



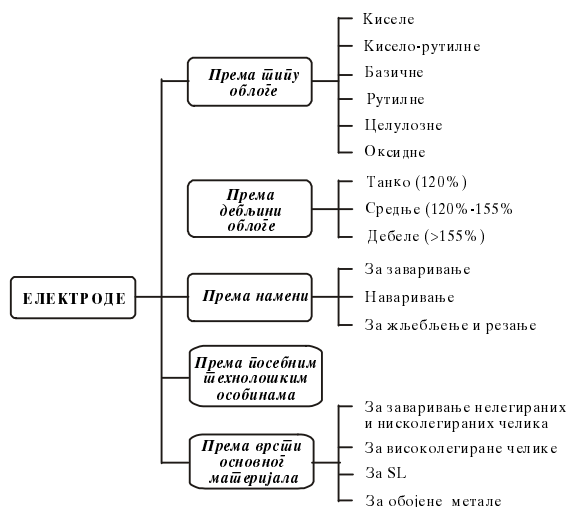
2.4 ЗАВАРЕНИ СПОЈ

Заварени спој је чврста нераздвојива физичко-хемијска веза машинских делова остварена посредством шавца. Шав је материјализовано место спајања и представља очврснути растопљени метал, који је створен приликом заваривања топљењем основног материјала или основног и додатног материјала. Додатни материјал је електрода или жица за заваривање.



Редни бројеви за поступке заваривања према EN 24063 (избор):

1	заваривање у светлосном луку	14	заваривање у заштитној атмосфери са волфрамом
101	заваривање у метал-светлосном луку	141	заваривање у инертној атмосфери са волфрамом WIG
111	ручно заваривање у светлосном луку	2	електроотпорно заваривање
112	заваривање у светлосном луку под дејством јаке силе	21	електроотпорно тачкасто заваривање
113	заваривање у метал-светлосном луку са голем жичаном електродом	22	заваривање ваљцима
13	заваривање у заштитној атмосфери	221	преклопно заваривање ваљцима
131	(MIG) заваривање у атмосфери инертног гаса	3	гасно заваривање
135	(MAG) заваривање у зони активног гаса	31	гасно заваривање киссоник-плин
		311	гасно заваривање киссоник- ацетилен
		312	гасно заваривање киссоник-пропан



Способност заваривања материјала

Способност заваривања материјала је значајна кад на основу хемијских, металуршких и физичких особина материјала треба извршити заваривање под одређеним захтевима.

Челици: Способност заваривања челика највише зависи од садржаја угљеника (отврдњавање), од врсте топљења и ливења (пратећих елемената, сегрегације) а код легираних челика од количине легирајућих елемената. Уопште важи да: челици сиромашни угљеником (0,22%С) су добро заварљиви, а челици богати угљеником само под одређеним условима, су добро заварљиви.

Гвозђе - угљеник - ливени материјали.

Зависно од намене разликујемо производно заваривање (на пример да би се избегле грешке при ливењу), репаратурно заваривање и конструкционо заваривање. Нелегирани челични лив до ознаке CL0600 је GS-60 добро заварљив.

Код разугљенисаног жареног (белог) темпер лива и врста GTW-S38-12 омогућава производно и конструкционо заваривање до дебљине зида од 8(mm) према свим поступцима заваривања без накнадног третмана. Код неразугљенисаног жареног (црног) темпер лива, конструкционо заваривање при мањим оптерећењима и производно заваривање, ако се заварени делови после излажу жарењу.

Ранија ограничења у погледу заваривања ливених материјала су због нових технологија заваривања превазиђена.

Нежелезни материјали: Алуминијум и његове легуре већином заварљиви под заштитним гасом (WIG и MIG).

За заваривање топљењем нису погодне легуре бакра, олова или бизмута, као и делови ливени под притиском.

За заваривање топљењем су погодне легуре бакар-цинк и то у атмосфери заштитног гаса (цинк бронзе), легуре бакар-никл (на пример CuNi OFeMn) и легуре бакар - алуминијум (алуминијум бронзе, на пример CuA19Ni).

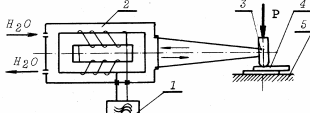
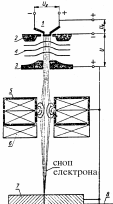
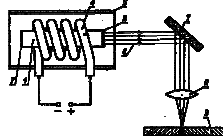
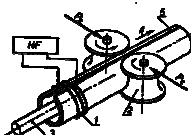
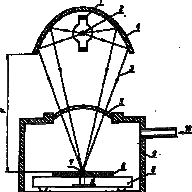
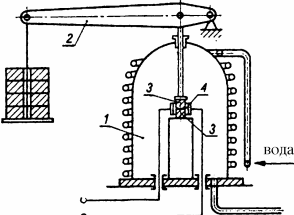
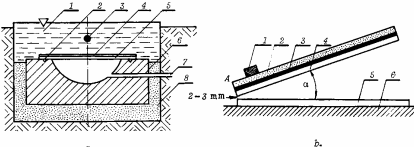
Различити метали: Економски исплатива комбинована конструкција често захтева спајање заваривањем различитих метала да би се омогућило оптимално искоришћење особина сваког материјала.

Нарочито коришћен поступак је заваривање трењем, заваривање ултра звуком, дифузионо заваривање и електро отпорно-тачкасто заваривање.

Термоластични вештачки материјали: су заварљиви и то са или без додатака истородног или допунског материјала.

Конструкцијска извођења

Принцип	Поступак
<p>Гасно заваривање</p> 	<p>Гасно пламено заваривање остварује спој помоћу пламена горивих гасова, уз примену притиска и додатног материјала или без њих. Овај поступак се доста користи у пракси за заваривање материјала мањих дебелина због низа техно-економских предности.</p>
<p>Ручно електролучно заваривање</p> 	<p>Електролучним заваривањем електрични лук се успоставља и одржава између завариваног дела и додатног материјала електроде. У пракси REL заваривања, лук се успоставља најпре примцањем електроде (а), кратким спојем (б) а затим наглим одвајањем електроде од основног материјала (ц). Данас се употребљавају углавном обложене електроде којима се постижу тражена својства спојева и стабилнији електрични лук.</p>
<p>Електролучно заваривање под прашком (ЕРР)</p> 	<p>Електрични лук се одржава између електродне жице и завариваног материјала под слојем прашка. Истопљени прах образје троску изнад металног купатила, а преостали део прашка остаје непромењен. Троска и неистопљени прах стварају заштитни слој од спољне атмосфере, а истовремено делују као топлотни изолатор, који продужава време хлађења. Користи се за заваривање нелегираних, нисколегираних и високо-легираних челика - ватросталних и хемијски постојаних, уз примену одговарајуће електродне жице и прашка.</p>
<p>Заваривање под троском</p> 	<p>Поступак се заснива на коришћењу топлоте ослобођене при прогицању електричне струје кроз растоп електропроводљивог прашка великог омског отпора. За разлику од осталих поступака електролучног заваривања, лук се успоставља и одржава само на почетку процеса док се не створи купатило течне троске која га гаси. Прекидањем електричног лука не прекида се и електрично коло, јер струја наставља да тече између електродне жице и основног материјала преко течне троске.</p>
<p>Заваривање нејонизованом електродом у инерцијном гасу (TIG)</p> 	<p>TIG заваривање је метод електролучног заваривања волфрамском електродом и аргоном као заштитним гасом.</p>
<p>Заваривање јонизованом електродом у заштитном угљендиоксида MAG</p> 	<p>Топљива електродна жица (1) доводи се преко вођице (2) која је повезана са једним полом извора једносмерне струје (4). Жица пролази кроз млазницу (3), која служи за усмеравање заштитног CO₂ гаса на зону спајања. За MAG заваривање примењује се једносмерна струја обрнуте поларности.</p>
<p>Заваривање трењем</p> 	<p>Заваривање трењем је процес у коме се топлота за заваривање ствара директним претварањем механичке енергије у топлотну на додирним површинама заварених делова.</p>

Принцип	Поступак
<p>Заваривање ултразвуком</p> 	<p>При ултразвучном заваривању спој се образује истовременим деловањем механичких осцилација велике фреквенције и мале силе притиска. Топлота ослобођена механичким вибрирањем преклопљених делова на малој површини (микроповршини) доводи материјал најпре у стање пластичности, а затим се уводи сила притиска чиме се добија чврст спој.</p>
<p>Заваривање млазом електрона</p> 	<p>Топлота се добија бомбардовањем места споја млазом електрона велике брзине. При удару електрона у основни материјал, претвара се њихова кинетичка енергија у топлотну. Заваривање се најчешће изводи у високом вакууму реда $0,13 \cdot 10^6$ бара. Електрони се емитују из загрејане катодe (2500°C).</p>
<p>Заваривање ласером</p> 	<p>Топљење ивица завариваних делова настаје деловањем концентрисаног снопа кохерентне светлости усмерене оптичким сочивима на заварени део. Емитована светлост пада на усмеравајуће огледало, и преко оптичког сочива фокусира се на површину, линију, тачку или групу тачака на завариваном предмету.</p>
<p>Индукционо заваривање</p> 	<p>Код индукционог начина спајања метала, количина топлоте потребна за стапање страница метала ослобађа се електромагнетном индукцијом помоћу струје високе фреквенције. Уређаји су тако конструисани да обично имају два индуктора, од којих један служи за предгревање, а други за заваривање.</p>
<p>Заваривање светлосном енергијом</p> 	<p>Заваривање се заснива на фокусирању светлосног снопа при чему се постиже велика концентрација енергије. Уређај за заваривање светлосним зрацима, на слици, састоји се из импулсне ксенонове лампе (1), чија је жижа (2) смештена у жижи елиптичног огледала (4), од којег се рефлектују светлосни зраци (3) пролазе кроз кварцно окно (5) и падају на место споја (6). У току заваривања доводи се заштитни гас (CO_2, Аг, Не) кроз отвор (7).</p>
<p>Дифузионо заваривање</p> 	<p>Поступак се заснива на дифузији атома између заварених делова. Дифузно спајање се изводи у посебним уређајима са вакумским коморама (1) или заштитним гасовима. Уређај поседује полуку (2) за увођење силе притиска ($5 \div 20 \text{MPa}$) на завариване делове (3) и систем за загревање (4). При раду у вакууму (реда $0,014 \div 0,014 \cdot 10^{-3} \text{mbara}$) потребно је делове загревати до температуре нешто испод солидус линије и затим увести притисак да би настало спајање на нивоу атома.</p>
<p>Заваривање експлозивом</p> 	<p>Поступак се заснива на спајању под дејством динамичког притиска створеног локалном експлозијом одговарајућег материјала. Заваривање експлозијом примењује се за спајање и израду двослојних пресека. Двослојни пресеци примењују се не само за равне делове као што су лимови већ и за цеви и резервоаре. Заваривање експлозијом омогућује да се међусобно споје различити материјали, па и метали са неметалима.</p>

Конструкциона извођења

Пример	Објашњење
	<p>Конструктивна решења за добар изглед тачкастих варова:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) заобљена удубљења код заобљених врхова електрода, b) глатка површина добијена резањем или брушењем, c) глатка спољна површина код широких електрода, d) испуцхења облика закивака код електрода са шупљим врховима.
	<p>Заваривање лимова различите дебљине:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) различита дебљина електрода, b) упуштање дебљег лима, c) d) двоструко тачкасто заваривање, e) спајање трећег дела као међудела, f) заваривање дела са испустом.
	<p>Спојеви заваривањем делова са испустом:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) вишеструко заваривање, b) делови од лима постављени под правим углом, c) испусти за остваривање доброг положаја; d) посредни спој делова са испустом, стандардно постављање, 1 и 3 делови који се спајају, 2 покривени лим.
	<p>Спој заваривањем:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) преклопни шав, b) чеони (гњечени) шав, c) тачкасти шав.
	<p>Чеони заварени спој:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) избочени спој, b) заваривање стапањем.
	<p>Чеони заварени спој код различитих пресека:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) два округла дела, b) округли део и цев, c) две цеви.
	<p>Чеони заварени спој угаоно постављених делова:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) оквирни спој угаоних профила, b) округли штап са округлим штапом у Т-споју, c) угаони профил са округлим штапом, d) танки лим и округли штап.



Табела 2.4 ЗАВАРЕНИ СПОЈ

Ознака	Јединица мере	Назив и вредност												
a	(mm)	дебљина шава												
l_z	(mm)	рачунска дужина шава $l_z = l - 2a$												
l	(mm)	укупна дужина шава												
σ_z	(N/mm ²)	нормални напон од затезања у сучеоном завареном споју $\sigma_z = F_z / A_z$												
F_z	(N)	затезућа сила												
A_z	(mm ²)	површина пресека завара: $A_z = a \cdot l_z$ -сучеони шав $A_z = d^2 \cdot \pi(1 - \Psi^2)/4$ -сучеони шав по спољашњој цилиндричној површини												
σ_s	(N/mm ²)	нормални напон од савијања $\sigma_s = M / W$												
W	(mm ³)	отпорни момент површине пресека завара $W = l_z \cdot a^2 / 6$ - за сучеони шав; $W = d^3 \cdot \pi(1 - \Psi^4) / 32$ - за сучеони шав по спољашњој цилиндричној површини												
τ_t	(N/mm ²)	тангентни напон од увијања $\tau_t = T / W_p$												
W_p	(mm ³)	поларни отпорни момент $W_p = d^2 \cdot \pi / 16(1 - \Psi^4)$ - за сучеони шав по спољашњој цилиндричној површини												
τ_s	(N/mm ²)	тангентни напон од смицања $\tau_s = F_s / A$												
F_s	(N)	смичућа сила												
A	(mm ²)	површина шава изложена смицању $A = d \cdot \pi \cdot a$												
S	-	степен сигурности $S_T = \sigma_{TM} / 6$; $\tau_{TM} / \tau = S_T(1,5 \div 2)$; $S_D = \sigma_{DM} / \sigma$; $\sigma_{DM} / \sigma = S_D = (1,25 \div 1,5)$												
σ_{TM}		степен чврстоће завареног споја (1,25÷1,5)												
ξ_{T1}	-	фактор облика $\xi_{T1} = 1$ за сучеони шав; $\xi_{T1} = 0,8$ за угаони и преклопни шав												
ξ_{T2}	-	фактор квалитета: $\xi_{T2} = 1$ за i и ii класу квалитета $\xi_{T2} = 0,8 \div 0,9$ за iii и iv класу квалитета												
σ_{DM}	(N/mm ²)	динамичка издржљивост завареног споја $\sigma_{DM} = \sigma_D \cdot \xi_1 \cdot \xi_2$												
σ_D	(N/mm ²)	динамичка издржљивост основног материјала												
ξ_1	-	фактор облика шава у зависности од врсте напрезања												
ξ_2	-	фактор квалитета												
σ_{doz}	(N/mm ²)	дозвољени напон $\sigma_{doz} = \sigma_{TM} / S_T$; $\sigma_{doz} = \sigma_{DM} / S_D$												
d	(mm)	пречник тачке <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>d_{min}</td> <td>0,5÷1</td> <td>1÷1,5</td> <td>1,5÷2</td> <td>2÷3</td> <td>3÷5</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>4÷8</td> <td>6÷8</td> <td>8÷10</td> <td>10÷12</td> <td>10÷14</td> </tr> </table>	d_{min}	0,5÷1	1÷1,5	1,5÷2	2÷3	3÷5	d	4÷8	6÷8	8÷10	10÷12	10÷14
d_{min}	0,5÷1	1÷1,5	1,5÷2	2÷3	3÷5									
d	4÷8	6÷8	8÷10	10÷12	10÷14									
τ	(N/mm ²)	тангентни напон од смицања $\tau = 4F_1 / d^2 \cdot \pi \cdot i$												
F_1	(N)	сила по једној тачки												
i	-	број равни смицања												
S		степен сигурности $S = 0,6\tau_M / \sigma$ $S = 1,5 \div 2,5$												

Тест 2.4

Бр.	Заварени спој	Да	Не
1.	Заваривање је нераздвојива физичко-хемијска веза машинских делова код које настаје промена особина материјала.		
2.	Заварену конструкцију карактерише висока чврстоћа, добро искоришћење маса и еластичност.		
3.	Шав је материјализовано место спајања топљењем основног материјала или основног и додатног материјала.		
4.	Заваривање се изводи пристиском и топљењем.		
5.	Електролучно заваривање није заваривање топљењем.		
6.	Постоје четири класе квалитета завареног састава топљењем		
7.	V-шав се употребљава за дебљине $\delta > 25(\text{mm})$.		
8.	U-шав се употребљава за дебљине $\delta = 5 \div 15(\text{mm})$.		
9.	Рубни шав се употребљава за дебљине веће од $10(\text{mm})$.		
10.	Електроде могу бити: киселе, кисело-рутилне, базичне, рутилне и оксидне.		
11.	Заварени спој представља јаки извор концентрације напона.		
12.	Заварени спој може бити: сучеоци, преклопни и угаони.		
13.	За одређивање номиналних вредности напона није меродавна површина попречног пресека шавца.		
14.	Рачунска дужина шавца је $l_z = l - 2a$.		
15.	Код сучеоног завареног споја дебљина шавца једнака је дебљини материјала који се заварује $\delta = a$.		
16.	Степен сигурности при статичком напрезању има вредност $S_T = 1,5 \div 2$.		
17.	Степен сигурности динамички напрегнутог завареног споја је мањи од један.		
18.	Дебљина шавца се израчунава из једнакости $\sigma \leq \sigma_{\text{doz}}$		
19.	Дозвољени напон представља јединичну носивост завареног споја.		
20.	Нежељене последице заваривања су заостали напони и деформације.		
21.	Код мањих делова заостали напони се ублажавају жарењем.		