказ на оптичкиот дел од ласерот

Обликувајќи го ласерскиот сноп со оптичкиот систем од леќи може да се постигне различна распределба на енергијата по попречниот пресек на снопот. Најчесто применувани се гаусовата или TEM_{00} и мултигаусовата или TEM_{10} распределба на енергијата, слика VIII.21.



Сл. VIII.21. Распределби на енергијата по попречниот пресек на ласерскиот сноп

Според принципот на работа ласерите може да бидат: со континуирано дејство, со квазиконтинуирано дејство и со пулсно дејство.

Цврстите ласери се неспоредливо помали по габаритни димензии и се одликуваат со поедноставен оптички систем. Манипулирањето со работниот предмет може да биде рачно и автоматизирано, во зависност од тоа дали ласерот е поставен на неподвижна маса (слика VIII.22.а), CNC управуван носач (слика VIII.22.б) или робот (слика VIII.22.в).

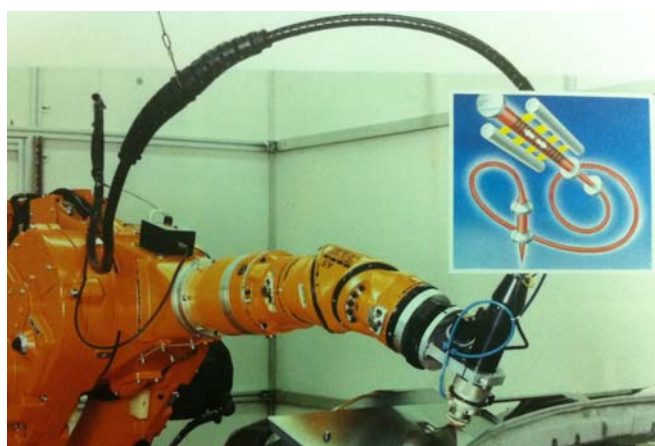
Гасните ласери се со поголеми габаритни димензии (слика VIII.22.г) и секогаш се со посложен оптички систем за пренос на ласерскиот сноп до работниот предмет. Тие се изведуваат во лонгитудинален и трансферзален тип. Манипулирањето со работниот предмет најчесто е автоматизирано.



Сл. VIII.22.а.



Сл. VIII.22.б.



Сл. VIII.22.в.



Сл. VIII.22.г.

VIII.4.1.2. Параметри на ласерот и нивно влијание

Параметрите со кои се определува конструктивната изведба на ласерот (резонаторот) се: постојани (непроменливи) и променливи по избор.

Постојните параметри на ласерот се определени од видот на активниот медиум и оптичкиот систем, а тие се:

- бранова должина,
- дијаметар на ласерскиот сноп,
- дивергенција на снопот,
- распределба на енергијата по попречен пресек на ласерскиот сноп.

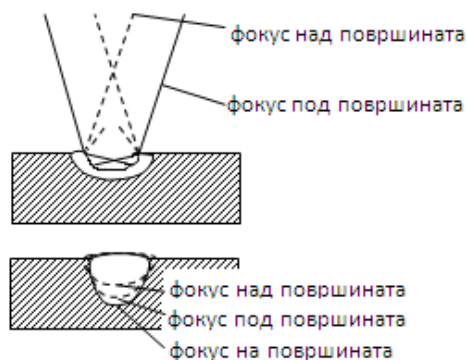
Променливите параметри на ласерот се определуваат по слободен избор, во зависност од намената. Нивните големини се взаемно зависни и потребно е истите да се оптимираат. Променливи параметри по избор се:

- енергија на пулсот,
- времетраење на пулсот,
- фреквенција на пулсирање,
- распределба на енергијата за времетраење на пулсот.

Ласерскиот сноп поседува најголема концентрација на моќност и најмала зона на дејствување на топлински извор.

Од моќноста на пулсот и дијаметарот на ласерскиот сноп зависи густината на енергијата. Густината на енергијата определува дали материјалот ќе се загрее, растопи или испари и во колкав волумен. За топење на металите потребна е густина на енергијата поголема од 10^4 W/cm^2 . Со фокусирање на ласерскиот сноп на дијаметар помал од 1mm се постигнува густина на енергијата од 10^5 до 10^6 W/cm^2 .

Од положбата и дијаметарот на фокусот во однос на материјалот на кој дејствува ласерскиот сноп, определена е површината на која дејствува ласерскиот сноп. Положбата на фокусот го определува волуменот (количината и обликот) на растопен материјал, така ако фокусот е на површината се постигнува најголема длабочина, помала длабочина се постигнува ако фокусот е под површината (-Def) и најмала длабочина се постигнува ако фокусот е над површината (+Def), слика VIII.23.



Сл. VIII.23. Влијание на положбата на фокусот

Времетраењето на пулсот, енергијата на пулсот и фреквенцијата го определуваат волуменот на растопениот метал и брзината на работа.

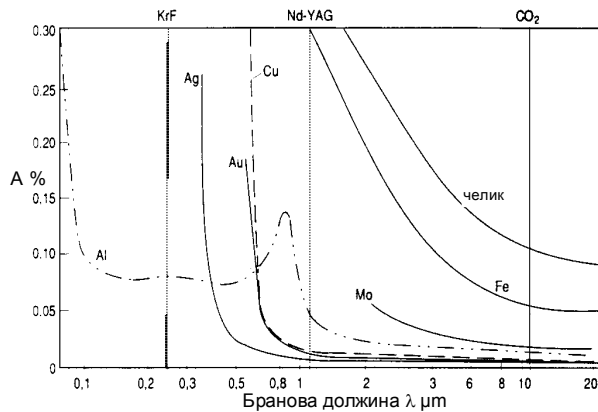
Влијанието на параметрите на ласерот е зависно и од видот и карактеристиките на материјалот на кој дејствува ласерскиот сноп.

Степенот на интеракција помеѓу ласерскиот сноп и материјалот зависи од степенот на апсорпција на ласерската светлина во материјалот.

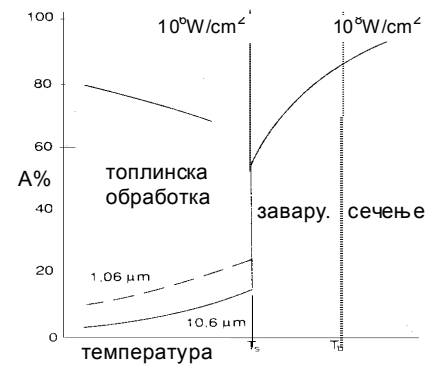
Степенот на апсорпција зависи од: брановата должина на ласерската светлина, слика VIII.24.а, времетраењето на дејството на ласерскиот сноп врз материјалот, големината на површината на која дејствува, температурата на материјалот, слика VIII.24.б, состојбата на површината на материјалот и физичките

карактеристики на материјалот, табела VIII.2. Важни физички карактеристики на материјалот се: густина, хемиски состав, агрегатна состојба и други.

Металните материјали на собна температура се добри рефлектори на инфрацрвената светлина. Така за светлина со бранова должина $\lambda > 1\mu\text{m}$, степенот на рефлексија е од 90 до 95%. Додека кај неметалните материјали степенот на рефлексија е доста помал, од 4 до 20%, слика VIII.24.



а) од брановата должина и основниот материјал



б) од температурата

Сл. VIII.24. Зависност на степенот на апсорпцијата

Зависноста на степенот на рефлексија од полирана површина на различни материјали при обработка со Nd:YAG и CO₂ ласер, прикажана е во табела VIII. 2.

Табела VIII.2. Зависноста на степенот на рефлексија

| | Al | Fe | Au | Cu | Mo | Ni | Ag | Ta | Ti | W | Zn |
|--|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nd:YAG, $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ | 0,96 | 0,70 | 0,97 | 0,95 | 0,60 | 0,74 | 0,96 | 0,85 | 0,58 | 0,60 | 0,84 |
| CO ₂ , $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ | 0,98 | 0,96 | 0,985 | 0,985 | 0,97 | 0,97 | 0,99 | 0,95 | 0,92 | 0,97 | 0,97 |

VIII.4.1.3. Примена на ласерот за обработка на материјалите

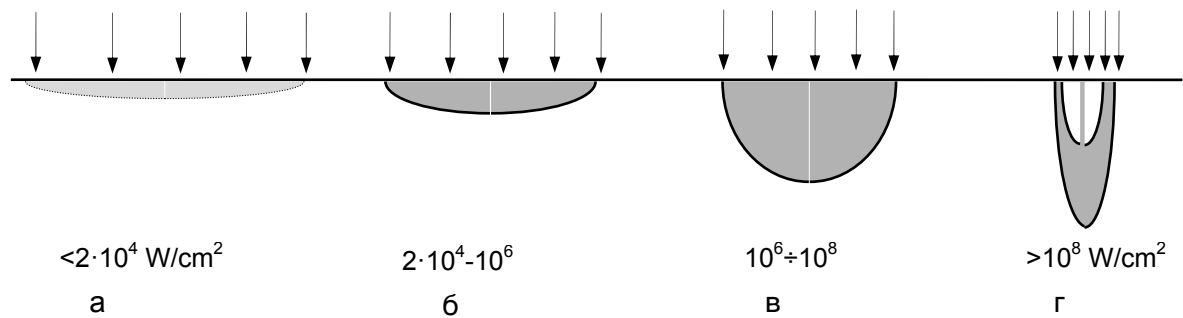
Ласерот како средство за работа успешно се применува во повеќе области од човековите активности. Така денес ласерот подеднакво успешно се употребува во техниката, природните науки и медицината.

Не набројувајќи ги сите до денес успешни примени на ласерот во секојдневните човекови активности, да се задржиме само на една област од тие примени, а тоа е обработката на материјалите. За обработка на материјалите се користат ласери со континуирано дејство со густината на енергијата од 10^6 до 10^7W/cm^2 и со пулсно дејство со густината на енергијата од 10^7 до 10^8W/cm^2 . За топење на металните материјали неопходна е моќност од најмалку 10^4W/cm^2 , т.н. долна критична вредност. При моќност поголема од 10^8W/cm^2 , т.н. горна критична вредност, доаѓа до испарување на растопениот метален материјал.

Во зависност од густината на енергијата на ласерскиот сноп која дејствува на материјалот и времетраењето на дејството, може да се извршат повеќе видови обработка на материјалите:

- површинска обработка, (површинско калење и топење)
- површинско легирање и површинска заштита,
- лемење,
- заварување,
- дупчење и сечење,
- гравирање и обележување.

На слика VIII.25. претставен е шематски приказ на влијанието на густината на енергијата при обработката на материјалите со ласер.



- а. Загревање под температурата на топење, површинска обработка, легирање и заштита.
Густијата на енергијата е под долната критична вредност.
- б. Лемење и заварување со мала пенетрација.
Густијата на енергијата е на долната критична вредност.
- в. Заварување со длабока пенетрација.
Густијата на енергијата е на горната критична вредност.
- г. Гравирање, обележување, дупчење и сечење.
Густијата на енергијата е над горната критична вредност.

Сл. VIII.25. Влијание на густијата на енергијата

Во споредба со конвенционалните техники на обработка на материјалите, обработката со ласер има низа предности како: повисока брзина на работа, повисок квалитет, универзалност и флексибилност на техниката, брза адаптивност на техниката, можност за интеграција на повеќе техники истовремено, можност за целосна автоматизација и роботизација на техниката.

Поради големата концентрација на енергија во ласерскиот сноп, кај сите видови на обработки на материјалите со ласер се постигнува висока прецизност на микро план. Дејствувањето на ласерскиот сноп од дистанца допринесува за добивање на доста чиста обработена површина и можност за обработка на непристапни места.

Внесената топлина со ласерскиот сноп е локализирана на многу мала област и мал волумен од обработуваниот материјал.

Подеднакво успешно се обработуваат сите видови материјали, како метални така и неметални (полимери, керамика, стакло, текстил).

Основен недостаток на обработката на материјалите со ласер е високата цена на чинење на воведувањето на новата технологија. Тоа е исплатливо само за високо сериско и масовно производство.

Во поглед на опасностите врз директните опслужувачи на ласерот, во прв ред треба да се заштитат очите од рефлектираните ласерски зраци, а кај помоќните ласери и од изгоретини на кожата од лицето и рацете. Задолжително при работа треба да се носат очила со филтер стакла, односно окуларот на ласерот да има специјално заштитно стакло.

VIII.4.2. Заварување со ласерски сноп

Според стандардите МКС Ц.Т.001 и DIN 1910 заварувањето со ласерски сноп е класифицирано во техниките на заварување со топење на спојуваните материјали.

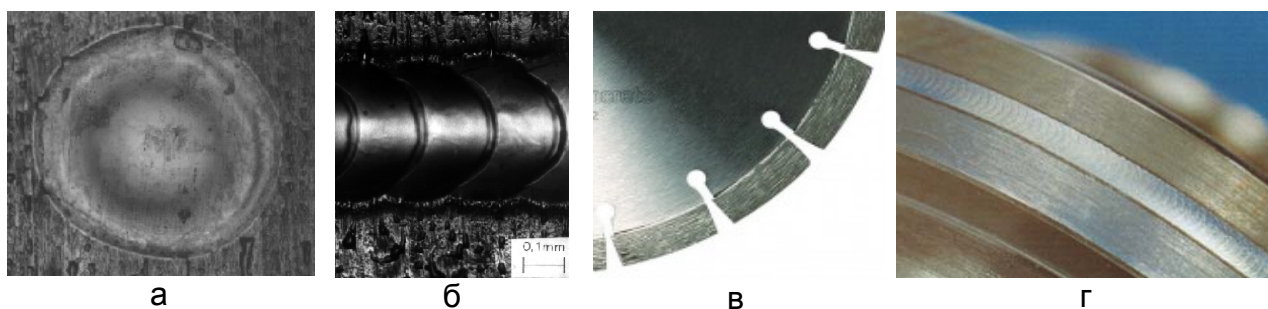
Со заварувањето со ласерски сноп може да се изведат челини и преклопни заварени споеви. При челните споеви има поголеми потешкотии, потребна е многу прецизна подготовка, паралелност на рабовите кои челно се спојуваат. При поголем зјај меѓу заваруваните елементи, поради многу малиот дијаметар на ласерскиот сноп, можно е да недојде до дејство на ласерскиот сноп на заваруваните челни површини. Преклопните споеви со ласерски сноп полесно се изведуваат, но тука се јавува ограничување на вкупната дебелина на спојуваните елементи. При преклопно

заварување на разнородни материјали мора да се води сметка и на тоа на кој од материјалите ќе дејствува ласерскиот сноп. Ласерскиот сноп треба да дејствува на материјалот кој има поголема апсорпција.

Заварливоста на материјалите во прв ред зависи од карактеристиките на основните материјали, состојбата на површината, бојата, степенот на апсорпција, видот на врската, обликот и димензиите на заваруваните материјали и слично.

Најтешко се заваруваат топлинско и електрички најспроводливите метали и нивните легури: Ag, Cu и Al. Така Ni се заварува со Ni но и со други метали и легури, додека Ti се заварува само сам со себе и своите легури. Успешна заварливост покажуваат и високотопливите метали: Ta, Mo и W, но честа е појавата на кртост и пукнатини на местата на спојување. Конструктивните и високолегираните челици се добро заварливи, како резултат на релативно нискиот степен на рефлексивност и коефициент на топлино спроведување. Критична заварливост се јавува кај челиците со зголемен процент на јаглерод, каде поради големата брзина на ладење се јавуваат пукнатини. Во основа подобра заварливост покажуваат ладно обработуваните елементи, како жици, тенки лимови и слично.

Цврстите ласери се користат за заварување на помали дебелини при изработка на минијатурни елементи во машинството и најчесто во електротехниката и електрониката. Цврстите ласери работат пулсно или со зголемена фреквенција со т.н. квазиконтинуирано. Поради тоа заварите кои се изведуваат се во форма на точка (слика VIII.27.а) или во линија од преклопени точки (слика VIII.27.б, VIII.27.в и VIII.27.г). За заварување се употребуваат цврстите ласери со моќност до 10kW. На слика VIII.27 прикажани се примери на изведени завари со цврст ласер.



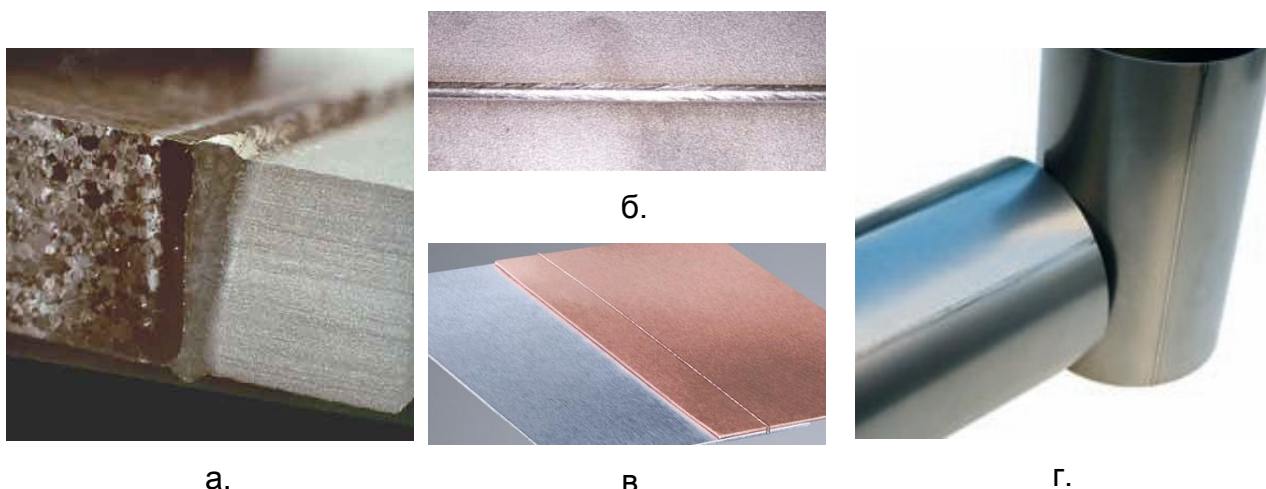
- а. Преклопно точкесто заварени аморфни фолии од легура на кобалт со параметри на ласерот: $E = 0,134 \text{ J}$, $t_p = 0,20 \text{ ms}$, $Def = -2,30 \text{ mm}$.
- б. Преклопно линиско заварени аморфни фолии од легура на кобалт со параметри на ласерот: $E = 0,330 \text{ J}$, $t_p = 0,30 \text{ ms}$, $Def = -0,77 \text{ mm}$.
- в. Сочелно линиски заварени челични материјали со различен квалитет, секачите на пилата изработени се од специјален челик, а телото од конструктивен челик.
- г. Сочелно линиско заварени кружни елементи од високолегиран челик.

Сл. VIII.27. Примери на завари изведени со цврст ласер

Гасните ласери поради поголемата моќност, до 25 kW, се употребуваат за заварување на подебели елементи во: бродоградбата, автомобилската, авионската и прехранбената индустрија. Гасните ласери работат со континуирано дејство поради што најчесто се изработуваат линиски завари, а можна е и изведба на точкести завари. Реализираните завари се со мала широчина и голема длабочина. Така кај линиското заварување се постигнува пенетрација од 2 до 6 пати поголема од широчината на заварот. На слика VIII.28. прикажани се примери на изведени завари со гасен ласер.

Високолегираните челици, бакарот, алуминиумот и нивните легури, како и другите материјали кои во растопена состојба поактивно се врзуваат со гасовите од околната средина, се заваруваат во заштитна атмосфера на инертни гасови Ag и He. Доводот на заштитниот гас на местото на заварување може да биде коаксијално и

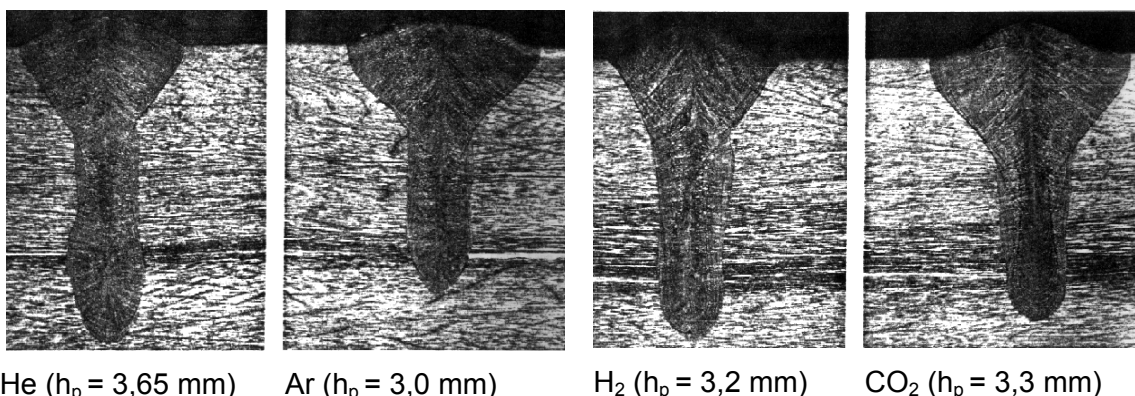
странично. При коаксијалниот начин на довод на заштитниот гас се постигнува заштита по целата должина на ласерскиот сноп, додека при страничниот довод заштитата е само на врвот од ласерскиот сноп и врз површината на работниот предмет. Првиот начин на довод определува поповолен топлински биланс, односно помала е загубата на топлината во околната средина.



- а. Сочелно заварени лимови со дебелина 11 mm, од легура TiAl и чист Ti,
 б. Сочелно заварени лимови од високолегиран челик,
 в. Преклопно заварени лимови од Cu и Al,
 г. Сочелно заварени цевки по изводница од чист Ti.

Сл. VIII.28. Примери на изведени линиски завари со гасен CO₂ ласер

Влијанието на видот на заштитниот гас врз обликот и димензиите на попречниот пресек на заварот може да се види на слика VIII.29. Заваруван е високолегиран челик X 6 Cr NiTi 18 10, со гасен CO₂ ласер, со следниов режим: моќност 2 kW, брзина на заварување 25 mm/s и проток на заштитниот гас од 20 l/min во заштитна атмосфера од: He, Ar, H₂ и CO₂.



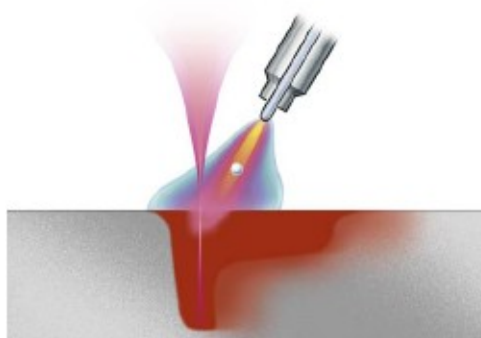
Сл.VII.29. Влијание на видот на заштитниот гас врз обликот и димензиите на заварот

Поради помалата густина на He, поголем дел од ласерскиот сноп пристига до површината на обработуваниот материјал, рефлексивата на ласерската светлина од пореткиот хелиум е многу помала во споредба со рефлексивата од погустниот аргон. Поради тоа степенот на апсорпција на ласерската светлина во обработуваниот материјал се зголемува и како резултат на тоа се зголемува и пенетрацијата. Најмала пенетрација постигната е при заварувањето со заштитна атмосфера од Ar, за 20 % помала во споредба со He. Постигнатата пенетрација со употребата на H₂ или CO₂ е помеѓу, но и покрај ова, овие гасови поретко се употребуваат како заштитна средина при заварувањето со ласерски сноп.

VIII.4.3. Основи на хибридно заварување со едновремено дејство на ласерски сноп и електричен лак

Последната деценија во развојот на хибридно заварување е карактеристична по усовршувањето на техниката за заварување, кај која ласерскиот сноп и електричниот лак истовремено, и на исто место, дејствуваат врз заваруваниот дел.

Развиени се најразлични техники на хибридно заварување со ласерски сноп и електричен лак. Ласерскиот извор е гасен CO₂ ласер со континуирано дејство или цврст Nd:YAG ласер со пулно т.н. квазиконтинуирано дејство. Другиот енергетски извор, во зависност од видот и дебелината на заваруваниот материјал, е пулсирачки електричен лак, т.е. техниката на заварување со електричен лак МИГ/МАГ или ТИГ. Шематски приказ на заемно дејство на ласерски сноп и електричен лак со топлива електрода (МИГ/МАГ) е прикажан на сл.VIII.30.



Сл.VIII.30. Шематски приказ на хибридно заварување ЛАСЕР – МИГ/МАГ

При заемното истовремено дејство на ласерскиот сноп и електричниот лак доаѓа до интеракција помеѓу овие топлински извори. Имено, под дејство на електричниот лак се топат основните материјали и додатниот материјал. Во загреаниот, односно растопениот материјал, се зголемува апсорпцијата на ласерскиот сноп, на многу мала површина (концентрирано), со што настанува поголемо топење на материјалот по длабочина. Како резултат на ова заемно дејство на ласерскиот сноп и електричниот лак се добива завар по облик и димензии помеѓу заварите добиени со заварување со ласерски сноп, односно МИГ/МАГ заварување.

На сликата VIII.31 е прикажана споредбата на заварите изведени на челичен материјал A36 (S235RJ) со: електричен лак, ласерски сноп и хибридно.

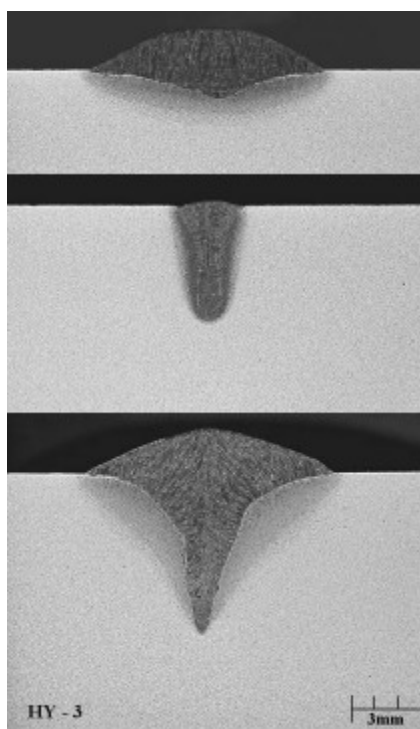
Заварот изведен со хибридна техника на заварување е со длабочина поголема во споредба со заварите изведени со електричен лак или ласерски сноп и за негова изведба се троши помалку додатен материјал, при значително поголема брзина на заварување.

За заварување на потенки елементи или елементи со екстремно различни дебелини се користи комбинација од цврст пулсен Nd:YAG ласер и ТИГ електричен лак со или без додатен материјал или МИГ/МАГ електричен лак со потенка жица и пониска струја на заварување.

За заварување на подебели елементи се користи комбинација од гасен континуиран CO₂ ласерски сноп со МИГ/МАГ електричен лак.

Почетните истражувања и примена на хибридната техника се вршени со едноставно заемно подесување (составување) на ласерската глава за заварување и заварувачкиот пиштол за техниките МИГ/МАГ или ТИГ. Подесувањето е со цел да се фокусира – насочи ласерскиот сноп во растопената заварувачка када во основниот материјал (т.н. топлинска дамка). При подесувањето најчесто ласерската глава е нормално поставена во однос на работниот предмет, а заварувачкиот пиштол е под

агол напред или назад, во однос на насоката на заварување. Една ваква изведба на хибридната постапка на заварување прикажана е на слика VIII.32.

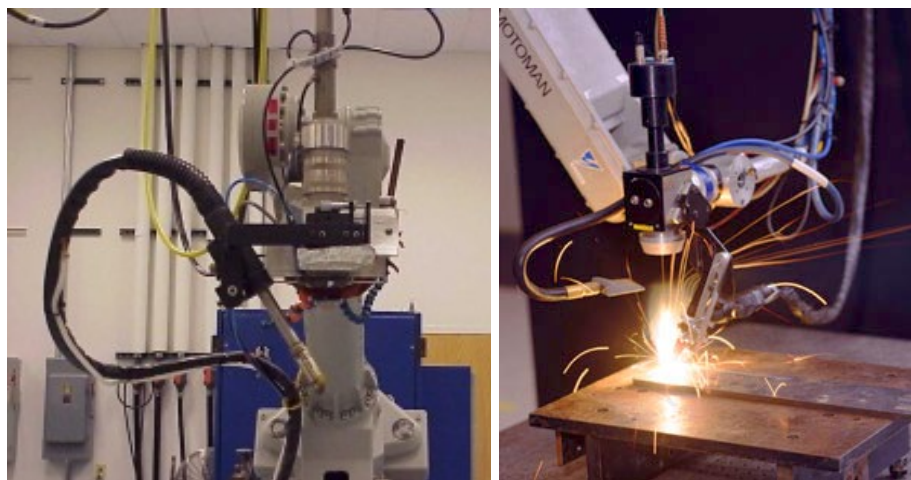


МАГ заварување со:
 брзина на заварување $V_z = 1 \text{ m/min}$,
 брзина на дотур на жицата $V_e = 270 \text{ mm/s}$,
 линиска енергија на лакот $q_p = 830 \text{ J/mm}$,
 брзина на топење на жицата $V_{et} = 5,7 \text{ kg/h}$.

Nd:YAG ласер заварување со:
 брзина на заварување $V_z = 1 \text{ m/min}$,
 моќност на ласерскиот сноп $p_l = 4 \text{ kW}$,
 линиска енергија на снопот $q_p = 240 \text{ J/mm}$.

Хибридно заварување со:
 моќност на ласерскиот сноп $p_l = 4 \text{ kW}$,
 брзина на заварување $V_z = 1 \text{ m/min}$,
 брзина на дотур на жицата $V_e = 270 \text{ mm/s}$,
 вкупна линиска енергија $q = 1060 \text{ J/mm}$,
 брзина на топење на жицата $V_{et} = 5,7 \text{ kg/h}$.

Сл.VIII.31. Споредба на изведени завари со различни техники



Сл.VII.32. Хибридна техника за заварување со подесени посебни заварувачки глави за ласерски сноп и електричен лак

На Меѓународниот саем за заварување во Есен, Германија, во септември 2001 година од страна на светски познатата заварувачка компанија FRONIUS за првпат јавно е прикажан резултатот од повеќегодишните истражувања во областа на хибридно заварување. Прикажана е и извршена демонстрација на заварување со прототип на компактна заварувачка глава за роботизирано хибридно заварување, во која се интегрирани ласерскиот сноп од Nd:YAG ласер и електричниот лак од МИГ/МАГ уред за заварување со пулсна струја, слика VIII.33. Со оваа заварувачка глава, ласерскиот сноп паѓа нормално на работниот предмет, а електричниот лак паѓа под кос агол. Главата е конципирана за работа со пулсна струја на заварување од 100 А при интермитенција од 100 % и квазиконтинуиран – пулсен ласерски сноп со максимална моќност од 4 kW. Оваа глава може да се користи и за електролачно и ласерско лемење во гасна заштитна атмосфера.



Сл.VIII.33. Компактна – интегрирана заварувачка глава

VIII.4.4. Особини и примена на хибридно заварување со едновремено дејство на ласерски сноп и електричен лак

Со класичното заварување со ласерски сноп се постигнува голема брзина на заварување, висок квалитет на заварот, но поради многу малиот попречен пресек на ласерскиот сноп, сочелното заварување на елементи со груба подготовка (поширок зјај) е отежнато. Заварувањето со ласерски сноп бара прецизна подготовка и подесување на заваруваните елементи. Овие проблеми не се јавуваат при заварување со МИГ/МАГ, односно ТИГ техниката, не е неопходна прецизна подготовка, но брзината на заварување е значително помала.

Со хибридно ласерски сноп - електричен лак заварување е постигната поголема брзина на заварување, завар со повисок квалитет и поголема пенетрација и при заварување на елементи со погруба подготовка и поголем зјај.

Покрај ова процесот на хибридно заварување е постабилен, поради заемното дејство на електричниот лак и ласерскиот сноп. Воопшто не се јавува прскање на растопен метал во околината на заварот, поради што нема потреба од дополнителна обработка.

Намалена е широчината на заварот при зголемена длабочина, поради што заостанатите напони и деформации се незначителни.

Термичкото оптоварување на основните материјали е многу помало, поради што и ЗВТ е многу тесна.

Времето на заварување е помало, а и потрошувачката на додатниот материјал е значително намалена.

Најчеста примена на хибридната техника на заварување има: во автомобилската индустрија, во бродоградбата и во производството на процесна опрема.

Се заваруваат елементи од: алуминиум и алуминиумски легури, конструктивни и легирани челици, поцинкувани лимови и одливки. Се изведуваат сите видови завари и заварени врски во сите положби на заварување. Се изведуваат рамнински и просторни праволиниски и криви заварени контури на елементи од ист или различен материјал со исти или различни дебелини.

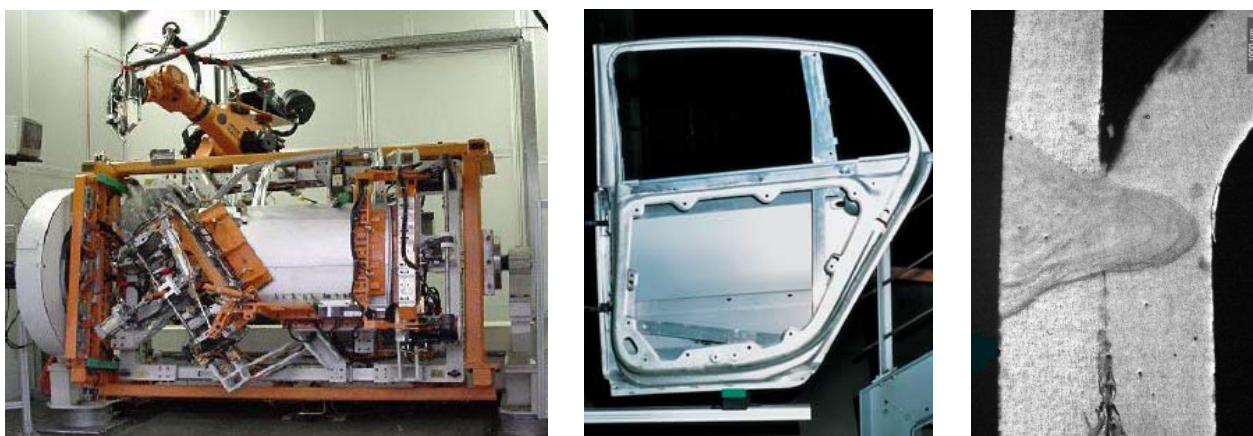
По долгогодишно истражување од страна на FRONIUS утврдени се оптимални параметри за заварување и изработена е линија за роботизирано заварување на

врати за автомобилот VW Pheaton. Од октомври 2002 година ова линија е дел во сериското производство на овој тип возила.

За илустрација, една врата е составена од алуминиумски одливки, лимови и ладнообликувани профили, со различни димензии (дебелини). На една врата се изведува завар во должина од 4980 mm. од која должина со МИГ се изведени 380mm, со Nd:YAG ласерски сноп 1030 mm и со хибридна техника дури 3570 mm. Изведените завари се од најразличен вид: сочелни, аголни и преклопни. Брзината на заварување е од 1,2 до 4,8 m/min, при брзина на додавање на додатниот материјал од 4 до 9 m/min и ласерски сноп со моќност од 2 до 4 kW.

Квалитетот на вака изведените врати е на многу високо ниво, што е потврдено и со спроведените crash-test-ови според EN и USA нормите.

На сликата VIII.34.а. е прикажана опремата за хибридно заварување на VW Pheaton конципирана од FRONIUS, а на сликата VIII.34.б. прикажан е изглед на заварена врата и макрографска снимка на еден заварен спој од неа.

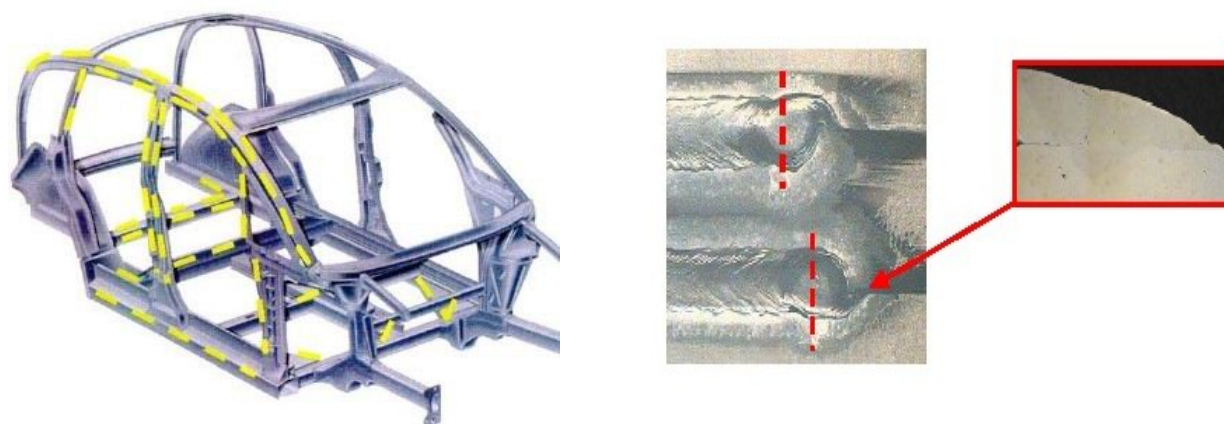


а.

б.

Сл.VIII.34. Хибридно заварување на врата од VW Pheaton

Хибридното заварување успешно се применува и при производство на возилото AUDI A8, кај кое поголем дел од заварите се изведени со оваа техника. На сл.VIII.35 прикажани се местоположбата на заварите на конструкцијата од возилото и изгледот на заварените споеви изведени со хибридно заварување.

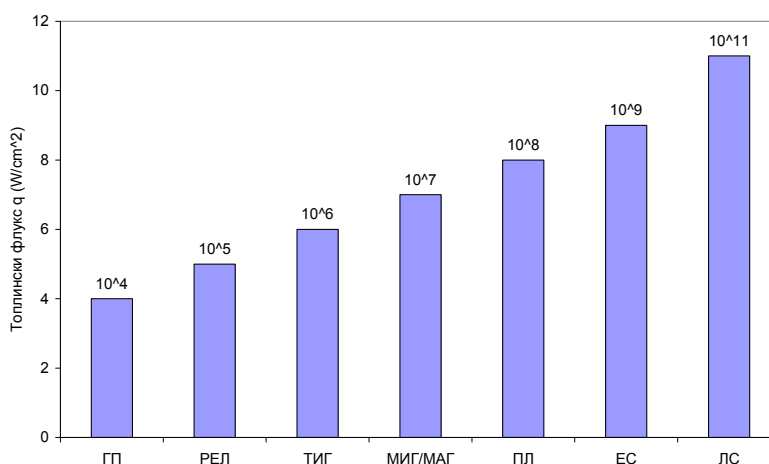


Сл.VIII.35. Хибридно заварување на AUDI A8

VIII.4.5. Споредба на заварувањето со ласерски снопов со другите техники на заварување

Во споредба со конвенционалните техники на заварување, заварувањето со ласерски снопов има низа предности. Предностите, разликите произлегуваат од разликите во флуковите (слика VIII.36.), што ја дефинира големината и обликот на растопениот волумен (купатилото). Купатилото при ласерскиот снопов е тесно и длабоко, а кај другите техники широко и плитко. Воедно е определена и брзината на заварување и големината на зоната кој е под влијание на температурата.

Во споредба со конвенционалните техники каде како извор на топлина е електричниот лак, основна разлика е во обликот и големината на заварот. Се постигнува неспоредлива пенетрација при доста мала широчина. Од ваквиот облик на заварот произлегуваат помали заостанати напони и деформации, а во помалиот волумен на растопен материјал се намалува и можноста за појава на грешки и структурни промени.



Сл. VIII.36. Споредба на топлинските флукови за различни техники

Во споредба со заварувањето со електричен отпор, заварувањето со ласерски снопов ги има следните предности:

- заварувањето е без механички контакт со заваруваниот материјал, што допринесува за добивање на завар со почиста површина и без деформации (нема отпечаток од потискувачот),

- процесот и квалитетот на заварувањето не зависи од електричните карактеристики на материјалите, како електричен отпор и електрична спроводливост,

- се постигнуваат заварени точки со многу помал дијаметар.

Заварот изведен со ласерски снопов е многу сличен со заварот изведен со електронски снопов, па најчесто споредбата е помеѓу овие две техники. Но ласерскиот снопов ги има следните предности:

- не е потребна дополнителна опрема за создавање вакуум,

- магнетичноста на материјалите и магнетното поле немаат влијание врз ласерскиот снопов,

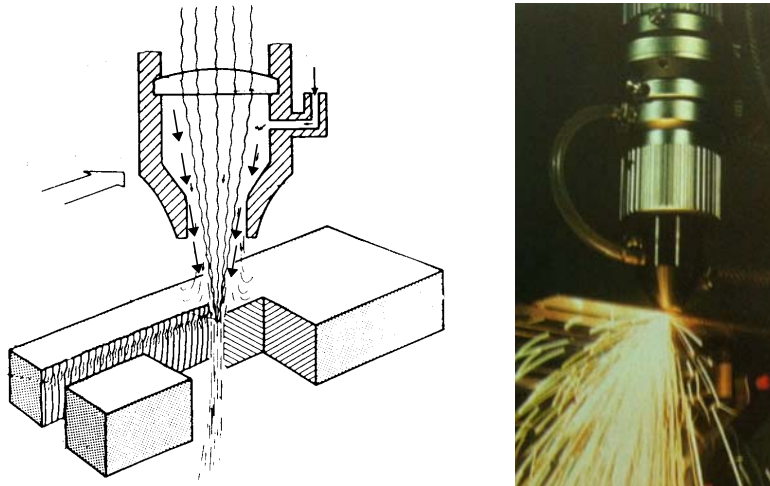
- при работа на ласерот не се создаваат X-зраци,

- за дебелини до 10 mm и иста моќност ласерскиот снопов има предност, но поголема пенетрација за дебелини над 10 mm се постигнува со електронскиот снопов.

Негативна страна на заварувањето со ласерски снопов е високата цена на воведување на техниката, која е рентабилна само за масовно сериско производство и малиот коефициент на искористување на енергијата. Така кај цврстите ласери со пулсно дејство коефициентот на искористување е помал од 5 %, додека кај гасните ласери со континуирано дејство достигнува вредност до 20 %.

VIII.4.6. Термичко сечење со ласерски сноп

Термичкото сечење со ласерски сноп најчесто се изведува со коаксиален дотур на гас со голема брзина и притисок, слика VIII.37. Гасот во зависност од изведбата на техниката за термичко сечење и природата на материјалите кои се сечат може да биде: воздух, кислород, водорот, аргон или хелиум. Улогата на гасот е повеќестрана, да го интензивира процесот на сечење, да го подобри квалитетот на пресечната површина и истата ја заштити од околните влијанија и слично.



Сл. VIII.37. Сечење со ласерски сноп

Според DIN 2310 дел 5 сечењето со ласерски сноп може да се изведе со: согорување, топење или испарување.

При сечењето со согорување се користи додаток од чист кислород, а може да се сечат сите видови челици, титан, молибден и нивните легури. При сечењето со топење и испарување се користи додатен гас водорот и може да се сечат полимерни материјали, стакло, дрво, текстил и други нежлезни материјали.

Кај сечењето со согорување, слично како и кај сечењето со гасен пламен, најпрво се загрева материјалот до температура од 1200°C , потоа со кислород согорува растопениот дел и по пат на кинетички притисок се потиснува согорениот материјал. Егзотермната реакција на кислородот со материјалот кој се сече додава еден дел на неопходната енергија.

Слично како и кај сечењето со плазмен лак, и при сечењето со растопување со фокусирање на ласерскиот сноп се растопува материјалот по целата дебелина и со притисок од гасот истиот се потискува. Како гас најчесто се користи: водород, аргон или хелиум. При овој начин на сечење можно е да се користи предгревање на материјалот.

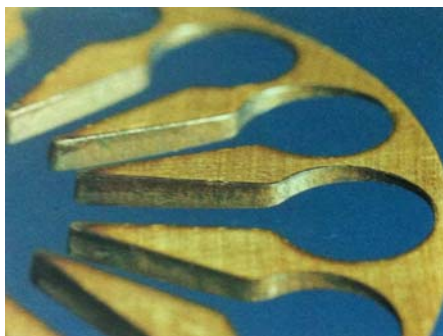
Сечењето со испарување се врши со голема густина на енергијата, 10^7 W/mm^2 , која се постигнува со фокусирање на ласерскиот сноп врз материјалот кој почнува спонтано да испарува. Испарениот материјал во реакција со гасовите за сечење: водород, аргон или хелиум се врзува со згурата и заедно се отстранува.

При сечењето на материјалите најдобро е да се користи ласерски сноп со континуирано дејство, поретко со квазиконтинуирано дејство и најретко со пулсно дејство. Ако се користи пулсен ласер тогаш треба пулсевите да бидат со висок интензитет и најкратко време на дејствување. Најповолно е да се користи ласер со TEM_{00} распределба на енергијата по попречниот пресек на ласерскиот сноп. За сечење се користат CO_2 -ласери со моќност до 1500W , но може да се употребуваат и бавни ласери до 600W и брзи ласери со над 1500W . Сложените форми обично се сечат со пулсни ласери, а поедноставните форми со континуирани ласери.

Сечењето со ласерски сноп се изведува исклучиво со автоматизирани системи, каде целиот режим на работа е управуван со CNC, а во поново време се применува и роботизирано сечење.

VIII.4.7. Примена на термичкото сечење со ласерски сноп

Како резултат на големата топлинска моќ, ласерскиот сноп се користи за сечење на најразлични материјали. Така со ласерски сноп може да се сечат и тенки лимови од високолегирани челици, алуминиум и бакар, како и неметални материјали: керамика, полимери, стакло, дрво, текстил, хартија, гума и друго, слика VIII.38.



еластичен челик за пружини



керамика



Поликристален дијамант со
Ø15x3 mm



челик алуминиум полимер дрво текстил иверица армиран бетон

Сл. VIII.38. Примери на разновидни материјали сечени со ласерски сноп

Со ласерски сноп може да се сечат челични материјали со дебелини од 0,1 до 8 mm. Кај потенките елементи од конструктивен челик пресекот е потесен, така за дебелина до 5 mm пресекот е со ширина од 0,1 mm. При сечењето на овој вид челици секогаш се користи кислород, односно сечење со согорување.

Нерѓосувачките челици се сечат со помала брзина и до 50% во споредба со конструктивните челици. Може да се сечат со и без кислород. Кога се врши сечење со кислород можна е појава на оксиди на пресечната површина. Мартензитните и феритните хром легирани челици се сечат со релативно висок квалитет, во споредба со аустенитните никел легирани челици кои се сечат потешко.

Алуминиумот и неговите легури се сечат со поголема густина на енергијата на ласерскиот сноп отколку челиците, поради поголемиот степен на рефракција на ласерската светлина и повисокиот коефициент на топлиноспроводливост. Така дури и со моќност од 1,5 kW тешко може да се пресече дебелина поголема од 3 mm. Ова е особено применувано во авиоиндустријата, покрај тоа има и проблеми од кислородот, се јавува оксид со висока точка на топење и голема кртоост.

Бакарот и неговите легури уште потешко се сечат во споредба со алуминиумот. При тоа како гас се користи водородот, а максималната дебелина која може да се пресече е 3 mm.

Неметалните материјали може да се пресечат со поголеми дебелини, така гумата може да се сече со дебелини до 20 mm, природно дрво до 75 mm и иверица до 25 mm со брзина на сечење од 2 m/min.

Добиените пресечни површини се со паралелни рабови, што е посебно важно за понатамошната обработка или монтажа на деловите. Пресечната површина е со висок квалитет, засекот е широк од 0,1 до 1,0 mm при брзина на сечење од неколку m/min. Така при сечењето на конструктивните челици паралелноста на пресечените страни е со околу 1% отстапување, рапвоста на пресекот е од 5 до 20 μ m. Зоната под влијание на топлината се движи во границите од 0,05 до 0,15 mm и се намалува со зголемување на брзината на сечење.

Брзината на сечење зависи од: густината на енергијата, положбата на фокусот, распределбата на енергијата по попречниот пресек на ласерскиот сноп т.е. модот на ласерот, квалитетот на кислородот, видот и дебелината на материјалот кој се сече и слично. Така со употреба на кислород во споредба на воздух се зголемува брзината на сечење за 25 до 40 %.

Во споредба со конкурентните техники на сечење со гасен пламен и плазмен лак, сечењето со ласерски сноп има редица предности. Како на пример, со ласерски сноп може да се сечат неметални материјали, сечењето е со тесен пресек, пресечните површини се со поголема паралелност и помала рапавост и се работи со поголема брзина.

Дел од предностите на сечењето со ласер во споредба со конкурентните постапки на сечење може да се види на слика VIII.39. Претставена е споредбата за дебелината на сечење и широчината на пресекот при сечење на конструктивен челик ST 37 (P235TR1).

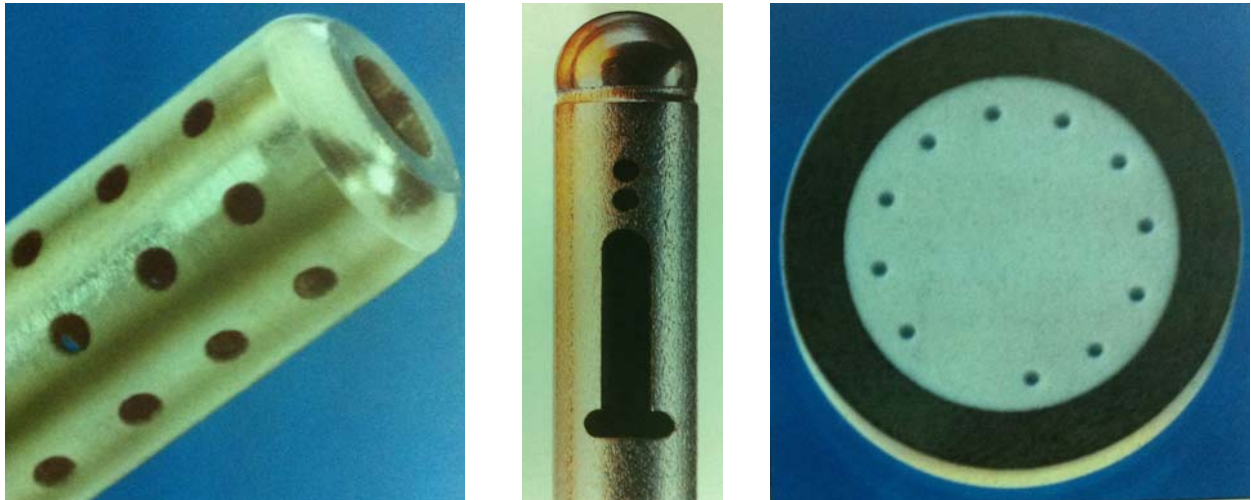
| mm | гасен пламен | плазмен лак | ласерски сноп |
|----|--------------|-------------|---------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 5 | | | |
| 8 | | | |
| 10 | | | |

Сл. VIII.39. Споредба на пресеци изведени со гасен пламен, плазмен лак и ласерски сноп

VIII.4.8. Дупчење со ласерски сноп

Како и сечењето и дупчењето со ласерски сноп се применува при обработката на материјалите и тоа подеднакво успешно за различни видови на материјали. Дупчењето е специфичен начин на сечење при кое брзината на сечење е нула. Ласерскиот сноп е посебно ефикасен при дупчење на мали отвори, обработка многу важна за погонските системи во авионите и ракетите. Тоа е посебно важно за мали отвори потребни во моторите за довод на гориво или друг флуид, а кои се прават од разни легури кои тешко се обработуваат со други постапки. Дијаметарот на отворите може да достигне микронски големини.

На слика VIII.40. дадени се примери на дупчење на различни материјали.



а.

б.

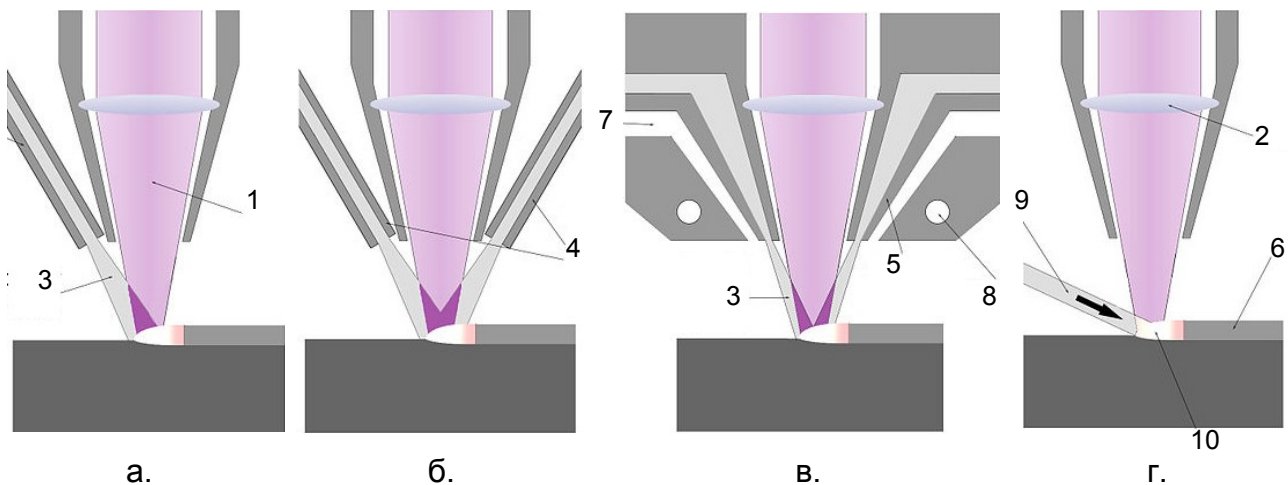
в.

- а). дупчење на отвори со дијаметар 0,8mm и длабочина од 1mm, со Nd:YAG-ласер,
 б). сечење и дупчење на цевка од легиран челик со дијаметар 5mm и дебелина на ѕидот 0,15mm, прикажаната конфигурација е направена за време од 3s со употреба на гасен CO₂-ласер.
 в). дупчење на керамика со дебелина 5mm отвори со дијаметар 0,10mm со употреба на гасен CO₂-ласер.

Сл. VIII.40. Примери на дупчење со ласерски сноп

VIII.4.9. Метализација со ласерски сноп

При метализацијата со ласерски сноп додатниот материјал најчесто е во облик на прашок, слика VIII.41. а, б и в, и поретко во облик на жица, слика VIII.41.г.



а.

б.

в.

г.

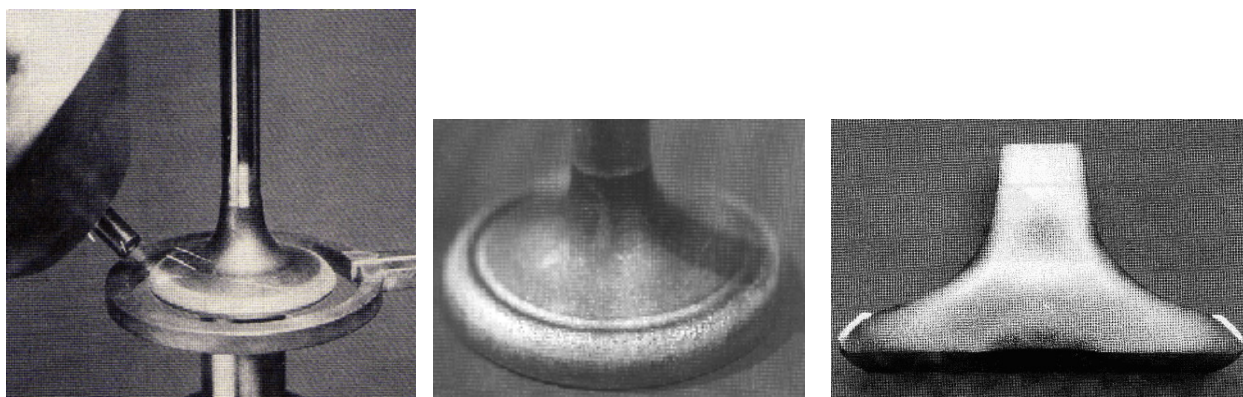
1. ласерски сноп, 2. леќа, 3. прашок за метализација, 4. чаура за страничен довод на прашок, 5. канали за довод на прашок, 6. метализиран слој, 7. заштитен гас, 8. канали за ладење со вода, 9. страничен довод на жица за метализација, 10. растопина

Сл. VIII.41. Изведби на метализацијата со ласерски сноп

Метализацијата може да се изведе на два начини. Првиот начин е со уфрлње на материјалот за метализација, кој најчесто е во облик на прашок, во фокусот на ласерскиот сноп, каде доаѓа до негово топење и налепување на обработуваната површина. При вториот начин на метализација додатниот материјал се донесува од

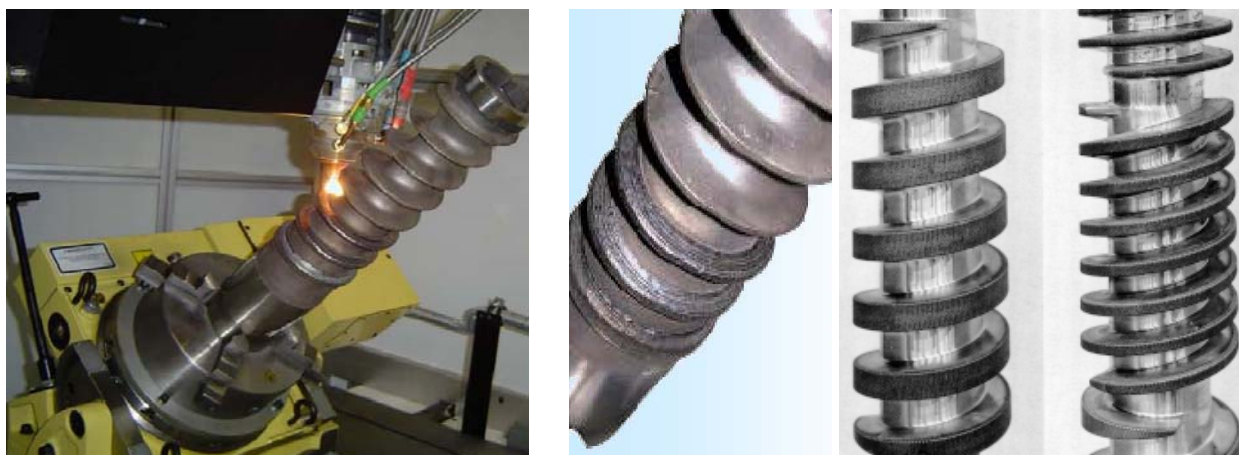
страна или работните површини се покриваат со материјалот за метализација, кој е во форма на прашок, фолија или жица, и врз него се дејствува со ласерскиот сноп.

Првиот начин почесто се применува за метализација на посложени форми, слика VIII.42. и слика VIII.43, а вториот за поедноставни форми, најчесто рамни или цилиндрични површини, слика VIII.44.

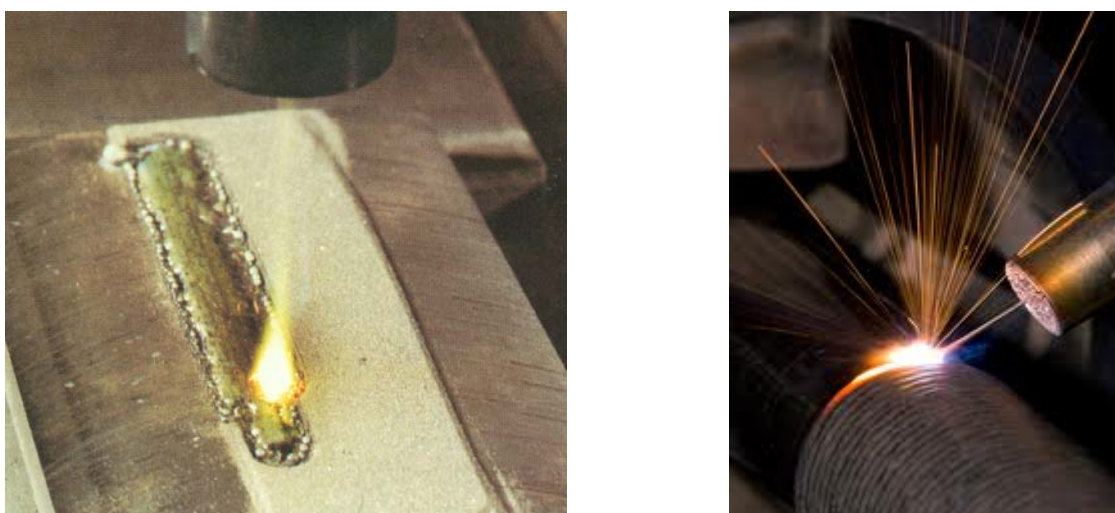


а. процес на метализација б. изглед по метализација в. пресек по метализација

Сл. VIII.42. Метализација со ласерски сноп на вентил од мотор со внатрешно согорување со легура Stelit 6 во облик на прашок



Сл. VIII.43. Метализација со ласерски сноп на полжавест транспортер



а. рамна површина покриена со прашок

б. цилиндрична површина со жица

Сл. VIII.44. Метализација со ласерски сноп на едноставни површини

IX. ЗАВАРУВАЊЕ СО МЕХАНИЧКИ ИЗВОРИ

Во оваа група на техники на заварување припаѓаат:

- заварување со притискање на ладно,
- заварување со триење,
- заварување со ултразвук,
- заварување со експлозија.

Заедничко за сите овие техники е тоа што основните материјали при заварувањето не се топат, тие се во цврста состојба, ладни или загреани под солидус температурата.

Спојувањето на материјалите настанува со дифузија на атоми од еден во друг материјал во цврста состојба. Енергијата за спојување, дифузија, е пред се' од дејството на контролирана сила на притисок и делумно од зголемената температура поради триењето и интензивното пластично деформирање.

Кај заварувањето со притискање на ладното и заварувањето со експлозија процесот на спојување се одвива само под дејство на сила, односно удар. Кај заварувањето со триење и заварувањето со ултразвук процесот, покрај дејството од сила, се одвива и под дејство на топлина и релативно движење на површините кои се спојуваат.

IX.1. Заварување со притискање на ладно

Заварувањето со притискање на ладно се изведува со висок притисок врз контактните површини на деловите што се спојуваат, при што настанува пластична деформација на материјалите во околината на спојувањето. Покрај високиот притисок, за изведување на процесот е нужно осигурување на чисти и мазни површини. Со оваа техника се заваруваат само материјали со високи пластични особини, како: алуминиум, бакар, никел, олово, цинк, сребро и нивните легури.

Со оваа техника се изведуваат преклопни и челни заварени споеви. Преклопно со една или повеќе заварени точки се спојуваат тенки плоскати елементи, лимови. Со челното заварување се спојуваат полни елементи, како едножичени електрични проводници, метални прачки, цевки и слично.

Првите проби на заварување со притискање на ладно реализирани се во триесеттите години од XX век, но сестран развој и примена техниката доживува по Втората Светска војна и тој развој трае континуирано до денес. Интересен е податокот што до 1965 година во СР Германија оваа техника воопшто немала индустриска примена, во споредба со СССР каде примената била огромна. Само во тој период во СССР конструирани се повеќе од 250 разновидни видови на машини за заварување со притискање на ладно. Изработени се флексибилни целосно автоматизирани технолошки линии на заварување со оваа техника.

IX.1.1. Механизам на спојувањето со заварување со притискање на ладно

Површините на металите ретко се чисти и мазни во микро поглед и покрај примената на висока технологијата на обработка. На сликата IX.1. прикажана е микроскица за вообичаена состојба на една метална површина. Таа е релјефна со испакнатини и вдлабнатини, чии екстреми достигнуваат висина од многу илјади пати од дијаметарот на атомот.



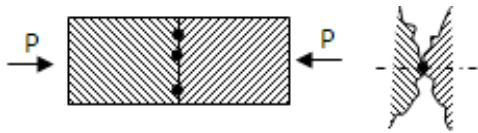
1. апсорбирана течност или пара
2. оксиден филм

Сл. IX. 1. Состојба на метална површина

Според вистинската состојба на површините, претпоставката за метално чисти и мазни површини не е задоволена. Во лабораториски услови може да се постигне состојба на речиси перфектно чисти површини, но во индустриската примена постигнувањето на овој услов бара долготрајна и обемна подготовка, што е нерационално и, според тоа, мора да се смета со хендикепирана реална површина.

При практична примена, подготовката се смета дека е задоволителна ако се отстранат нечистотиите: масноти, оксиден филм и слично. Но оксидот веднаш по неговото отстранување пак се создава, така што неговото учество практично е неизбежно. Што станува со оксидната покривка?

Во процесот на заварување, под влијание на високиот притисок, на локалните контакти, поради постоење на екстремитети, се јавува пробивање на оксидот што резултира во локален метален контакт - метален мост, прикажано на слика IX.2. Материјалот, во околината на металниот мост, под влијание на високиот притисок пластично се деформира, односно контурата на површината се менува. Под влијание на оваа промена со лизгање, оксидот се разорува, фрагментира, во „цепови“ со што се проширува металниот контакт, слика IX.3.



Сл. IX.2. Шематски приказ на метален контакт



Сл. IX.3. Промени на оксидниот филм

Во следната фаза низ чисто металните контактни површини настанува дифузија, селење на атоми од едниот во другиот материјал, со што се постигнува целта - коалесенција.

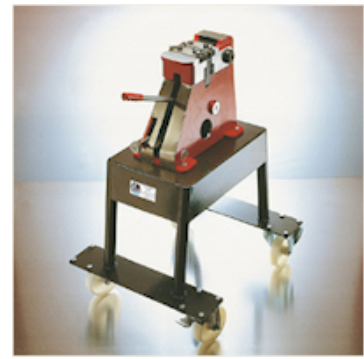
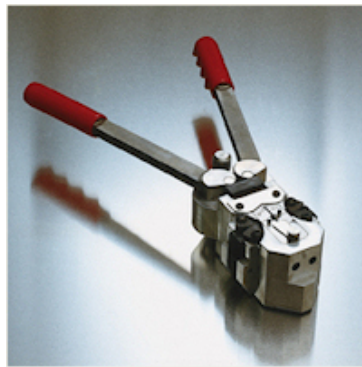
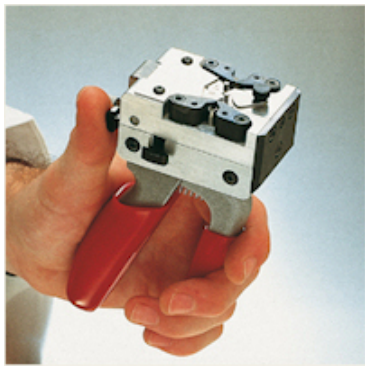
Околу физичките основи на процесот на спојување и самиот механизам на спојување и до денес постојат отворени прашања. Поставени се голем број на хипотези, кои најчесто една со друга се контрадикторни. Така Сахацкиј разработува голем број хипотези, како: дифузна, рекристализациска, енергетска, дислокациска, деформациска, хипотеза на активни центри и хипотеза на метални врски.

Но и покрај тоа едно е јасно, до спојување со заварување со притискање на ладно доаѓа при надминување на критичните пластични деформации во еден правец на заваруваните материјали. Деформациите во другите два правци се ограничени, и доста помали. Со пластичното деформирање се нарушува енергетската рамнотежа во деформираната кристална решетка на материјалот. Доаѓа до поместување на атомите во цврста состојба т.е. дифузија и рекристализација.

IX.1.2. Уреди и техника на спојување со заварување со притискање на ладно

За да се постигне висок квалитет и поголема заварливост површините кои се спојуваат претходно се чистат хемиски и механички. Хемиското чистење е со бензин или хемиски раствор, со кој се отстрануваат маснотиите и оксидите од површината. Механичкото чистење на површините се изведува со брзоротирачки челични четки и млаз од компримиран воздух.

Уредите за заварување со притискање на ладно може да бидат со рачен погон (слика IX.4.) и машински со хидрауличен (слика IX.5.а.) или електро пнеуматски погон (слика IX.5.б.). Рачните уреди за челно заварување се користат за работа на терен, и со нив се заваруваат електрични проводници со помали дијаметри, до 5 mm. Машинските уреди најчесто се употребуваат во работилница за челно заварување на елементи со поголеми дијаметри или преклопно заварување.



Сл. IX.4. Уреди за заварување со притискање на ладно со рачен погон



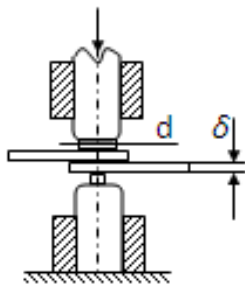
а) со хидрауличен погон



б) електро пнеуматски погон

Сл. IX.5. Уреди за заварување со притискање на ладно со машински погон

При точкестото заварување лимовите се поставуваат преклопно, а силата на притисок врз материјалот се пренесува со трнови со екстремна јакост, слика IX.6. Попречниот пресек на трновите се среќава во повеќе варијанти: кружен, правоаголен и квадратен.

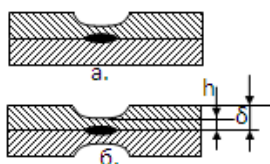


Кај кружен пресек, дијаметарот на трнот е даден со изразот: $d = (1\div 3) \cdot \delta$ (mm).

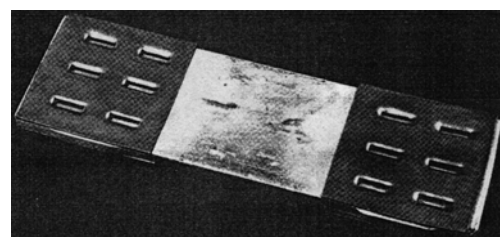
За цилиндричен и сверичен крај на трнот, дијаметарот на трнот е даден со изразот: $d = (1\div 4) \cdot \delta$ (mm).

Сл. IX.6. Преклопно точкесто заварување со притискање на ладно

Дејството на втиснувачите се изведува како еднострано и двострано. Соодветно, се среќаваат два вида на облици на споевите, слика IX.7. Похомоген, а со тоа и поквалитетен спој се добива со двострано дејство, но се применува и со еднострано дејство, ако постои ограничување во деформацијата на едната страна.



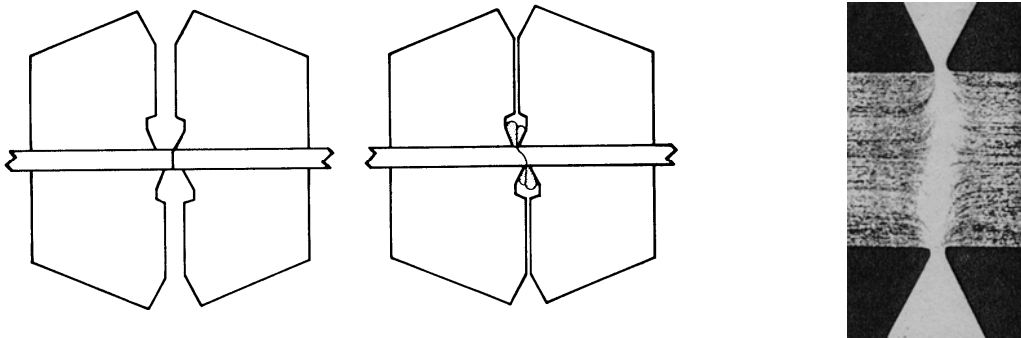
а) при еднострано дејство
б) при двострано дејство



Сл. IX.7. Изглед на преклопно точкесто заварени споеви

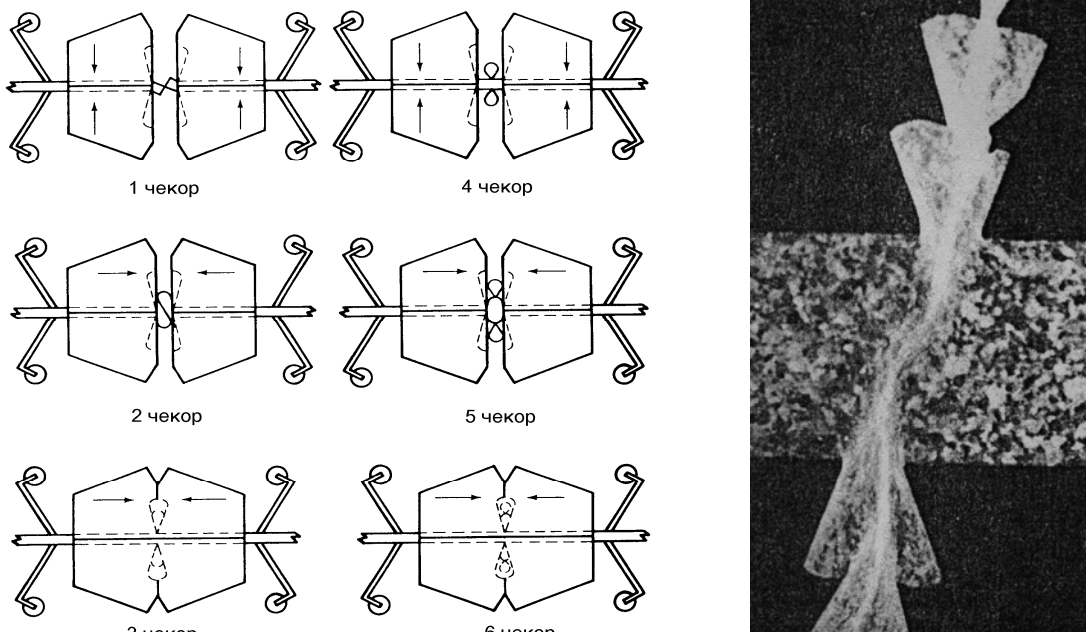
Челното заварување може да се изврши во еден или во повеќе чекори, (степен) на дејство на силата на притисок врз основните материјали.

При заварувањето со еден чекор, едно притискање, слика IX.8., неопходно е пред заварувањето челните површини да се порамнат и добро исчистат механички и хемиски, како би се зголемила реалната контактна површина.



Сл. IX.8. Челно заварување со едно притискање

Кај заварувањето во повеќе чекори, повеќекратно притискање, слика IX.9., не е потребна никаква подготовка на елементите пред заварувањето. При повеќекратното притискање доаѓа до истиснување на поголем дел од основните материјали, а со него и нечистотиите кои биле на челните површини кои се спојуваат. Истиснатиот дел формира венец околу спојот. Бројот на чекорите на притискање нема битно влијание, обично после 4 чекори нема промена на квалитетот на добиениот спој.



Сл. IX.9. Челно заварување со повеќе притискања



Cu-Cu



Al-Al

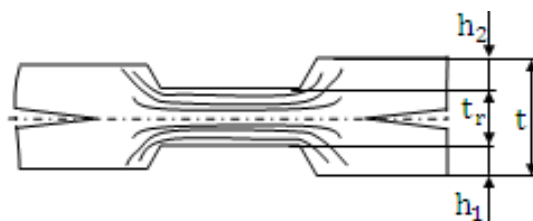


Cu-Al

Сл. IX.10. Изглед на челно заварени споеви

IX. 1.3. Карактеристики и примена на спојот изведен со заварување со притискање на ладно

Меѓу главните карактеристики на спојот изведен со оваа техника на заварување е претрпената пластична деформација, како последица на притискањето. На сликата IX.11. даден е пример на деформација за точкесто заварен спој. Линиите во внатрешност од контурите над делот ги покажуваат правците на течење на слоевите на материјалот по дебелината.



Сл. IX.11. Вкупна деформација на материјалот при заварување со притискање

Длабочината на навлегувањето на притискувачите во металот зависи од притисокот и од металот. Редуцираната дебелина на местото на заварувањето во однос на оригиналната, во релативен однос, се изразува според образецот:

$$\frac{t_r}{t} \cdot 100(\%)$$

Вредноста на овој број за оптимални вредности на максималната јакост на кинење за поедини метали, дадена е во табела IX.1.

Табела IX.1. Процент на редуцирана дебелина

| Al | Pb | Cu | Fe | Ag | Al-Cu |
|-----|-----|-----|----|----|-------|
| 33% | 16% | 15% | 8% | 6% | 16% |

Успехот на заварувањето, секако, зависи и од внесување на доволно висок притисок. Појдовен показател е задоволувањето на минималниот степен на деформација, ϵ_{\min} (%), чии вредности за одделни метали се дадени во табелата IX.2. Треба да се внимава дека тоа се минимални вредности, а при заварувањето секогаш се зема нешто поголема деформација.

Табела IX.2. Степен на деформација ϵ_{\min} за дебелина на материјалот $\delta = 1 \text{ mm}$

| Au | Ag | Al | Pb | Cu | Fe | челик |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 35% | 50% | 67% | 86% | 90% | 81% | 84% |

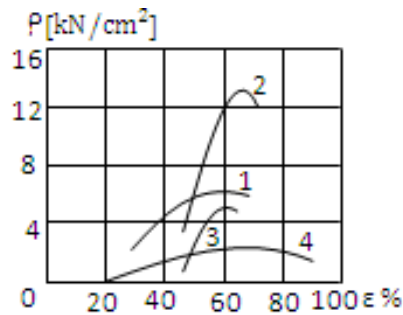
Бидејќи ϵ_{\min} е позната големина, може да се определи притисокот, p (Pa) според експериментално добиени криви, прикажани на сликата IX.12.

Вкупната сила на заварување изнесува: $F = p \cdot A$ (N), каде A е површина на попречниот пресек на трнот.

Другите параметри на заварувањето: време на притискање и брзина на пораст на силата немаат значително влијание врз квалитетот на заварениот спој.

Возможно и рационално е да се заваруваат само метали со високи пластични особини, еднородни или разнородни споеви како: бакар-алуминиум, бакар-сребро, цинк-алуминиум и други. Најмногу се применува комбинацијата бакар со алуминиум, главно во електроиндустријата.

Во Советскиот Сојуз, поради недостаток на енергетски извори во неговите простори, се применувала за заварување на жици при електрификација на железниците. Техниката на заварување е применета и за градба на трамвајски линии, садови, резервоари за возила и слично.



1. алуминиум
2. електролитен бакар
3. дуралуминиум
4. олово

Сл. IX.12. Зависност на притисокот за спојување од степенот на деформација

IX.2. Заварување со триење

Триењето, иако во голем број случаи е штетна физичка појава, во некои подрачја е корисно, како во техниката така и во животот воопшто. Процесот на триење се применува за две техники на заварување: заварување со триење и заварување со ултразвук. Важноста на триењето и во двете техники е подеднаква вршејќи ги следните функции:

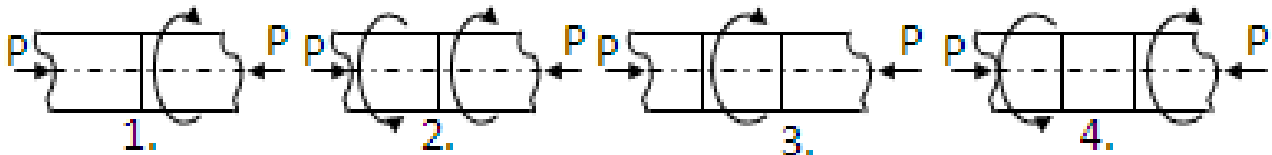
- работата на триењето се претвара во топлина, загревајќи ги површините што се спојуваат,
- со триењето се разрушува оксидниот филм и се воспоставува метален контакт,
- со појавата на нормални и тангенцијални напрегања на површините се јавува пластична деформација која го помага заварувањето.

IX.2.1. Техника на заварување со триење

Во овој процес најчесто и најрационално се заваруваат предмети со кружен попречен пресек. Главни параметри на заварувањето се: вртежен момент, број на вртежи и сила на притискање на предметите. Релативното движење меѓу контактните површини се остварува на четири начини:

1. едниот дел е статичен, а другиот ротира,
2. двата дела ротираат но во спротивна насока еден во однос на друг,
3. двата дела се статични, а ротира влошката меѓу нив, која е дел од заварениот склоп,
4. влошката е статична, а ротираат двата дела.

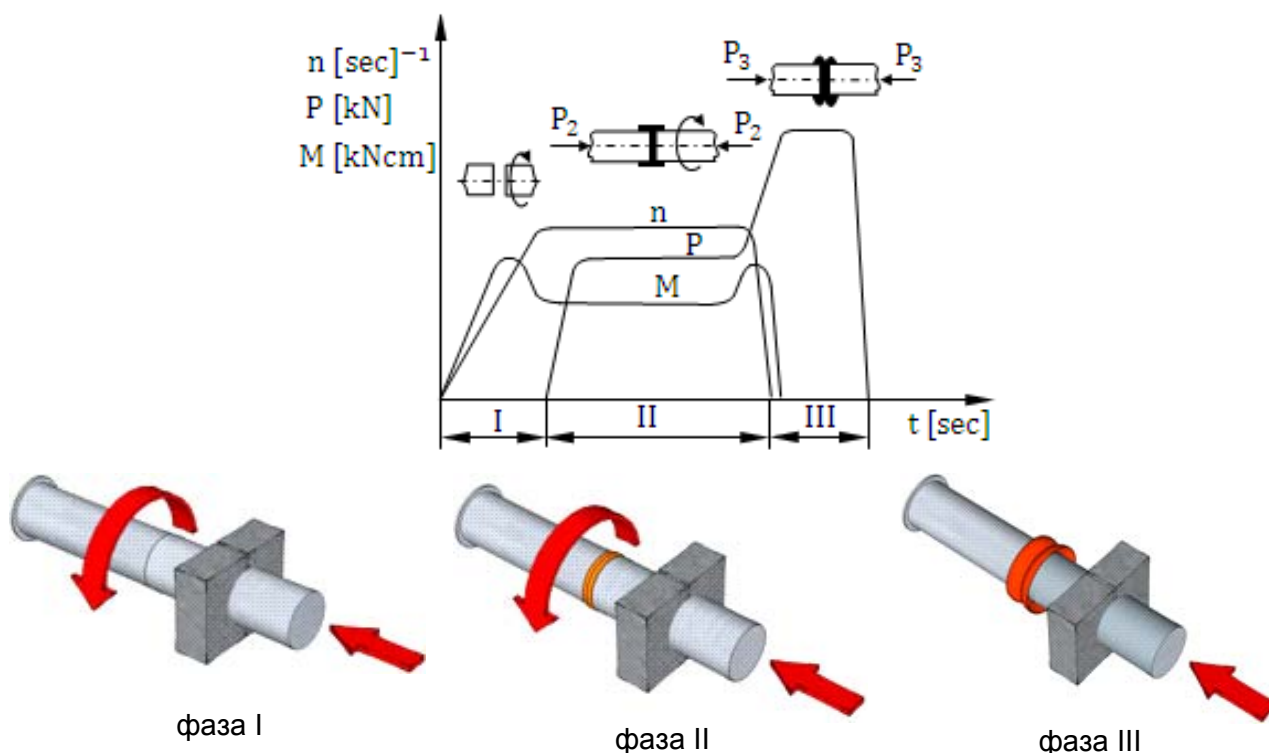
Шематски приказ на сите случаи е даден на слика IX.13.



Сл. IX.13. Видови релативно движење меѓу контактните површини при заварувањето со триење

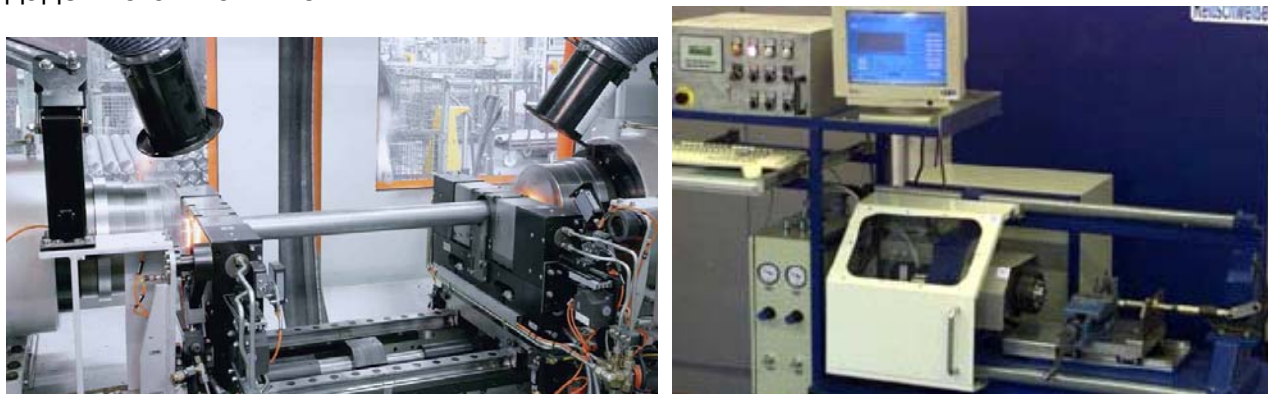
Процесот на заварување се одвива во три фази:

- I. нагло внесувањена вртежен момент со кој се постигнува движење на предметите;
- II. појава на сила на притисок со присуство на контактен вртежен момент и број на вртежи;
- III. елиминација на вртежниот момент и брз скок на силата на притисок со што се добива заварен спој, сликата IX.14.



Сл. IX.14. Процес на заварување со триење

Машините за оваа техника нужно е да поседуваат повеќе единици, бидејќи процесот на заварување е сложен и, главно, треба да ги има следните делови: електромотор и погонски механизам, подвижна глава за стегање, неподвижна глава за стегање (случај 1 и 3 според слика IX.13.), направа за притискање на деловите, кочница за подвижната глава, помошни механизми, систем за управување, и во поново време систем за програмирање на процесот. Изгледот на една машина е даден на слика IX.15.



Сл. IX.15. Машина за заварување со триење

Современите машини овозможуваат автоматски тек на целиот процес, со поволен избор на параметрите, се исклучува субјективниот фактор како елемент за можно изведување на неквалитетен спој.

IX.2.2. Карактеристики на споевите и примена на техниката на заварување со триење

Како последица на автоматизацијата при ова техника на заварување, квалитетот на споевите, речиси исклучително, зависи од погодниот избор на параметрите. Ако тој проблем позитивно се реши, тогаш квалитетот на спојот не е понизок од квалитетот на основниот материјал.

Спојот се одликува со голема чистота, бидејќи, како резултат на големиот притисок меѓу деловите е елиминирана можноста за влијание на околната средина за појава на грешки.

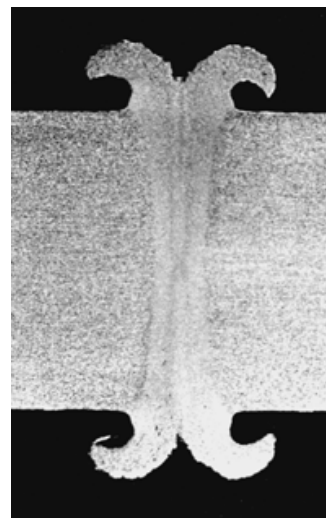
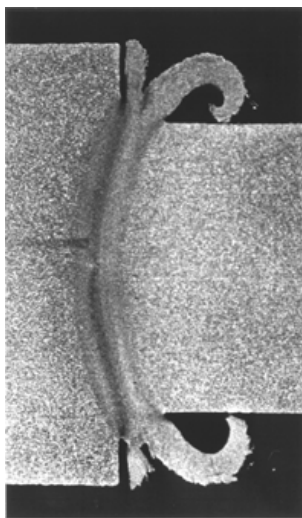
Со оваа техника можат да се завруваат голем број истородни метали или комбинации на различни метали. Сликата IX.16. дава преглед на можни комбинации на заварување.

| | Al | Mg | Bg | карбиди | Co | Sn | Cu | монел | Pb | Mn | Mo | Ni | Лег.чел. | Јаг.чел. | Неум.чел. | Синтер.мет. | Не'рг.чел. | Алат.чел. | Ta | Ti | W | Вентил.чел. | ČL | Zr | |
|-------------|----|----|----|---------|----|----|----|-------|----|----|----|----|----------|----------|-----------|-------------|------------|-----------|----|----|---|-------------|----|----|--|
| Al | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bg | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| карбиди | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| Co | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sn | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| монел | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pb | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mo | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | | | | | | | | X | | |
| Лег.чел. | | | | | | | | | | | | | X | X | X | | | | | X | X | X | | | |
| Јаг.чел. | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | X | X | | | | |
| Неум.чел. | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| Синтер.мет. | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| Не'рг.чел. | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| Алат.чел. | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| Ta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| Ti | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | |
| W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| Вентил.чел. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| ČL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| Zr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | |

Сл. IX.16. Комбинации на заварливост помеѓу некои материјали

Бидејќи машините за оваа техника се скапи, рационално е да се применува само за големосериско производство. Досегашното искуство ја фаворизира пред се' во автомобилската индустрија, каде што операциите се повторуваат и по неколку стотици илјади пати, како на пример за заварување на: кардански зглобови, запченици, глави со тела на вентили и слично, слика IX.17 и слика IX.18.

Спојувањето на овие елементи е нужно од две причини: изработката од еден дел е компликувана или елементот се изработува од два различни материјали.



Ø25mm/Ø16mm, $P_1/P_{II}=80/160\text{N/mm}^2$, $n=2000\text{min}^{-1}$ Ø16mm/Ø16mm, $P_1/P_{II}=40/80\text{N/mm}^2$, $n=2000\text{min}^{-1}$

Сл. IX.17. Челни заварени споеви на кружни елементи од челик Č.0361 (S235JRG2)



Сл. IX.18. Примери на споеви изведени со заварување со триење

IX.3. Заварување со ултразвук

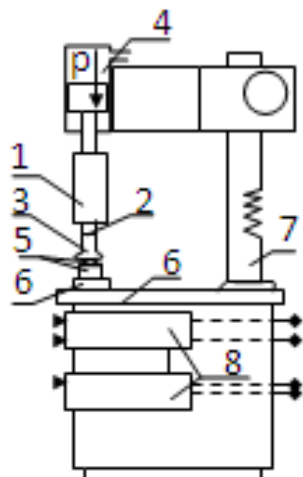
И техниката на заварување со ултразвук го користи триењето за развивање на топлина, како еден од условите за заварување. Контактните површини, кои се рељефни, стапуваат во триење, претрпуваат пластични деформации, а оксидниот филм се разорува и настанува заварениот спој.

За оваа намена се користи фреквенција од 20 до 22 kHz.

IX.3.1. Техника на спојување со заварување со ултразвук

Ултразвучниот систем за заварување треба да обезбеди ултразвучни бранови со определено повторување и амплитуда и сила на притисок. Тоа значи дека, за успешно изведување на спојувањето, според оваа техника потребни се: ултразвучен генератор, претворувач, пневматски систем и дел за управување. Еден таков систем е прикажан на сликата IX.19. Брановите се создаваат во генераторот 1, преку брановодот 2 и трлот 3, се пренесуваат на предметите за заварување 5, во

цилиндерот 4 се создава притисок и преку клипот се пренесува силата на заварување $F_{зав}$; столбот 7, кој преставува назабена летва, овозможува барано растојание помеѓу трнот и работната површина 6, зависно од висината на работните предмети и одот на трнот. Овие елементи треба да овозможат избор на погоден сооднос помеѓу фреквенцијата, амплитудата на врвот на заварувачкиот трн, силата на притисок на допирните површини $F_{зав}$ и времето на делување на ултразвучните бранови $t_{зав}$ во контактната површина, бидејќи дифузијата на металите зависи од наброените големини. Дифузијата настанува поради апсорпција на ултразвучната енергија во контактните слоеви, загревање на површините и дејство на притисокот.



1. ултразвучен генератор,
2. брановод,
3. заварувачки трн,
4. пневматски систем за притискање,
5. работни предмети,
6. работна површина,
7. назабена летва, водилка,
8. систем за управување



Сл. IX.19. Уред за заварување со ултразвук

Под дејство на ултразвучните бранови осцилираат: трнот, горниот дел, долниот дел и подлогата. Тоа значи дека триењето на контактните површини е резултанта од осцилациите на одделните компоненти и можни се два издеференцирани случаји:

1. режим со „општо лизгање“, кога постои големо релативно осцилирање на елементите,
2. режим без „општо лизгање“, при мало релативно осцилирање на елементите.

Во првиот случај постои триење на големи контактни површини, а во вториот на локализирани површини, што произведува разлики на топлинскиот циклус при заварувањето и јакоста на спојот.

Циклусот на заварување се изведува во четири фази: 1. внесување на сила на притисок $F_{зав}$, 2. довод на ултразвучна енергија чие времетраење го претставува времето на непосредно заварување $t_{зав}$, 3. дополнително дејство на силата на притисок заради комплетирање на дифузијата, 4. застој (подготовка) пред нов завар.

Како параметрите влијаат еден врз друг?

Со наголемување на $F_{зав}$ се намалува амплитудата на осцилациите, нагло во подрачјето на притисоци кои одговараат на мали деформации (според дијаграмот напон-деформација) и незначително во подрачјето на притисоци кои одговараат на големите деформации. Температурата на материјалот нагло расте со времетраењето на ултразвучните бранови, а потоа се стабилизира или благо опаѓа. Аналогна е зависноста на амплитудата на осцилациите со дебелината на деловите; кај деловите со поголема дебелина амплитудата стрмно расте.

Според тоа, може да се заклучи дека, правилниот избор на параметрите е комплексен проблем, кој бара внимателно проучување на секој елемент и неговото влијание во менувањето на другите големини.

Режимот на триење, со или без „општо лизгање“, носи разлики во процесот на заварувањето. Во контактот на деловите со „општо лизгање“ се создаваат повисоки

температури, отколку со режимот без „општо лизгање“, а како пример, при заварување на бакар со „општо лизгање“, за 0,2 s, се постигнува темпетарура во контактот од околу 450 °C, а без „општо лизгање“, за исто време, само околу 100 °C, јакоста на спојот заварен без „општо лизгање“ е само 60÷70 % од јакоста на спојот заварен со „општо лизгање“.

IX.3.2. Примена на заварувањето со ултразвук

Загревањето и значителната пластична деформација со разбивање на оксидниот слој се нужност за успешно изведување на оваа техника на заварување. Возможна заварливост пружаат повеќе комбинации на истородни или разнородни материјали со максимална дебелина до 1,5 mm, слика IX.20.

| Al | Be | Cu | Ge | Au | Fe | Mg | Mo | Ni | Pd | Pt | Si | Ag | Ta | Sn | Ti | W | Zr | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|---|----|
| X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Al |
| | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | Be |
| | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | Cu |
| | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | Ge |
| | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | Au |
| | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | Fe |
| | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | Mg |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | Mo |
| | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | Ni |
| | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | Pd |
| | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | Pt |
| | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | Si |
| | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | Ag |
| | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | Ta |
| | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | Sn |
| | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | Ti |
| | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | W |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | Zr |

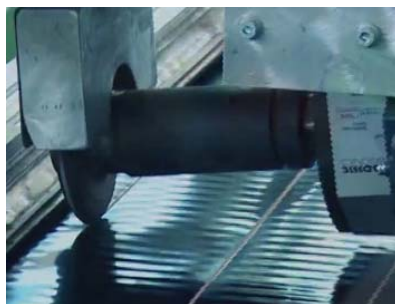
Сл. IX.20. Комбинации на материјали заварливи со ултразвук

Со заварувањето со ултразвук се изведуваат преклопни споеви во точка или во линија. Успешно се заваруваат полимерни материјали, метални материјали со мала дебелина, тенки лимови, фолии, жица и слично.

Намената за тенки лимови е посебно значајна, бидејќи за тој опсег на дебелини не стојат на располагање поголем број на техники, и уште повеќе, мала е зоната на топлинското влијание како последица на релативно ниските температури кои се создаваат при заварувањето. На сликата IX.21. преставени се примери на заварени споеви со ултразвук.



а. полимер



б. бакарна фолија со цевка



в. повеќе жичени проводници од бакар и алуминиум

Сл. IX.21. Примери на споеви изведени со заварување со ултразвук

Со подемот на примената на полимерните материјали во индустријата, проблемот на нивното спојување е решен во голема мера со заварувањето со

ултразвук. Нивното конвенционално заварување со топол воздух, има за последица загревање на парчињата по целата маса на деловите, бидејќи топлината се доведува однадвор. Кај заварувањето со ултразвук топлината извира внатре во системот, околу контактните површини, со што се загрева и пластифицира само локалитетот на спојувањето.

Заварувањето со ултразвук се применува во електротехниката и електрониката, индустријата за домаќинство, медицинска опрема и слично.

IX.4. Заварување со триење и мешање - Friction Stir Welding, FSW

Класичното заварување со триење познато е уште од 1956 година. Тоа е техника со која се заваруваат претежно ротационо симетрични тела. Додека плоснатите и габаритните тела со оваа техника многу потешко се заваруваат.

Кон крајот на 1991 година Вејн Томас со соработниците од TWI (The Welding Institut Cambridge UK) за првпат практично јавно го прикажале резултатот од своето долгогодишно истражување во областа на заварувањето со триење на алуминиумот и неговите легури. Тоа е новата техника на заварување со триење позната како Friction Stir Welding (FSW) или Rührreibschweißen.

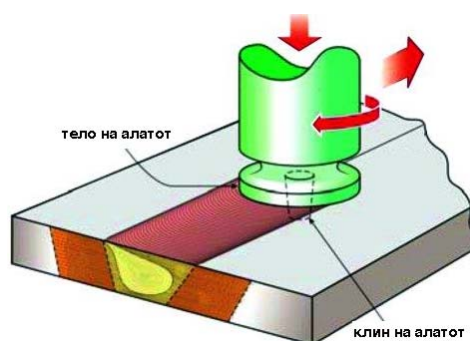
Од патентирањето на техниката во почетокот на 1992 година до мај 1999 година, таа официјално со лиценца во производствен процес е применувана од 37 производствени фирми низ светот. Така, денес најприменувана е во скандинавските земји: Норвешка и Шведска, во Велика Британија, во САД, Јапонија и Австралија.

Обемот на комерцијалната примена и бројот на патентите од оваа област на заварување секојдневно се зголемуваат.

Досега вршени се истражувања за FSW заварувањето на алуминиумот и неговите легури: AlCu, AlMg, AlMgSi, AlZn и AlLi, а во тек се истражувањата за заварувањето на легурите од типот: AlMn, AlSi и Mg, Ti, Cu, Pb, Zn, полимери, па дури и заварување на челични материјали.

IX.4.1. Основи на техниката на заварување со триење и мешање

Техниката на заварување со триење и мешање или FSW се базира врз заварување со загревање од триење на вртлив алат помеѓу два неподвижни сочелно притиснати елементи, слика IX.22.



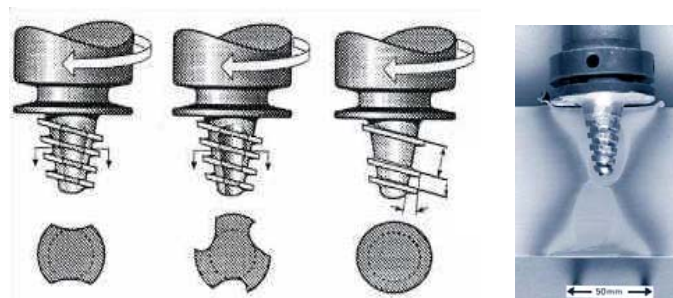
Сл. IX.22. Приказ на заварувањето со триење и мешање

Алатот ротира околу својата оска и се движи во насока на заварувањето со определена брзина на заварување. Ротирајќи алатот, а воедно притискајќи ги основните материјали со голема сила, тие се загреваат и се пластифицираат по целата дебелина. Алатот откинува дел од омекнатите основни материјали од предната страна, ги меша и ги притиска на задната страна, со што го формира заварот. Основните алуминиумски материјали се загреваат од 500 до 590 °C, зависно од хемискиот состав, обликот, димензиите и режимот на заварување.

Режимот на заварување го сочинуваат: обликот и димензиите на алатот, брзината на ротација на алатот и брзината на поместување на алатот. Режимот на заварување зависи од видот и дебелината на заваруваните материјали и од видот на заварениот спој.

Алатот има цилиндрична форма со определен дијаметар и завршува со конусен клин со помал дијаметар и височина која одговара на дебелината на елементите кои ќе се спојуваат. Алатот може да биде едноделен, телото и клинот да се изработени едноделно од ист материјал, но најчесто алатот се изработува дводелно при што челото на телото и клинот се од потврд материјал. Телото на алатот може да има и жлебови за поинтензивно негово ладење, слика IX.23.

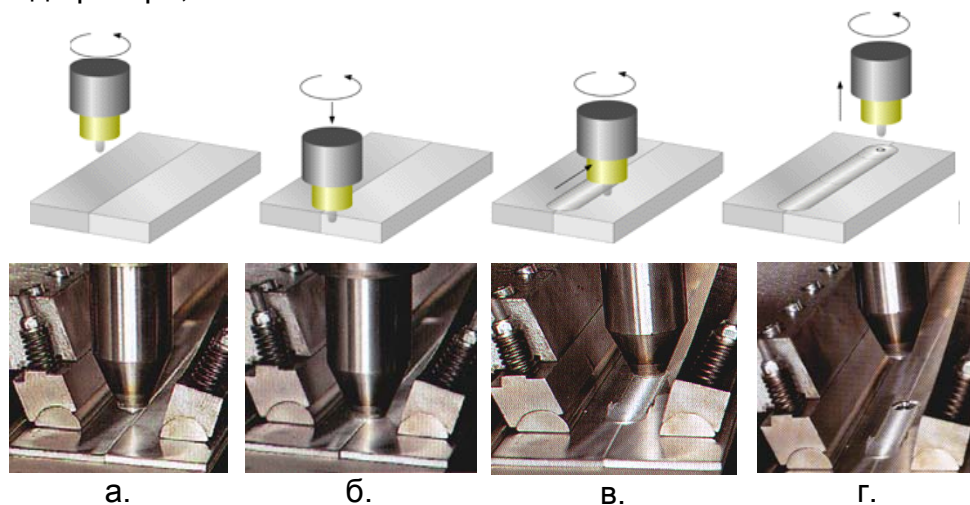
Брзината на ротација на алатот обично се движи во границите од 300 до 1500 вртежи во минута, а брзината на поместување на алатот или брзината на заварување е во границите од 0,1 до 1,0 m/min.



Сл. IX.23. Видови алати за FSW заварување

IX.4.2. Процес на FSW заварување

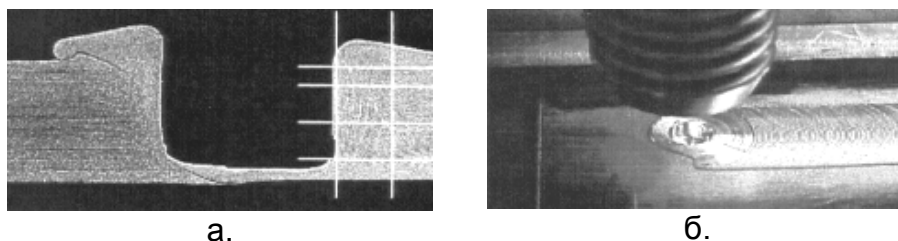
Процесот на заварување се одвива во неколку фази, а започнува со ротација на алатот околу својата оска, слика IX.24.a. Со постигнување на определена брзина на вртење, алатот се спушта кон основните материјали. Притоа клинот навлегува по целата своја должина по дебелината на заваруваните елементи се додека не дојде до контакт помеѓу челото на алатот и површината на заваруваните предмети, слика IX.24.б. По кратко задржување алатот продолжува да се поместува со определена брзина по контурата за заварување, слика IX.24.в. На крајот од должината за заварување алатот се крева и клинот излегува од основните материјали и престанува да ротира, слика IX.24.г.



Сл. IX.24. Фази на процесот на заварување

Почетокот и крајот на заварувањето се на определено растојание од рабовите на работните парчиња. На крајот од заварот останува шуплина со облик кој

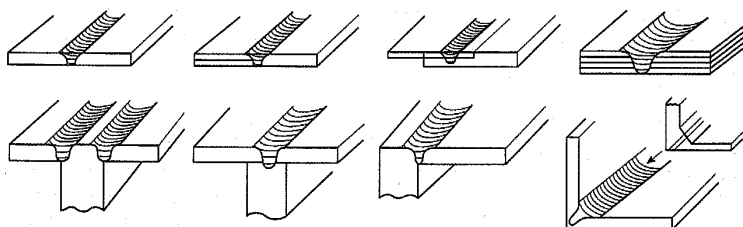
соодветствува на обликот на клинот на алатот, слика IX.25. Почетокот и крајот на заварот обично се отсекуваат или заварувањето започнува и завршува на почетни и крајни плочки.



Сл. IX.25. Изглед на завршеток од заварот изведен со FSW

IX.4.3. Видови завари и заварени споеви изведени со FSW

Со оваа техника на заварување најчесто се изведуваат сочелни завари, а многу поретко аголни завари. Може да се реализираат најразлични заварени споеви, но најчесто се изведуваат сочелни и преклопни споеви, сл. IX.26.

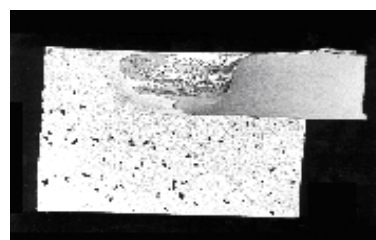


Сл. IX.26. Видови заварени споеви изведени со FSW

Најчесто сочелно се заваруваат елементи со дебелина од 1,2 mm до 100 mm. Заварувањето може да се изведе во еден премин од една страна или во два премини, по еден од двете страни на работниот предмет. Најоптимално сочелно спојување е за елементи со дебелина од 1,6 mm до 10 mm, а преклопно со дебелина од 1,2 mm до 6,4 mm. На слика IX.27 прикажано е парче со дебелина од 75 mm заварено од двете страни. Се спојуваат елементи со иста или различна дебелина. Така, на слика IX.28 даден е спој помеѓу валана плоча со дебелина од 6 mm и леано парче со дебелина од 15 mm.



Сл. IX.27. Сочелен заварен спој



Сл. IX.28. Преклопен заварен спој

На слика IX.29. прикажани се металографски снимки од сочелен (слика IX.29.а.) и преклопен спој (слика IX.29.б.) на елементи од легура AlCu со дебелина од 6,4 mm.



Сл. IX.29.а. Сочелен заварен спој



Сл. IX.29.б. Преклопен заварен спој

IX.4.4. Машини за FSW заврвање

Машините за заварување со оваа техника најмногу се развиени во скандинавските земји и Јапонија.

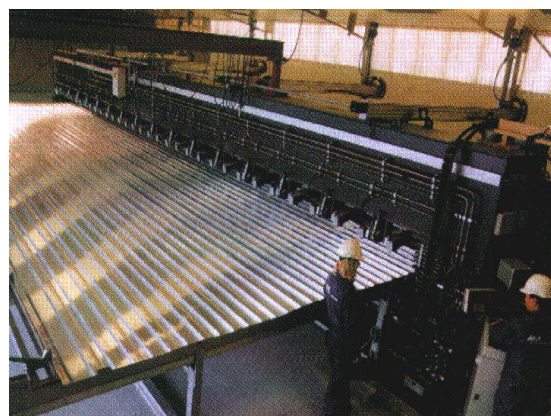
Досега развиените машини за заварување со ова техника може да се поделат во две групи, и тоа: машини за кратки завари до 2 m (слика IX.30.а.) и машини за долги завари до 20 m (слика IX.30.б.).

Машината прикажана на слика IX.30.а. се користи за заварување на кратки завари со должина од 1 до 2 m. Со неа обично се заваруваат алуминиумски легури со дебелина од 3 до 15 mm, со брзина до 1,0 m/min.

Машината прикажана на слика IX.30.б. се користи за заварување на долги завари со должина од 16 m. Со неа обично се заваруваат алуминиумски легури со дебелина од 1,6 до 15 mm., со брзина до 1,0 m/min.



Сл. IX.30.а. Машина за кратки завари



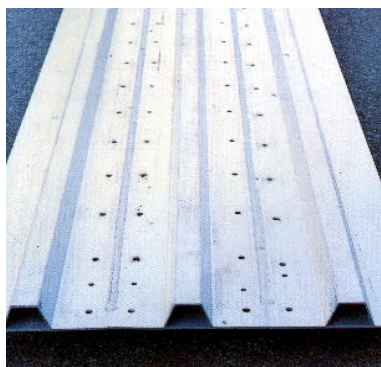
Сл. IX. 30.б. Машина за долги завари

Една од машините за изведба на долги завари, слика IX.30.б., се користи во Marine Aluunim Werft во Норвешка. Вообичаено таа машина се користи во бродоградбата и при производството на вагони, но може да се користи и за изработка на разновидни профили - носачи и слично. Машината е опремена со помошни уреди за фиксирање на работните парчиња, а може да врши и порамнување на рабовите кои ќе се заваруваат. Таа работи целосно автоматизирано, сите параметри може да се внесат и меморираат во еден мал команден пункт. Во периодот од 1996 до 1999 година со оваа машина се заварени 1700 панели или околу 110 km заварени споеви.

IX.4.5. Примена на FSW заварувањето

Примената на FSW техниката за заварување е голема и разновидна. Во основа се применува за спојување на елементи од алуминиумски материјали и најзастапена е во скандинавските земји и Јапонија. Конкретна примена има во:

- бродоградбата за изработка на: тело, под, покрив и други елементи, слика IX.31.а,
- машиноградбата и градежништвото за изработка на: мостови, фасадни елементи, покривни и подни конструкции, врати, прозорци и слично, слика IX.31.б,
- процесната индустрија за изработка на: алуминиумски цевки, садови и резервоари со помали димензии, слика IX.31.в,
- транспортната индустрија при изработка на: автомобили, авиони, вагони, за изработка на: резервоари за гориво и елементи од телото на транспортните средства, слика IX.31.г,
- електротехниката при изработка на тела од електромотори, слика IX.31.д.



а.



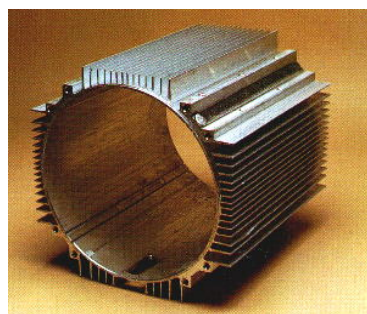
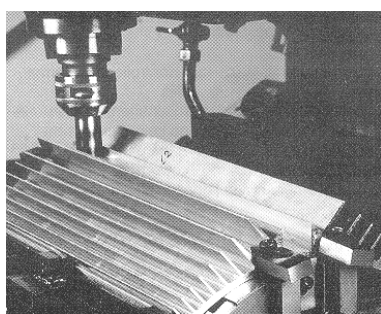
б.



в.



г.



д.

Сл. IX.31. Примери за изведени завари со FSW техниката за заварување

Интензивно се вршат истражувања на можноста за примена на оваа техника за заварување и на други видови материјали, покрај алуминиумот и неговите легури, и можноста за заварување на разнородни материјали, па дури и за заварување на челични материјали.

Така веќе прикажани се резултати од еднострано сочелно заварување на високолегиран челик X2CrNi12 со дебелина од 12 mm. Основниот материјал при заварувањето поради триењето се загрева до 1090 oC, слика IX.32.



Сл. IX.32. FSW заварување на челични материјали

IX.4.6. Споредба на FSW со други техники на заварување

Споредено со другите техники на заварување на елементи од алуминиум и алуминиумски легури, техниката FSW има низа предности, но не е мал бројот и на недостатоците.

При заварување со оваа техника нема потреба од додатен материјал, нема потреба од инертна гасна заштитна атмосфера. Процесот на заварување се одвива со мала потрошувачка на енергија, со околу 20 % од топлината внесена при MIG заварување на ист материјал со ист облик и димензии.

При користење на оваа техника на заварување не се потребни дополнителни ХТЗ опрема и мерки, бидејќи нема појава на гасови, димови, прскање на растопен метал, светлосно и топлинско зрачење. Евентуално може да се јави зголемена бучава поради триењето на суви површини.

По заварувањето елементите може веднаш да се употребуваат без дополнителна дообработка на лицето на заварот, кое е веќе профилирано од триењето со челото на алатот.

Со еден клин од алатот може да се изведат преку 1000 m завар за легурите од типот AlMgSi.

Површините за заварување се подготвуваат помалку, обично се врши само одмастување.

По заварувањето појавените деформации се значително помали. Така, на лента со должина од 12 m и дебелина од 2,8 mm се измерени најголеми угиби од 0,25 mm. Скратувањето е помало од 2 mm, при ширина на елементот од 6 m, заварен со 25 надолжни завари на должина од 16 m.

Најчести недостатоци на оваа техника за зарување се: ограничената изведба само на прави завари или завари со голем радиус; работата само во работилница, но не и за монтажа на терен; исплатлива техника само за голема серија на заварување.

X. ОПАСНОСТИ И ЗАШТИТА ПРИ ЗАВАРУВАЧКИ РАБОТИ

Заварувачките работи проследени се секогаш со појава на високи температури, настанување или користење на разни гасови, светлосни и топлински зрачења и опасности од електрична струја. Сите овие појави и материји имаат многу штетно влијание врз здравјето на заварувачот и неговата околина, а претставуваат и потенцијална опасност за предизвикување на материјална штета.

Опасности при заварувањето се:

- изгореници на кожата и оштетување на видот од топлинско и ултравиолетово зрачење,
- удар од струја, од опекотини до смрт,
- труење од загадената атмосфера, од мачнина, преку повраќање до смрт,
- пожар и експлозија.

Основна задача на заштитата при работа е да ги спречи можностите од повреда, професионални заболувања и смртни случаи. Заштитата опфаќа обезбедување на услови на работа, кои на работниците ќе им обезбедат сигурност со примена на: технички, здравствени, социјални, економски, воспитни, правни и други мерки.

X.1. Извори на опасности при заварување со електричен лак

Главни извори на опасност при заварување со електричен лак се: електричната струја, светлосно и топлинско зрачење, загадување на атмосферата, јака бучава, прскање на растопен метал и троска.

X.1.1. Опасности од електрична струја

Последиците од струен удар се опасни и зависно од јачината на струјата и времетраењето можат да предизвикаат опекотини па дури и смрт. Во табела X.1. дадени се вредностите на струјата опасни по човековиот организам.

Табела X.1. Јачина на струјата и нејзино влијание

| | |
|-----------------|--|
| до 1 mA | не се чувствува |
| од 1 до 8 mA | се чувствува удар без болка |
| од 8 до 15 mA | се чувствува удар и болка |
| од 15 до 20 mA | болен удар со грчење на мускулите |
| од 20 до 50 mA | силни грчеви на мускулите со отежнато дишење |
| од 50 до 100 mA | пореметување во внатрешните органи |
| преку 100 mA | најверојатна смрт |

Освен електричен удар, електричната струја може да предизвика и опекотини со искрење, кои може да бидат длабоки и да зафатат поголем дел од телото.

Електричната струја во човечкото тело предизвикува грчење на градните мускули и отежнато дишење, времена парализа на нервниот центар кој управува со дишењето, пореметување на работата на срцето до претстанок и излив на крв.

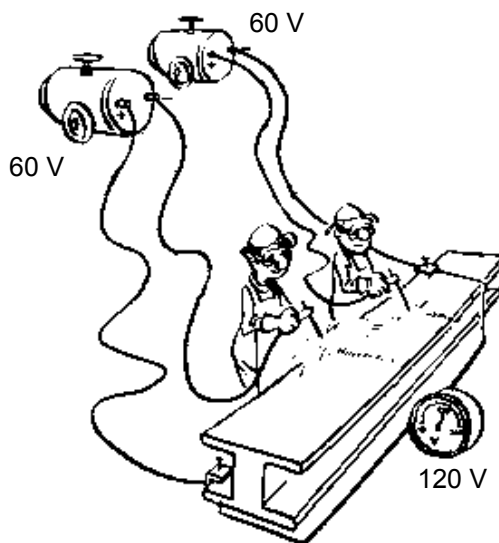
Основна мерка за заштита од несаканото дејство на електричната струја е ограничувањето на напонот на празен од. При работа со еднонасочна струја неговата вредност може да изнесува најмногу до 100 V, а при работа со наизменична струја најмногу до 70 V. При работа во тесни и влажни простори да се користи по можност еднонасочна струја т.е. уреди од видот исправувачи, односно претварачи. Ако мора да се работи со наизменична струја, тогаш напонот на празен од несмее да биде повисок од 42 V и овие уреди се посебно обележани.

Најдобра заштитна мерка од струен удар е употребата на заземјувањето, при што куќиштето на уредот за заварување се поврзува со проводник со голем претсек, низ кој „струјата на грешка“ се одведува во земјата. Друга можност е т.н. нуловање и употребата на заштитен вод.

При ова мора да се води сметка да се изврши целосна заштитна изолација на уредот за заварување, односно куќиштето на уредот и други некои елементи да се изработат од електрично неспроводливи материјали.

Заварувачот треба да посвети посебно внимание на личните заштитни средства, како облеката, чевлите и ракавиците. Тие мора да се без метални елементи и изработени од материјал кој е електрично неспроводлив, гума или кожа. Посебно е важно држачот на електродата да биде исправен, без голи неизолирани делови, а електричните кабли без оштетување на изолацијата.

При неправилно поврзување на два извори на струја за заварување, еден покрај друг во ред - сериски, како на слика X.1, напонот на празен од се собира.



Сл. X.1. Неправилно поврзување на изворите на струја за заварување

Заварувачот кога стои или седи на конструкцијата која ја заварува мора тоа да го прави врз изолатор, најчесто од дрво. Не смее да има директен контакт со металот.

Влезните кабли за приклучување на изворот на струја за заварување со градската мрежа треба да се со што е можно помала должина. Со тоа се намалува можноста да дојде до оштетување на истите, и опасноста бидејќи во нив напонот е 220 V односно 380 V. Додека излезните кабли од изворот на струја за заварување до заварувачкото место треба да се максимално долги, согласно потребите за тоа заварувачко место.

X.1.2. Опасности од зрачење

Електричниот лак оддава видливи светлосни зраци, кои на очите делуваат како јака сончева светлина. Освен интензивната светлина, електричниот лак е извор на инфрацрвени (топлотни) и ултравиолетови зраци. И двата вида на зраци се опасни по видот. Долго време изложеност на истите без заштита може да предизвика, времено заслепување, со траен оштетен вид. Додека ултравиолетовите зраци покрај очите ја оштетуваат и кожата, па може да дојде до појава на опекотини. Овие зрачења се рефлектираат од метални и сјајни површини па претставуваат опасност и за околината, затоа заварувачкото место треба да биде заградено со

прегради од материјал, кој ќе ги апсорбира овие зрачења, слика X.2. Преградите може да бидат неподвижни – цврсто вградени или подвижни, флексибилни.



Сл. X.2. Заштита на околината од светлосно зрачења

X.1.3. Опасност од загадување на атмосферата

При заварувањето со обложени електроди, настануваат: гасови, димови и пари, чии состав зависи од основниот материјал кој се заварува, но пред се' од видот на облогата на употребената електрода. Извор на штетни гасови, исто така, може да биде и заштитната покривка на основните материјали.

Од гасовите кои се создаваат треба да се посвети посебно внимание на: оксидите на азотот, CO и CO₂. Од облогата се создаваат најчесто аеросоли, и тоа највеќе железен оксид, па оксиди на титанот и на манганот, како и диоксиди на манганот и на силициумот. Од заштитните покривки на основните материјали, обично се ослободуваат димови од: кадмиум, цинк, олово, никел, калај, хром и бакар. При употреба на базични електроди се создаваат и флуориди. Сите овие димови и гасови го намалуваат учеството на кислородот во воздухот, кој го вдишува заварувачот, а покрај тоа се помалку или повеќе штетни. Посебно опасни се хром и никел оксидите, кои се предизвикувачи на канцерогени заболувања. Овие оксиди се создаваат при заварувањето на високолегираните челици. При заварувањето на алуминиумот и неговите легури со МИГ се создава отровен озон. При заварување и сечење со плазма најмногу се создаваат оксиди на азотот. Во основа при техниката со ТИГ најмалку се загадува атмосферата.

За најчесто појавените гасови и димови утврдени се максимално дозволените количини (МДК), кои заварувачот може да ги поднесе за 8 часа непрекината работа, според стандардот МКС 3.Б0.001. Некои од тие максимално дозволени концентрации дадени се во табела X.2.

Намалувањето на штетното дејство од гасовите се врши со примена на интензивно проветрување или аспираторни заштитни средства (маски) преку кои вдишува заварувачот.

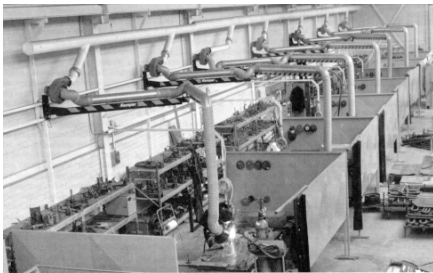
Делумна заштита од вдишување на гасовите, пареите и димовите, кои се продукт на заварувањето, се врши со заштитната маска за заварување. Покрај тоа потребно е и интензивно проветрување на работниот простор, особено кога се работи во затворен простор. Но пожелно е и привремено прекинување на работата, со цел да се изврши поинтензивно проветрување.

За проветрување се користат посебни уреди наречени аспиратори. Тие може да бидат фиксни, поставени на работната маса (слика X.3.а.), или подвижни т.е. флексибилни (слика X.3.б.) кои ја менуваат својата место положба и аспираторите поврзани со маската на заварувачот, слика X.3.в.

При ова заварувачот може да користи и дополнителна маска со која ќе ги покрива устата и носот и ќе го спречи вдишувањето на продуктите од заварување, слика X.3.г.

Табела X.2. МДК за најчесто појавените димови и гасови при заварување

| гасови | МДК mg/m ³ | знаци и дејство | се јавуваат при |
|--------------------------|--------------------------|--|---------------------|
| CO ₂ | 9000 | забрзано и тешко дишење, шум во ушите, забрзана работа на срцето, губење на свеста | базична електрода |
| CO | 55 | труење на крвта, шум во ушите, вртоглавица, слабост, губење на свеста | базична електрода |
| NO NO ₂ | 20 10 | труење на крвта и нервните ткива, запаление на слузницата на органите за дишење, пенлива жолта плунка | базична електрода |
| COCl ₂ | 0,50 | оштетување на дишните патишта, белите дробови и очите, искашлување со пенлива плунка, сина боја на кожата, малаксаност | хлорни покривки |
| PbO | 0,15 | повраќање, грчеви во стомакот, општа слабост, труење на крвта и коскената срж | оловни покривки |
| CdO | 0,10 | долготрајно повраќање, вртоглавица, кашлање | кадмиумски покривки |
| CaF ₂ , KF | 2,5 | надразнување на слузницата на дишните патишта | базична електрода |
| MnO, MnO ₂ | 6 | труење на нервниот и респираторниот систем | манган челици |
| ZnO, ZnO ₂ | 10 | воспалување на цревната слузокожа, повраќање | цинкови покривки |



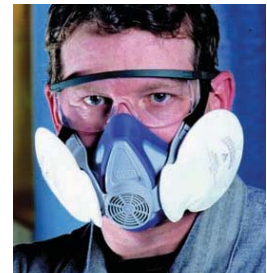
Сл. X.3.а



Сл. X.3.б.



Сл. X.3.в.



Сл. X.3.г.

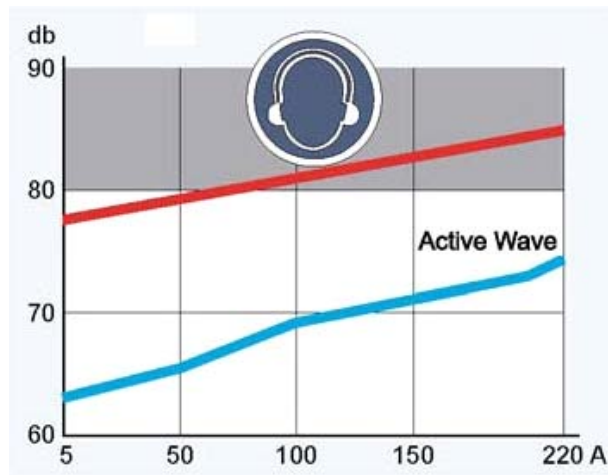
X.1.4. Опасност од бучава

При сите помошни и главни заварувачки работи се јавува бучава со најразличен интензитет. На јачината на бучавата која се создава влијаат повеќе фактори, како: вид на техника за заварување, дебелина, облик и габаритни димензии на работниот предмет, акустичност на просторот и други.

Некои примери, голема е разликата во интензитетот на бучавата кога се заварува од внатрешната или од надворешната страна на еден резервоар. Исто така при РЕЛ заварување со целоозна електрода се создава поголема бучава во споредба со заварувањето со рutilна електрода.

Најмала бучава при заварувањето со електричен лак се создава при заварувањето со ТИГ техниката. Но и таа мала бучава е уште повеќе намалена со развојот на новите уреди за ТИГ заварување, т.н. Active Wave, слика X.4.

Особено голема бучава се создава и кај некои помошни работи, како вадењето на троска или брусењето на лицето и коренот на заварот. Интензитетот на појавената бучава кај некои техники е даден во табела X.3.



Сл. X.4. Споредба на бучавата при ТИГ заварување со инвертор и Active Wave

Табела X.3 Интензитет на појавената бучава

| техника \ интензитет dB | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 |
|-------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| заварување со ГП | | ■ | | ■ | ■ | | | |
| сечење со ГП | | | | | | | | |
| РЕЛ заварување | | | | | | | ■ | ■ |
| сечење со плазма | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| заварување со триење | | | | | | | ■ | ■ |
| МИГ/МАГ | | | | | | | | |
| ТИГ | | ■ | ■ | | | | | |
| ЕПП | | | | | | | | |
| заварување со УЗ | | | | | ■ | ■ | | |

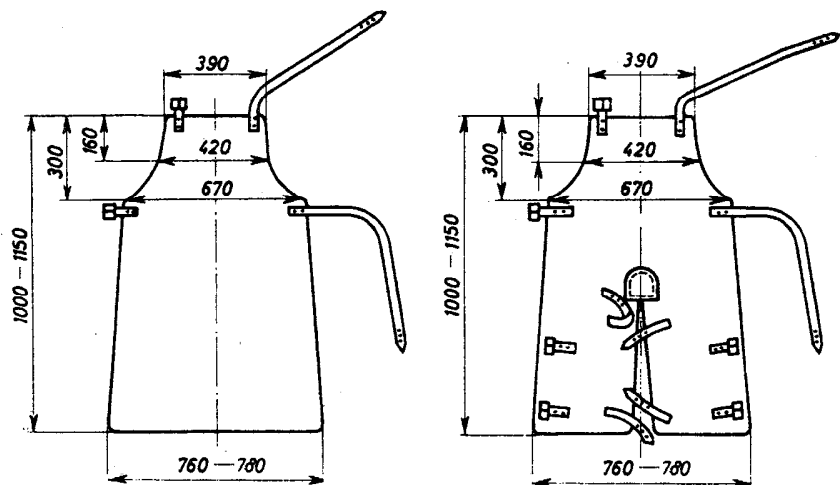
X.2. Лични заштитни средства

Личните заштитни средства на заварувачот ја опфаќаат заштитата на телото, очите, ушите и заштитата од гасови и димови.

Облеката е лично заштитно средство наменето за заштита на телото од топлотно и ултравиолетово зрачење, растопен метал и троска. Се изработува од посебно обработени видови памучна ткаенина или кожа, слика X.5.



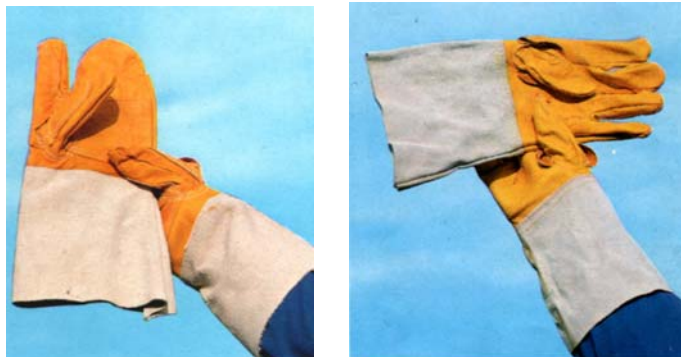
Сл. X.5. Заштитна облека



Сл. X.6. Заштитна претстилка

Заштитната претстилка е ефикасно заштитно средство од топлинско и ултравиолетово зрачење. Го штити телото од изгореници и механички повреди. Најчесто се изработува од кожа, слика X.6.

Заштитните ракавиците ги штитат рацете од топлотно и ултравиолетово зрачење, распрснат растопен метал и троска. Се изработуваат од кожа во изведба со 3 или со 5 прсти, слика X.7, согласно стандардот MKC 3.B1.023.



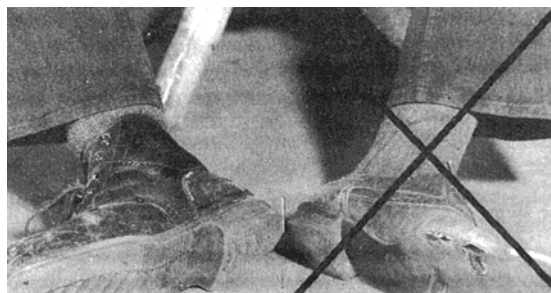
Сл. X.7. Заштитни кожени ракавици

Потколеници и надлактици, заштитни средства за заштита на екстремитетите на заварувачот. Се изработуваат едноделно од кожа, слика X.8.

Заштитни кожени чевли со гумен ѓон, ефикасно заштитно средство од евентуален електричен удар, слика X.9.



Сл. X.8. Надлактици



Сл. X.9. Заштитни чевли

Заштитната маска се изведува согласно стандардот MKC 3.B1.030, и се користи за заштита на очите, главата и вратот од дејствување на светлосно, топлинско и ултравиолетовото зрачење, растопен метал и троска. Се изработуваат од посебен вид на картон или пластика, т.е. материјали кои се добри топлински и електрични изолатори. Може да се држат рачно (слика X.10.а.) или да се стават на глава (слика X.10.б.). Развиена е и заштитата со таканаречениот оптички филтер со бленда, кој сам ја регулира видливоста во зависност од интензитетот на светлината (слика X.10.в.).



Сл. X.10.а. Рачна маска



Сл. X.10.б. Наглавна маска





Сл. X.10.в. Заштитна маска со оптички филтер со бленда

Составен дел на маските се заштитните стакла. Заштитното темно стакло го штити заварувачот од светлосно, топлотно и ултравиолетово зрачење. Пропусливоста на стаклото е дефинирана според стандардот МКС 3.Б1.250 и е обележана на самото стакло. Во табела X.4. дадени се препораки за избор на степенот на затемнување на стаклото во зависност од јачината на струјата при заварувањето со електричен лак. Пред темното стакло се поставува обично просирно стакло, заради заштита на темното стакло од растопен метал и троска.

Табела X.4. Затемнување на заштитните стакла

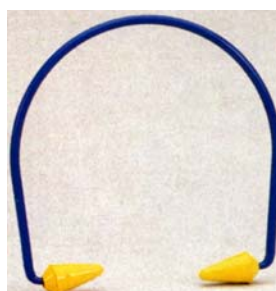
| степен на затемнување | насоки за употреба |
|-----------------------|---|
| 3 | лемење и еотз |
| 4 и 5 | помошни операции при заварување |
| 6, 7 и 8 | електричен лак со I_z од 30 до 75 A |
| 9 и 10 | електричен лак со I_z од 75 до 200 A |
| 11 и 12 | електричен лак со I_z од 200 до 400 A |
| 13 и 14 | електричен лак со I_z преку 400 A |

Заштитата на очите се врши и во случај на изведба на помошни заварувачки работи, како брусење, отстранување на троска и слично, слика X.11.

Носење на лични заштитни средства од бучава се задолжителни, ако јачината на звукот во работниот простор е поголем од 90 dB. Заштитата на ушите може да се врши со памук, посебни чепови или заштитни слушалки, слика X.12.



Сл. X.11. Заштитни очила



Сл. X.12. Заштитници за уши

Порано најголемо внимание на ХТЗ се посветувало на техниките со гасен пламен. Почнувајќи од начинот на добивање на ацетиленот на терен, преку транспортот и складирањето на истиот. Големо внимание е посветено и на приклучувањето и проверката на опремата за заварување и сечење со гасен пламен. Постојано е контролирана состојбата на вентилите, манометрите, цревата и горилниците.

Денес со оглед на намалената примена на техниките со гасен пламен, и побезбедниот начин на складирање и транспорт на ацетиленот, не е неопходно детално запознавање со ХТЗ за истите.

XI. ПРИКАЖУВАЊЕ НА ЗАВАРИ ВО ТЕХНИЧКА ДОКУМЕНТАЦИЈА

Заварите во техничката документација се прикажуваат со соодветни симболи и ознаки согласно стандардите МКС Ц.Т3.011 и 12, EN 22553 и DIN EN ISO 4063.

Заварите се прикажуваат на начин кој е во согласност со општите важечки принципи на техничкото цртање. Заварите се прикажуваат упросто, на начин изложен во наведените стандарди. Упростеното прикажување мора да ги пружи сите потребни информации за заварите, како: видот и димензии на заварот, техника на заварување и други податоци потребни за правилна изведба на заварувањето.

XI.1. Основни ознаки на заварот

Различните видови на завари се претставуваат со ознаки кои по облик наликуваат на заварот. Основните ознаки на заварите се дадени во табелата XI.1.

Табела XI.1. Основни ознаки на еднострани завари

| | Назив | Изглед на заварот | Ознака | | Назив | Изглед на заварот | Ознака |
|-----|--|-------------------|--------|-----|--------------------------------------|-------------------|--------|
| 1. | Завар помеѓу свиткани рабови, кои се топат | | | 11. | Завар во отвор | | |
| 2. | I завар | | | 12. | Точкест завар | | |
| 3. | V завар | | | 13. | Линиски завар | | |
| 4. | V завар со една закосена страна | | | 14. | Стрмен завар | | |
| 5. | Y завар | | | 15. | Стрмен завар со една закосена страна | | |
| 6. | Y завар со една закосена страна | | | 16. | Челен - рабен завар | | |
| 7. | U завар со паралелни или закосени страни | | | 17. | Навар | | |
| 8. | J завар | | | 18. | Површински завар | | |
| 9. | Подкоренов завар | | | 19. | Кос завар | | |
| 10. | Едностран аголен завар | | | 20. | Превиткан завар | | |

Основните ознаки на двостраните завари се дадени во табелата XI.2.






Табела XI.2. Основни ознаки на двостраните завари

| | Назив | Изглед на заварот | Ознака | | Назив | Изглед на заварот | Ознака |
|----|---|---|--------|----|--|---|--------|
| 1. | Двоен V завар или X завар |  | X | 4. | Y завар со една закосена страна |  | K |
| 2. | Двоен V завар со една закосена страна или K завар |  | K | 5. | U завар со параеллни или закосени страни |  | Y |
| 3. | Двоен Y завар или или X завар со долго грло |  | X | 6. | Двостран аголен завар |  | ▷ |

XI.2. Дополнителни ознаки за обликот на површината - лицето на заварот







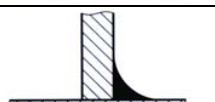

Кога е потребно попрецизно прикажување на обликот на заварот се употребуваат и дополнителни ознаки. Со дополнителните ознаки се прикажува обликот на површината - лицето на заварот. Ако нема дополнителна ознака тогаш се смета дека обликот на површината на заварот не е посебно утврдена. Дополнителните ознаки за обликот на површината на заварот се прикажани во табелата XI.3.

Табела XI.3. Дополнителни ознаки за обликот на површината на заварот

| Облик на површината на заварот | Ознака |
|---|---|
| Рамна површина, дополнително обработена со брусчење | — |
| Испакната површина |  |
| Вдлабната површина |  |
| Преод од заварот без засек |  |
| Заварување со облога - покривка |  |
| Заварување со подлошка |  |

Примери на примена на дополнителната ознака за обележување на обликот на површината на заварот се прикажани во табелата XI.4.

Табела XI.4. Примери на обележување за обликот на површината на заварот

| Назив | Изглед на заварот | Ознака | Назив | Изглед на заварот | Ознака |
|--|---|---|--|---|---|
| 1. Едностран V завар со рамно - брусено лице |  |  | 3. V завар и коренов завар со брусено лице |  |  |
| 2. Двостран V, X завар со испакнато лице |  |  | 4. Аголен завар со вдлабнато лице |  |  |

XI.3. Местоположба на ознаките на заварот на цртеж

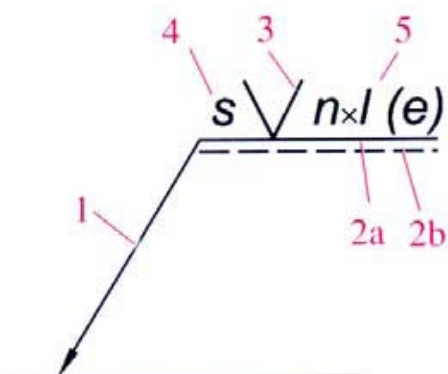
Покрај ознаката за видот на заварот (3) основниот начин на прикажување на заварите според наведените стандарди, слика XI.1., се состои и од:

- Стрелка (1) на спојот,
- Показна линија (2), која се состои од две паралелни линии, непрекинатата (2a) и испрекинатата (2b). Испрекинатата линија може да биде над или под непрекинатата линија и служи за одредување дали е лицето на заварот на страната на стрелката или на спротивната страна. Во случај на двостран симетричен завар испрекинатата линија може да се изостави.

- Ознака за бројни вредности на димензиите.

На овој начин на прикажување се дефинира:

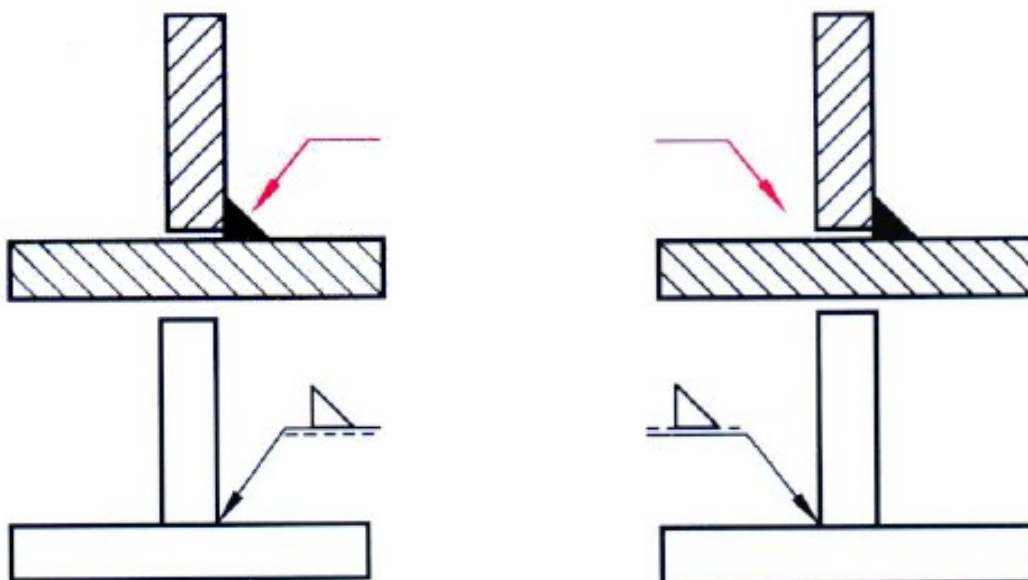
- местото на стрелката,
- местото на показната линија,
- местото на ознаката.



1. Показна стрелка на заварот
- 2a. Непрекинатата показна линија
- 2b. Испрекинатата показна линија
3. Ознака за видот на заварот
4. Димензија - дебелина на заварот
5. Димензија - должина на заварот

Сл. XI.1. Основен начин на прикажување на заварите

Положбата на стрелката во однос на спојот може да биде од страната на лицето на заварот или од спротивната страна на лицето на заварот, односно коренот на заварот, слика XI.2.

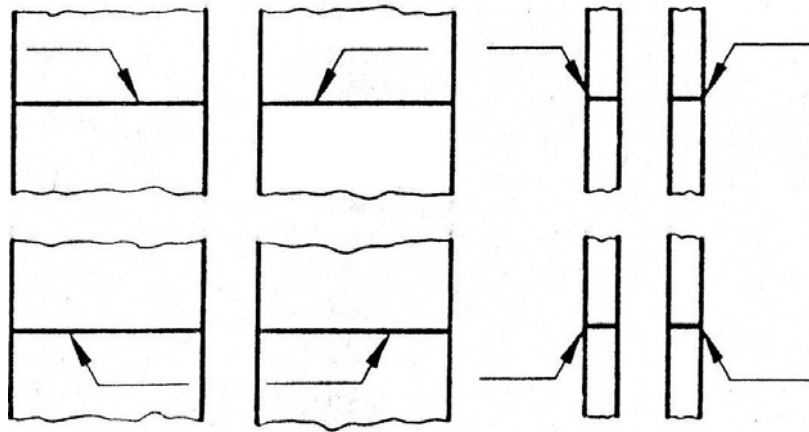


Стрелката е од страната на лицето

Стрелката е од страна на коренот

Сл. XI.2. Положба на стрелката во однос на спојот

Стрелката и показната линија од ознаката на заварот може да бидат поставени во различни положби и во само една најсоодветна проекција од техничкиот цртеж. Можни местоположби прикажани се на сликата XI.3.



Сл. XI.3. Местоположба на стрелката и показната линија

Ознаката за заварот во однос на показната линија може да биде над или под линијата. Кога е ознаката поставена на страната на непрекинатата показна линија, тогаш стрелката го покажува лицето на заварот. Кога е ознаката поставена на страната на испрекинатата линија, тогаш стрелката го покажува коренот на заварот, слика XI.4.

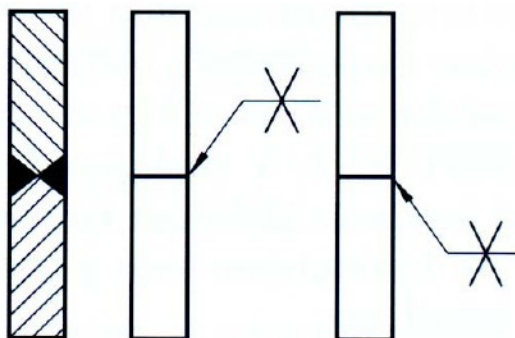


Стрелка на лицето на заварот

Стрелка на коренот на заварот

Сл. XI.4. Положба на ознаката за заварот во однос на показната линија

Кај двостраните завари се користи само непрекинатата показна линија, а ознаката на заварот е од двете страни на показната линија, слика XI.5.



Сл. XI.5. Показна линија кај двострани завари

XI.4. Ознаки за димензии на заварот

Секоја ознака мора да содржи бројна вредност за димензиите на заварот. Бројните вредности за главната мерка, која се однесува на попречниот пресек на заварот се запишуваат на левата страна, а бројните вредности за должината на заварот се пишуваат на десната страна од ознаката за видот на заварот, слика XI.6.

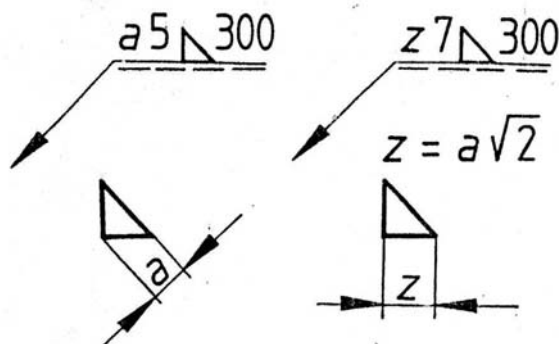


Сл. XI.6. Ознака за димензиите на заварот

Димензиите со кои се одредува положбата на заварот во однос на референтната мерна координата на заваруваниите елементи не се обележуваат на заварот, туку на самиот технички цртеж, согласно со општите важечки принципи на техничкото цртање.

Отсуството на бројна ознака на десната страна од ознаката за видот на заварот значи дека заварот е непрекинат по целата затворена контура на заваруваниот елемент. Во колу недостасува бројна ознака од левата страна, тогаш се смета дека заварот е колку и дебелината на потенкиот заваруван елемент.

За определување на димензиите на попречниот пресек на аголен завар се користат два начини, при што првиот начин со определување на височината на заварот е повеќе употребувана. Ознаките „a“ - висина на заварот и „z“ - должина на катетата се пишуваат пред бројната вредност, слика XI.7.



Сл. XI.7. Означување на димензијата на аголен завар

XI.5. Дополнително означување на заварот

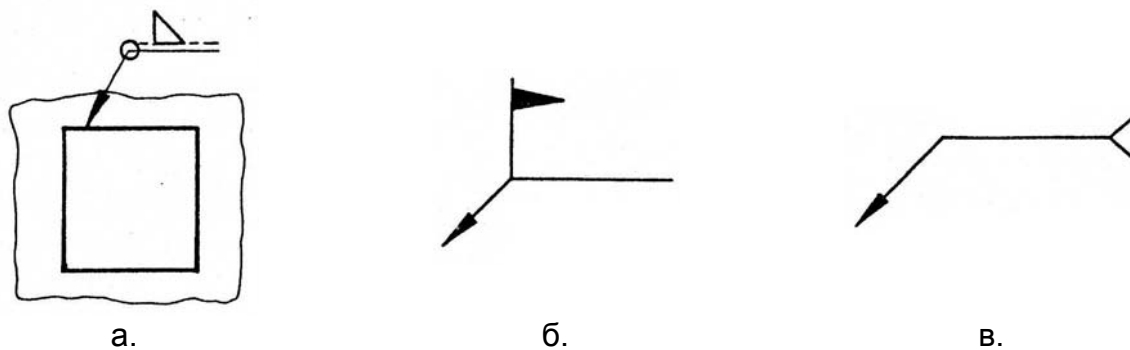
Дополнителното означување се користи за да се дадат дополнителни информации за заварот.

Кога заварот е изведен по целата затворена контура, околу заваруваниот елемент, ознаката се состои од кружница „o“ чии центар е точката на спојување на показната стрелка и полната показна линија, слика XI.8.a.

Ако заварот се изведува при монтажа, на градилиште, тогаш ознаката се надополнува со црно триаголно знаменце, како на сликата XI.8.б.

Техниката на заварување со која е изведен заварот се обележува со број, напишан помеѓу двете страни на разгранокот, на крајот од полната показна линија, како што е прикажано на слика XI.8.в. Во случај да се користи само една техника на заварување, тогаш ознаката за истата се дава само еднаш на одредено место на техничкиот цртеж. Бројните ознаки со кои се обележува техниката на заварување се дадени во стандардите МКС Ц.Т3.12 и DIN ISO EN 4063.

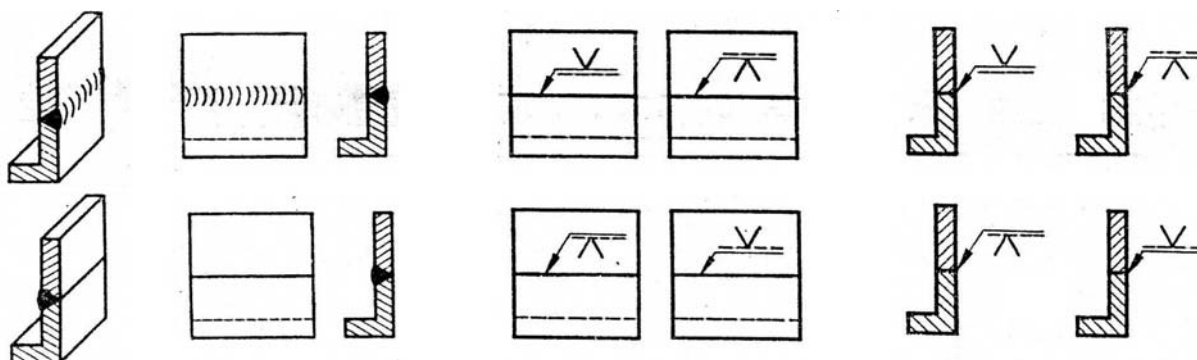
После бројната ознака за техниката на заварување, може да се дадат и ознаки за класата на квалитет на заварот (B, C, D), положбата на заварување (PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG и H-LO45), како и стандардна ознака за употребениот додатен материјал.



Сл. XI.8. Дополнително обележување на заварот

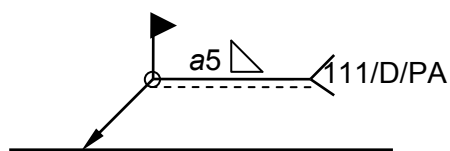
XI.6. Примери за означување на завар

Во стандардот MKC Ц.Т3.011 даден е табеларен прилог со повеќе примери на означување на разновидни завари. Еден таков пример е прикажан на сликата XI.9.



Сл. XI.9. Пример на означување на завар од стандардот MKC Ц.Т3.011

Пример за означување, да се прочита ознаката прикажана на сликата XI.10.



Сл. XI.10. Пример за обележување на завар

Од ознаката на заварот прикажана на сликата XI.10 може да се прочитаат следните информации:

| | |
|-----|---|
| | Стрелката го покажува лицето на заварот |
| | Аголен завар со рамно лице и димензија $a_z = 5 \text{ mm}$, |
| | Заварот е изведен по целата затворена контура |
| | Заварот е изведен при монтажа |
| 111 | Заварот е изведен со РЕЛ техника на заварување |
| D | Заварот е со D класа на квалитет |
| PA | Заварот е изведен во хоринзонтална положба на заварување |

XI.7. Ознака за техниката на заварување

Техниката на заварување со која е изведен заварот прикажан во техничката документација се обележува со број, согласно стандардот МКС Ц.Т3.12, односно DIN EN ISO 4063. Бројните ознаките за некои од најприменуваните техники на заварување прикажани се во табелата XI.5.

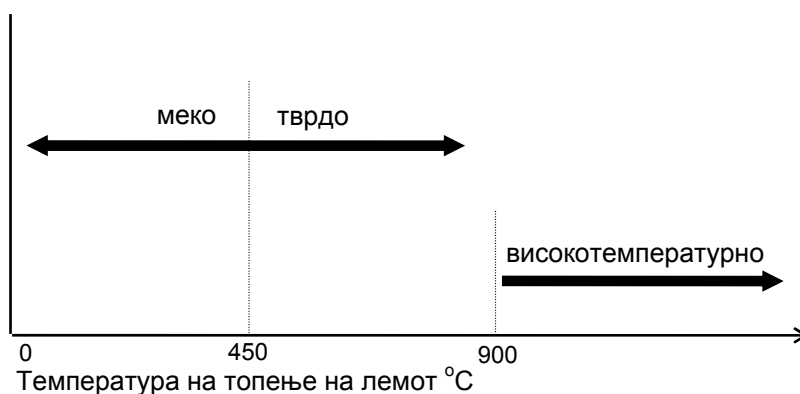
Табела XI.5. Бројна ознака на техниките на заварување

| Ознака | Техника на заварување - спојување |
|------------|---|
| 1 | Заварување со електричен лак |
| 11 | Заварување без заштитен гас |
| 111 | Рачно заварување со електричен лак со обложена електрода - РЕЛ |
| 12 | Заварување под заштитен слој од прашок |
| 121 | Заварување под прашок со жица- ЕПП |
| 122 | Заварување под прашок со лента |
| 13 | Заварување во заштита од гас со топлива жица |
| 131 | Заварување во заштита од инертен гас - МИГ |
| 135 | Заварување во заштита од активен гас - МАГ |
| 136 | Заварување во заштита од активен гас со полнета жица |
| 137 | Заварување во заштита од инертен гас со полнета жица |
| 14 | Заварување во заштита од гас со нетоплива жица |
| 141 | Заварување со волфрамова електрода во заштита од инертен гас - ТИГ |
| 15 | Заварување со плазмен лак |
| 18 | Други техники на заварување со електричен лак |
| 181 | Заварување со јагленова - графитна електрода |
| 185 | Заварување со магнетно воден - вртлив електричен лак |
| 2 | Заварување со електричен отпор |
| 21 | Заварување со електричен отпор во точка |
| 22 | Заварување со електричен отпор во линија |
| 23 | Заварување со електричен отпор на рељефни површини |
| 24 | Челно заварување со електричен отпор со искрење |
| 25 | Челно заварување со електричен отпор без искрење |
| 291 | Заварување со електричен отпор со високофреквентна струја |
| 3 | Заварување со гасен пламен |
| 31 | Заварување со пламен од кислород - гас |
| 311 | Заварување со пламен од кислород - ацетилен |
| 312 | Заварување со пламен од кислород - пропан |
| 313 | Заварување со пламен од кислород - водород |
| 32 | Заварување со пламен од воздух - гас |
| 321 | Заварување со пламен од воздух - ацетилен |
| 322 | Заварување со пламен од воздух - пропан |
| 4 | Заварување без топење (во цврста состојба) |
| 41 | Заварување со ултазвук |
| 42 | Заварување со триење |
| 43 | Заварување со ковање |
| 441 | Заварување со експлозија |
| 45 | Заварување со дифузија |
| 48 | Заварување на ладно со притискање |
| 7 | Други техники на заварување |
| 71 | Алуминотермичко заварување |
| 72 | Заварување под растопена троска |
| 751 | Заварување со ласерски сноп |
| 76 | Заварување со електронски сноп |
| 781 | Заварување на чепови со електричен лак |
| 782 | Заварување на чепови со електричен отпор |
| 9 | Лемење |

XII. СПОЈУВАЊЕ СО ЛЕМЕЊЕ

Лемењето е сроден процес на заварувањето за спојување, при што се спојуваат два или повеќе материјали, најчесто различни, метални или во поново време метални со керамички, со постојана употреба на додатен материјал наречен лем. Додатниот материјал, лемот, се топи под дејство на топлински извор, а основните материјали се во цврста фаза. Лемот секогаш има пониска температура на топење од основните материјали. До создавање на врска доаѓа преку дифузија на растопениот лем во цврстите и загреани основни материјали. При лемењето во околна средина од воздух неопходна е примена на топители кој ги раствора оксидите и го потпомага разлевање на растопениот лем врз површините кои се спојуваат.

Зависно од температурата на топење на лемот (ликвидус) се разликуваат: меко лемење, тврдо лемење и високотемпературно лемење, слика XII.1.



Сл. XII.1. Видови лемења зависно од ликвидус-температурата на лемот

При мекото лемење ликвидус температурата на додатниот материјал, лемот, е под 450 °C, кај тврдото лемење таа температура е преку 450 °C. Високотемпературното лемење се врши без употреба на топители, во околна средина од вакуум или заштитен гас, со лем чија ликвидус температура е преку 900 °C.

Лемливост е карактеристика на елементите кои се спојуваат, зависна од видот на основниот материјал, видот на додатниот материјал, можноста за реализација на процесот, зависно од техниката на лемење (изворот на топлина) и сигурноста на залемениот спој, зависно од нејзината конструктивна изведба.

XII.1. Преглед на развојот на техниките за лемење

Лемењето како техника за спојување на материјалите се користи многу одамна. Почетоците на примената на лемењето датираат од 4000 г.п.н.е. најпрво во Месопотамија, а подоцна во Египет и Античка Македонија. Во тој период, главно, лемењето се користело најмногу при изработка на накит, садови за домаќинствата, а подоцна и за изработка на оружје. Најчесто применуваните лемови во тоа време биле од групата на злато - бакар и сребро - бакар легури. Како топители најчесто се користеле животински и растителни раствори и масти, како вински каменец, сода и слично. Како извор на топлина се користел пламен од цврсто гориво, надополнет со воздух под притисок. За време на Римската империја, околу 120 г.н.е., за прв пат се применува лемењето во печка и употребата на бораксот како топители.

Веќе кон средината на XVII век во Европа започнала поинтензивната примена на лемењето. Развиени се многу нови легури за лемење, се применуваат и најразлични топители, за во почетокот на XVIII век да биде изработен и првиот парен котел со лемење. Лемењето е извршувано со легура во која е додаден цинк, а како извор на топлина се користела ламба со пламен од горивна течност.

Во почетокот на XIX век започнува примената на гасниот пламен како извор на топлина, а развојот на додатните материјали е се' поголем. Започната е примената на т.н. кадмиум лемови, а за прв пат е извршено и лемење на алуминиумски материјали. Развојот оди интензивно понатаму, за во 1925 година во САД да биде изведено првото лемење во заштитна гасна средина. По пет години, во 1930 година, започнато е со примената на лемењето во електротехниката.

Во шеесеттите години од XX век започнува примена на автоматизација во процесот на лемење со додатен материјал во облик на паста, а веќе во седумдесеттите и примената на лемењето во вакуум, односно високо-температурното лемење.

Од аспект на додатните материјали, развиени се огромен број на легури кои се применуваат во најразлични области. Така, во електрониката, при лемењето со ласерски сноп, во последните две децении се користат т.н. лемови со аморфна безредна структура, кои се одликуваат со многу мала промена на електричните карактеристики на залемениот спој.

Последните години особено актуелно е лемењето на керамички и метални материјали во вакуум и лемењето со електричен лак во заштитна инертна гасна средина на тенки поцинкувани лимови.

XII.2. Лемење и негово разграничување со заварувањето

При лемењето спојувањето се остварува само со топење на додатниот материјал, лем. Основните материјали се загреваат но не се топат.

При заварувањето спојувањето се остварува со учество и на дел од растопениот основен и целиот додатен материјал. Основниот материјал се загрева и делумно локално се топи.

Во процесот на лемење се одвива интензивна дифузија и градба на легури.

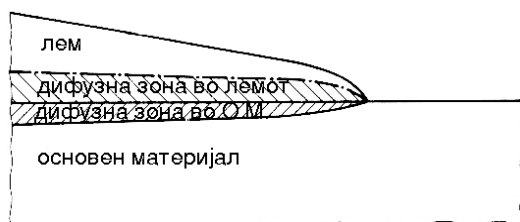
Дифузијата се одвива двонасочно, елементи од растопениот лем дифундираат во цврстите основни материјали и обратно, елементи од основните материјали дифундираат во растопениот лем. Иако вообичаено е и има објаснување за дифузијата на течниот лем во цврстите основни материјали, за обратната насока на дифузија сеуште нема соодветно научно објаснување. Познато е од законот на Фик дека дифузијата, поточно нејзината брзина, е зависна од природата на материјалот, температурата на загревањето и времетраењето на загревањето. Ова е особено интересно при мекото лемење, кога основните материјали се загреваат на многу пониска температура во споредба со тврдото лемење, но сепак и кај овие залемени споеви се воочени дифузни процеси од основните кон додатниот материјал, што е сепак се' уште без објаснување како доаѓа до тој процес за толку кратко време и при атмосферски притисок.

Поместувајќи се атомите, јоните и молекулите од еден во друг материјал, доаѓа до формирање на нови соединенија и кристални решетки, односно до создавање на нова легура која во составот ги содржи елементите од основните материјали и додатниот материјал. Оваа легура ги определува механичките особини на залемениот спој.

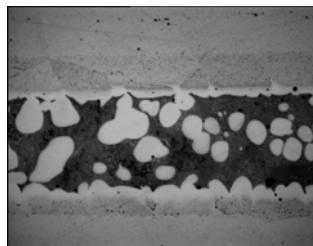
Дифузијата се одвива до определена длабочина во основните материјали и додатниот материјал. Таа длабочина честопати се движи во границите од 5 до 25 μm . Вообичаено таа зона е подлабока во растопениот дел, односно лемот, а многу помала во цврстите основни материјали. На слика XII.2. и слика XII.3., шематски и со фотографија се прикажани дифузните зони во еден залемени спој.

Ако во дифузните зони дојде до градба на интерметални соединенија, тогаш вообичаено во тие региони деформабилноста е намалена, тие региони се доста крти. Во процесот на ладење и собирање на основните материјали и додатниот лем,

ако се надмине границата на затегнување на кртите региони, може да дојде до појава на прснатини во нив. Ова е особено изразено при лемење на челични елементи со додатен материјал од групата CuP. Појавата на прснатини во залемениите споеви се намалува со употребата на тврди лемови со пониска точка на топење, а тоа се лемовите од групата на Ag и AgCd.



Сл. XII.2. Дифузни зони



Сл. XII.3. Микроструктура

Лемењето, како техника за спојување на материјалите, се одликува со голем број предности, но истовремено проследено е и со некои тешкотии, односно недостатоци на процесот на спојување и квалитетот на залемениот спој.

Некои од предностите на спојувањето со лемење се:

- спојување на различни материјали, метални со неметални и слично,
- се внесува многу мала топлина во материјалот кој се спојува,
- со лемење може да се изведат повеќе споеви истовремено, особено при изведба на инсталација и арматура,
- залемениот спој малку ја менува електричната и топлинската спроводливост на целиот склоп,
- залемениите споеви може пластично да се обработуваат, да се оформуваат,
- залемениот спој многу малку ја зголемува тежината на готовиот дел,
- голема можност за механизација и автоматизација на процесот на лемење.

Некои од недостатоците на спојувањето со лемење се:

- не може да се лемат едни со други елементи од: Be, Cr, Co, Si и слични,
- залемениите споеви имаат помала корозивна отпорност, особено постои опасност од т.н. електронапонска корозија, поради различните потенцијали на основните и додатниот материјал,
- на залемениите споеви при зголемена температура на експлоатација им се намалуваат механичките особини, а може да дојде и до разорување на залемениот спој, да дојде до разлемување.

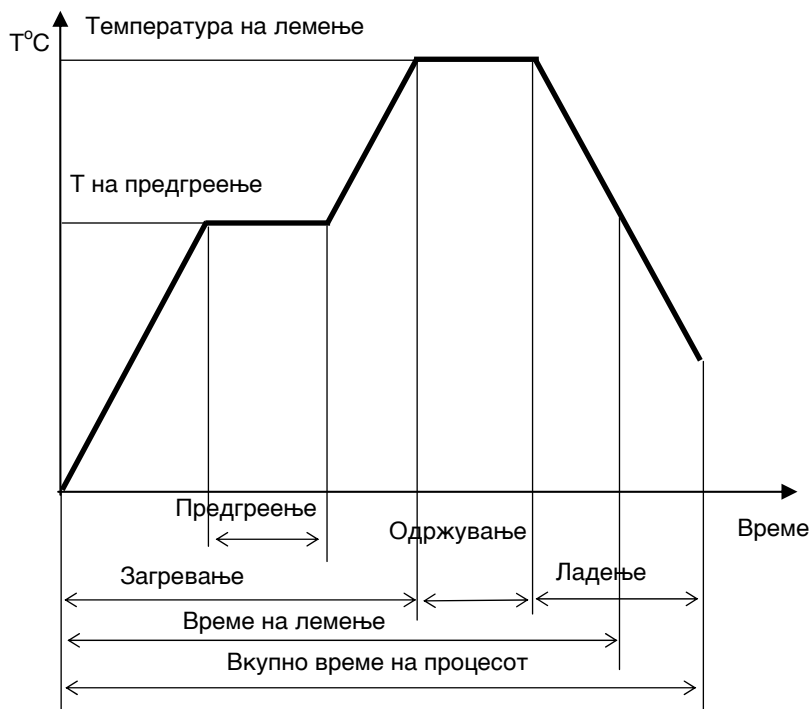
XII.3. Температурни и временски интервали при лемењето

За успешно спроведување на процесот на лемење потребно е да се познаваат и да се контролираат определени температурни и временски интервали. При овие температурни и временски интервали се одвиваат соодветни последователни процеси од кои во голема мера зависи квалитетот на залемениот спој.

На слика XII.4. е прикажан еден вообичаен циклус на лемење, на кој може да се воочат некои од карактеристичните температури и времињата на нивно постигнување и одржување.

Интервал на топење на лемот е интервал помеѓу солидус и ликвидус-температурата на лемот. За лемење пожелно е овој интервал да биде потесен. Во спротивно ќе се јави залемена врска со изразито различен хемиски состав и особини. При поширок интервал на почетокот повеќе ќе биде застапена компонентата од лемот која се топи на повисока температура, и на крајот во лемот ќе биде застапена повеќе компонентата која се топи на пониска температура.

Интервалот на топење е карактеристика на лемовите кои не градат еутектички легури. Кај лемовите со еутектична структура, тие се топат и кристализираат како и чистите метали при константна температура. Лемовите од оваа група се обично со посебна намена, а најчесто применувани се: L-Ag72, L-Ni6, L-Pd и L-Au-Ni лем.



Сл. XII.4. Вообичаен циклус на лемење

Работна температура на лемот е најниската температура на површината на работните парчиња, при која лемот се разлева по површината. Со примена на топител оваа температура е зависна од хемискиот состав на лемот и таа претставува константа која се прикажува во секоја табела за лемовите покрај другите нивни особини. Работната температура на лемот е повисока од солидус температурата на лемот.

Максимална температура на лемење е температура при која на основните материјали или лемот започнува да се воочуваат изразити промени и оштетувања. Оваа температура е зависна од видот, обликот и димензиите на основните материјали, од видот на лемот и изворот на топлина при лемењето односно, техниката на лемење. Работната температура на лемот треба секогаш да е пониска од максималната температура на лемењето.

Температура на разлевање на лемот е температура при која растопените капки од лемот се разлеваат по површината на работните парчиња. Оваа температура е близу до работната температура или иста со неа. Големината на температура е зависна од видот на лемот и топлоспроводливоста на основните материјали. Основно за нивото на оваа температура е топлинската енергија која се содржи во една капка на растопен лем. При допир на растопената капка со основниот материјал, таа ја предава топлината која ја носи во себе. Ова размена од термодинамиката е позната како енталпија. Ако основниот материјал, како Cu или Al, има повисока топлинска спроводливост, размената ќе се одвива побрзо, во споредба со челичен основен материјал.

Температура на градба на залемениот спој е најниската температура на навлажнување, односно разлевање на лемот. Заемното дејство на температурата на загреаност на лемот и основните материјали и разлевањето на лемот подетално е изнесено во насловот XII.4.

Температура на активност на топителот. Топителот се одликува со активност во еден определен температурен интервал. Потребно е загревањето на основните материјали и работната температура на лемот да се во овој интервал. Ако загреаноста е на температура надвор од температурниот интервал на активност на топителот, тогаш тој нема да ја исполни својата улога.

Секој од претходно прикажаните температури и температурни интервали во еден циклус на лемење се одржува во определен временски интервал. Некои од карактеристичните временски интервали при лемењето се:

Време на лемење, време од почетокот на процесот па до формирање на залемениот спој, во фазата на ладење.

Време на загревање, време за кое се постигнува температурата на лемење.

Време на одржување на температурата на лемење.

Време на ладење.

Вкупно времетраење на процесот.

Време на активност на топителот.

XII.4. Механизам на навлажнување, разливање на лемот

При лемењето механизмот на навлажнување, разливање на растопениот лем, е специфичен од што произлегува и атомската структура на спојот и изворот на неговата јакост.

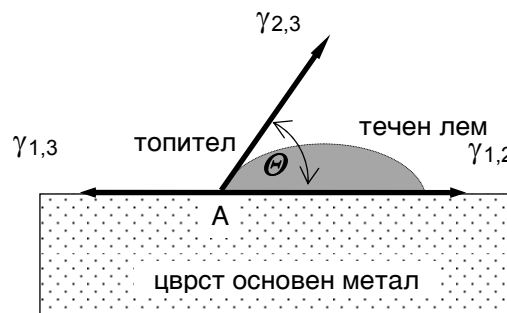
Вообичаено, основниот метал и лемот на површината имаат слој неметални приклучоци: оксиди, сулфиди и други, кои што спречуваат формирање на метален континуитет. Отстранувањето на овие неметални слоеви е предуслов за формирање на залемениот спој, задача која ја имаат топителите.

За момент нека се претпостави дека постои идеално чиста метална површина на основниот метал. Со цел да се добие основната меѓуповршина меѓу лемот и основниот метал, потребни се три елементи: лем, основен метал и топител.

На температури на лемење, основниот метал, кој има релативно висока температура на топење, е во цврста состојба, лемот е во течна, а топителот вообичаено е во течна состојба, иако некогаш се употребува гас или пареа.

На слика XII.5. е прикажана капка растопен лем на рамна метална површина во атмосфера на топител.

Во точката на тотална термодинамичка рамнотежа, нема понатамошна дифузија или реакција, системот ќе има гранична линија каде што се среќаваат сите три фази, точка А. Трите фази: 1) цврст основен метал, 2) течен лем и 3) растопен топител, се среќаваат под некој агол една во однос на друга. Аголот помеѓу цврстата и течната фаза Θ се вика „дихедрален агол“.



Сл. XII.5. Однос на основниот материјал, лемот и топителот

Воспоставување рамнотежа на векторите во точка А значи рамнотежа на три сили кои, всушност, се површински напнатости. Векторот $\gamma_{2,3}$ е површинска напнатост помеѓу течната и парејната фаза дејствувајќи како тангента на

растопената капка лем. Всушност, ова е сила која тежнее да ја минимизира површината на втечнетиот лем во специфичната атмосфера на топителот (прашок или пареа). Кај секоја течност во тенденцијата да ја минимизира површината и да ги задоволи барањата за состојбата на минималната енергија, постои сила позната како површинска напнатост. Доколку нема други сили, површинската напнатост на течната фаза ќе ја принудува капката кон сферична форма, која има најмала површина во однос на која било друга геометриска форма за ист волумен. Меѓутоа, гравитацијата и други сили меѓу течноста и околината вообичаено дејствуваат против површинската напнатост, а како резултат на тоа течноста добива поинакви форми од сфера.

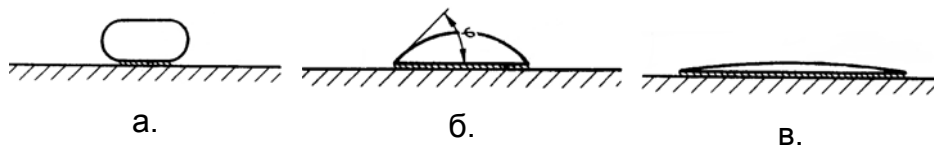
Векторот $\gamma_{1,2}$ е површинска напнатост меѓу втечнетиот лем и основниот метал, а $\gamma_{1,3}$ е површинска напнатост меѓу цврстиот основен метал и топителот. Векторите $\gamma_{1,2}$ и $\gamma_{1,3}$ дејствуваат вдолж површината на основниот метал, имаат ист правец, но се со спротивни насоки. Големините на овие сили зависат од: видот на лемот, основниот материјал и топителот. Од слика XII.5. се добива:

$$\gamma_{1,3} = \gamma_{1,2} + \gamma_{2,3} \cos\Theta$$

Векторот $\gamma_{1,3}$ е сила која го разлева втечнетиот лем вдолж површината на металот, т.е. таа е силата на „навлажнување“. Според тоа, разлевање или навлажнување на деловите ќе се јави ако:

$$\gamma_{1,3} > \gamma_{1,2} + \gamma_{2,3} \cos\Theta$$

Заемното дејство на температурата на загреаност на лемот и основните материјали и разлевањето на лемот подетално се прикажани на слика XII.6.



Сл. XII.6. Разлевање на лемот при одредени температури на основниот материјал

При многу пониска температура на основниот материјал лемот останува во облик на топче, слика XII.6.а. Во овој случај нема разлевање и нема градба на врската.

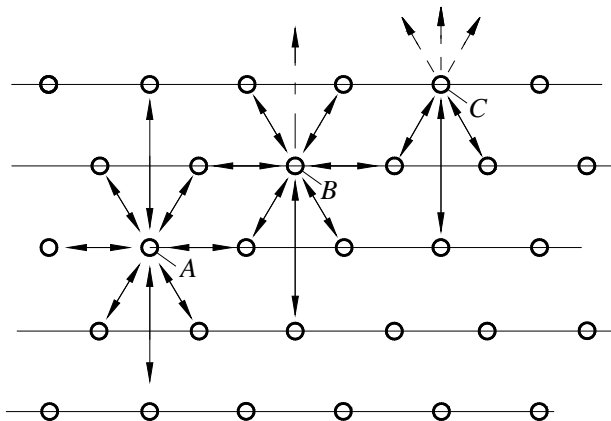
При поголема температура на основниот материјал, слика XII.6.б, но се' уште пониска од солидус температурата на лемот, топлината од растопената капка лем, придонесува да се дозгрее основниот материјал до солидус температурата на лемот. Со ова настанува ограничено разлевање на растопениот лем. Аголот на навлажнување е многу голем. Понатамошно доразлевање на лемот не е можно поради релативно поладниот основен материјал.

При загреаност на основниот материјал на температура иста или повисока од солидус температурата на лемот, доаѓа до целосно разлевање на лемот по површината и започнува градбата на врската, слика XII.6.в. Ова е особено важно да се постигне при лемењето во тесни зјаеви, каде што е неопходно капиларното дејство за да настане навлажнување по целата површина на спојувањето.

XII.5. Образување на залемен спој

Се набљудува површина на основен метал која штотуку била навлажнета со втечен лем. Истиот вид површинска енергија, која предизвикала навлажнување на металот, сега ја прави врската. Оваа енергија е поради незаситените врски од површинските атоми коишто имаат потпросечен број од најблиските соседи коишто ги обиколуваат.

На слика XII.7 се гледа дека атомот A има балансирали стрелки од најблиските соседи, додека атомите B и C имаат небалансирани стрелки и затоа имаат незаситени врски кои ги генерираат површинските енергии. Ова аранжирање на атомите во метална решетка е задоволително на внатрешната структура на металите. Постојат региони без ред и со дислокации во секоја решетка; меѓутоа, нивниот вкупен ефект на металната површина е занемарлив. Незаситените површински врски, кои се главните причинители за површинските енергии, имаат важна улога во рамнотежата на векторите кои го определуваат „навлажувањето“ за еден специфичен систем.



Сл. XII.7. Поедноставена шема која ги објаснува површинските енергии

Кога лемот еднаш ќе ја „навлажни“ површината, се добива обострано заситување на површинските врски и овие површински енергии се на атомарно ниво, додавајќи и на меѓуповршината на спојот голема јакост и стабилност.

Додека течниот лем „навлажнува“ цврста површина, но на повисоки температури, може да се јави обострана дифузија на меѓуповршината како резултат на термичка активација. Овој слој на цврст раствор може да содржи интерметални соединенија кои не се потребни за формирање на врски, бидејќи се неметални, ќе им недостасува дуктилноста на основниот метал. Ова може да предизвика закртување. Смалување на овој ефект е можно со брзо лемење и/или смалување на температура на лемење. Меѓутоа, нивното влијание е многу големо врз јакоста на залемените споеви.

XII.6. Некои техники на спојување со лемење; извори на топлина

Спојувањето со лемење, зависно од обликот, димензиите и количината на работните парчиња, може да се изведе: рачно, механизирани и целосно автоматизирани. Каков извор на топлина за загревање на основниот метал, топителиот и лемот ќе се примени зависи од: видот на лемот, видот на основниот материјал, обликот и димензиите на работното парче и начинот на изведба на техниката на спојување со лемење.

Најчесто применувани извори на топлина за загревање при лемењето се:

- загреано цврсто тело (лемник),
- рачно манипулирање со гасен пламен,
- гасен пламен со фиксиран горилник,
- лемење во печки со електричен отпор,
- индуктивно загревање,
- директно електроотпорно загревање,
- загревање со ласерски снопови,
- загревање со електричен лак.

Лемењето со електричен лак во заштитна атмосфера од активни или инертни гасни смеси е еден од најсовремените начини на спојување на поцинкувани елементи во автомобилската индустрија. Подетално за оваа техника на лемење изнесено е во насловите во XII.14.

XII.6.1. Лемење со загреано цврсто тело (лемник)

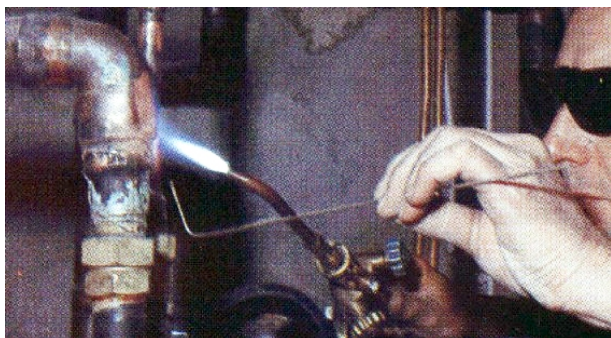
Лемникот е загреано бакарно масивно парче со заострен крај заради прецизно зафаќање на лемот и депонирање во бараниот локалитет. Лемникот, всушност, е пренесувач на топлината која во него е апсорбирана од друг извор. Загревањето на лемникот може да се изврши со гасен пламен, електроотпорно или со горење на цврсто гориво. Ваквиот начин на загревање вообичаено се користи при рачното меко лемење на елементи со поедноставен облик и поголеми димензии или при репаратурно меко лемење во електротехниката. На слика XII.8 се прикажани различни видови на лемници.



Сл. XII.8. Различни видови на лемници за меко лемење

XII.6.2. Лемење со гасен пламен

Кај лемењето со гасен пламен со рачно манипулиран горилник се користат истите работни средства како и кај гасното заварување, слика XII.9. Разликата е во обликот на горилникот (слика XII.10.) и во употребуваната горивна гасна смеса. Покрај смесата од ацетилен и кислород во употреба се и гасните смеси на пропан-бутан со воздух или кислород, водород со кислород, метан и слични. Овој начин на загревање се користи при мекото и при тврдото лемење, а за добивање на квалитетен залепен спој потребно е и големо практично искуство на работникот. Со рачното лемење со гасен пламен се спојуваат најразлични материјали, со најразновиден облик и димензии, обично во мала серија или поединечни случаи на производство или репаратура. Овој начин на загревање најчесто се применува и при изведба на разновидни цевни инсталации од бакар и бакарни легури.

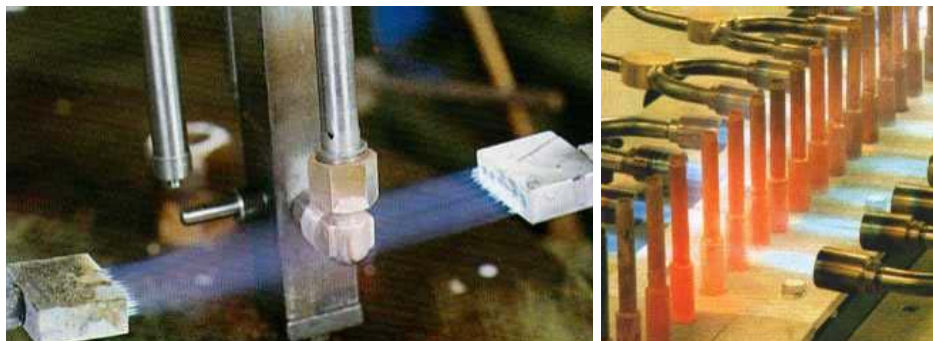


Сл. XII.9. Рачно лемење со гасен пламен



Сл. XII.10. Горилници за лемење

Лемењето со гасен пламен со фиксиран горилник се користи за големо сериско производство, при кое во две паралелни колони се поставени повеќе исти или различни горилници. Од горилниците може постојано или во тактови да гори гасен пламен со ист или променлив интензитет, а помеѓу двете колони тактно или континуирано се поместуваат работните парчиња. На слика XII.11. е прикажан начин на лемење со фиксирани горилници.



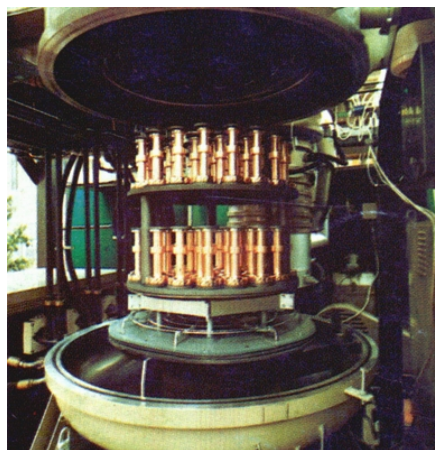
Сл. XII.11. Лемење со гасен пламен со фиксирани горилници

XII.6.3. Лемење во печка

Лемењето во печка може да се примени како за поединечно така и за сериско производство. Загревањето се врши со електроотпорни грејачи вградени во ѕидовите на работниот простор на печката. Работните парчиња на кои претходно е нанесен топителот и лемот се поставуваат во печка, слика XII.12. Потоа со контролирана промена се постигнува температурата на лемење (топење). Постои можност и за реализирање на сложен термички циклус на загревање и ладење особено при изведбата на високотемпературно лемење. Во печка лемењето може да се реализира и во заштитна атмосфера на инертен гас или во вакуум, слика XII.13. Печките кои се користат за загревање при мекото и тврдото лемење може да бидат од класичен тип или од понов т.н. проточен тип.



Сл. XII.12. Лемење во печка



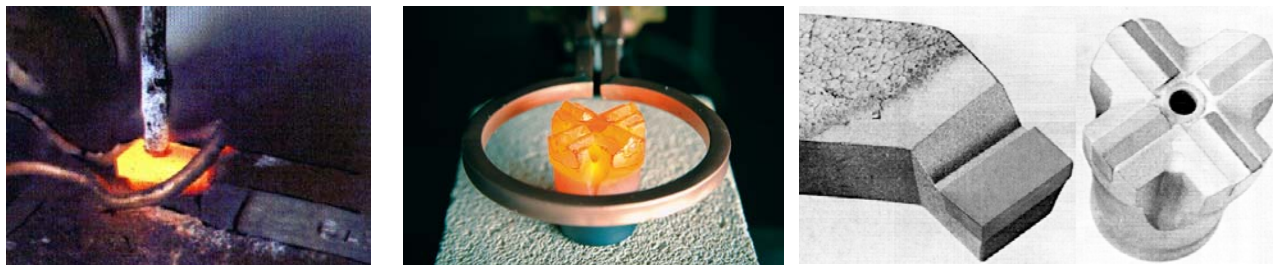
Сл. XII.13. Лемење во печка во заштитна средина

XII.6.4. Лемење со индуктивно загревање

Лемењето со индуктивното загревање претставува рационална и доста распространета техника на спојување. Со протекување на високофреквентна струја со 300 до 400 kHz се врши локално и брзо загревање на спојните површини. Работните предмети претставуваат секундарни намотки, а примарната намотка се намотува околу местото на спојување со лемење.

Оваа техника на загревање е доста едноставна и лесно се автоматизира, но големи се инвестиционите вложувања во набавка на опремата.

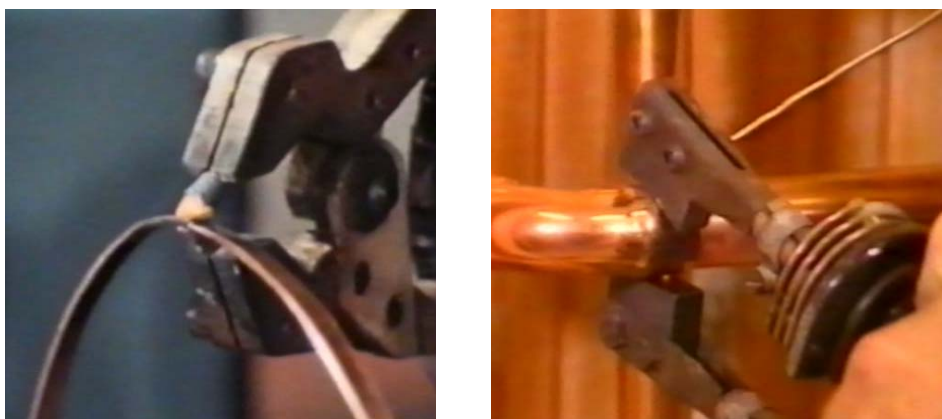
Енергијата што се пренесува од намотките до работните предмети зависи од растојанието помеѓу нив, колку е растојанието помало толку е поголема пренесената енергија. На слика XII.14. се прикажани спојувања со индуктивно лемење на сечило од стругарски нож и врв од бургија.



Сл. XII.14. Лемење со индуктивно загревање

XII.6.5. Лемење со директно електроотпорно загревање

Лемењето со директно електроотпорно загревање најчесто се користи при спојување на работни парчиња со лем за кој не е потребен топител. Предност на овој начин на загревање е тоа што може да се користи вообичаената опрема за електроотпорно заварување, со таа разлика што се употребуваат посебни електроди на врвовите обложени или целосно изработени од графит, слика XII.15.



Сл. XII.15. Лемење со електроотпорно загревање

XII.6.6. Лемење со ласерски сноп

Користејќи го ласерскиот сноп како извор на топлина може да се изврши: меко и тврдо лемење. Притоа станува збор за лемење на многу мали елементи, кај кои местото на внесување и количеството на топлината мора точно да се запазат. Ова е особено важно при лемењето на елементите, на кои поголемото внесено количество на топлина може да го нарушат нивниот облик и димензии, а со тоа и функционалноста.

За лемење се користат гасни и цврсти ласери, но најчесто применувани се цврстите ласери со пулсно дејство. Со помош на оптички систем за распределба на ласерскиот сноп на два и повеќе снопови можна е истовремена изведба на поголем број залемени споеви. Кај мекото лемење лемот и топителот се заедно во облик на паста или лемот е нанесен како покривка врз местата кои треба да се спојат. При лемењето со топител времетраењето на дејството на ласерскиот сноп треба да е подолго од 50 ms до 1500 ms, а при лемење без топител доста пократко до околу 5

ms. За лемење обично се користат густини од 10^4 до 10^5 W/cm². При поголеми густини доаѓа до целосно испарување на топителот поради што се добива залемена врска со пори. При мекото лемење со ласер се добива залемен спој со многу поситнозрнеста структура во споредба со структурите добиени со конвенционалните техники на лемење.

Тврдо лемење со ласерски сноп најчесто се изведува во заштитна атмосфера на инертни гасови со и без употреба на топител. Поквалитетен залемен спој се добива при лемењето со лем во облик на фолија. При употребата на лем во облик на прашок и при поголема густина на енергија на ласерскиот сноп, доаѓа до испарување на дел од прашкестиот лем при што создадената пареа и притисокот од неа го распрскува се уште не растопениот лем, поради што добиениот залемен спој е со полош квалитет.

XII.7. Додатни материјали при спојувањето со лемење, лемови

Додатните материјали при спојувањето со лемење, наречени лемови, може да се поделат по различни основи.

Според нивната температура на топење, ликвидус температурата, се делат на лемови за меко и лемови за тврдо лемење. Кај лемовите за меко лемење ликвидус температурата е под 450 °C, а кај лемовите за тврдо лемење ликвидус температурата е над 450 °C.

Според обликот во кој се изработуваат може да бидат: прачка, жица, лента, фолија, прашок и паста, слика XII.16. Прачките може да бидат необложени, обложени или исполнети со топител.



Сл. XII.16. Видови облици во кои се изработуваат лемовите

Дефинирањето, класификациите и обележувањето на лемовите е опфатено во стандардот МКС Ц.Т3.005. Ознаката на додатниот материјал за лемење, лемот се состои од симболи на елементите, хемискиот состав и вредностите на солидус и ликвидус температурата. На прво место во ознаката стои симболот L, кој означува дека легурата е наменета за додатен материјал при лемење, односно лем. По овој симбол доаѓаат хемиските ознаки на присутните елементи во составот на легурата и нивната процентуална застапеност. Ако содржината на елементот не ја надминува вредноста од 0,2 %, ознаката за него не се внесува. По ознаката на главниот елемент и процентот на неговата застапеност се редат ознаките на преостанатите елементи зависно од процентите на нивната застапеност без да се наведуваат тие. Во ознаката се наведуваат до шест хемиски елементи кои се застапени во легурата. На крајот од ознаката се наведува температурата на почетокот и завршетокот на топењето на легурата, односно вредностите за солидус и ликвидус-температурите.

Еден пример за означување на легура врз основа на никел кој има интервал на топење од 970 до 1150 °C и хемиски состав: Ni 63 %, W 16 %, Cr 10 %, Fe 3.8 %, Si 3.2 %, B 2.5 %, C 0.6 %, Mn 0.1 % и Co 0.2 %, ознаката на оваа легура на никел наменета како додатен материјал, лем за високотемпературно лемење е: L-Ni63WCrFeSiB 970-1150.

Лемовите за меко лемење зависно од нивната ликвидус температура може да се поделат во две групи: лемови со ниска ликвидус температура која е пониска од 180 °C и лемови со висока ликвидус температура која е повисока од 180 °C.

Меките лемови со ниска ликвидус температура најчесто се легури од системот олово-калај (Pb-Sn) во кои се додадени: бизмут (Bi), кадмиум (Cd) или жива (Hg). Меките лемови со основа бизмут имаат ликвидус температура до 100 °C, олово-бизмут меките лемови имаат ликвидус температура до 120 °C, додека олово-калајните меки лемови со додаток од кадмиум и бизмут имаат ликвидус-температури од 120 до 180 °C. Овие лемови најчесто се користат во електрониката и електротехниката, поради нивните добри електрични особини.

Меките лемови со висока ликвидус-температура најчесто се легури од системите: калај-олово (Sn-Pb), калај-цинк (Sn-Zn) и калај-цинк-алуминиум (Sn-Zn-Al). Овие меки лемови најчесто се користат за лемење на сите видови метали и нивните легури. За посебна намена во употреба се меките лемови од системите: Sn-Ag, Sn-Au, Sn-In, Pb-Sn-Ag, Pb-In-Ag и Pb-Au, кои имаат работна температура од 220 до 400 °C.

Лемовите за меко лемење најчесто се изработуваат во облик на полнета жица, тенки фолии, прашок и паста. Обликот и димензиите на жиците за меко лемење исполнети со топител опфатени се во стандардот МКС Ц.Л9.030.

Лемовите за тврдо лемење се употребуваат вообичаено кога од залемениот спој се бараат и повисоки механички карактеристики, особено повисока затегачка јакост. Со овие лемови се спојуваат елементи од железо, сите видови на челици, бакар и неговите легури, тврди метали, разни комбинации од метали и неметали, разни видови керамики и слично.

Како лемови за тврдо лемење се користат легурите од системите: Cu-P, Cu-Zn, Cu-Zn-Si, Cu-Zn-Ni, Cu-Zn-P, Ag-Cu-Zn, Ag-Cu-Zn-Cd, Ag-Cu-Sn, легури врз основа на никел Ni, врз основа на паладиум Pd, врз основа на злато Au и слични. Од сите наведени системи, најчесто во употреба се легурите од типот Cu-Zn, т.н. месингови лемови и легурите од типот Ag-Cu, т.н. сребрени лемови, кои се изработуваат со и без кадмиум Cd.

Работната температура на лемовите за тврдо лемење вообичаено е од 600 до 1100 °C. Најчесто применуваните лемови од типот Cu-Zn и Ag-Cu имаат работна температура помеѓу 700 и 900 °C, што овозможува тие успешно да се користат за лемење на сите вообичени машински метални материјали, освен за лемење на алуминиумот и неговите легури.

Бакарните лемови согласно со МКС Ц.Д2.306, се изработуваат како легури од системите: Cu, Cu-Zn, Cu-Sn и Cu-P.

Најчесто применувани легури за изработка на тврди лемови од овие системи се легурите од системот Cu-Zn, односно месинзи. Ова се евтини лемови, но залемениите споеви се доста крти, поради присуството на кртите структури во лемот, кртите β , γ и δ мешани кристали. Квалитетот на лемот и залемениот спој најмногу зависи од учеството на цинкот, чија максимална вредност не поминува 55 %, а најоптимално е во границите од 13 до 40 %.

Покрај основните компоненти, бакар и цинк, во оваа група на лемови неретко се среќаваат и легирачки елементи, како: силициум, калај, сребро, никел, бор, литиум и слични. Овие легирачки елементи со основните компоненти градат меѓулегури со негативна енталпија, со што се ослободува дополнителна количина на

топлина и се подобрува разлевање на лемот. Присуството на силициумот придонесува да се добие залемен спој со мала содржина на гасни пори или оксиди, поради поголемиот афинитет на силициумот спрема кислородот и водородот. Присуството на калајот и среброто ја намалуваат работната температура на лемот во голема мера, а притоа добиениот залемен спој е со задоволителни механички карактеристики. Со додавање на мали количини на бор и литиум во лемот, како и фосфор, лемот може да се користи за лемење на челични материјали без дополнителна употреба на топители.

Но покрај доминантната примена на месинговите лемови, во употреба неретко се и лемовите врз основа на бакар со додаток на калај или фосфор.

Тврдите лемови врз основа на сребро за разлика од лемовите врз основа на бакар се значително поскапи, но со оглед на предностите кои ги имаат нивната практична примена е, исто така многу голема. Главна предност во споредба со бакарните лемови им е пониската температура на лемење, која зависи од содржината на другите компоненти (Cu, Zn, Cd) се движи во границите од 630 до 950 °C. Со тврдите лемови врз основа на сребро може да се лемат скоро сите железни и нежелезни материјали, освен леснотопливите метални материјали, како Al, Pb, Sn и нивните легури.

Карактеристично за лемењето на железни материјали со оваа група на лемови е тоа што употребуваните лемови треба да се одликуваат со голема чистота, да имаат во себе помала содржина на нечистотиите, т.е. примеси, кои се склони да градат крти преодни области кои ја намалуваат антикорозивноста и деформационите карактеристики на залемениот спој.

Тврдите лемови врз основа на сребро, т.н. сребрени лемови согласно со МКС Ц.Д2.307, се изработуваат како легури од системите: Ag-Cu, Ag-Cu-P, Ag-Cu-Zn, Ag-Cu-Sn, Ag-Cu-Zn-Cd, Ag-Cu-Zn-Ni-Mn, Ag-Mn и слични.

XII.8. Топители

Остварувањето на квалитетен залемен спој зависи како од правилниот избор на лемот спрема основните материјали, така и од квалитетното навлажување (разлевање) на течниот лем по површините кои се лемат. Врз квалитетот на разлевање битно влијание има состојбата на површината, нејзината чистота. Нечистотиите и оксидите на површината го ограничуваат металниот контакт помеѓу работните парчиња и лемот, разлевање, со што се намалува квалитетот на спојот. Заради тоа пред лемењето потребно е од површините по механички и хемиски пат да се отстранат нечистотиите и оксидите. Но кај некои метали и легури и на собна температура за многу кратко време доаѓа до нивно повторно создавање. Дебелината на оксидниот слој со зголемување на температурата и слободниот пристап на воздухот зависи од времето се зголемува во многу голема мера. Овие новонастанати оксиди на површината имаат штетно влијание врз квалитетот на залемениот спој, поради што тие треба да се отстранат со употреба на топители.

Топителите се активни хемиски супстанции составени од неметални материјали од органско или неорганско потекло, кои со својата активност овозможуваат растворање и отстранување на оксидните слоеви од површината на основните материјали за време на загревањето и топењето на лемот. Оксидните слоеви се тераат во разновидни хемиски реакции: топителот и нечистотиите со реакцијата се здружуваат формирајќи трето соединение, што ќе биде растворливо во втечениот топители, нечистотиите врз металот се враќаат во првобитна состојба со што се добива чиста метална површина.

Со остварување на хемиските реакции се обезбедува целосно разлевање на растопениот лем по површината и се постигнува квалитетно навлажување. Покрај

ова растопениот лем и загреаните основни материјали се заштитени и од агресивниот околен воздух, се спречува ново создавање на оксиди.

Самиот топител не влегува во завршниот залемен спој, туку улогата му е слична на катализатор во некоја хемиска реакција, кој го помага и овозможува процесот, а без да е дел од финалниот производ. Топителот ги има следниве две главни улоги:

- да ги исчисти површините кои се спојавуваат и да ги задржи чисти додека се залемат,
- да влијае врз рамнотежата на површинската напнатост во насока на разлевање на лемот со смалување на аголот на дихидрација (Θ).

За да одговори на своите функции, улоги, топителот треба да ги исполнува следниве услови:

- Не смее хемиски да реагира со лемот. При топењето на топителот и лемот потребно е тие да не се мешаат. Топителот треба да е инертен или минимално активен во однос на основните материјали.

- Треба да стапува во реакција со оксидите пред почетокот на топењето на лемот. Неговата температура на активно дејство мора да ја поминува температурата во почетокот на неговото топење, но мора да биде пониска од температурата на топење на лемот за минимум околу 50 °C.

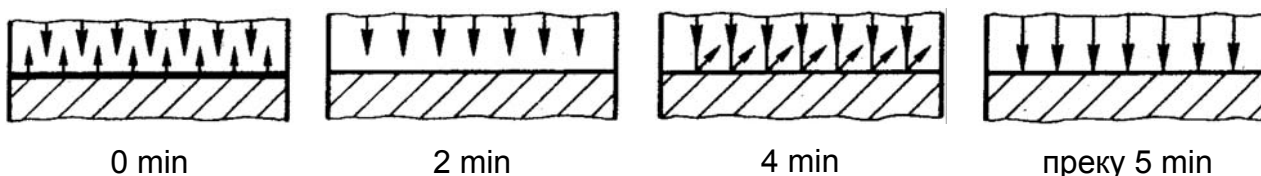
- Треба да ги задржува своите активни својства и да не го менува својот хемиски состав во зависност од загревањето при лемењето.

- Не треба да предизвикува корозија на залемениот спој.

Топителот има свој интервал на активност, кој се случува во определен температурен опсег, а кој се вика „температура на активирање“.

Ако температурата на лемење е пониска од температурата на активност на топителот, нема да дојде до наполно топење и течење на топителот, а со тоа и навлажнувањето на површините ќе биде помало. Но и со зголемување на температурата на лемење преку температурниот интервал на активност на топителот се нарушува неговото активно дејство, доаѓа до негово разложување и согорување со што станува неактивен. Ова може да се случи и ако топителот нагло се загрее на повисока температура, со што брзо се поминува низ температурното подрачје на активност. Според тоа треба да се внимава и загревањето да биде доволно бавно.

Покрај температурата влијание има и времетраењето на загревањето на топителот. Тој се одликува со определено време на активност, кое во практиката не поминува интервал од максимум 5 минути. Во овој временски интервал топителот станува наполно заситен со метални оксиди и поради тоа го губи заштитното својство. На сликата XII.17. е прикажан текот на реакцијата на топителот со оксидите и кислородот од воздухот во временски интервал од почетокот на лемење до максималното време на лемење од 5 минути.



Сл. XII.17. Тек на реакцијата на топителот со оксидите и кислородот

При лемењето на деловите кои се загреваат во атмосфера посиромашна со кислород или без кислород (во заштитна атмосфера или вакуум), времето на активност на топителот како и времето на лемење се значително подолги.

Функцијата на топителот зависи и од неговата количина, која е нанесена на местото на спојување. Така, при многу тесни зјаеви постои опасност од неможност

за пробив на топителот по целата површина и со тоа недоволно разлевање на растопениот лем, создавање на врска само во одделни локалитети, а не и по целата површина. Не се препорачува и дозирање на поголема количина од топителот, бидејќи постои можност дел од него да не се растопи и да остане заробен во залемениот спој како вклучок. Обично за целосно пробивање на топителот и растворање на оксидите по целата површина на спојување потребно е тој да биде нанесен во слој или да исполни зјај од 0,005 до 0,2 mm.

Дејствувањето на топителот и неговата реакција со нечистотиите на површината на металот се засноваат, воглавно, врз редуција на оксидните слоеви или реакција на замена. Најчесто овие две реакции се одвиваат истовремено. Најповолно е кога продуктите на овие реакции се во течна или гасовита состојба.

Топителите се изработуваат во повеќе облици: прашок, паста, течност или гасна состојба. Најширока примена имаат топителите во облик на паста или прашок растворен со дестилирана вода, поради наједноставниот и најпрецизниот начин на нанесување врз површините кои се лемат. Обликот на топителот вообичаено зависи од техниката на лемење и видот и обликот на лемот.

Класификацијата на топителите може да се направи врз основа на температурниот интервал на активност. Така постојат топители со нискотемпературен интервал на активност или топители за меко лемење и топители со високотемпературен интервал на активност или топители за тврдо лемење.

Според механизмот на дејствување, топителите може да бидат: заштитни, реактивни, со хемиско или со електрохемиско дејство.

Потоа може да бидат како дво, тро и повеќекомпонентни супстанции, при што најефикасни се повеќекомпонентните топители во чиј состав има супстанции со различни функции.

Топителите за меко лемење се од органски и неоргански материјали и се поделени на топители врз основа на колофониум, органски киселини, халогениди, хидразини, флуор-бориди, анилински и стеарински. Најголема примена и најголема активност имаат топителите врз основа на хлоридни соли.

Топителите за тврдо лемење во својата основа содржат: бор, флуор, како и хлориди на алкални и земноалкални метали. Така за топители врз основа на сребро и бакар, најширока примена имаат топителите врз основа на бор, како боракс (B_2O_3) и борна киселина ($Na_2B_4O_7$). А за зголемување на активноста обично се додаваат флуориди (KF и NaF) и хлориди на алкалните и земноалкалните метали.

XII.9. Избор на лем и топител

Квалитетот на лемењето и можноста за постигнување на залемениот спој во многу зависи од правилниот избор на лемот и топителот. На изборот на лемот и топителот влијаат повеќе фактори: вид на основниот материјал, техниката на лемење (извор и начин на загревање), обликот, димензиите и количината на работните предмети и слично.

За правилен избор на лемот и топителот треба да се има големо практично искуство или да се следат препораките на нивните производители.

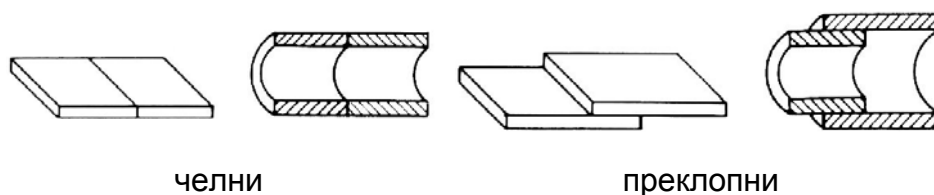
Препораки кои лемови со какви топители и со каков извор на топлина да се врши загревањето за соодветна група на основни материјали прикажани се во табелата XII.1.

Табела XII.1. Препорака за избор на лем и топител

| основен материјал | лем | топител | начин на загревање со |
|--|--|--|---|
| бакар | L-Ag2P L-CuP6 L-Ag56Sn L-Ag44 | / / F-SH1 F-SH1 | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера |
| бакарни легури | L-Ag2P L-Ag56Sn L-Ag44 | / F-SH1 F-SH1 | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера |
| железо никел кобалт некои челици | L-Ag56Sn L-Ag44 L-Ag40Cd L-CuZn40 L-CuNi10Zn42 L-Cu | F-SH1 F-SH1 F-SH1 F-SH2 F-SH2 / | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера или вакуум заштитна атмосфера или вакуум |
| хром челици хром-никел челици | L-Ag56Sn L-Ag455InNi L-Ni7 L-Ni2 L-Ag72 | F-SH1 F-SH1 / / / | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера или вакуум |
| благородни метали | L-Ag56Sn L-Ag60 L-Ag72 L-Au | F-SH1 F-SH1 F-SH1 F-SH1 | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера или вакуум |
| алуминиум алуминиумски легури со Mg или Si до 2 % | L-AlSi12 | F-SH1 | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера |
| тврди метали стелити | L-Ag50Cd L-Ag49 L-Ag27 L-CuNi10Zn42 L-Cu L-Ni | F-SH1 F-SH1 F-SH2 F-SH2 / / | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера во печка со заштитна атмосфера или вакуум |
| хром, молибден, волфрам, тантал, ниобиум | L-Ag49 L-Cu87MnCo | F-SH1 F-SH2 | гасен пламен, индуктивно, електроотпорно, во печка со заштитна атмосфера |

XII.10. Конструктивни форми на залемените споеви

Постојат многу видови залемени споеви, но сите се сведуваат на двата основни видови: челни и преклопни споеви, слика XII.18. Сите други споеви може да се сметаат како варијанти на двата основни видови на споеви.



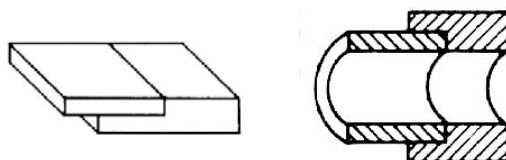
Сл. XII.18. Основни видови залемени споеви

При челно спојување со лемење се спојуваат два раба, а спојот е со рамномерна дебелина што е добро за изгледот, а понекогаш е и технолошка предност. Меѓутоа, челниот спој е ограничен со јакоста на спојот, бидејќи

површината на спојување е ограничена со дебелината на деловите што се спојуваат. Исто така мора да се води сметка површините што се спојуваат да бидат рамни и паралелни.

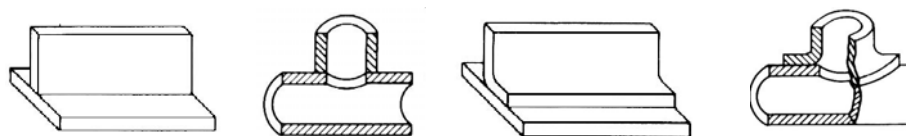
Кај преклопните споеви елементите се спојуваат вдолж страничните површини, па најчесто не постои ограничување на површината на спојувањето. Бидејќи залемената површина е поголема од попречниот пресек на елементот, тогаш со правилно димензионирање се елиминира можноста залемениот спој да е слабото место. Исто така, преклопниот спој лесно се подготвува, а поставувањето на едниот дел врз другиот обично е доволно за правилен зјај и лемење. Во случајот на цевкасти споеви, вметнувањето на цевка една во друга во лабав однос е доволно за да се изведе правилно лемење. Недостаток на преклопните споеви е изгледот, како резултат на дуплирање на дебелината во околината на спојот. Доколку изгледот не е примарно барање, тогаш преклопните споеви се добар и сигурен избор што лесно се изработуваат.

Варијанти на овие два основни видови се комбинациите на челни и преклопни споеви. Примерите на слика XII.19. покажуваат изведба на комбинирани споеви со што се зголемува површината на спојување, а дебелината на местото на спојување не е променета.



Сл. XII.19. Комбинирани залемени споеви

Со тврдо лемење може да се реализираат и аголни споеви на два начини. Едниот начин е со примена на челен спој, а другиот начин е со примена на преклопен спој, слика XII.20. Аголните споеви реализирани со челен спој имаат ограничена јакост, бидејќи големината на спојот е определена со дебелината на еден од елементите кои се спојуваат. Аголните споеви реализирани со преклопен спој имаат условно неограничена јакост, бидејќи големината на преклопниот спој може да се определува слободно, независно од дебелината на елементите кои се спојуваат.



сочелни

преклопни

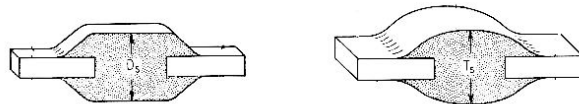
Сл. XII.20. Основни видови залемени споеви

XII.10.1. Конструктивни форми на меко залемени споеви

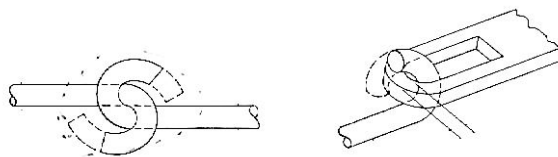
Споевите изведени со меко лемење зависно од заемниот однос на елементите што се спојуваат, може да се класифицираат во три групи:

- споеви без директна механичка врска, слика XII.21.,
- споеви со делумна механичка врска, слика XII.22.,
- споеви со механичка врска, слика XII.23.

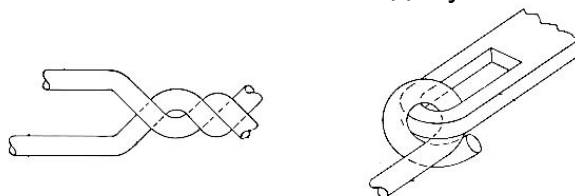
Меко залемените споевите со делумна и целосна механичка врска на елементите кои се спојуваат се обвиткуваат со лем околу механичката врска.



Сл. XII.21. Меко залемени споеви без директна механичка врска



Сл. XII.22. Меко залемени споеви со делумни механичка врска

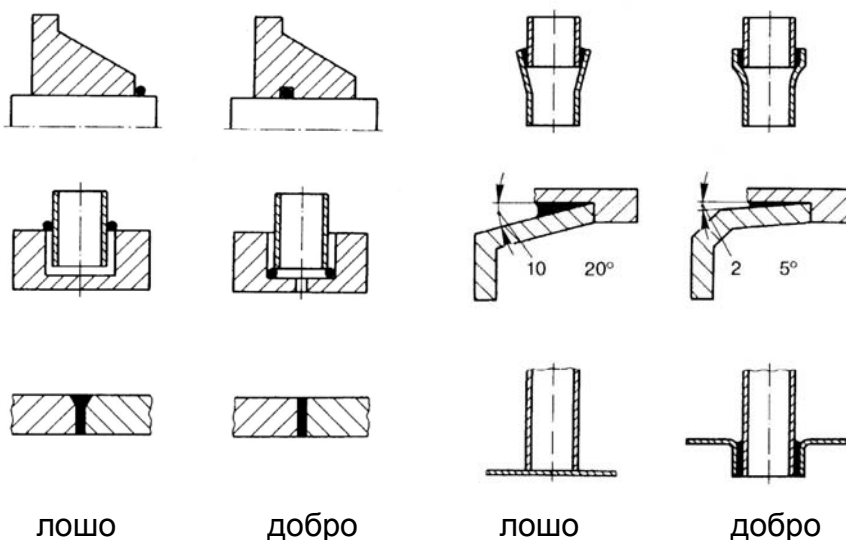


Сл. XII.23. Меко залемени споеви со целосна механичка врска

XII.10.2. Конструктивни форми на тврдо залемени споеви

При изведбата на споевите со тврдо лемење елементите што се спојуваат секогаш се без директна механичка врска, помеѓу нив постои зјај кој се исполнува со растопен лем. Зависно од големината на зјајот техниката на лемење може да се изведе како: лемење во тесен зјај, каде што разлевањето на лемот е под капиларно дејство, и лемење во широки зјаеви или т.н. заварувачко лемење, каде елементите кои се спојуваат пред лемењето се подготвуваат како при заварување со топење.

Споевите изведени со тврдо лемење се најразновидни, од наједноставните челни и преклопни споеви до споеви со сложен облик. На слика XII.24. се прикажани неколку конструктивни решенија на споеви изведени со тврдо лемење.



Сл. XII.24. Конструктивни решенија на споеви изведени со тврдо лемење.

Понатаму споевите кои се изведуваат со тврдо лемење може да бидат надворешни (видливи) или внатрешни (скриени, невидливи).

При изведбата на сите овие видови споеви со тврдо лемење треба секогаш да се води сметка за правилниот избор на лемот, топителот и начинот на загревање, особено на зоната која се загрева и начинот на дозирање и депонирање на лемот.

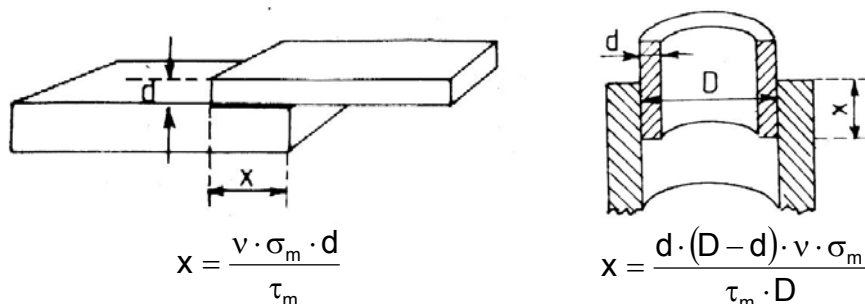
XII.10.3. Димензионирање на залемени споеви

Вообичаено се димензионираат само преклопните залемени споеви, бидејќи кај нив може да се менува големината на преклопот, а со тоа и површината на спојувањето. Челните залемени споеви не се димензионираат, нивите димензии се ограничени со димензиите на попречниот пресек.

За големина на преклопот на залемениот спој препорачливо е да изнесува од 3 до 6 пати од дебелината на потенкиот елемент, од елементите што се спојуваат. Поголема должина на преклопот не е потребна бидејќи зголемувањето на должина бара и зголемена потрошувачка на лем со што се поскапува производството. Ако се има предвид цената лемот (1 kg L-CuZn40 сса 50 \$, 1 kg L-Ag сса 250 \$), при голема серија на спојување на делови од економски аспект, се наметнува приоритетот за оптимална потрошувачка на лем, а при тоа и залемениот спој да има доволна јакост (носивост).

Големината на преклопот по препорака изнесува три до шест пати од дебелината на потенкиот елемент, $x = (3...6) d_{\min}$.

Точното определување на големината на преклопот се врши од аспект на димензиите на елементите кои се спојуваат со лемење, максималната затегачка јакост на основниот материјал и максималната јакост на смолкнување (сечење) на лемот. Равенките за пресметка на големината на преклопот x изведени се согласно со димензиите прикажани на слика XII.25.



Сл. XII.25. Определување на големината на преклопот

Големините прикажани во равенките се:

- | | |
|----------------------------------|---|
| x (cm) | - должина на преклопот, |
| v | - фактор на сигурност (најчесто $v = 2$), |
| σ_m (kN/cm ²) | - јакост на послабиот материјал што се спојува, |
| d (cm) | - дебелина на елемент од послаб материјал, |
| τ_m (kN/cm ²) | - јакост на смолкнување на лемот, |

XII.11. Лемење на бакарни цевни водови

Цевните водови од бакарни цевки со мали дијаметри се употребуваат многу често во градежништвото при изработка на инсталации за транспорт на ладна и топла вода, горивни гасови и слични флуиди. Голема е примената на овие цевки и при изработка на ладилните системи и други видови на топлино изменувачи во греењето и климатизацијата.

Спојувањето со лемење на овие цевки е еден од најчесто применуваните начини на нивно поврзување во целина.

Спојувањето со лемење, зависно од дијаметрите, намената и експлоатационите услови на цевната инсталација може да се изврши со меко и тврдо лемење. Вообичаено цевките во кои се транспортираат флуиди со помали притисоци и собни температури и доминантен естетски изглед на цевниот систем спојувањето се врши со мекото лемење. Инсталациите низ кои се транспортираат

флуиди со повисоки притисоци, лесно запаливи гасови или флуиди со многу високи или ниски температури, се изведуваат со исклучива примена на тврдото лемење. Тврдо залемените споеви се одликуваат со поголеми механчки карактеристики, но послаб естетски изглед во споредба со меко залемените споеви, слика XII.26.



а. меко залемен спој



б. тврдо залемен спој

Сл. XII.26. Изглед на спојот на телескопско залемени бакарни цевки

Меките лемови кои се користат за оваа намена вообичаено се во облик на жица или во облик на паста. За тврдо лемење се користат лемови исклучиво во облик на прачки, кои може да се без или со топител обложени односно исполнети.

Спојувањето на овој вид цевки вообичаено се изведува со преклопни т.е. телескопски споеви, при што на една од цевките и се зголемува внатрешниот дијаметар со посебен алат, а многу поретко се применува спојување со намалување на надворешниот дијаметар на цевката.

Вообичаено за составување на цевките во иста линија или под некој агол се користат посредни елементи: колена, рачви, муфови, редуцири и слично, кои се изработени со однапред дефиниран зјај, кој одговара на соодветниот надворешен дијаметар на цевките. Големината на зјајот и преклопот на цевките е опфатен и разработен во стандардот MKC Ц.Д2.321.

Без разлика на техниката на лемење со мек или тврд лем подготовката на површините за спојување се врши во повеќе фази и на исти начин. Така во првата фаза се врши сечење на цевките на определена должина со посебен секач. Во втората фаза се врши симнување на венцот и порамнување на челната пресечна површина и во третата фаза се врши механичко отстранување на оксидите од површините за спојување со употреба на метална четка, брусна хартија или посебен вид на ткаенина. На слика XII.27 се прикажани фазите на подготовка на цевките за спојување со лемење.



фаза 1



фаза 2

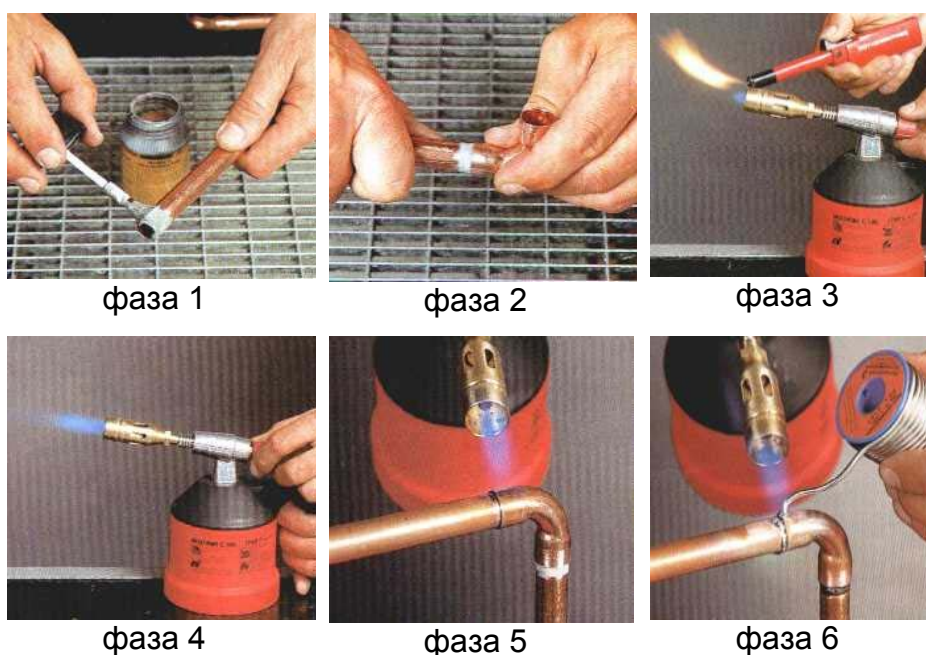


фаза 3

Сл. XII.27. Подготовка на површините за лемење

Спојувањето со меко лемење може да се изврши со гасен пламен, слика XII.28 или со електроотпорно загревање со уред во облик на клешта со графитни контактни електроди, слика XII.29. Самото спојување започнува со нанесување на топителот во облик на паста на претходно подготвената површина за спојување. Во фазата 2

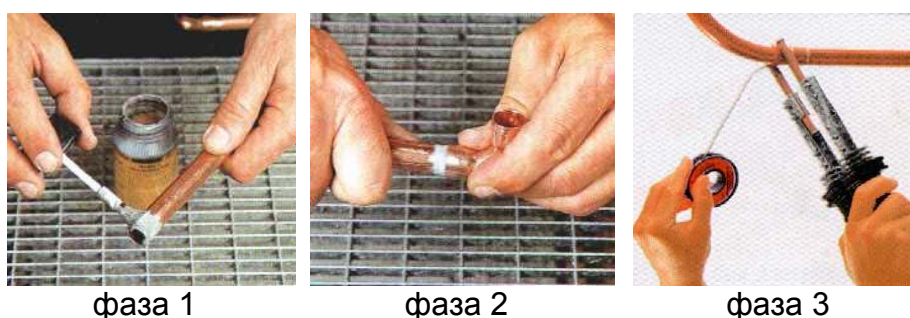
се склопуваат елементите кои ќе се спојуваат. Се пали гасниот пламен и се регулира протокот на гасот, односно видот на пламенот.



Сл. XII.28. Изведба на спојувањето со меко лемење со гасен пламен

Во фазата 5 се врши загревање на местото на спојување, со што се топи топителиот и се чисти површината. Откако ќе се постигне саканата температура на основните материјали, се додава и лемот и се продолжува со загревањето, околу 2÷4 минути додека лемот не навлезе по целиот преклоп.

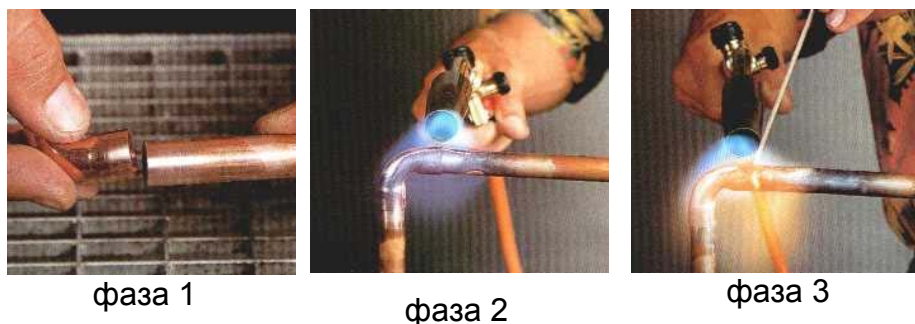
И при изведбата на загревањето со електричен отпор, спојувањето започнува со нанесување на топителиот во облик на паста на претходно подготвената површина за спојување. Во фазата 2 се склопуваат елементите кои ќе се спојуваат. Во фазата 3 се врши загревање на местото на спојување со контакт на графитните електроди врз местото на спојување, со што се топи топителиот и се чисти површината. Откако ќе се постигне саканата температура на основните материјали, се додава и лемот и се продолжува со загревањето, околу 2÷4 минути додека лемот не навлезе по целиот преклоп.



Сл. XII.29. Изведба на спојувањето со меко лемење со електроотпорно загревање

Изведбата на спојот со тврдо лемење може, исто така, да започне со нанесување на топителиот во облик на паста на претходно подготвената површина за спојување. Ако топителиот е нанесен на самиот лем, однадвор или внатре во прачката или се користи лем од групата CuP за кои не треба топителиот, спојувањето започнува со склопување на елементите кои ќе се спојуваат, фаза 1. По палењето на гасниот пламен се регулира протокот на гасот, односно видот на пламенот и во фазата 3 се врши загревање на местото на спојување, со што се топи топителиот и се

чисти површината. Со постигнување на потребната температура на основните материјали се додава лемот и се продолжува со загревањето, околу 2÷4 минути додека лемот не навлезе по целиот преклоп, фаза 3.

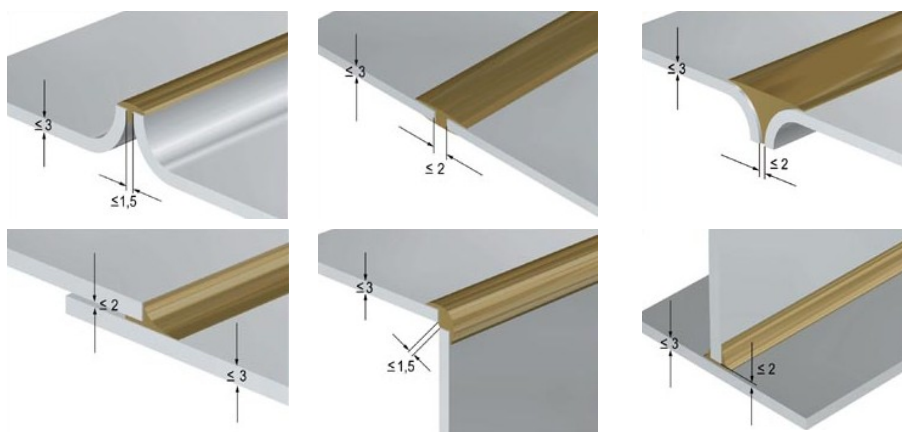


Сл. XII.30. Изведба на спојувањето со тврдо лемење со гасен пламен

XII.12. Лемење со електричен лак

Лемењето со електричен лак е техника на спојување позната од поодамна, но поради проблемот со одржувањето на стабилното горење на електричниот лак, таа помалку е употребувана. Во последните години значителен е напредокот во развојот и примената на лемењето со електричен лак. Самото лемење може да се изведе во три варијанти, и тоа како: електролачно лемење со топлива електрода во заштитна средина од гасови (МИГ/МАГ лемење), електролачно лемење со нетоплива електрода во заштитна средина од инертни гасови (ТИГ лемење) и лемење со плазмен лак.

Спојувањето со лемење со електричен лак е техника на спојување со која основните материјали многу малку термички се оптоваруваат, за самото спојување се троши многу помалку енергија, споредено со МИГ/МАГ или ТИГ заварувањето. Со лемењето со електричен лак може да се изведат сите видови на споеви во најразлични положби на лемење, слика XII.31.



Сл. XII.31. Видови залемени споеви изведени со електричен лак

Лемењето со електричен лак најчесто се користи за спојување на: поцинкувани или галванизирани лимови и профили, елементи од ниско и високолегирани челици, како и за спојување на елементи од разнородни материјали (бакар со челик, алуминиум со челик).

Лемењето се изведува со додатни материјали, лемови во облик на жица или прачка, најчесто од групата на легури: CuSi и CuAl. При лемењето вообичаено не се користи топители, а заштитната средина е гасна, најчесто аргон (Ar), но во примена се и гасни смеси од типот: Ar + O₂, Ar + CO₂ и Ar + He, зависно од видот на основниот материјал.

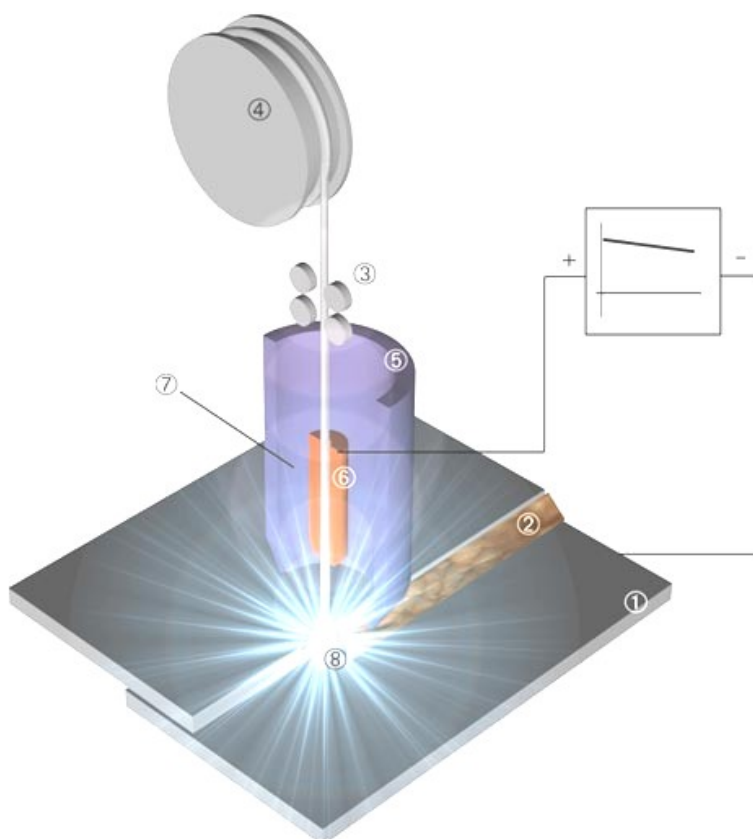
XII.12.1. МИГ/МАГ лемење со електричен лак

Кај МИГ/МАГ лемењето електричниот лак се воспоставува и гори стабилно со точно определено протекување на струјата помеѓу работните парчиња и додатниот материјал, слика XII.32. Електричниот лак гори во заштитна гасна средина од чист аргон или мешавина на аргон со активни компоненти O_2 или CO_2 во содржина до околу 1 %.

Додатниот материјал е најчесто жица со мал дијаметар, до околу 1 mm, која е намотана на барабан и континуирано се додава. Зависно од видот на основните материјали, додатниот материјал, лем, најчесто е $CuSi3$ или $CuAl8$. При лемење на елементи од алуминиум и алуминиумски легури може да се користи лем во облик на полнета жица, наполнета со соодветен топител.

МИГ/МАГ лемењето со електричен лак се употребува исклучиво еднонасочна струја со индиректен поларитет (+ на додатниот материјал) и помал интензитет, при што поинтензивно се загрева и се топи само електродната жица од лем. Растопениот лем низ столбот на лакот во гасна заштитна атмосфера се нанесува, прокапува врз загреаните основни материјали и пред да кристализира делумно дифундира во нив со што го остварува залемениот спој.

Изворот на струја за лемење е инвертор за еднонасочна струја, кој има благоопаднувачка карактеристика, и со него може да се работи со кус и пулсен електричен лак.



1. Основни материјали, 2. Залемениот спој, 3. Механизам за дотур на жица - лем,
4. Барабан со жица, 5. Горилник, 6. Контактна чаура, 7. Заштитен гас, 8. Електричен лак

Сл. XII.32. МИГ/МАГ лемење со електричен лак

МИГ/МАГ лемењето може да се изведе како рачно или роботизирано. При роботизираното лемење, поради лемењето без прекин на поголеми должини, загревањето на горилникот е поинтензивно. Горилниците за роботизирано лемење често пати дополнително, принудно се ладат со вода.

XII.12.2. Спојување на поцинкувани елементи со лемење со електричен лак

Примената на поцинкуваните елементи, тенки лимови и ладнообликувани профили, е се' поголема во: автомобилската и железничката индустрија, домаќинството и прехранбената индустрија, градежништвото и архитектурата. Поцинкувањето, нанесувањето на површински слој од цинк со дебелина од 1 до 30 μm , се прави со цел да се зголеми антикорозивноста на елементите и во некои случаи да се подобри визуелниот изглед.

Спојувањето на поцинкуваните лимови и профили со конвенционалните постапки на спојување се одвива многу тешко. Основен проблем при спојувањето е ниската температура на топење (420 °C) и испарување (906 °C) на цинкот. Цинковите пари навлегуваат во електричниот лак и во голема мера го нарушуваат неговото стабилно горење. Нестабилниот лак предизвикува појава на пори и пукнатини во спојот и распрскување на растопениот додатен материјал во околината. Се добиваат споеви со многу лош квалитет, на кои им е потребна дополнителна обработка.

Спојувањето на поцинкуваните елементи денес успешно се прави со техниките на лемење со електричен лак, од кои најприменувано е МИГ/МАГ лемењето, а помалку применувани се ТИГ и лемењето со плазмен лак.

МИГ/МАГ лемењето на поцинкуваните елементи денес е широко застапено благодарение на примената на новините во електрониката, врз основа на кои се конципирани новите уреди за заварување и лемење, во кои се вградени високоенергетски транзистори, микропроцесори и инвертори.

Изворите на струја за лемење се со благоопаднувачка карактеристика, а електричниот лак гори со пулсна струја со посебен облик. При оптимално избрани параметри пренесувањето на растопениот додатен материјал е во циклус по една растопена какпа за еден пулс, подетално објаснето во насловот VI.2.3. Обликот на пулсот зависи од видот на додатниот материјал, лемот, и од видот на заштитната гасна средина.

Со пулсен електричен лак при МИГ/МАГ лемењето се внесува и до десет пати помало количество топлина, споредено со МИГ/МАГ заварувањето, при иста количина на растопен материјал.

Поради малото внесено количество на топлина, многу мал дел од поцинкуваниот слој се топи и испарува. Дел од растопениот цинк се врзува со растопениот додатен материјал, лем, кој најчесто е легура CuSi3 или CuAl8 , со што и залемениот спој останува антикорозивен. Малото количество на испарен цинк скоро нема влијание врз стабилноста на електричниот лак, а со тоа не се јавуваат пори и пукнатини во спојот и распрскување на растопен метал.

При пулсно дејство на електричен лак, потребно е изворот на струја да поддржи стабилно горење на електричниот лак и при многу мали струи, што со конвенционалните уреди за заварување е многу тешко. Од страна на познатата компанија Fronius е развиен посебен уред за МИГ/МАГ лемење, познат како Synergic TPS 330/450. Уредот е снабден со електронски мемориски дел во кој се сместени голем број готови програми за соодветна комбинација на основни материјали, додатни материјали и заштитна гасна средина. Со избор на соодветната комбинација, уредот работи по соодветниот однапред дефиниран режим и соодветен облик на пулсот. На уредот постои можност и самостојно да се програмираат режимот и циклусот на лемење, при што постои можност да се изберат и оптимираат до 30 параметри. Лемењето се врши со основна струја од 20 A и пулсна од 40 до 130 A при фреквенција до 100 kHz и брзина на лемење од 70 до 100 cm/min.

Електричниот лак треба да е со мала должина, за да се намали влијанието на испарениот цинк. Одржувањето на малата должина треба да ја поддржи самиот

уред, односно делот за довод на додатниот материјал, жицата, со брзи промени на брзината на дотур на жицата. Поради малата тврдина на жицата, лемот, за да не дојде до нејзино деформирање и заглавување, уредот за довод на жицата е усовршен. Транспортот на жицата се врши со два пара профилирани тркалца, кои се поставени под агол, со што контактната површина со жицата се зголемува и се остварува пренос при помала сила на притисок. За да се намали отпорот на триење помеѓу жицата и тркалцата, тие се обложени со тефлон или пластика со графит.

Залемениот спој изведен со пулсен лак е со многу повисок квалитет, и деформациите кои се јавуваат по лемењето се минимални, поради малото термичко оптоварување на основните материјали.

Врз квалитетот на залемениот спој, особено врз распрскувањето на растопениот метал, влијание има и составот на заштитната гасна средина. Ако се работи со чист аргон (Ar), спојот е со полош квалитет (слика XII.33.a.), се јавува распрскување. Но со додавање на O₂ или CO₂ до 1 %, стабилноста на лакот се подобрува, а со тоа значително се намалува распрскувањето на растопениот метал (слика XII.33.б.).

Механичките особини на залемениите споеви се повисоки од особините на основните материјали. Со испитувања е утврдено кинење во основниот материјал на околу 20 mm од спојот и свиткување под агол до 180° без појава на пукнатини во спојот.



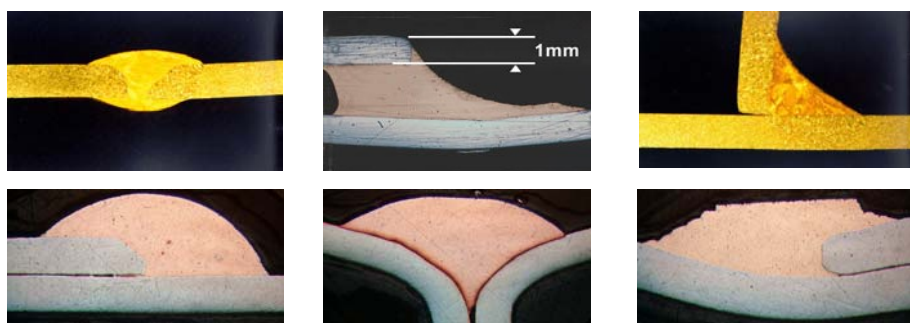
а. Залемено со Ar

б. Залемено со Ar +1%O₂

Сл. XII.33. Влијание на заштитната средина врз изгледот на спојот

XII.12.3. Примена на МИГ/МАГ лемењето на поцинкувани елементи

Со МИГ лемењето успешно се спојуваат поцинкувани елементи во најразлични споеви и положби, слика XII.34.



Сл. XII.34. Видови МИГ/МАГ залемени споеви

Примената на МИГ/МАГ лемењето за спојување на поцинкувани елементи и елементи од незаштитени високолегирани челици е голема и разновидна. Некои примери за примената на МИГ/МАГ лемењето се прикажани на слика XII.35.



Сл. XII.35. Примери на МИГ/МАГ залемени споеви на поцинкувани елементи

Главна и најголема примена МИГ/МАГ лемењето има при производство на автомобили, при изработка на различни делови од каросеријата, слика XII.36.

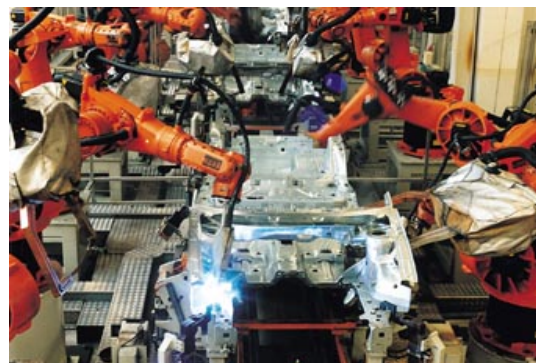


Сл. XII.36. МИГ залемени поцинкувани елементи од каросерија на возило

Во производството на возилото Golf IV спојувањето со роботизирано МАГ заварување во целост е заменето со рачно МИГ/МАГ лемење, слика XII.37.а. При спојување со МАГ заварување на лимовите од каросеријата со дебелини од 0,7 до 1,5 mm често се јавуваат прегореници во спојот. Поправката на тие локалитети се изведува исклучиво рачно и за неа е неопходно потребно подолго време и дополнителен работен ангажман. Со воведување на рачното МИГ/МАГ лемење овие проблеми се надминати. Залемениите споеви се со висок квалитет. За подобрување на економичноста и за постигнување постојан квалитет воведена е роботизација на процесот на МИГ/МАГ лемењето, слика XII.37.б.



а. Рачно МИГ/МАГ лемење



б. Роботизирано МИГ/МАГ лемење

Сл. XII.37. МИГ/МАГ лемење во производството на Golf IV

XIII СПОЈУВАЊЕ СО ЛЕПЕЊЕ

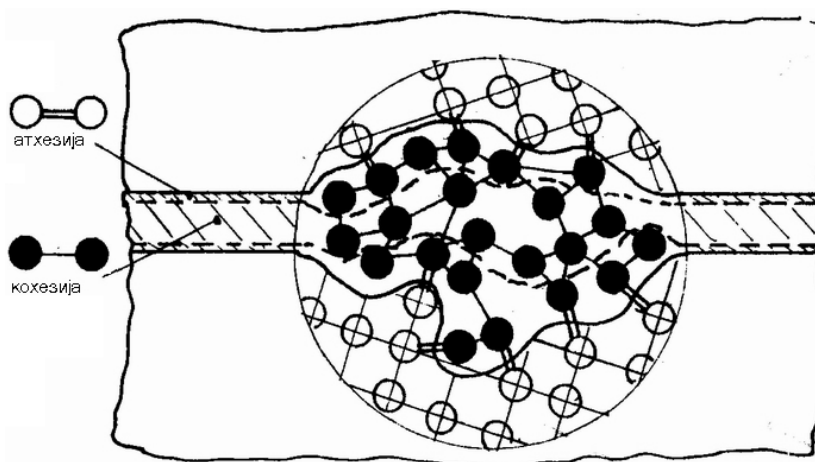
Лепењето како техника на спојување на порозните материјали (дрво, кожа и слични) со природни материјали за лепење од животинско и растително потекло било познато 3000 години п.н.е. Но за лепење на металите првпат се зборува во почетокот на Втората Светска војна. Во 1940 година започнато е со лепење на елементи во авиоградбата со помош на синтетички органски материјали за лепење.

Под лепење се подразбира процес на создавање на цврста неразделна врска помеѓу цврсти основни материјали (метални или неметални) со помош на синтетички додатен материјал, лепило, под дејство на **атхезивни** и **кохезивни** сили.

Атхезивните сили дејствуваат на границата помеѓу основните материјали и додадниот материјал. Тие се резултат на дејствување на физички и хемиски врски на лепилото со основниот материјал. Атхезивните сили имаат максимално дејство кога лепилото е разлеано по целата површина, односно доаѓа до т.н. разлевање или омрежување. Интензитетот на атхезивните сили зависи од видот на основниот материјал, видот на лепилото, состојбата на површината која се лепи и слично.

Кохезивните сили дејствуваат во самиот додатен материјал, лепилото, и се резултат на физичко-хемиски процес на стврднување на лепилото. Интензитетот на кохезивните сили зависи од количината и видот на лепилото и неговата подготовка пред употреба.

На сликата XIII.1. е даден шематски приказ на формирање на залепен спој и дејствувањето на атхезивните и кохезивните сили.



Сл. XIII.1. Создавање на залепен спој

XIII.1. Технологија на спојувањето со лепење

Технологијата на изведба на спојувањето со лепење се состои од повеќе активности и тоа:

- подготовка на површините за лепење,
- подготовка на избраното лепило,
- нанесување на подготвеното лепило врз подготвените површини,
- стврднување на лепилото, создавање на залепен спој.

Во текстот што следи ќе биде објаснето од што се состои секоја од овие активности и како се реализира таа.

Подготовка на површините за лепење, се врши со цел да се создадат услови за појава на атхезивни сили со поголем интензитет. Подготовката на површините се состои од отстранување на: масти, нечистотии, талози, оксиди и слично. Отстранувањето може да биде на механички, хемиски или електрохемиски начин.

Механичкото чистење се врши со метални четки, со брусна хартија, со вибрации и удари. При ова да се нагласи дека, покрај чистењето, површината добива и рапава форма, што води кон појава на поголема механичка адхезија. На ваков начин се чистат челични материјали и предмети со едноставен облик и димензии.

Ако предметите кои ќе се лепат се со мали димензии, пред се', дебелина, и се со сложен облик, тогаш чистењето е по хемиски пат со потопување на целото или дел од парчето во када со средство за хемиско чистење. Чистењето може да биде и со задржување на парчето во комора во која има средство за чистење во гасна форма. Средставата за хемиско чистење најчесто се растворачи на оксиди и други хемиски соединенија, кои се формираат на површината на работниот предмет.

Ако основниот материјал од кој се изработени работните парчиња е со специфични особини, како алуминиум, титан и нивните легури, тогаш чистењето најдобро се врши на електрохемиски начин. Ваков начин на чистење се применува и при подготовката на површините за лепење на кои има мал слој од некој благороден метал, како злато или платина. Ова е особено присутно при изработката на накит.

Особено е специфично подготвувањето на површините за лепење на полимерните материјали. Површината се нагризува по хемиски пат и потоа се мие во алкохол. Во средината на осумдесетите години за подготовка на површините за лепење на полимерни материјали е патентирана постапка со обработка на површината со млаз од плазма, позната под името Plasma Gun.

Без разлика на каков начин ќе се подготви, исчисти површината за лепење, на крајот пред самото нанесување на подготвеното избрано лепило, се врши миење во ултразвучна када со алкохол, со цел да се отстранат заостанатите маснотии и механички нечистотии.

Подготовка на избраното лепило, се врши со цел да се зголеми интензитетот на кохезивните сили. Самата подготовка на лепилото зависи, пред се', од видот, количината и обликот во кој се наоѓа тоа.

Двокомпонентните реактивни лепила, едноставно се мешаат во определен сооднос непосредно пред нанесувањето, употребата.

Топливите лепила непосредно пред употребата се загреваат и се топат со различни топлински извори.

Другите видови лепила се раствораат со ратворувач или со вода при што се добива лепило во течна состојба.

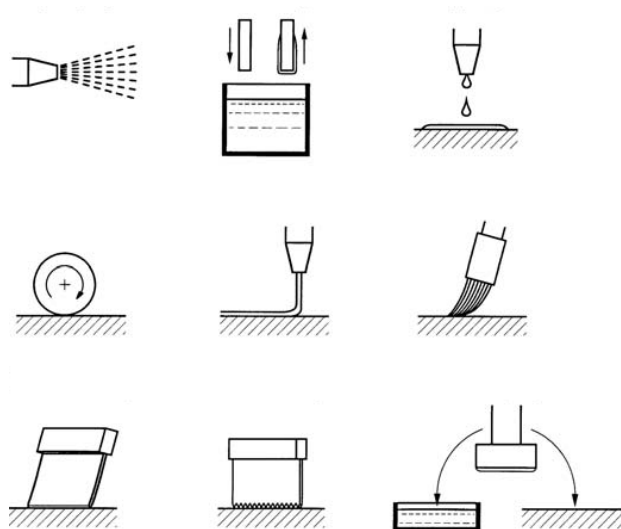
Скоро на секое пакување (кутија, туба, лента, прачка) производителот на лепилото дава информации за: употребата, намената, начинот на подготовка на лепилото и начинот на негово нанесување.

При подготовка на лепилото треба да се внимава доведувајќи го во течна состојба, тоа да не се помеша со воздух. Присуството на воздух во лепилото ќе предизвика појава на меури, а на крајот и појава на порозен залепен спој. За да се спречи ова, се врши бавно и рамномерно мешање на лепилото. Мешањето може да биде рачно, за помали количини, или машинско за поголеми количини. Пред самото нанесување на подготвената површина, лепилото може да се стави во вакуум комора, за да се извлече заостанатиот воздух.

Нанесување на подготвеното лепило врз подготвените површини се врши рачно или машински автоматизирано со дозери во точно определена количина.

Нанесувањето на лепилото може да биде со шприцање, распрскување, со потопување, со капење, со налевање, со премачкување со четка или шпакла, со валање и слично, слика XIII.9.

Нанесениот слој од лепилото треба да е со определена дебелина, обично зависна од видот на лепилото и не е поголема од 100-200 μm , бидејќи дебелината на нанесениот слој влијае врз јакоста на залепениот спој, слика XIII.6.



Сл. XIII.2. Начини на нанесување на лепилото

Стврднување на лепилото, создавање на залепениот спој. Лепилото се нанесува обично на едниот елемент, од двата кои се спојуваат со лепење. Тој елемент пред да му се нанесе лепилото се фиксира во стега или држач. По нанесувањето на лепилото и неговото рамномерно распоредување, се поставува и вториот елемент и на крајот се врши притисок врз елементите со тег или со стега. Вака поставените елементи, зависно од видот на лепилото, се оставаат: на собна температура, се поставуваат во печка или се изложни на струја од топол воздух, определено време, со цел да се стврдне лепилото. Со стврднување на лепилото се остварува залепениот спој. Зависно од намената на спојот и барањата за негова јакост, стврднувањето може да биде на собна температура при долго време, со што вообичаено се добива спој со мала јакост. За добивање на спој со поголема јакост, стврднувањето на лепилото вообичаено е на повисока температура за пократко време.

XIII.2. Додатни материјали за спојување со лепење, лепила

На почетокот најголема примена имале лепилата од животинско и растително потекло. Но овие лепила не се отпорни на влага и други атмосферски влијанија. Поради тоа примената на природните лепила е ограничена, а тоа придонело да се развие нова група на т.н. лепила врз база на синтетички смоли и други материјали. Фенолформалдехидите се првите синтетички лепила, а подоцна е започнато со употреба и на епоксидни смоли.

Денес постои палета од огромен број на лепила. Така, во VDI 2229 забележани се 174 видови, а на пазарот се среќаваат под различни имиња преку 10000 разновидни лепила.

Лепилата може да се класифицираат врз најразлична основа; така, според намената се разликуваат лепила: за дрво, за метали, за полимерни материјали, за општа употреба (хартија, текстил, гума, стакло) и друга намена.

Според обликот во кој се испорачуваат лепилата може да бидат: во течна или цврста состојба, а понекогаш и во облик на паста или прашок.

Според температурата на која се остварува залепената врска, се разликуваат лепила за:

- ниски температури, пониски од 20 °C,
- собна температура, од 20 до 30 °C,
- за средна температура, до 100 °C,
- за зголемена температура, преку 100 °C,

Според начинот на лепење, условите на остварување на залепениот спој, лепилата може да бидат:

- без примена на притисок и температура, при долго или кратко време,
- врз основа на хемиска врска,
- со примена на растворувачи,
- со дејство на притисок и сила.

Според потеклото, лепилата може да бидат:

- природни, животински и растителни,
- синтетички, органски и неоргански.

Врската при лепењето се создава:

- Со хемиска реакција во лепилото, со што доаѓа до негово стврднување. Овие лепила се познати уште и како реактивни лепила,
- Со физичка промена на лепилото. Кај овој вид на лепила, најчесто од групата на полимери, со помош на растворувач, вода или растопување, лепилото станува течно и по нанесувањето од него испаруваат додадените компоненти или со ладење пак се стврднува со што се формира залепениот спој.

XIII.2.1. Реактивни лепила

Оваа група на лепила се состојат од мономерни, кои со хемиска реакција градат еден полимер, со што се стврднуваат и градат залепен спој.

Два мономера може да се измешаат и пред лепењето и тогаш велиме дека станува збор за двокомпонентно реактивно лепило.

Времето на стврднување на лепилото зависи од температурата, со зголемување на температурата се намалува времето на стврднување и обратно. Овие лепила најчесто се стврднуваат на собна температура за време од неколку минути. Позначајни реактивни лепила се: епоксидни смоли, полиуретан кој може да биде еднокомпонентен или двокомпонентен, акрилати, фенолни смоли, силикони и други.

XIII.2.2. Физички променливи лепила

Кај оваа група на лепила при создавањето на врската не се одвива хемиска реакција. Врската се создава со промена на некои физички карактеристики на лепилото. Во оваа група спаѓаат:

- топливи лепила,
- лепила со растворувач,
- контактни лепила,
- дисперзивни лепила.

Топливите лепила со загревање стануваат течни, се нанесуваат на подготвената површина за лепење и за многу кратко време се ладат и стврднуваат, со што се формира залепениот спој. При лепењето на некои метални материјали за да се подобри квалитетот на залепениот спој, може да се примени и предгревање на истите.

Лепилата со растворувач се течни и нивното стврднување, а со тоа и создавање на залепениот спој, започнува со делумно или целосно испарување на растворувачот. Растворувачот често пати е лесно запалив и потешок од воздухот, па при работа со овој вид на лепила треба да се посвети поголемо внимание на заштитата.

Контактните лепила се, исто така, со помош на растворувач во течна состојба. Но до нивно стврднување доаѓа при делумно испарување на растворувачот под дејство на висок притисок врз местото на спојување.

Дисперзивните лепила се во течна состојба, а како растворувач кај нив се користи обична или дестилирана вода. Залепениот спој настанува со целосно испарување на водата при собна температура и атмосферски притисок.

XIII.3. Избор на додатен материјал за лепење, лепило

Од мноштвото на лепила кои се познати навистина е тешко да се изврши правилен и соодветен избор, особено при лепењето на разновидни материјали, како метални со неметални и слично.

За да се изврши правилен избор на лепилото, потребно е да се воспостават критериуми за негов избор. За кој вид на лепило ќе се определиме зависи од видот на лепилото, како се подготвува и како се стврдува. Исто така, зависи и од природата на основните материјали кои се лепат, обликот, димензиите и количината на предметите кои се лепат. Влијание има и видот на спојот, условите на експлоатација, јакоста која се бара од залепениот спој.

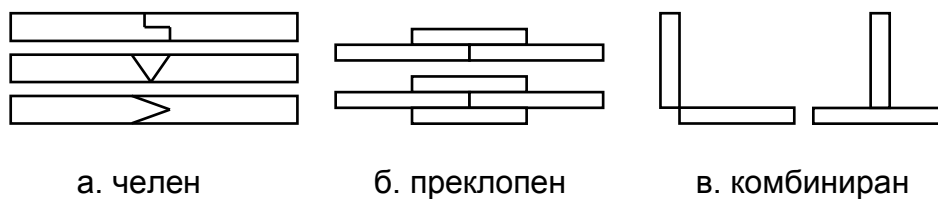
Од вака голем број на барања кои треба да ги исполни лепилото, навистина е тешко брзо и оптимално да се изврши избор. За таа цел денес постојат повеќе развиени софтверски пакети, поддржани од голем број на бази со податоци за лепилата, со чија помош може да се забрза процесот на избор на соодветно лепило во соодветен случај. Во табелата XIII.1. дадени се особините на некои од најчесто применуваните лепила.

Табела XIII.1. Видови лепила со нивните карактеристики

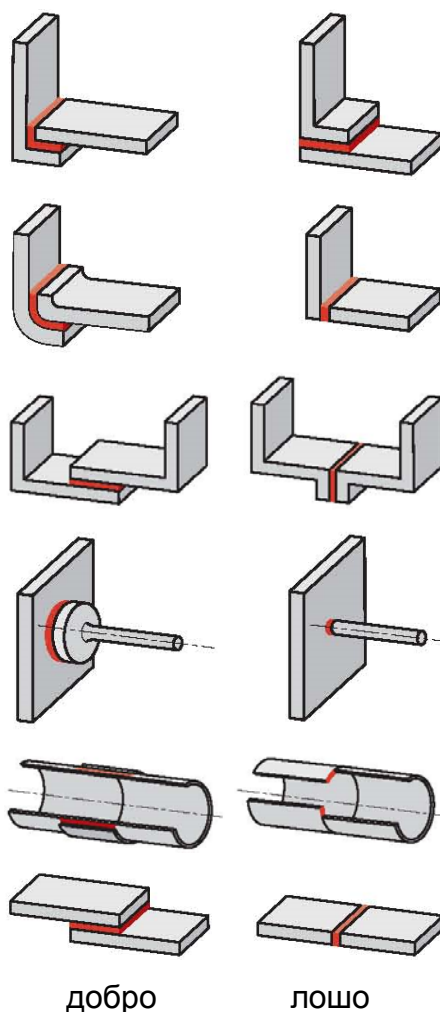
| Особини | битни за подготвката на лепилото | | | | битни за примената на лепилото | | |
|-----------------|----------------------------------|----------|---------------------|----------------|--------------------------------|------------|------------------------|
| | Вид лепило | состојба | компоненти | природа | нанесувањена | вискозност | T _{max} °C |
| Епоксидна смола | течна, паста, прачка | 1 | хемиски | топло | многу висока | 150 | добра |
| Епоксидна смола | течна, паста, прачка | 2 | хемиски | ладно | висока | 100 | добра |
| Фенолна смола | течна, паста, прачка | 1 | хемиски | топло | висока | 120 | многу добра |
| Полиимиди | течна, паста, прачка | 1 | хемиски | топло | висока | 300 | добра |
| Матакрилати | течна, паста, | 2 | хемиски | ладно | висока | 100 | добра |
| Цианакриллати | течна | 1 | хемиски | ладно | средна | 80 | средна |
| Анероби | течна | 1 | хемиски | ладно | средна | 150 | средна |
| Полиуретани | течна, паста, | 1 и 2 | хемиски | ладно топло | средна | 100 | средна |
| Топливи | прачка | 1 | физички | топло | средна | 140 | средна |
| Пластични | течна, паста, прачка | 1 | физички | топло | ниска | 90 | средна |
| Аноргански | течна, паста, прачка | 1 и 2 | хемиски или физички | ладно топло | висока | >1000 | многу добра |

XIII.4. Видови залепени споеви

Со лепење може да се изведат сите основни видови споеви, прикажани на слика XIII.2. Разновидни конструктивни решенија на споеви изведени со лепење, прикажани се на слика XIII.4.



Сл. XIII.3. Видови залепени споеви



Сл. XIII.4. Конструктивни решенија на споеви изведени со лепење

XIII.5. Особини на залепените споеви

Јакоста на еден залепен спој зависи од големината на атхезивните и кохезивните сили.

Атхезивните сили најмногу зависат од механичката атхезија (од рапавоста на површината на основните материјали) и од специфичните атхезии од физичките и хемиските предуслови (оксидите на површината, деформабилноста на површината и слично).

Кохезивните сили зависат од видот на лепилото и неговата правилна подготовка, хомогено мешање на составните компоненти.

Според јакоста која ја имаат залепените споеви може да се класифицираат во три групи, и тоа:

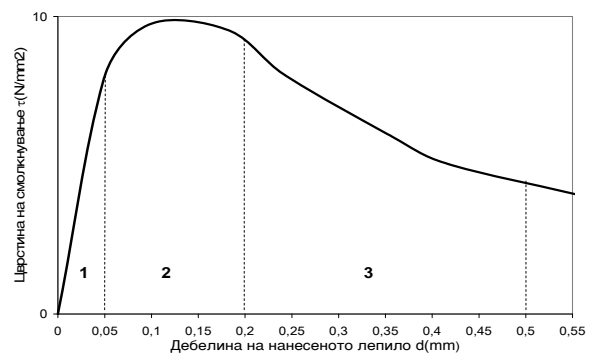
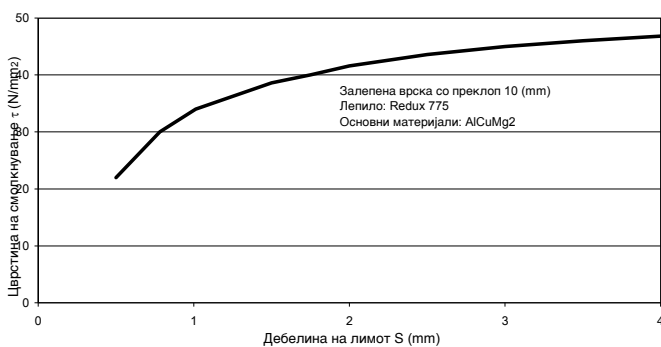
- Залепени споеви со мала јакост, со $\tau_B \leq 5 \text{ N/mm}^2$. Овие споеви работат во постојани климатски услови, без контакт на вода и хемикалии. Најчесто се применуваат за спојување во прецизната механика, електрониката, во изработката на накит, изработката на мебел и слично.

- Залепени споеви со средна јакост, со $\tau_B = 5 \div 10 \text{ N/mm}^2$. Овие споеви работат во масло и блага промена на околната средина. Најчесто се применуваат за спојување во машиноградбата и автомобилската индустрија.

- Залепени споеви со голема јакост, со $\tau_B > 10 \text{ N/mm}^2$. Овие споеви работат во лоши услови и агресивна околна средина. Најчесто се применуваат за спојување во автомобилската индустрија, во авиоиндустријата, бродоградбата и изработката на резервоари.

Јакоста на една залепена врска зависи од повеќе геометриски и физички фактори, и тоа од:

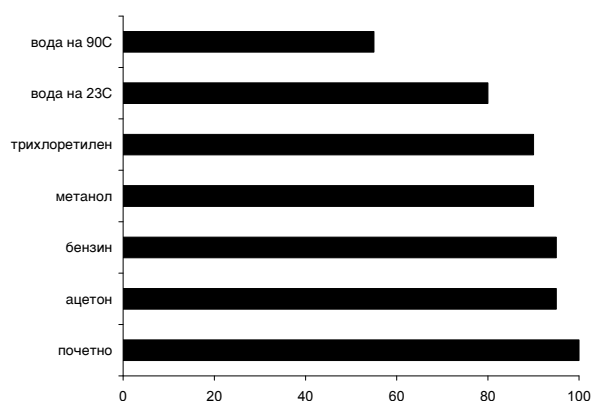
- дебелината на основните материјали и големината на преклопот, слика XIII.5.a.,
- дебелината на нанесениот слој од лепилото, слика XIII.5.б.,
- влијанието на околината во која се наоѓа залепениот спој, слика XIII.6.
- температурата на експлоатацијата.



а. од дебелината на основните материјали

б. од дебелината на слојот од лепило

Сл. IV .5. Влијание на јакоста на залепената врска

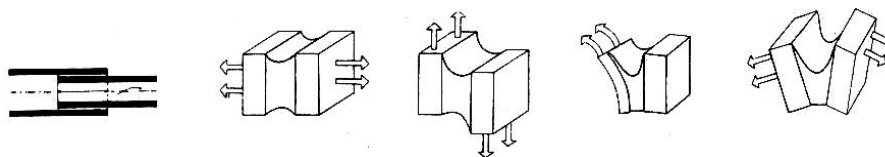


Сл. XIII.6. Намалување на јакоста на врска по 60 дена експлоатација во различна работна средина (околина)

Изразено е и влијанието на температурата и времетраењето на експлоатацијата. Така по една до една и пол година експлоатација при номинално постојано оптоварување, кај определени видови на лепила доаѓа до значително

намалување на нивната јакост, кај фенол смолата е до 10 %, кај топло залепените споеви со епоксидна смола до 20 % и кај ладно залепените споеви со епоксидна смола до 50 %.

Залепените споеви може да примаат разновидни оптоварувања, како торзија, затегнување, смолкнување, сечење и слично, слика XIII.7.



Сл. XIII.7. Видови оптоварувања кои ги носат залепените споеви

XIII.6. Предности и недостатоци и примена на спојувањето со лепење

Како предности на спојувањето со лепење во однос на другите техники за спојување, би ги издвоиле:

- може да се спојуваат разновидни материјали, сите комбинации од метални и неметални материјали,
- се спојуваат делови со сложен облик од разновидни материјали и со различни димензии,
- нема загревање на основните материјали, а со тоа и опасност од структурни промени во нив,
- спојот се одликува со рамномерен распоред на напоните по целиот пресек, спојот во голем дел ги придушува вибрациите и е добар изолатаор на топлина и електрицитет,
- скоро воопшто не ја зголемува масата на готовиот дел,
- спојот е компактен и непрпуслив на течност и гас,
- неспоредливо најевтина техника на спојување на материјалите.

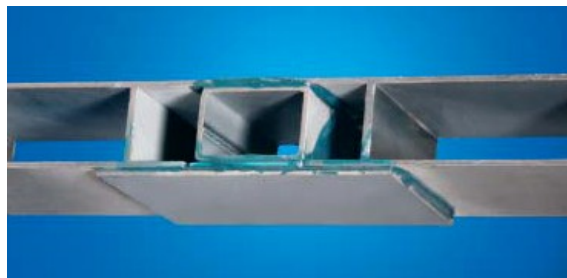
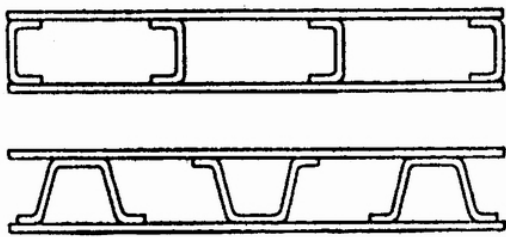
Покрај многуте предности, техниката на спојување со лепење и залепените споеви имаат и некои недостатоци, од нив за потенцирање се:

- јакоста на залепениот спој е ограничена и релативно мала и таа со текот на времето се намалува,
- залепениот спој е чувствителен на промена на температурата, на дејствување на хемиски реакции и слично,
- во некои случаи подготовката и изведбата на лепењето се сложени, се бара посебна подготовка на површините, а и лепењето се одвива под определена температура и притисок,
- утврдување на квалитетот без разорување на залепениот спој скоро и да не постои,
- се' уште не постои аналитички начина за предвидување, пресметка на јакоста на залепениот спој кој е во долгогодишна експлоатација.

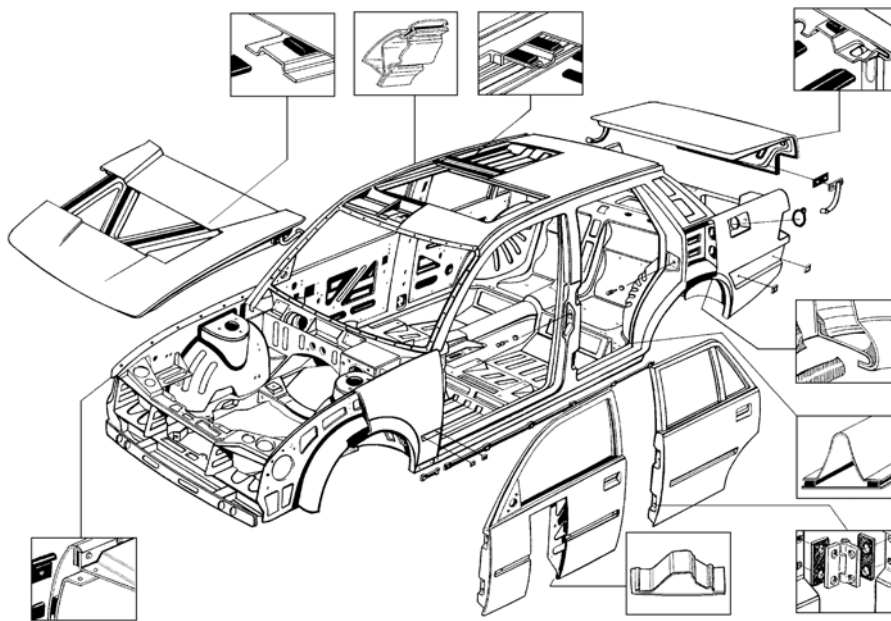
Но, и покрај сите овие предности и недостатоци, огромна е примената на спојување со лепење во машиноградбата, преку автомобилската, авиоиндустријата и бродоградбата, до примената при изработка на вселенски летала и сателити. Но не е незанемарлива и примената на лепењето во електротехниката и електрониката, како и во другите области од човековото живеење.

Така во машинството со лепење се изаботуваат лесни т.н. сендвич конструкции и профили, слика XIII.8.

Во автомобилската, транспортната и авиоиндустријата, најчесто е спојувањето на метални со неметални материјали при градбата на каросериите, обложување на внатрешноста од возилото, спојување на прозорските рамки и слично, слика XIII.9.

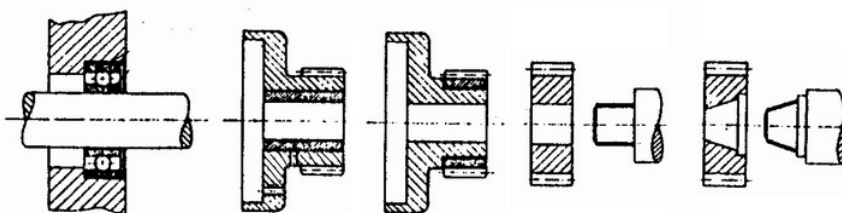


Сл. XIII.8. Залепени сендвич профили



Сл. XIII.9. Спојување со лепење во градба на автомобилска каросерија

Но не само секундарни елементи, со лепење се спојуваат и елементи кои се со големо оптоварување и големо значење за возилата, како на пример: лепењето кај кочниците и ламелите, или лепењето за прицврстување на лежиштата за ракавци или запченици за ракавци и слично, слика XIII.10.



Сл. XIII.10. Примери за спојување со лепење на разни машински елементи

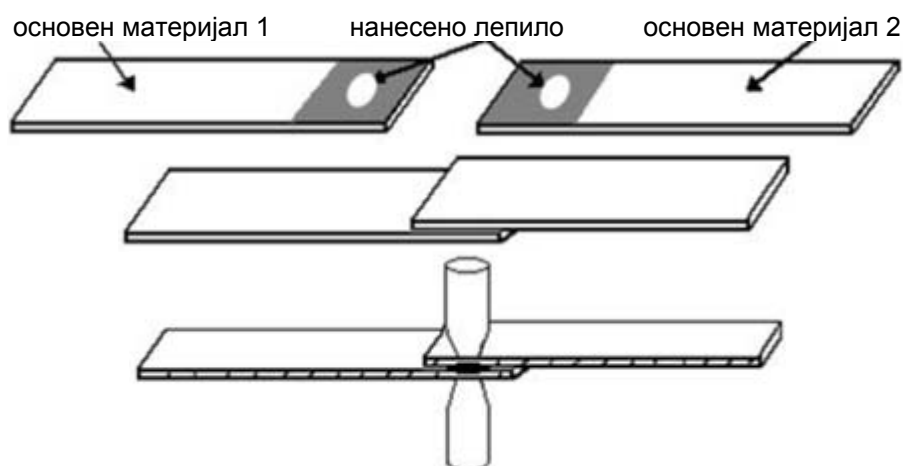
XIII.7. Хибридно спојување со лепење и заварување

Хибридното спојување со лепење и заварување со електричен отпор во точка е произлезено од употребата на лепењето за заптивање - непропусливост. Заварените точки имаат поголема јакост и тие се носители на товарот, а залепениот спој ја обезбедува заптивноста на испрекинатиот точкест заварен спој.

На почетокот лепењето се користело само во делот за поправка на заварени споеви, за да се обезбеди заптивност. Општо позната е примената на т.н. „течни метали“ за спојување на мали резервоари, но во основа станува збор за репаратурно спојување со лепило во кое е додадена боја, за да наликува на бојата на металот (најчесто светло сребрена или сива боја).

Денес под хибридно спојување со лепење и заварување се подразбира технолошки изведена врска, при која најчесто прво се изведува заварувањето во точки, а потоа по целата должина на преклопот се врши лепење.

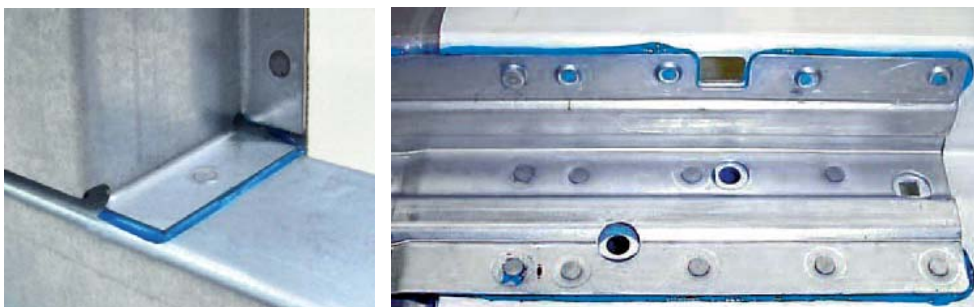
Во поновите истражувања прикажани се резултати на едновремено заварување во точки и лепење. Лепилото се наноси помеѓу преклопените површини и додека истото не е зацврзнато, не е оформен залепениот спој, се врши заварување со електричен отпор во точка. При тоа под дејството на притисокот од електродите, течното лепило се истиснува од контактните зони меѓу металите и настанува заварувањето во точка, слика XIII.11.



Сл. XIII.11. Хибридно спојување со лепење и заварување во точка

За преклопно спојување на поголеми површини се применува комбинацијата од лепење и заварување со електричен отпор на релјефни површини, на кои предходно се изработени релјефи, брадавици, рирчиња, преку кои се воспоставува металниот контакт и на чие место се формираат заварените точкести споеви.

Ова хибридно спојување се користи при изработка на резервоари со мала зафатнина и за секундарни спојувања во индустријата за изработка на транспортни возила: патнички возила, патнички вагони, мали авиони и слично, слика XIII.12.



Сл. XIII.12. Примери за спојување со лепење и заварување во точка

ЛИТЕРАТУРА

Глава I

1. N.N.: DIN 8580, Fertigungsverfahren- Begriffe, Einteilung, S. 1-13, 2003-09
2. N.N.: DIN 8593, Fertigungsverfahren Fügen-Teil 0: Allgemeines; Einordnung, Unterteilung, Begriffe, S. 1-5, 2003-09
3. N.N.: Guide to Welding, General View of Welding Processes, 1st Edition, DVS, 1985

Глава II

1. N.N.: A History of Welding & Brazing, www.weldinghistory.org
2. M.Greitmann: Welding through the Ages, Hochschule Esslingen, 1-75, 2013
3. N.N.: Welding, Historical Perspectives and Process Description, IARe Monographs Volume 49, pp. 447-455, 1990
4. A.N.Konjenko: Stogodišnjica prvog elektrolučnog zavarivanja, Zavarivač, DZS, XXVI, s. 40-44, 1981
5. K.Weman: A History of Welding, Svetsaren, The ESAB Welding and Cutting Journal, Vol. 59, No.1, pp. 32-35, 2004
6. B.Irving: Electron Beam Welding, Soviet Style: A Front Runner for Space, Welding Journal, Vol. 67, No. 7. pp. 55-59, 1991
7. N.N.: Mehr Möglichkeiten mit CMT Advanced, Velding+Vision, Fronius, Magazin für Schweißtechnik, Nr. 23. S.10-11, Nov. 2009
8. N.N.: CMT TWIN : Das Schnellste art zu Schweißen, Velding+Vision, Fronius, Magazin für Schweißtechnik, Nr. 27. S.10-11, April 2012
9. N.N.: DIN EN 14610, Schweißen und verwandte Prozesse-Begriffe für Metallschweißprozesse, Beuth Verlag GmbH, S. 1-96, 2005
10. N.N.: DIN EN ISO 6947, Schweißnähte, Arbeitspositionen-Definitionen der Winkel von Neigung und Drehung, S. 1-12, 1997
11. Н.Н.Рыкалин: Тепловые основы сварки, часть первая, Процессы распространения тепла при дуговой сварке, Академии наук СССР, с. 1-267, 1947
12. D.Seferijan: Metalurgija zavarivanja, Građevinska knjiga Beograd, s. 1-364, 1969
13. D.Čaloski, K.Pecioski: Neke specifičnosti deformacija kod EPP postupka, Zbornik referata Međunarodno savetovanje, Niš- JSZ- DUZS, s. 57-63, 1984

Глава III

1. D.Böhme, F.D.Hermann: Handbuch der Schweißverfahren Teil II: Autogenverfahren -Thermisches Schneiden-Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen, Reib-, Ultraschall- und Diffusionsschweißen, DVS Verlag, S. 1-109, 1992
2. R. Killing: Kompendium der Schweißtechnik, Band 1: Verfahren der Schweißtechnik, S. 5-13, DVS Verlag, Düsseldorf, 1997
3. S.Bakračevski: Gasno zavarivanje i rezanje, DUZ Srbije, Beograd, s.1-151, 1987
4. L.Dorn: Verfahren der Fügetechnik, Brennschneiden Fügetechnik Schweißtechnik, TU Berlin, S. 1-5, 1995

Глава IV

1. A.M.Zaleskij: Električni luk, IRCE Energoinvest Sarajevo, s. 11-269, 1969
2. С.Чундев, Н.Чекреци: Електрично заварување, Универзитет „Кирил и Методиј“ Скопје, с. 145-159, 1987

Глава V

1. Š.Andrić, Lj.Beara i dr.: Elektrolučno zavarivanje, DTZH Zagreb, 1977, s. 1-173

- 2 . K.Haze, V.Rajce: Stručni kurs elektrolučnog zavarivanja, Građevinska knjiga Beograd, s. 1-171, 1978
- 3 . Н.Н.: МКС Ц.Х3.010 и МКС Ц.Х3.011, Обложени електроди за РЕЛ заварување на челик, Технички услови и обележување, с. 1-2, 1982
4. N.N.: EN 499-95, Welding terms and symbols. Glossary for welding, brazing and thermal cutting, pp. 1-120, 1995

Глава VI

1. В.А.Ленивкин, Н.Г.Дюргеров, Х.Н.Сагиров: Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах, Машиностроение Москва, с. 1-254, 1989
2. B. Bajić: Elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog i aktivnog gasa MIG-MAG, Gorenje Varstroj Lendava, 1982
3. B. Bajić, D. Bajić.: Prirucnik-Sustina i tehnika postupaka električnog zavarivanja topljenjem metala i njihovih legura, Podgorica, 2005
4. N.N.: Linde welding gases, LINDE AG, pp. 1-28, 2013
5. N.N.: Schutzgas-Schweißen, Messer AG, S. 1-6, 2013
6. N.N.: GMAW Welding Guide, LINCOLN Electric, pp. 1-96, 2007
7. N.N.: Fundamentals of metal inert gas welding, BOC, Section 8, pp. 318-320, 2007
8. J.Wilden, D.Bartout: Lichtbogenfügeprozesse, Stand der Technik und Zukunftspotenziale, DVS-Berichte Band 249, 2008
9. N.N.: Wettbewerbsfähige Lösungen für die Fügetechnik, Lichtbogenschweissen, DVS Verlag, 2010
10. N.N.: WIG – Fibel, EWM Schweisslexikon, S. 1-28, 2002
11. N.N.: Guidelines For Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Miller Electric Mfg. Co. pp. 1-24, 2008
12. N.N.: Cored wires, ESAB Svetsaren, Vol. 51, No 1-2, pp. 3-54, 1996
13. K.Momeni: Vergleich von Füll- und Massivdrähten beim MAG Schweißen von Feinkornbaustahl, Berichte VDI Reihe 2, Nr. 360, VDI Verlag, S. 1-162, 1995
14. D.Godfrey: Flux cored arc welding, TWI, pp. 1-2. 2013
15. N.N.: Flux Cored Welding Wires for Stainless Steels, Published by BÖHLER Welding, pp. 1-16, 2009
16. E.Engindeniz: Schutzgas- und UP-Schweissen mit Fülldrahtelektroden im Dünnblechbereich, Wire & welding, S. 1-10, 2001
17. G.Hochreiter: Unterpulverschweißen in der Praxis, Expert Verlag, S. 1-173, 1995
18. N: Submerged Arc Welding, ESAB Technical Handbook, pp. 1-96, 2008
19. J. Tušek: Elektrolučno zavarivanje pod prahom višestrukom žičanom elektrodom u uskom rasporu, Metalurgija 41/2, s. 83-88, 2002
20. R.Dhollander, S.Vancauwenberghe: Multiwire Submerged Arc Welding of Steel Structures, pp. 1-6, www.scad.ugent.be/journal/2012/SCAD_2012_3_3_228.pdf
21. H.Meelker: Submerged arc welding for the future, Nordic Welding Conference, Oct. 2012, pp.1-51
22. N.N.: Plasmaschweißen, Fronius International GmbH, pp. 1-6, 2013
23. W.Hahmann, B.Ivanov: Plasmaschweißen in der Theorie und Praxis, EWM Hightec Welding GmbH, S. 1-48, 2013
24. H.Mair: Thermische Schneidverfahren, Sonderdruck 128, DVS Berichte Band 109, S. 4-8, 1987
25. N.N.: DIN EN ISO 6520, Welding and allied processes-Classification of geometric imperfections in metallic materials, S. 1-57, 2007-01
26. Н.Н.: МКС Ц.Т3.020, Класификација на грешките во заварите изведени со топење на металите, с. 1-8, 1982
27. N.N. Radiographer's weld interpretation reference, NDT System, 1987, pp. 1-40

Глава VII

1. Z.Kordić.: Elektrootporno zavarivanje, DTZH Zagreb, s. 1-157, 1987
2. M. Krause: Widerstandspreßschweißen, Band 25, DVS Verlag, S. 1-158, 1993
3. O.Stojanović, M. Božović: Uticaj dimenzija I provodlivost elektroda na kvalitet točkasto zavarenih limova različitih debljina, Zbornik referata, Ohrid, 1983
4. Б.Д.Орлов и други: Технология и оборудование контактной сварки, Машиностроение Москва, 1986
5. П.Л.Чулонилов: Точечная и роликовая электросварка легированы сталей и сплавов, Машиностроение Москва, 1974
6. А.И.Гуляев: Технология точечной и рельефной сварки сталей в массовом производстве, Машиностроение Москва, 1985
7. N.N.: Handbook for Resistance spot welding, Miller Electric Mfg. Co. pp. 1-20, 2005
8. N.N.: Komponentenatalog Widerstandsschweissen, DALEX, S. 1-64, 2008
9. I.Ziakhor: Flash-Butt welding for compressed natural gas (SNG) transportation and storage, E.O. Paton Electric Welding Institute, Kyiv, Ukraine, pp. 1-11, 2009
10. N.N.: Wettbewerbsfähige Lösungen für die Fügetechnik, DVS – Aktuel Widerstandsschweißen, S. 1-17, 2013
11. G.Weimer, R.Cagganello: Electric resistance welding at a glance, Process, power supply, and weld roll basics, The Tube and Pipe Journal, pp. 10-13, 1 june 2002

Глава VIII

1. D.Böhme, F.D.Hermann: Handbuch der Schweißverfahren Teil II: Autogenverfahren -Thermisches Schneiden-Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen, Reib-, Ultraschall- und Diffusionßschweißen, DVS Verlag, S. 306-310, 1992
2. J.Kleicker.: Fügen von ODS-Legierungen mittels Diffusionßschweißen, DVS-Berichte Bd.125, DVS Verlag, S. 53-56, 1989
3. N.N.: Diffusion Welding in Aeronautic Industry, Technical Sheets EWF, pp.1, 2007
4. Н.Ф.Казаков: Диффузионная сварка материалов, Машиностроение Москва, с. 1-312, 1976
5. Ю.А.Стеренбоген: Электрошлаковая сварка, МАШГИЗ Москва, с. 1-81, 1969
6. W.S.Ricci, W.Eagar: A Parametric Study of the Electroslag Welding Process, Welding Research Supplement, pp. 397s-400s, XII.1982
7. N.N.: Empfehlungen für das Elektronenstrahlschweißen, EBnet –Netzwerk für innovative Elektronenstrahlanwendung, S. 1-21, 2013
8. A.H.Maleka: Electron-beam Welding: Principles and Practice, The Welding Institute by McGRAW-HILL, pp. 324, 1971
9. D.Bour: EB-Schweißen im Vakuum- und Druckbehälterbau aus Edelmetallen, Innovationsforum Elektronenstrahltechnologie im Maschinen- und Apparatebau, S. 1-21, 2009
10. J.Lemmerich: Die Geschichte der Entwicklung des Lasers, Wissenschaftsmagazin TU Berlin 1986, Heft 9, S. 5-9, 1986
11. A.Jurišić, C.R.Lambrecht: Mogućnosti primjene laserskog zavarivanja u industriji, Zavarivanje 27(1984) 2, s.185-192, 1984
12. Н.Н.Рыкалин, А.А.Углов, А.Н.Кокора: Лазерная обработка материалов, Машиностроение Москва, с. 1-296, 1975
13. N.N.: Laser 2000, Förderungskonzept 1993-1997, Bundesministerium für Forschung und Tehnologie Bonn, März 1994, S.1-69, 1994
13. L.Dorn, S.Jafari, D.Runcev, D.Purbst: Laserstrahlpunktschweißen amorpher Folien, Schweissen & Schneiden, Volumen 48, Heft 9, S. 690-697, 1996
14. S.Katayama: Handbook of laser welding technologies, Woodhead Publishing Limited, pp. 1-688, 2013

15. O.O.Flemming: Hybrid laser–arc welding, CRC Press, pp. 1-328, 2009
16. N.B.Dahotre, S.P.Harimkar: Laser Fabrication and Machining of Materials, Springer, pp. 1-558, 2008
17. H.Staufer, M.Rührößl, G.Miessbacher: LaserHybrid – Schweißen und LaserLöten: Stand der Technik und Anwendungsbeispiele am Audi 8 und VW-Pheaton, Fronius Magazin, S. 1-10, 2002
18. N.N: Pheaton fährt mit weltweit sichersten Fahrzeugtüren, Weld & Vision, Fronius Magazin, 10 Ausgabe, März 2003, S. 14-15, 2003
19. D. Runčev: Hibridno Laser-elektrolučno zavarivanje, VIII Međunarodni naučno-stručni skup o dostignućima elektrotehnike, mašinstva I informatike, DEMI 2007, 25-26.maj 2007, Banja Luka, BiH, Zbornik radova, s. 339 – 344, 2007
20. H.Zellmer, M.Reich, u.a.: Faserlaser-Innovative Strahlquellen für Forschung und Industrie, Fraunhofer IOF Jahresbericht 2004, S. 38-41, 2004

Глава IX

1. I.Кнап: Cold pressure welding when joining contact wires, Wire World Int Vol 29, No 3/1987, pp 63-65, 1987
2. W. E.Good: Cold pressure of wire, Nonferrous Wire Handbook Vol. 2. Ch. 9/1981, pp 121-131, 1981
3. Г.П.Сахацкий: Технология сварки металлов в холодном состоянии, Наукова думка, Киев, 1979
4. I.Tweer: Kaltpreßschweißen von Al- und Cu-Folien, Schweissen und Schneiden, 44/3, S.226, 1992
5. G.P.Rajamani, M.S.Shunmugam, K.P.Rao: Parameter Optimization and Properties of Friction Welded Quenched and Tempered Steel, Welding Research Supplement, AWS, pp. 225-s-230-2, June 1992
6. M. Uzkut, B.S.Ünlü: Friction Welding And Its Applications In Today's World, 2nd International Symposium on Sustainable Development, June 8-9 2010, Sarajevo, pp. 710-724, 2010
7. N.N.: Reibschweißtechnologie, KUKA Systems GmbH, S. 1-5, 2013
8. В.И.Вилль: Сварка металлов трением, Машиностроение Ленинград, с. 1-176, 1970
9. В.М.Колешко: Ультразвуковая микросварка, Наука и техника Минск, с. 1-326, 1977
10. D.Eifler, G.Wagner: Metall-Ultraschallschweißen von flexiblen Flachleiterkabeln, AiF Nr. 15.112 N, 01.02.2007-31.01.2009, S. 1-11, 2007
11. E.Haberstroh, R.Lützeler: Ultraschallschweißen von Kunststoffen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 137-148, 2005
12. E.T.Hetrick, J.R.Baer, W.Zhu and other: Ultrasonic Metal Welding Process, Robustness in Aluminum Automotive Body Construction Applications, Welding Journal, Vol. 88, pp. 149-s-158-s, July 2009
13. K.E. Knipström: New welding method for aluminium, ESAB Svetsaren No 3, pp. 5-6, 1995
14. C.Dawes, W.Thomson: Friction stir joining of aluminium alloys, TWI Bulltin 6, 11/12, pp. 124-127, 1995
15. S.Stoltz: Friction stir welding – Ein neues Schweißverfahren für Alluminiumwerkstoffe, DVS Berichte, Band 200, S.1-8, 1999
16. S.Kallee: Reibrührschweißen – Verfahren und Einsatzfälle, GKSS/TWI Workschop, 3.Mai, 1999, S. 4 – 17, 1999
17. T.J.Lienert, W.L.Stellwag, R.W.Warke: Friction Stir Welding Studies on Mild Steel, Welding Journal, Vol. 82, pp. 1-s-9-s, January 2003

18. Z. Feng, M. L. Santella, and S. A. David: Friction Stir Spot Welding of Advanced High-Strength Steels, SAE International, pp. 1 – 7, 2005
19. N.N.: Friction Stir Welding-the ESAB Way, ESAB XA00123720, pp. 1-54, 2011
20. E.C.Викторовна: Сварка трением с перемешиванием (FSW-Friction Stir Welding) в мировом кораблестроении. Современный уровень развития, перспективы, оборудование, Журнал РИТМ (Ремонт Инновации Технологии Модернизация), с. 22-29, Май 2012

Глава X

1. I.Grote, G.Kraume: Arbeitsschutz beim Schweißen, Unfallverhütung und Gesundheitsschutz in der Schweißtechnik, DVS Verlag, S. 1-151, 1996
2. N.N.: Arc Welding Safety, Guide for Safe Arc Welding, The Lincoln Electric Co, pp. 1-24, 2008
3. J.Blunt, N.C.Balchin: Health and safety in welding and allied processes, 5th Edition, Elsevier, pp. 1-272, 2002
4. R.Arsenijević, N.Nikolić: Zavarivanje, opasnosti i zaštita, CIID Niš, s. 1-125, 1981
5. R.Begić, S.Pašić: Granične vrijednosti štetnih sastojaka u zavarivačkom dimu, Savetovanje ZAVARIVANJE 2006, 25-28 April Zlatibor, R IV-3, s. 1-7, 2006
6. N.N.: ANSI Z49 Safety in Welding, Cutting i Allied Processes, AWS, pp. 1-68, 2005
7. N.N.: DIN EN ISO 15011-1, Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren-Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen – Teil 1: Bestimmung der Rauchemissionsrate beim Lichtbogenschweißen und Sammeln von Rauch zur Analyse, Beuth, S. 1-25, 2010
8. H.H.: MKC 3.B0.001, Максимално дозволени концентрации на штетни гасови, пари и аеросоли во атмосферата во работниот простор, с. 1-5, 1991
9. H.H.: MKC 3.B1.023, Лични заштитни сретства, Ракавици за заварувачи, с. 1-3, 1963
10. H.H.: MKC 3.B1.060, Лични заштитни сретства, Кожена заштитна престилка за заварувачи, с. 1-2, 1963
11. H.H.: MKC 3.B1.030, Лични заштитни сретства, Заштитна маска за заварување со електричен лак, с. 1-3, 1963
12. H.H.: MKC 3.B1.250, Лични заштитни сретства, Темни заштитни стакла за заварувачи, с. 1-2, 1963

Глава XI

1. H.H.: MKC Ц.Т3.011, Заварување и сродни постапки, Упростено прикажување на заварите на цртеж, с. 1- 23, 1986
2. H.H.: MKC Ц.Т3.012, Заварување, Означување на постапките на заварување на цртеж, прикажување на, с. 1, 1980
3. N.N.: DIN EN 22553, Schweiß- und Lötinähte, Symbolische Darstellung in Zeichnungen, S. 1-34, 1997
4. N.N.: DIN EN ISO 4063, Schweißen und verwandte Prozesse-Liste der Prozesse und Ordnungsnummern, S. 1-20, 2011
5. E.N.Gregory, A.A.Armstrong: Welding symbols on drawings, CRC Press, pp. 1-70, 2005

Глава XII

1. K.Wittke: Verfahren der Löttechnik- von der Antik bis ins Industriezeitalter, Jahrbuch Schweißtechnik '97, DVS Verlag, S. 247-265, 1997
2. N.N: Verfahren der Löttechnik, Der Praktiker, 2/96, S. 40-42, 1996
3. P.Zaremda.: Hart- und Hochtemperaturlöten, DVS Verlag, S. 1-117, 1988

4. I.E. Petrunin: Handbuch der Löttechnik, Verlag Technik Berlin, S. 1-191, 1991
5. H. Manko: Solders and soldering, McGraw-Hill Book Company, pp. 1-323, 1976
6. M.Smiljanić, V.Martinovski: Lemljenje, DUZS, s. 1-112, 2001
7. H.Brooker, E.Beatson: Industrial brazing, Butterworth London, pp. 1-263, 1980
8. R.Lison: Schweißen un Löten von Sondermetallen und ihren Legierngen, DVS Verlag, S. 1-93, 1996
9. L.Dorn, H.Grutzeck, S.Jafari: Schweißen Löten mit Festkörperlasern, Springer Verlag, S. 1- 246, 1992
10. L.Dorn: Hartlöten und Hochtemperaturlöten: Grundlagen und Anwendung, Expert Verlag, S. 1-150, 2007
11. С.В.Лашко, Н.Ф.Лашко: Пайка металлов, Машиностроение Москва, с. 1-376, 1988
12. Н.Н.: МКС Ц.Т3.005, Техника на лемење на металите. Тврдо и меко лемење. Дефиниции и обележување, с. 1-2, 1984
13. Н.Н.: МКС Ц.Е1.041, Легури за меко лемење, с. 1-3, 1988
14. Н.Н.: МКС Ц.Т3.059, Споеви изведени со меко и тврдо лемење. Постапки на испитување на механичките особини, с. 1-11, 1988
15. Н.Н.: МКС Ц.Д2.321, Спојување на цевки од бакар и бакарни легури со лемење, с. 1-2, 1995
16. N.N.: Löten von Rohren aus Kupfe, Wolf&Partner, S.1-5, 1993
17. H.Hackl: MIG-Löten von verzinkten Dünnbechen und Profilen, Schweissen und Schneiden, 50/98 Heft 6, S. 351-354, 1998
18. R. Lahnsteiner: MIG-Löten von verzikkte Dünnblechen, MIG WELD GmbH Landau / Isar, S. 1-34, www.mss-schweisstechnik.de/media/hpa/fach/MIG-LOETEN.pdf
19. N.N.: Dünnbeche löten statt schweißen, Velding+Vision, Fronius, Magazin für Schweisstechnik, Nr. 7. S. 5, März 2001
20. D.Runcev, L.Dorn: Gas Shielded Metal Arc Brazing of Surface Zinc Coated Thin Steel Sheet, 25 Jubilee Scientific Conference, MTF 2007, 14-16 September, Sozopol Bulgaria, Proceedings, Vol. 1, pp. 182-187, 2007

Глава XIII

1. G. Habenicht: Applied Adhesive Bonding, A Practical Guide for Flawless Results, WILEY-VCH Verlag GmbH, pp. 1- 186, 2009
2. E.M.Petrie: Handbook of adhesives and sealants, McGraw-Hill, pp. 1-756, 2000
3. W.Endlich: Kleben und Dichten – aber wie? Leitfaden für den Praktiker, DVS-Verlag, S. 1-149, 1996
4. A.Brandenburg: Kleben metallischer Werkstoffe, DVS-Verlag, S. 1-96, 2001
5. W.Brockmann, P.L.Geiß, J.Klingen, B.Schröder: Adhesive Bonding Materials, Applications and Technology, Wiley-VCH Verlag GmbH, pp. 1-414, 2009
6. W.Brockmann, L.Dorn, H.Käufer: Kleben von Kunststoff mit Metall, Springer Verlag, S. 1-252, 1989
7. F. Hayat, B. Demir: Adhesive weld bonding of interstitial free steel at spot welding for automotive application, Metallic Materials vol. 48 no. 2, pp. 137-143, 2010
8. A.M. Pereira, J.A.M. Ferreira, F.V. Antunes, P.J.Bártolo: Strength of aluminium resistance spot welded and weldbonded joints, Ciência & Tecnologia dos Materiais, vol. 22, n. 3-4, pp. 25-31, 2010
9. W.Wuich: Kleben von austenitischem Stahl, Der Praktiker, 6 / 92, S. 353-354, 1992
10. G. Kötting, S.Singh: Anforderungen an Klebstoffe für Strukturverbindungen im Karosseriebau, Adhäsion 32, H. 9, S. 16-26, 1988

Глава I – XIII

1. Д.Чалоски: Заварување, Универзитет „Кирил и Методиј“ Скопје, 1983
2. M.Rakin: Zavarivanje i srodni postupci, IV izdanje, Tehnička knjiga Beograd, 1991
3. N.N.: Inženjersko tehnički priručnik ZAVARIVANJE, Knjiga 1, 2, 3 i 4, Rad Beograd, 1979
4. L.Gourd: Principles of welding technology, Edward Arnold (Publishers), 1980
5. Г.А.Николаев: Сварка в машиностроении, Справочник в 4-х том, Машиностроение Москва, 1978
6. D.Böhme, F.D.Hermann: Handbuch der Schweißverfahren Teil II: Autogenverfahren -Thermisches Schneiden – Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen, Reib-, Ultraschall- und Diffusionsschweißen, DVS Verlag, 1992
7. С.Чундев, Н.Чекреци: Електрично заварување, Универзитет „Кирил и Методиј“ Скопје, 1987
8. A.Majstorović, M.Jovanović: Osnovi zavarivanja, lemljenja i lepljenja, Naučna knjiga Beograd, 1988
9. A.Sedmak, A.Milosavljević: Mašinski materijali , drugi deo, Mašinski fakultet Beograd, 2000
10. N.N: Fugetechnik Schweißtechnik, DVS Verlag, 2013
11. L.Dorn: Verfahren der Füge- und Beschichtungstechnik, TU Berlin, 2000
12. L.Dorn: Fugen von Aluminiumwerkstoffen – Schweißen, Loten und Kleben, DVS Band 114, 1983
13. H.Richter: Fugetechnik, Schweißtechnik, S.137-138, DVS Verlag, Düsseldorf, 1995
14. R. Killing: Kompendium der Schweißtechnik, Band 1: Verfahren der Schweißtechnik, DVS Verlag, Düsseldorf, 1997
15. N.N.: DIN-DVS-Taschenbuch 290, Europäische Normung Schweißtechnik, Beuth-DVS-Verlag, S. 1-557, 1995
16. A. Andrew: Modern welding, The Goodheart-Willcox CO,USA, 1980
17. L.M.Gourd: Principles of welding technology, TWI London, 1990
18. V.Wesling: Schweißtechnik I und II, TU Clausthal, 2002
19. U. Dilthey: Schweiß- und Schneidtechnologien, RWTH Aachen, 2003
20. N.N: Zbirka Jugoslovenskih standarda za zavarivanje i srodne postupke, Službeni list, 1989
21. N.N: Jahrbuch Schweißtechnik '97÷13, DVS Verlag, 1996-2014
22. N.N.: Europäische Normung Schweißtechnik, DIN-DVS –Taschenbuch 290, Beuth, DVS-Verlag GmbH, 1995
23. A.C.Davies: The science and practice of welding, Vol. 1, Welding science and technology, Tenth Edition, Cambridge University Press, 1992
24. N.N.: Maritime Welding Handbook, Welding and Related Processes for Repair and Maintenance Onboard, 11th edition, Wilhelmsen Maritime Services AS, 2013
25. R. Kovacevic: Welding Processes, InTech, Croatia, 2012
26. S.R.Farnsworth: Welding For Dummies, Wiley Publishing, Inc., 2010
27. R.J.Klein: Welding: Processes, Quality and Applications, Nova Science Publishers, Inc, 2011
28. J.Thannhuber: Praktisches Schweißen mit Elektro-, Schutzgas- und Autogenschweißgeräten, Hans Ein hell AG, 11 Auflage, 2004
29. J.Eichler, H.J.Eichler: Laser: Bauformen, Strahlführung, Anwendungen, Fünfte, aktualisierte Auflage, Springer Verlag, 2003
30. R.L.O'Brein: Jefferson's Welding Encyclopedia, AWS, 2002
31. N.N.: Schweißfachingenieurausbildung nach Richtlinie DVS-EWF 1173, 2001
32. S.Kumar: Welding Techniques, Indian Railways Institute of Civilengineering (IRICEN) PUNE411001, pp. 1-62, March 2006

Списанија:

1. Zavarivanje i zavarene konstrukcije, DUZS, Beograd, Srbija
2. Welding Journal, AWS, USA
3. Schweissen und Schneiden, DVS, Deutschland
4. Der Praktiker, DVS, Deutschland
5. Fügen von Kunststoffen, DVS, Deutschland
6. Svetsaren, A welding review published by The ESAB Group, Sweden
7. Welding+Vision, Magazin für Schweißtechnik, Fronius International GmbH, Österreich
8. Сварщик, Информационно-технический журнал, Институт электросварки им. Е.О.Патон НАН Ураины
9. Автоматическая сварка, Научно-технический и производственный журнал, Институт электросварки им. Е.О.Патон НАН Ураины
10. Welding in the World, The International Journal of Materials Joining, IIW (International Institute of Welding)

ISBN 978-608-4624-14-1