

Saša Pejkić dip.maš.inž-IWE

INŽENJERSKO RADIONIČKI PRIRUČNIK

obložene

elektrode za zavarivanje

**VRHUNSKI ALAT
ZA
PROFESIONALCE
KOJI ZNAJU ŠTA
RADE**

Obrenovac, 2022. godine

Recenzija knjige

Kolega Saša Pejkić dipl. inž, ponovo je prijatno iznenadio stručnu javnost svojim, drugim po redu inženjerskim priručnikom, ovoga puta na temu obloženih elektroda za zavarivanje. Podsećanja radi, prvi inženjersko radionički priručnik istog autora, koji se odnosio na gasno-plameno rezanje, navarivanje, metalizaciju, lemljenje, "autogeno" zavarivanje i plazma rezanje, je prevazišao svoju namenu i slobodno možemo zaključiti da je u rangu praktične enciklopedije.

Ovoga puta imamo obimno delo istog autora Saše Pejkića, na više od 600 luksuzno opremljenih strana A4 formata, posvećeno starim tehnikama zavarivanja, koje su česte u svakodnevnoj upotrebi u zavarivanju i mašinskom održavanju. Materijal ove knjige obiluje praktičnim primerima gotovo svih standardizovanih obloženih elektroda, namenjenih elektrolučnom zavarivanju nelegiranih, niskolegiranih, finoznih, visokočvrstih čelika i čelika otpornih na puzanje, zatim visoko legiranih, teško zavarivih i nepoznatih čelika, kao i nekih obojenih metala poput nikla, bakra i aluminijuma i njihovih legura. Nekoliko oblasti ovog materijala je posvećeno zavarivanju livenih gvožđa i obojenih metala i njihovih legura. Zahvaljući tome, korisnik priručnika može prepoznati razliku između na prvi pogled sličnih, a bitno različitih obloženih elektroda. Između ostalih, u priručniku bitno mesto su zauzele standardne obložene elektrode koje su namenjene navarivanju. Zahvaljući rešenjima koje nudi priručnik, korisnik može na terenu u uslovima rada sa nepoznatim čelicima da na jednostavan i lagan način reši kompleksne zavarivačke probleme. Jedna od oblasti je namenjena izboru obloženih elektroda kod zavarivanja prepoznatih raznorodnih čelika i materijala.

U ovom materijalu posebne oblasti su posvećene istorijatu i proizvodnji obloženih elektroda, uz niz preciznih hemijskih recepata za zainteresovane koje ova tematika interesuje. Posebna oblast je posvećena sušenju elektroda i relativno kompleksnoj problematici u vezi ove teme. Čitalac se može upoznati sa osnovnim fizičko hemijskim osobinama svih zaštitnih obloga koje se koriste pri izradi obloženih elektroda, kao i pravilnom izboru elektroda u zavisnosti od niza faktora iz konstrukcije obložene elektrode ili praktičnih zahteva tokom primene. Na praktičan način je predstavljena fizika zavarivačkog zaštitnog električnog luka u zavisnosti od vrste struja koje se koriste, pa su našli važno mesto kako bi se olakšao odabir elektroda i opreme za zavarivanje. Inženjersko radionički priručnik nazvan "Obložene elektrode za zavarivanje" je podeljen po oblastima, koje su opisane poznatim standardima koji se koriste u svetu. Da bi čitalac mogao na jednostavan način da koristi ovaj priručnik, osnova za klasifikaciju i prepoznavanje tehničko tehnoloških osobina obloženih elektroda je iskorišćena prema smernicama poznatih standarda koji se koriste u svetu. U prvom redu su korišćeni američki standardi AWS, evropski standardi EN, međunarodni standardi ISO, koji čine okosnicu ovog priručnika. Zatim starijih standarda izašlih iz upotrebe, a koji se često mogu pronaći po katalozima, poput nemačkih standarda DIN, engleskih BS, ali i vrlo bitnih GOST standarda koji se koriste u zemljama bivšeg Sovjetskog Saveza. U svakom pojedinačnom opisu standardnih elektroda u ovom priručniku data je međusobna veza sa spomenutim poznatim standardima, kako bi korisnik mogao brzo da identifikuje obloženu elektrodu i potraži je u katalozima bilo kod proizvođača u svetu. Istovremeno će uputiti čitaoca na potrebno korišćenje spomenutih standarda.

Priručnik "Obložene elektrode za zavarivanje" je praktično štivo koje omogućava korisniku pre izbora obloženih elektroda, da se upozna sa terminima iz kataloga, a isto tako i pravilnom prepoznavanju, odabiru i upotrebi obloženih elektroda. Priručnik se koristi i u drugom smeru, jer omogućava da se izabrana elektroda iz priručnika potraži u katalozima obloženih elektroda. Drugim rečima ovaj priručnik omogućava korisniku, da izabere standardizovanu elektrodu sa prepoznatljivom oznakom čak i u katalozima nepoznatih i retkih svetskih jezika. Dovoljno je u nepoznatom katalogu prepoznati univerzalno i standardno označavanje elektrode i njene fizičko hemijske karakteristike, da bi se ona mogla prepoznati, odabrati i koristiti. Stručna javnost do sada nije imala priliku da ima delo ovakvog tipa na raspolaganju ili u ponudi. Preporuka je da bi svako ko se bavi zavarivanjem trebalo da ima ovo delo, jer je izuzetno je korisno i primenljivo.

Beograd, 2021.

Recenzent
Prof Grabulov Vencislav

Zahvaljujem se profesoru Venci Grabulovu na podršci tokom izrade ove knjige.

Zahvaljujem se Zdravku Kneževiću iz Plužina u Crnoj Gori, koji je pomogao prilikom rešavanja problematike hemijskog sastava zaštitne obloge elektrode.

Zahvaljujem se mojim Drenovčanima iz Mačve na moralnoj pomoći prilikom izrade ove knjige.

Zahvaljujem se firmi Legas Group iz Beograda i direktoru Marjanu Đorđeviću koji sponzorišu štampu prvog izdanja ove knjige.

Sadržaj

SKRAĆENICE.....	22
Uvod.....	23
1. PROIZVODNJA OBLOŽENIH (OPLAŠTENIH) ELEKTRODA.....	25
1.1 Istorijat razvoja i proizvodnje obloženih elektroda.....	25
1.2. Hemijski sastav zaštitne obloge elektroda.....	26
1.2.1. Recepture za izradu obloženih elektroda.....	36
1.2.2. Hemijski sastav supstanci za proizvodnju obloženih elektroda.....	41
1.2.3. Uticaj hemijskog sastava zaštitne obloge elektrode na osobine troske.....	45
1.3. Proces proizvodnje obloženih elektroda.....	45
1.3.1. Definisane i proizvodnja jezgra obložene elektrode (vučene žice).....	47
1.3.2. Smisao proizvodnje obloženih elektroda sa elektroprovodnim vrhom.....	48
1.3.3. Proizvodnja zaštitne obloge zavisno od prečnika jezgra elektrode.....	49
1.3.4. Kontrola kvaliteta obloženih elektroda.....	50
1.3.4.1. Test upotrebljivosti obložene elektrode.....	50
1.3.4.2. Razlika između kvalifikacije i tehnološke probe, kontrolni uzorak.....	51
2. OSNOVNI TIPOVI ZAŠTITNE OBLOGE.....	52
2.1. Rutilne elektrode – R (<i>rutile</i>) i RR elektrode. Zajedničke osobine.....	52
2.2. Bazične elektrode – B (<i>basic</i>) elektrode. Zajedničke osobine.....	54
2.3. Celulozne elektrode – C (<i>cellulosic</i>) elektrode. Zajedničke osobine.....	58
2.4. Kisele elektrode – A (<i>acide</i>) elektrode. Zajedničke osobine.....	60
2.5. Stabilizujuće elektrode. Zajedničke osobine.....	61
2.6. Oksidne elektrode –O (oksid) elektrode. Zajedničke osobine.....	62
2.6.1. Ilmenitne elektrode. Zajedničke osobine.....	62
3. OPŠTE KARAKTERISTIKE OBLOŽENIH ELEKTRODA. IZBOR ELEKTRODE.....	63
3.1. Karakteristika izbor elektrode prema položaju zavarivanja.....	64
3.2. Prečnik jezgra obložene elektrode.....	65
3.3. Uticaj debljine zaštitne obloge elektrode.....	66
3.3.1. Tanko i srednje obložene elektrode.....	67
3.3.2. Debelo obložene elektrode.....	68
3.3.3. Dvostruko obložene elektrode.....	68
3.4. Step en iskorišćenja obložene elektrode.....	69
3.4.1. Step en iskorišćenja bazičnih i rutilnih elektroda sa gvozdanim prahom.....	70
3.5. Karakteristika dužine obložene elektrode.....	71
3.6. Karakteristika žilavosti šava – minimalna energija udara.....	72
3.7. Karakteristika radnog opterećenja i temperature.....	73
3.8. Karakteristika metala šava prema radiografskom testu.....	74
3.9. Karakteristika dubine uvarivanja i opterećenja zavarenog spoja.....	74
3.10. Karakteristika obloženih elektroda u zavisnosti od problema zavarivanja sa više dodatnih materijala.....	76

3.11. Karakteristika obloženih elektroda u zavisnosti od dozvoljene tvrdoće zavarenog spoja.....	79
3.12. Karakteristika obloženih elektrode u zavisnosti od dozvoljene apsorpcije gasova u tečnom metalu šava i mogućnosti nastanka hladnih prslina	79
3.13. Karakteristika elektroda u odnosu na stepen zavarljivosti čelika-CE (ugljenikov ekvivalent).....	82
3.14. Karakteristika napajanja obloženih elektroda.....	83
3.14.1. Osnovni pojmovi u napajanju obloženih elektroda.....	83
3.14.2. Vrste struje za napajanje obložene elektrode.....	85
3.14.3. Određivanje vrednosti jačine i napona struje.....	86
3.15. Osnove fizike zavarivačkog luka obloženih elektroda	87
4. KATALOŠKO OZNAČAVANJE KARAKTERISTIKA OBLOŽENIH ELEKTRODA	89
4.1. Oznake osnovnih karakteristika obloženih elektroda u katalogu i na pakovanju	90
4.1.1. Oznaka vrste napajanja obloženih elektroda.....	90
4.1.2. Klasifikacija hemijskog sastava nerazređenog metala šava u masenim %.....	91
4.1.3. Karakteristične mehaničke osobine nerazređenog metala šava	91
4.1.5. Parametri napajanja elektrode prikazani u katalozima i na kutijama elektroda.....	92
4.1.4. Radni položaji zavarivanja na kojima elektroda može da zadovolji traženi kvalitet	93
4.2. Oznake koje garantuju kvalitet elektroda	93
4.2.1. Razlike između ovlašćenja i odobrenja za korišćenja elektroda. Sertifikati.....	93
4.2.2. Ovlašćenja, odobrenja i sertifikati za korišćenje elektroda	94
4.2.2.1. Sertifikati koji ukazuju na kvalitet proizvoda u zemljama bivšeg SSSR-a.....	95
5. ELEKTRODE ZA NELEGIRANE, NISKOLEGIRANE I FINOZRNE ČELIKE	96
5.1. Klasifikacija obloženih elektroda za ugljenične, nelegirane, niskolegirane i finozrne čelike	97
5.1.1. AWS A5.1 - Klasifikacija obloženih elektroda za ugljenične čelike	98
5.1.2. AWS A5.1M - Klasifikacija obloženih elektroda za ugljenične čelike.....	101
5.1.3. EN 499 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje ugljeničnih, mekih, nelegiranih i finozrnih čelika.....	102
5.1.4. EN ISO 2560-A - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nelegiranih i finozrnih čelika.....	103
5.1.5. EN ISO 2560-B - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nelegiranih i finozrnih čelika.....	105
5.1.6. DIN 1913 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika	107
5.1.7. BS 639 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje ugljeničnih i ugljenično manganskih čelika	108
5.1.8. GOCT 9466/75 i GOCT 9467/75 – Klasifikacija obloženih elektroda za niskougljenične i niskolegirane čelike.....	109
5.2. Osnove zavarljivosti nelegiranih čelika	111
5.3. Opis najčešće korišćenih obloženih elektroda za zavarivanje ugljeničnih čelika	112
5.3.1. AWS A5.1: E6010	112
5.3.2. AWS A5.1: E6011	115
5.3.3. AWS A5.1: E6012	116
5.3.4. AWS A5.1: E6013	118
5.3.5. AWS A5.1: E7014	120

5.3.6. AWS A5.1: E7015	121
5.3.7. AWS A5.1: E7016	122
5.3.8. AWS A5.1: E7018	124
5.3.8.1. AWS A5.1: E7018M	126
5.3.8.2. AWS A5.1: E7028.....	127
5.3.8.3. AWS A5.1: E7048.....	127
5.3.9. AWS A5.1: E6019	128
5.3.10. AWS A5.1: E6020.....	129
5.3.10.1. AWS A5.1: E6030.....	130
5.3.11. AWS A5.1: E6027.....	130
5.3.12. AWS A5.1: E7024.....	131
6. ELEKTRODE ZA NISKOLEGIRANE, MIKROLEGIRANE, VISOKOČVRSTE ČELIKE, ČELIKE OTPORNE NA PUZANJE.....	132
6.1. Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih i mikrolegiranih čelika	134
6.1.1. AWS: 5.5 - Klasifikacija obloženih elektroda za niskolegirane čelike	134
6.1.2. SFA: 5.5- Klasifikacija obloženih elektroda za niskolegirane čelike.....	136
6.1.3. AWS: 5.5M- Klasifikacija obloženih elektroda za niskolegirane čelike u skladu sa međunarodnim sistemom jedinica	136
6.1.4. DIN 8529 - Klasifikacija obloženih elektroda za visokočvrste i finožrne čelike.....	137
6.1.5. ISO 18275-A i EN 757 - Klasifikacija obloženih elektroda za visokočvrste čelike	138
6.1.6. ISO 18275-B - Klasifikacija obloženih elektroda za visokočvrste čelike	140
6.1.7. EN ISO 3580-A i EN 1599 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje čelika otpornih na puzanje (vatro otpornih čelika).....	145
6.1.7.1. Razlika između standarda EN ISO 3580-A i EN 1599.....	147
6.1.8. EN ISO 3580-B - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih i finožrnih čelika (JUS C.H3.015)	148
6.1.9. BS 2493 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih čelika	150
6.1.10. GOCT 9466/75 i GOCT 9467/75 - Klasifikacija elektroda za zavarivanje legiranih čelika zatezne čvrstoće veće od 600MPa sa garantovanom žilavošću na niskim temperaturama i legiranih čelika za rad na povišenim temperaturama	151
Lični utisci i zapažanja:.....	152
6.2. Uvod u zavarljivost mikrolegiranih, sitnozrnih čelika visoke čvrstoće (HSLA čelika) sa obloženim elektrodama	153
6.3. Opis najčešće korišćenih obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih i srednje-legiranih čelika povišene čvrstoće.....	155
6.4. Opis najčešće korišćenih elektroda za niskolegirane čelike prema AWS standardu	160
6.4.1. AWS A5.5: E 70XX-A1	162
Termička obrada zavarenog spoja AWS A5.5: E 70XX-A1	163
6.4.1.1. AWS A5.5: E 7010-A1.....	163
6.4.1.2. AWS A5.5: E 7011-A1 (ISO 3580-A: EMo).....	164

• OBLOŽENE ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE I NAVARIVANJE •

6.4.1.3. AWS A5.5: E 7013-A1 (ISO 3580-A: EMo).....	165
6.4.1.4. AWS A5.5: E 7015-A1 (ISO 3580-A: EMo).....	165
6.4.1.5. AWS A5.5: E 7016-A1 (ISO 3580-A: EMo).....	166
6.4.1.6. AWS A5.5: E 7018-A1 (ISO 3580-A: EMo).....	166
6.4.1.7. AWS A5.5: E 7020-A1 (ISO 3580-A: EMo).....	167
6.4.1.8. AWS A5.5: E 7027-A1 (ISO 3580-A: EMo).....	167
6.4.2. AWS A5.5: E X01X-B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 i B8	168
6.4.2.1. AWS A5.5: E 8016-B1 (ISO 3580A: ECrMo0,5).....	169
6.4.2.2. AWS A5.5: E8018-B1 (ISO 3580A: ECrMo0,5).....	170
6.4.2.3. AWS A5.5: E8013-B2 (ISO 3580A: ECrMo1R).....	170
6.4.2.4. AWS A5.5: E8015-B2 (ISO 3580-A: E CrMo1B).....	171
6.4.2.5. AWS A5.5: E8018-B2 (ISO 3580-A: E CrMo1B).....	171
6.4.2.6. AWS A5.5: E9015-B3 (ISO 3580-A: E CrMo2B).....	172
6.4.2.7. AWS A5.5: E9016-B3 (ISO 3580-A: E CrMo2B).....	173
6.4.2.8. AWS A5.5: E9018-B3 (ISO 3580-A: E CrMo2B).....	174
6.4.2.9. AWS A5.5: E8016-B5.....	175
6.4.2.10. AWS A5.5: E8015-B6 (ISO 3580-A: ECrMo5)	175
6.4.2.11. AWS A5.5: E8018-B6 (ISO 3580-A: ECrMo5B).....	176
6.4.2.12. AWS A5.5: E8018-B7 (ISO 3580-A: E CrMo9)	177
6.4.2.13. AWS A5.5: E8015-B8 (ISO 3580-A: E CrMo9B).....	177
6.4.2.14. AWS A5.5: E8018-B8 (ISO 3580-A: E CrMo9B).....	178
6.4.2.15. AWS A5.5: E9015-B9 (ISO 3580-A: E CrMo91B).....	179
6.4.2.16. AWS A5.5: E9016-B9.....	180
6.4.2.17. AWS A5.5: E9018-B9.....	180
6.4.3. AWS A5.5: EX01X-B2L, B3L, B4L, B6L, B7L i B8L	181
6.4.3.1. AWS A5.5: E7015-B2L (ISO 3580-A: E CrMo1LB).....	182
6.4.3.2. AWS A5.5: E7018-B2L (ISO 3580-A: E CrMo1LB).....	183
6.4.3.2.1. AWS A5.5: E8018-B2L (ISO 3580-A: E CrMo1LB).....	183
6.4.3.3. AWS A5.5: E8015-B3L (ISO 3580-A: E CrMo2LB).....	184
6.4.3.4. AWS A5.5: E8018-B3L (ISO 3580-A: E CrMo2LB).....	185
6.4.3.5. AWS A5.5: E9018-B3L (ISO 3580-A: E CrMoLB).....	185
6.4.4. AWS A5.5: E90XX-B23	187
6.4.4.1. AWS A5.5: E9015-B23.....	187
6.4.4.2. AWS A5.5: E9018-B23.....	188
6.4.5. AWS A5.5: E90XX-B24	188
6.4.5.1. AWS A5.5: E9015-B24.....	189
6.4.5.2. AWS A5.5: E9018-B24.....	189
6.4.6. AWS A5.5: E90XX-B91	190

6.4.6.1. AWS A5.5: E9015-B91 (ISO 3580-A: E CrMo91 B).....	191
6.4.6.2. AWS A5.5: E9018-B91 (ISO 3580-A: E CrMo91 B).....	192
6.4.7. AWS A5.5: E90XX-B92.....	192
6.4.7.1. AWS A5.5: E9015-B92.....	193
6.4.8. AWS A5.5: EX01X-CX i EX01X-CXL.....	194
6.4.8.1. AWS A5.5: E8018-C1.....	196
6.4.8.2. AWS A5.5: E7015-C1L.....	196
6.4.8.3. AWS A5.5: E8018-C2.....	197
6.4.8.4. AWS A5.5: E7015-C2L.....	197
6.4.8.5. AWS A5.5: E8016-C3.....	198
6.4.8.6. AWS A5.5: E8018-C3.....	199
6.4.8.7. AWS A5.5: E8016-C4.....	200
6.4.8.8. AWS A5.5: E8018-C4.....	200
6.4.8.9. AWS A5.5: E7018-C3L.....	201
6.4.8.10. AWS A5.5: E9015-C5L.....	201
6.4.9. AWS A5.5: E8018-NM1.....	202
6.4.10. AWS A5.5: E9018-NM2.....	203
6.4.11. AWS A5.5: E XX1X-DX.....	204
6.4.11.1. AWS A5.5: E 8018-D1.....	205
6.4.11.2. AWS A5.5: E 9018-D1.....	205
6.4.11.3. AWS A5.5: E 10018-D2.....	206
6.4.12. AWS A5.5: E X010-P1.....	207
6.4.12.1. AWS A5.5: E 7010-P1.....	208
6.4.12.2. AWS A5.5: E 8010-P1.....	208
6.4.12.3. AWS A5.5: E 9010-P1.....	209
6.4.13. AWS A5.5: E XX18-P2.....	209
6.4.14. AWS A5.5: E (X)XX45-P2.....	210
6.4.14.1. AWS A5.5: E 8045-P2.....	210
6.4.14.2. AWS A5.5: E 9045-P2.....	211
6.4.15. AWS A5.5: EX018-WX.....	211
6.4.15.1. AWS A5.5: E 7018-W1.....	212
6.4.15.2. AWS A5.5: E 8018-W2.....	213
6.4.16. AWS A5.5: EXXXX-G.....	213
6.5. Zavarivanje različitih čelika sa elektrodama za zavarivanje niskolegiranih čelika.....	215
7. ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE VISOKOLEGIRANIH ČELIKA.....	216
7.1. Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje visokolegiranih čelike.....	218
7.1.1. AWS A5.4: Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nerđajućih čelika.....	218
7.1.2. EN 1600- Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje vatrootpornih i nerđajućih čelika.....	221

7.1.3. EN ISO 3581-A: Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje vatrootpornih i nerđajućih čelika	223
7.1.4. EN ISO 3581-B: Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje vatrootpornih i nerđajućih čelika	227
7.1.5. DIN 8556: Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nerđajućih i vatrootpornih čelika	227
7.1.6. GOCT 10052-75: Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nerđajućih čelika	229
7.1.6.1. Podela obloženih elektroda za zavarivanje konstrukcija izrađenih od austenitnih čelika prema mestu rada	229
7.2. Uvod u zavarljivost austenitnih i vatrootpornih čelika	232
7.2.1. Problemi prilikom zavarivanja austenitnih čelika – međukristalna korozija	233
7.2.2. Šta je to taloženje karbida, interkristalna korozija ili međukristalna korozija?	233
7.2.3. Vreme $t_{8/5}$	234
7.2.4. Smanjenje pojave međukristalne korozije	235
7.2.5. Rastvarajuće žarenje karbida hroma	236
7.2.6. Koroziono prskanje zavarenih spojeva	236
7.2.7. Austenitni dodatni materijali za zavarivanje feritnih i martenzitnih čelika	237
7.2.8. Austenitna mikrostruktura sa sadržajem ferita	238
7.2.9. Feritni broj i fazni balans	238
7.2.9.1. Idealan feritni broj u metalu zavara standardnih austenitnih čelika	239
7.2.10. Sigma-faza	239
7.3. Uvod u zavarljivost martenzitnih i martenzitno-feritnih čelika (zavarljivost hromnih čelika)	244
7.3.1. Martenzitni čelici koji otvrdnjavaju termičkim obradama	245
7.3.1.1. Poboľšano stanje zavarenog spoja martenzitnih čelika	247
7.3.1.2. Otpusna krtost martenzitnih čelika	247
7.4. Uvod u zavarljivost martenzitno – feritnih čelika (zavarljivost hromnih čelika)	247
7.5. Uvod u zavarljivost feritnih čelika (zavarljivost hromnih čelika)	249
7.6. Uvod u zavarljivost austenitno-feritnih čelika (Dupleks čelici)	250
7.6.2. Uvod u zavarljivost taložno ojačanih čelika	251
7.7. Opis najčešće korišćenih elektroda za zavarivanje austenitnih nerđajućih visokolegiranih čelika, elektrode za zavarivanje vatrootpornih čelika i specijalni tipovi elektrode	253
7.7.1. AWS A5.4: E209 i E219	253
7.7.2. AWS A5.4: E240	254
7.7.3. EN 1600: E18 8 Mn	255
7.7.4. AWS A5.4: E307 (EN 1600: E18 9 Mn Mo)	256
7.7.4. AWS A5.4: E308 (EN1600: 19 9)	257
7.7.4.1. AWS A5.4: E308H (EN 1600: 19 9H)	259
7.7.4.2. AWS A5.4: E308L (EN 1600: 19 9L)	260
7.7.4.3. AWS A5.4: E308Mo (EN 1600: 20 10)	261
7.7.4.4. AWS A5.4: E308LMo	262
7.7.4.5. WFM: ES308 - ostale elektrode iz ove grupe	263
7.7.5. AWS A5.4: E309	263
7.7.5.1. EN1600: E 22 12	264

7.7.5.1. AWS A5.4: E309H.....	265
7.7.5.2. AWS A5.4: E309L (EN 1600: 23 12 L).....	266
7.7.5.3. AWS A5.4: E309Cb (EN1600: 23 12 Nb).....	267
7.7.5.3.1. ISO 3581-B: E309LNb.....	268
7.7.5.4. AWS A5.4: E309Mo.....	268
7.7.5.4.1. AWS A5.4: E309LMo (EN 1600: 23 12 2 L).....	269
7.7.5.5. WFM: ES309 ostale elektrode iz ove grupe.....	270
7.7.6. AWS A5.4: E310 (EN 1600: 25 20).....	271
7.7.6.1. AWS A5.4: E310H (EN 1600: 25 20H).....	272
7.7.6.2. AWS A5.4: E310Cb (E310Nb).....	273
7.7.6.3. AWS A5.4: E310Mo.....	273
7.7.6.4. WFM: E310MoL (EN 1600: E 25 22 2 NL).....	274
7.7.7. AWS A5.4: E312 (EN 1600: E 29 9).....	275
7.7.8. AWS A5.4: E316 (EN1600: 19 12 2).....	277
7.7.8.1. AWS A5.4: E316H (EN 1600: 19 12 2H).....	278
7.7.8.2. AWS A5.4: E316L (EN 1600: 19 12 3L).....	279
7.7.8.2.1. ISO 3581-B: ES316LCu (E316LCu).....	280
7.7.8.2.2. EN 1600: E 18 15 3 L.....	281
7.7.9. AWS A5.4: E317.....	282
7.7.9.1. AWS A5.4: E317L.....	282
7.7.9.2. AWS: E317LMn (EN 1600: E20 16 3 Mn N L).....	283
7.7.9.3. EN 1600: 19 13 4 N L.....	284
7.7.9.4. EN 1600: E 18 16 5 N L.....	285
7.7.10. AWS A5.4: E318 (EN 1600:19 12 3 Nb).....	286
7.7.11. AWS A5.4: E320.....	287
7.7.11.1. AWS A5.4: E320LR.....	287
7.7.12. AWS A5.4: E330 (EN 1600:18 36).....	288
7.7.13. AWS A5.4: E330H.....	289
7.7.13.1. WFM: ES330xx- ostale elektrode iz ove grupe.....	289
7.7.14. AWS A5.4: E347 (EN 1600: 19 9 Nb).....	290
7.7.14.1. ISO 3581-B: ES347L.....	291
7.7.14.2. WFM: ES347xx- ostale elektrode iz ove grupe.....	291
7.7.15. AWS A5.4: E349.....	292
7.7.16. AWS A5.4: E383 (EN 1600 : E 27 31 4 Cu LR).....	292
7.7.17. AWS A5.4: E385 (EN ISO 3581-A: 20 25 5 Cu N L).....	293
7.7.18. AWS A5.4: E16-8-2 EN1600: 16 8 2.....	294
7.7.20. EN1600: E 25 4.....	295
7.7.23. ISO 3581-A: 21 10 N.....	296
7.8. Opis najčešće korišćenih elektroda za zavarivanje martenzitnih i martenzitno feritnih nerđajućih visokolegiranih čelika. Elektrode za taložno ojačane čelike.....	297
7.8.1. EN ISO 3581-B: ES409Nb (E409Nb).....	297

• OBLOŽENE ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE I NAVARIVANJE •

7.8.2. AWS A5.4: E410 (EN1600:13)	298
7.8.2.1. AWS A5.4: E410NiMo (EN1600: 13 4).....	299
7.8.3. AWS A5.4: E430 (EN1600: 17)	300
7.8.3.1. ISO 3581-B: ES430Nb (E430Nb).....	301
7.8.4. AWS A5.4: E630	301
7.10. Opis najčešće korišćenih elektroda za zavarivanje austenitno-feritnih čelika Dupleks, Super-dupleks čelika i raznorodnih čelika	303
7.10.1. AWS A5.4: E2209 (EN1600: 22 9 3 N L).....	303
7.10.2. AWS A5.4: E2553.....	304
7.10.3. AWS A5.4: E2593 ISO 3581-B: ES2593	304
7.10.4. AWS A5.4: E2594 (EN 1600: E25 9 4 N L)	305
7.10.5. EN1600: E25 7 2 NL.....	306
7.10.5. ISO 3581-A: E23 7 NL.....	306
7.10.6. AWS A5.4: E2595	307
7.10.6.1. JIS Z3221: D329J1.....	307
7.10.7. AWS A5.4: E3155	308
7.10.8. AWS A5.4: E33-31	308
7.10.9. AWS A5.4: E502	309
7.10.10. AWS A5.4: E505	309
7.10.11. AWS A5.4: E7Cr	310
8. OBLOŽENE ELEKTRODE ZA NAVARIVANJE	311
8.1. Klasifikacija elektroda za navarivanje	311
8.1.1. EN ISO 14700 - Klasifikacija obloženih elektroda za navarivanje.....	312
8.1.2. DIN 8555 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje i navarivanje nelegiranih, niskolegiranih i fino-zrnih (konstrukcionih) čelika	316
8.1.3. AWS A5.13 - Klasifikacija obloženih elektroda za navarivanje	317
8.1.4. AWS Stari standard - Klasifikacija elektroda za navarivanje.....	319
9.1.4. GOCT 10051/75 i GOCT 10543/75 -Klasifikacija elektroda za navarivanje čelika	320
8.2. Opšte preporuke za izbor obloženih elektroda za navarivanje	322
8.2.1. Opšte preporuke za navarivanje alatnih i brzoreznih čelika	322
8.2.1.1. Preporuke za navarivanje alatnih čelika za rad u toplom stanju	322
8.2.1.1. Preporuke za navarivanje alatnih čelika za rad u hladnom stanju.....	323
8.2.2. Opšte preporuke za navarivanje površina otpornih na koroziju i habanje.....	323
8.3. Primeri najčešće korišćenih obloženih elektroda sa železnom osnovom za navarivanje prema međunarodno priznatim standardima EN 14700 i DIN 8555.....	324
8.3.1. Obložene elektrode za navarivanje sa osnovom Fe prema standardu EN 14700.....	325
8.3.1.1. EN 14700: E Fe1	325
8.3.1.2. EN 14700: E Fe2	326
8.3.1.3. EN 14700: E Fe3	327
8.3.1.4. EN 14700: E Fe4.....	328

8.3.1.5. EN 14700: E Fe5	328
8.3.1.6. EN 14700: E Fe6	329
8.3.1.7. EN 14700: E Fe7	330
8.3.1.8. EN 14700: E Fe8	331
8.3.1.9. EN 14700: E Fe9	332
8.3.1.10. EN 14700: E Fe10	334
8.3.1.11. EN 14700: E Fe11	335
8.3.1.12. EN 14700: E Fe12	336
8.3.1.13. EN 14700: E Fe13	336
8.3.1.14. EN 14700: E Fe14	336
8.3.1.15. EN 14700: E Fe15	338
8.3.1.16. EN 14700: E Fe16	339
8.3.1.17. EN 14700: E Fe17	340
8.3.2. Obložene elektrode za navarivanje sa Fe osnovom prema standardu DIN 8555	340
8.3.2.1. DIN 8555: E 1-UM-.....	342
8.3.2.2. DIN 8555: E 2-UM-.....	343
8.3.2.3. DIN 8555: E 3-UM-.....	343
8.3.2.4. DIN 8555: E 4-UM-.....	344
8.3.2.5. DIN 8555: E 5-UM-.....	345
8.3.2.6. DIN 8555: E 6-UM-.....	345
8.3.2.7. DIN 8555: E 7-UM-.....	346
8.3.2.8. DIN 8555: E 8-UM-.....	346
8.3.2.9. DIN 8555: E 9-UM-.....	347
8.3.2.10. DIN 8555: E 10-UM-.....	347
8.3.3. Obložene elektrode za navarivanje sa Fe osnovom, prema standardu AWS A5.13	348
8.3.3.1. AWS A5.13: EFe 1.....	348
8.3.3.2. AWS A5.13: EFe 2.....	348
8.3.3.3. AWS A5.13: EFe3.....	349
8.3.3.4. AWS A5.13: EFe4.....	350
8.3.3.5. AWS A5.13: EFe 5.....	350
8.3.3.5.1. AWS A5.13: EFe 5 - (A, B i C).....	351
8.3.3.6. AWS A5.13: EFe6.....	352
8.3.3.7. AWS A5.13: EFe7.....	352
8.3.3.8. AWS A5.13: EFeMn	353
8.3.3.8.1. AWS A5.13: EFeMn-A	354
8.3.3.8.2. AWS A5.13: EFeMn-B	355
8.3.3.8.3. Ostale elektrode tipa EFeMn.....	355
8.3.3.9. AWS A5.13: EFeMnCr	356
8.3.3.10. AWS A5.13: EFeCr-A.....	356

• OBLOŽENE ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE I NAVARIVANJE •

8.3.3.10.1. AWS A5.13: EFeCr-A1A	357
8.3.3.10.2. AWS A5.13: EFeCr-A2	358
8.3.3.10.3. AWS A5.13: EFeCr-A3	358
8.3.3.10.4. AWS A5.13: EFeCr-A4	358
8.3.3.10.5. AWS A5.13: EFeCr-A5	359
8.3.3.10.6. AWS A5.13: EFeCr-A6	359
8.3.3.10.7. AWS A5.13: EFeCr-A7	359
8.3.3.10.8. AWS A5.13: EFeCr-A8	359
8.3.3.11. AWS A5.13: EFeCr-EX	360
8.3.3.11.1. AWS A5.13: EFeCr-E1	360
8.3.3.11.2. AWS A5.13: EFeCr-E2	360
8.3.3.11.3. AWS A5.13: EFeCr-E3	361
8.3.3.11.4. AWS A5.13: EFeCr-E4	361
8.4. Primeri najčešće korišćenih obloženih elektroda sa bakarnom Cu osnovom za navarivanje prema međunarodno priznatim standardima	362
8.4.1. Obložene elektrode za navarivanje sa bakarnom osnovom prema EN 14700	362
8.4.1.1. EN 14700: E Cu1	362
8.4.1.2. EN 14700: E Cu2	363
8.4.2. Obložene elektrode za navarivanje sa bakarnom osnovom prema AWS A5.13	363
8.4.2.1. AWS A5.13: ECuXX	363
8.4.2.1.1. AWS A5.13: ECuAl-A2	364
8.4.2.1.2. AWS A5.13: ECuAl-B	365
8.4.2.1.3. AWS A5.13: ECuAl-C	365
8.4.2.1.4. AWS A5.13: ECuAl-D	366
8.4.2.1.5. AWS A5.13: ECuAl-E	366
8.4.2.1.6. AWS A5.13: ECuSi	366
8.4.2.1.7. AWS A5.13: ECuSn-A	367
8.4.2.1.8. AWS A5.13: ECuSn-C	367
8.4.2.1.9. AWS A5.13: ECuNi	368
8.4.2.1.10. AWS A5.13: ECuNiAl	368
8.4.2.1.11. AWS A5.13: ECuMnNiAl	368
8.4.3. Obložene elektrode za navarivanje sa bakarnom osnovom prema DIN 8555	369
8.4.3.1. DIN 8555: E 30-UM-...	369
8.4.3.2. DIN 8555: E 31-UM-...	369
8.4.3.3. DIN 8555: E 33-UM-...	370
8.4.3.3.1. DIN 8555: E 32-UM-...	370
8.4.3.4. DIN 1733: EL-CuSn-7	370

8.5. Primeri najčeste korišćenih obloženih elektroda sa nikel Ni osnovom za navarivanje, prema međunarodno priznatim standardima.....	371
8.5.1. Obložene elektrode za navarivanje sa nikel osnovom prema EN 14700	371
8.5.1.1. EN 14700: E Ni1	371
8.5.1.2. EN 14700: E Ni2.....	371
8.5.1.3. EN 14700: E Ni3	372
8.5.1.4. EN 14700: E Ni4.....	372
8.5.2. Obložene elektrode za navarivanje sa nikel osnovom prema AWS A5.13	373
8.5.2.1. AWS A5.13: ENiCr (tip A, B i C)	373
8.5.2.1.1. AWS A5.13: ENiCr-B.....	374
8.5.2.1.2. AWS A5.13: ENiCr-C.....	375
8.5.2.2. AWS A5.13: ENiCrMo-5A	376
8.5.2.3. AWS A5.13: ENiCrFeCo	376
8.6. Primeri najčeste korišćenih obloženih elektroda sa kobaltnoj Co osnovi za navarivanje prema međunarodno priznatim standardima	377
8.6.1. Obložene elektrode za navarivanje sa kobaltnom osnovom (steliti) prema EN 14700.....	377
8.6.1.1. EN 14700: E Co1	377
8.6.1.2. EN 14700: E Co2	378
8.6.1.3. EN 14700: E Co3	379
8.6.2. Obložene elektrode za navarivanje sa kobaltnom osnovom (steliti) prema AWS A5.13.....	380
8.6.2.1. AWS A5.13: ECoCr (A, B i C).....	380
8.6.2.1.1. AWS A5.13: ECoCr-A	381
8.6.2.1.2. AWS A5.13: ECoCr-B	382
8.6.2.1.2. AWS A5.13: ECoCr-C	383
8.6.2.1.4. AWS A5.13: ECoCr-E	384
8.6.2.1.5. ECo-G.....	384
8.6.3 Ostale obložene elektrode za navarivanje na kobaltnoj osnovi	384
8.6.4. Obložene elektrode za navarivanje sa kobaltnom osnovom (steliti) prema DIN 8555	385
8.6.4.1. DIN 8555: E 20-UM-.....	385
8.7. Primeri obloženih elektroda za navarivanje sa unapred sadržanim karbidima prema standardima EN 14700, AWS A5.13 i DIN 8555	386
8.7.1. EN 14700: E Ni20.....	386
8.7.2. EN 14700: E Fe20.....	387
8.7.3. AWS A5.13: EWC X	388
8.7.4. DIN 8555: E 21-UM-.....	388
8.8. Obložene elektrode za navarivanje sa osnovom ostalih metala i legura	389
8.8.1. EN 14700: E Al1	389
8.8.2. EN 14700: E Cr.....	389
8.8.3. EN 14700: E Z.....	389
8.8.4. DIN 8555: E 22-UM-.....	389

8.8.5. DIN 8555: E 23-UM-.....	390
9. ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE SREDNJE UGLJENIČNIH, VISOKOUGLJENIČNIH I ALATNIH ČELIKA	391
9.1. Uvod u zavarljivost srednjeugljeničnih, visokougljeničnih, alatnih i teškozavarivih čelika	392
9.2. Primeri najčešće korišćenih obloženih elektroda za zavarivanje srednje ugljeničnih, visokougljeničnih, visokomanganskih, teškozavarivih i alatnih čelika.....	393
9.2.1. ISO 3581-A: E 18 8 6 (E 18 8 Mn).....	393
9.2.2. AWS A5.4: E307 za zavarivanje hardoksa i visokomanganskih čelika	394
9.2.2. ISO 3581-A: E 29 9.....	395
9.2.3. ISO 3581-A: E 23 12 2 LR.....	397
9.2.4. EN ISO 14172: ENi 6182 (NiCr15Fe6Mn).....	397
10. ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE LIVENIH GVOŽĐA	398
10.1. Klasifikacija elektroda za zavarivanje livenih gvožđa	399
10.1.2. DIN EN ISO 1071 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa.....	399
10.1.1. AWS: A5.15 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa	400
10.2. Uvod u zavarljivost livenog gvožđa.....	401
10.2.1. Uvod u zavarivost sivog, nodularnog i vermikularnog liva sa obloženim elektrodama.....	401
10.2.2. Zavarljivost belog liva i temper belog i crnog liva obloženom elektrodom	402
10.2.3. Uvod u zavarivost legiranih livenih gvožđa	404
10.2.3.1. Austemperovan nodularni liv - Ausferit	404
10.2.4. Uticaj legirajućih elemenata na zavarljivost livenog gvožđa.....	405
10.3. Osobine obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa.....	406
10.4. Opis najčešće korišćenih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa prema standardu AWS	409
10.4.1. Niskovodonične elektrode za zavarivanje nelegiranih čelika koje se koriste za zavarivanje livenih gvožđa definisanih prema AWS A5.1.....	409
10.4.2. AWS A5.15: E St.....	409
10.4.3. AWS A5.15: ENi-CI (Ni99).....	410
10.4.3.1. AWS A5.15: ENi-CI-A	415
10.4.4. AWS A5.15: ENiFe-CI	415
10.4.4.1. AWS A5.15: ENiFe-CI-A.....	418
10.4.5. AWS A5.15: ENiFeMn-CI.....	418
10.4.6. AWS A5.15: ENi-Cu.....	419
10.4.6.1. AWS A5.15: ENiCu-A	420
10.4.6.2. AWS A5.15: ENiCu-B	421
10.4.7. Obložene elektrode prvenstveno namenjene zavarivanju nerđajućih čelika koje se koriste za zavarivanje livenih gvožđa.....	422
10.4.8. Ostale elektrode za zavarivanje livenih gvožđa označene prema AWS standardu	422
10.5. Opis najčešće korišćenih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa prema EN standardu	423
10.5.1. DIN EN ISO 1071: EC Fe-2	423
10.5.2. DIN EN ISO 1071: EC FeC-GX.....	424

10.5.3. Ostale standardizovane elektrode za zavarivanje livenih gvožđa	424
10.6. Elektrode za međusobno zavarivanje livenih gvožđa i zavarivanje livenih gvožđa sa ostalim čelicima 425	
11. ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE NIKLA I NJEGOVIH LEGURA.....	426
11.1. Klasifikacija elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura	426
11.1.1. AWS: A5.11 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura	428
11.1.2. EN ISO 14172 - Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura.....	429
11.2. Uvod u zavarljivost nikla i njegovih legura.....	430
11.3. Opis najčešće korišćenih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura prema standardu AWS: A5.11 436	
11.4. Opis najčešće korišćenih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura.....	437
11.4.1. AWS A5.11: ENi-1; EN ISO 14172: E Ni 2061 (ENiTi3).....	437
11.4.2. AWS A5.11: ENiCr-4	439
11.4.3. AWS A5.11: ENiCu-7 (MONEL); EN ISO 14172: E Ni 4060	440
11.4.4. AWS A5.11: ENiCrFe-1; ENi 6062 (ENiCr15Fe8Nb).....	442
11.4.5. AWS A5.11: ENiCrFe-2; EN ISO 14172: E Ni 6092 (ENiCr16Fe12NbMo)	443
11.4.6. AWS A5.11: ENiCrFe-3 (INCONEL); EN ISO 14172: ENi 6182 (ENiCr15Fe6Mn)	445
11.4.6. AWS A5.11: ENiCrFe-4; EN ISO 14172: ENi 6093 (ENiCr15Fe8NbMo).....	447
11.4.7. AWS A5.11: ENiCrFe-7; EN ISO 14172: E Ni 6152 (ENiCr30Fe9Nb)	447
11.4.8. AWS A5.11: ENiCrFe-9; EN ISO 14172: ENi 6094 (ENiCr14Fe4NbMo).....	448
11.4.9. AWS A5.11: ENiCrFe-10; EN ISO 14172: ENi 6095 (ENiCr15Fe8NbMoW	448
11.4.10. AWS A5.11: ENiCrFe-12; EN ISO 14172 : E Ni 6025 (ENiCr25Fe10AlY).....	449
11.4.11. AWS A5.11: ENiCrFeSi-1	450
11.4.12. AWS A5.11: ENiMo-1; EN ISO 14172 : ENi 1001 (ENiMo28Fe).....	450
11.4.13. AWS A5.11: ENiMo-3; ENi 1004 (ENiMo25Cr5Fe5).....	451
11.4.14. AWS A5.11: ENiMo-7; EN ISO 14172: ENi 1066 (ENiMo28).....	452
11.4.15. AWS A5.11: ENiMo-8; EN ISO 14172: ENi 1008 (ENiMo19WCr).....	452
11.4.16. AWS A5.11: ENiMo-9; EN ISO 14172: ENi 1009 (ENiMo20WCu).....	453
11.4.17. AWS A5.11: ENiMo-10; EN ISO 14172: ENi 1067 (ENiMo30Cr).....	453
11.4.18. AWS A5.11: ENiMo-11; EN ISO 14172 : E Ni 1069 (ENiMo28Fe4Cr)	454
11.4.19. AWS A5.11: ENiCrMo-1	455
11.4.20. AWS A5.11: AWS A5.11: ENiCrMo-2; EN ISO 14172 : E Ni 6002 (ENiCr22Fe18Mo).....	455
11.4.21. AWS A5.11: ENiCrMo-3 (EN 14172 : E Ni 6625 (ENiCr22Mo9Nb)	456
11.4.22. AWS A5.11: ENiCrMo-4, (EN ISO 14172: E Ni 6276 (ENiCr16Mo15Fe6W4).....	458
11.4.23. AWS A5.11: ENiCrMo-5; EN ISO 14172: ENi 6275 (ENiCr15Mo16Fe5W3).....	459
11.4.24. AWS A5.11: ENiCrMo-6; EN ISO 14172 : E Ni 6620 (ENiCr14Mo7Fe)	459
11.4.25. AWS A5.11: ENiCrMo-7, EN ISO 14172: E Ni 6455 (ENiCr16Mo15Ti).....	460
11.4.26. AWS A5.11: ENiCrMo-9, EN ISO 14172: E Ni 6985 (ENiCr22Mo7Fe19).....	461
11.4.27. AWS A5.11: ENiCrMo-10; EN ISO 14172: E Ni 6022 (ENiCr21Mo13Fe4W3)	461
11.4.28. AWS A5.11: ENiCrMo-11; EN ISO 14172: E Ni 6030 (ENiCr30Fe15Mo5W).....	462

11.4.29. AWS A5.11: ENiCrMo-12; EN ISO 14172: E Ni 6627 (ENiCr21MoFeNb).....	463
11.4.30. AWS A5.11: ENiCrMo-13 (EN ISO 14172 : E Ni 6059 (ENiCr23Mo16)	464
11.4.31. AWS A5.11: ENiCrMo-14; EN ISO 14172 : E Ni 6686 (ENiCr21Mo16W4	465
11.4.32. AWS A5.11: ENiCrMo-17; EN ISO 14172 : E Ni 6200 (ENiCr23Mo16Cu2)	465
AWS A5.11: ENiCrMo-17 (EN ISO 14172 : E Ni 6200 (ENiCr23Mo16Cu2.....	465
11.4.33. AWS A5.11: ENiCrMo-18	466
11.4.34. AWS A5.11: ENiCrMo-19	466
11.4.35. AWS A5.11: ENiCrCoMo-1; EN ISO 14172: E Ni 6617 (ENiCr22Co12Mo9)	467
11.4.36. AWS A5.11: ENiCrWMo-1; EN ISO 14172: E Ni 6231 (ENiCr22W14Mo)	468
11.5. Primeri obloženih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura prema standardu EN ISO 14172 .	468
11.5.1. EN ISO 14172 : ENi 1062	468
11.5.2. EN ISO 14172 : ENi 6082	469
11.5.3. EN ISO 14172: ENi 8025	470
11.5.4. EN ISO 14172: ENi 8165	470
11.5.5. Ostale niklove elektrode	471
11.6. Elektrode za zavarivanje nikla ili njegovih legura sa raznorodnim materijalima	472
12. ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE BAKRA I LEGURA OD BAKRA	473
12.1. Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje bakra i njegovih legura	473
12.1.1. AWS A5.6: Klasifikacija elektroda za zavarivanje bakra i njegovih legura.....	473
12.2. Uvod u zavarljivost bakra i njegovih legura.....	475
12.2.1. Uticaj legirajućih elemenata na zavarljivost bakra ili njegovih legura.....	478
12.3. Primeri obloženih elektroda za zavarivanje bakra, njegovih legura (mesinga i bronz) i raznorodnih čelika	479
12.3.1. AWS A5.6: ECu.....	479
12.3.2. AWS A5.6: ECuSi	480
12.3.3. AWS A5.6: ECuSn.....	481
12.3.3.1. AWS A5.6: ECuSn-A.....	481
12.3.3.2. AWS A5.6: ECuSn-C.....	482
12.3.4. AWS A5.6: ECuNi.....	483
12.3.5. AWS A5.6: ECuAl.....	484
12.3.5.1. AWS A5.6: E CuAl-A1	484
12.3.5.2. AWS A5.6: E CuAl-A2	485
12.3.5.3. AWS A5.6: ECuAl-B	485
12.3.6. AWS A5.6: ECuNiAl.....	486
12.3.7. AWS A5.6: ECuMnNiAl.....	487
12.4. Elektrode za zavarivanje bakra i bakarnih legura sa raznorodnim materijalima	488
12.4.1. Elektrode za zavarivanje bakra i njegovih legura sa ugljeničnim čelicima	489
12.4.2. Elektrode za zavarivanje bakra i njegovih legura sa nerđajućim čelikom ili nikel legurama.....	490
13. ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE ALUMINIJUMA I NJEGOVIH LEGURA	492
13.1. Klasifikacija elektroda za zavarivanje aluminijuma i njegovih legura.....	492

13.1.1. AWS: A5.3 Klasifikacija elektroda za zavarivanje aluminijuma i njegovih legura.....	492
13.1.2. AWS: A5.3. stari standard za klasifikaciju elektroda za zavarivanje aluminijuma i njegovih legura.....	493
13.2. Uvod u zavarljivost aluminijuma sa obloženim elektrodama.....	493
13.3. Primeri obloženih elektroda za zavarivanje aluminijuma i njegovih legura.....	495
13.3.1. AWS A5.3: E1100; DIN 1732 EL-AL 99.8	495
13.3.1.1. AWS A5.3: E1080; DIN1732: EL-AI99,8.....	495
13.3.2. AWS A5.3: E3003; DIN: 1732: EL SiAlMn	496
13.3.3. AWS A5.3: E4043; DIN 1732: EL-AISi5	496
13.3.3.1. AWS A5.3: E4047; DIN 1732: EL-AISi 12	498
14. RUSKE OBLOŽENE ELEKTRODE	499
14.1. Osnovne karakteristike Ruskih elektroda	499
14.1.1. Jezgro ruske elektrode	499
14.1.2. Zaštitna obloga ruskih elektroda	500
14.1.2.1. Marke elektroda ГОСТ standarda	501
14.1.2.2. Recepture za spravljanje elektroda prema ГОСТ.....	501
14.3. Primeri najčešće korišćenih elektroda, prema standardu ГОСТ 9466/75 i ГОСТ 9467/75	502
14.3.1. Primeri elektroda za zavarivanje niskougljeničnih i niskolegiranih čelika prema standardu ГОСТ.....	502
14.3.2. Primeri elektroda za zavarivanje toplootpornih čelika prema standardu ГОСТ	503
14.3.3. Primeri elektroda za zavarivanje čelika otpornih na koroziju prema standardu ГОСТ.....	504
14.3.4. Primeri elektroda za zavarivanje vatrootpornih čelika prema standardu ГОСТ	505
14.3.5. Primeri elektroda za zavarivanje i navarivanje livenih gvožđa prema standardu ГОСТ	507
14.3.6. Primeri ostalih elektroda po ГОСТstandardu	507
14.4. Primeri nekoliko marki najčešće korišćenih elektroda prema standardu ГОСТ.....	508
14.4.1. УОНИ-13 elektrode	508
14.4.2. АНО Elektrode	511
14.4.3. ОЗС elektrode.....	515
14.4.4. ВСЦ elektrode	517
14.4.5. ВСН elektrode	518
14.4.6. ЦЦ- elektrode.....	519
14.4.7. Elektrode MP-3 i MP-3C.....	525
15. ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE RAZLIČITIH I RAZNORODNIH ČELIKA	526
15.1. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa drugim čelicima.....	528
15.1.1. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa ugljeničnim čelicima.....	530
15.1.1.1. Elektrode za spajanje austenitnog sa nelegiranim i niskolegiranim čelikom.....	530
15.1.1.2. Elektrode za spajanje vatrootpornih niskolegiranih čelika	533
15.1.1.3. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa čelicima otpornim na pužanje (Mo-čelicima, CrMo i CrMoV čelicima).....	533
15.1.1.4. Elektrode za zavarivanje austenitnih sa alatnim čelicima.....	534
15.1.1.5. Elektrode za zavarivanje obloženih austenitnih čelika	536

• OBLOŽENE ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE I NAVARIVANJE •

15.1.1.6. Elektrode za zavarivanje austenitnih sa vatrootpornim nerđajućim čelicima i manganskim čelicima	537
15.1.2. Elektrode za međusobno zavarivanje austenitnih sa drugim austenitnim čelicima.....	537
15.1.3. Elektrode za zavarivanje austenitnih sa martenzitnim čelicima.....	550
15.1.3. Elektrode za zavarivanje austenitnih sa feritnim ili feritno-perlitnim čelicima	557
15.1.4. Elektrode za zavarivanje austenitnih sa Dupleks nerđajućim čelicima	561
15.1.5. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa taložno ojačanim martenzitnim i poluaustenitnim taložno ojačanim čelicima	565
15.1.6. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa obojenim metalima i livenim gvoždem.....	567
15.1.6.1. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa niklom i njegovim legurama.....	567
15.1.6.2. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa Cu legurama i NiCu legurama	567
15.1.6.3. Elektrode za zavarivanje austenitnih čelika sa sivim livom.....	568
15.2. Elektrode za zavarivanje martenzitnih čelika sa drugim čelicima	568
15.2.1. Elektrode za zavarivanje martenzitnih čelika sa ugljeničnim i niskolegiranim čelikom.....	569
15.2.2. Elektrode za međusobno zavarivanje martenzitnih čelika sa martenzitnim čelikom.....	570
15.2.3. Elektrode za zavarivanje martenzitnih čelika sa feritnim čelicima	572
15.2.4. Elektrode za zavarivanje Dupleks čelika sa Dupleks čelicima	573
15.2.5. Elektrode za zavarivanje martenzitnih čelika sa taložno ojačanim čelicima	574
15.3. Elektrode za zavarivanje feritnih čelika sa ostalim čelicima	575
15.3.1. Elektrode za zavarivanje feritnih čelika sa nelegiranim ili niskolegiranim čelicima	575
15.3.2. Elektrode za međusobno zavarivanje feritnih čelika sa feritnim i martenzitno-feritnim čelicima.....	576
15.3.3. Elektrode za zavarivanje feritnih i feritno martenzitnih čelika sa Dupleks čelicima	576
15.3.4. Elektrode za zavarivanje feritnih čelika sa taložno ojačanim čelicima	577
15.4. Elektrode za zavarivanje Dupleks čelika sa ostalim čelicima.....	578
15.4.1. Elektrode za zavarivanje Dupleks čelika sa nelegiranim ili niskolegiranim čelicima.....	578
15.4.2. Elektrode za zavarivanje Dupleks čelika sa Dupleks čelicima	579
15.4.3. Elektrode za zavarivanje Dupleks čelika sa taložno ojačanim čelicima.....	579
15.5. Elektrode za zavarivanje taložno ojačanih čelika sa ostalim čelicima	580
15.5.1. Elektrode za zavarivanje taložno ojačanih čelika sa nelegiranim ili niskolegiranim čelicima	580
15.5.2. Elektrode za zavarivanje taložno ojačanih čelika (PH) sa taložno ojačanim čelicima.....	581
.....	582
Preporuke za izbor obložene elektrode za zavarivanje različitih nerđajućih čelika.....	582
16. OSTALE ELEKTRODE	585
16.1. Obložene elektrode za podvodno zavarivanje	585
16.1.1. DIN 2302: E 38 0 Z RB 2 UW.....	589
16.1.2. AWS A5.1: E70XX underwater.....	589
16.1.3. AWS A5.4: E3XX underwater.....	590
16.1.4. AWS A5.11: ENiXX underwater.....	590
16.2. Elektrode za elektrolučno rezanje, žlebljenje i zagrevanja metala.....	590
16.2.1. Elektrode za elektrolučno rezanje i žlebljenje	590

10.2.1.1. Elektrode za rezanje i žlebljenje pod vodom	592
16.3. Elektrode za zagrevanje metala	594
16.4. Elektrode za zavarivanje ostalih metala	594
17. SUŠENJE I SKLADIŠTENJE ELEKTRODA	595
17.1. Uticaj vodonika na zavarene spojeve zakaljivih, uslovno zakaljivih i nezakaljivih čelika	596
17.1.1. Sušenje celuloznih elektroda.....	600
17.1.2. Sušenje rutilnih i kiselih elektroda	600
17.1.3. Sušenje bazičnih elektroda.....	601
17.2. Skladištenje elektroda nakon sušenja – međuskladištenje elektroda	602
17.3. Predsušenje i ponovno sušenje elektroda	602
17.3.1. Lice koje kontroliše sušenje elektrode i raznoslač elektroda	604
17.4. Posledice preterane vlažnosti i neadekvatnog sušenja elektroda	605
17.4.1. Zavarivanje sa vlažnim bazičnim elektrodama	605
17.4.2. Previše osušene elektrode	606
17.4.3. Starenje obloženih elektroda.....	606
17.5. Oprema za sušenje	607
17.5.1. Sušenje u kuhinjskoj rerni i metalnoj konzervi.....	607
17.5.2. Sušenje elektrode u zavarivačkom kontaktu.....	608
17.6. Čuvanje i skladištenje elektroda	608
17.6.1. Pakovanje elektroda	609
17.6.1.1. Prednosti vakum pakovanja elektroda	610
18. Prilozi	611
18.1. Klasifikacija čelika koji se preporučuju za zavarivanje sa obloženim elektrodama	611
18.1.1. Klasifikacija čelika po SRPS/EN	611
18.1.1.1. Klasifikacija čelika po zamenjenom JUS standardu.....	612
18.1.1.2. Sistem za označavanje čelika prema EN standardima 10025 i 10027-1.....	614
18.1.1.3. Označavanje livenih gvožđa prema standardu EN 1560	620
18.1.1.4. Sistem za označavanje nelegiranih čelika prema DIN 17007 standardu (Werkstoff Numer), W.Nr. 10027-2: brožani sistem.....	621
18.1.1.5. Sistem za označavanje nelegiranih čelika prema DIN 17006.....	622
18.1.1.6. Označavanje čeličnog liva prema DIN 17006.....	625
18.1.1.7. Klasifikacija čelika po ГОСТ	626
18.1.1.8. Klasifikacija čelika po standardu AISA/ASTM	628
18.1.1.9. Klasifikacija čelika prema standardu EN 288-3 i ISO15606.....	630
18.2. Uporedna tabela tvrdoće: BRINELL - VICKERS - ROCKWELL – SHORE	631
18.3. Korozija galvanskih parova u morskoj vodi na 4–27°C.....	633
19. Literatura	635

SKRAĆENICE

R_m – minimalna zatezna čvrstoća (tensile strength)

R_{p0.2} – minimalni napon tečenja (yield strength)

A5 – minimalno istezanje (elongation after rupture)

HRC – tvrdoća po Rokvelu (hardness HRC)

HB – tvrdoća po Brinelu (hardness Brinell)

HV – tvrdoća po Vikersu (hardness Vickers)

SMAW – zavarivanje sa obloženim elektrodama (shielded metal arc welding (manual metal arc welding))

MMA – ručno zavarivanje sa obloženim elektrodama (Manual Metal Arc Process).

FCAW – zavarivanje sa punjenom žicom (flux-cored arc welding)

GMAW – zavarivanje u zaštiti gasa (gas metal arc welding)

(DC +) – jednosmerna struja obrnutog polariteta (direct current – reverse polarity)

(DC –) – jednosmerna struja direktnog polariteta (direct current – straight polarity)

(AC) – naizmjenična struja (alternating current)

U_o – napon paznog hoda (open circuit voltage)

PH – taložno ojačavanje (Precipitation Hardening)

σ-faza - Sigma faza je tvrdo i krto intermetalno jedinjenje koje se pojavljuje na granicama zrna, nakon dužeg zadržavanja na temperaturama ispod 900°C. Proces stvaranja sigma faze je vezan za hromne čelike.

WFM – (Weld Filler Metal) međunarodno generisan broj dodatnih materijala za zavarivanje koji se koristi za upoređenje dodatnih materijala prema različitim nacionalnim i međunarodnim standardima. Oznaka E- govori da su u pitanju obložene elektrode, S- čvrsta žica, T- punjena žica, C-žica sa jezgrom, R-livene šipke, B-trake za zavarivanje. Dodatna oznaka materijala odnosi se na namenu dodatnog materijala za zavarivanje, kao što su S- za nerđajuće čelike, Ni- nikel i njegove legure, Cu- bakar i njegove legure, Al- aluminijum i njegove legure, Co- kobaltne legure, CI- zavarivanje livenih gvožđa, F - navarivanje, a ako nema oznaku (posle oznake E) onda je dodatni materijal namenjen za zavarivanje ugljeničnih ili niskolegiranih čelika.

FN - Skraćenica od Ferite Number („udeo“ ferita koji se kreće u granicama od 0-100).

WRC 92: FN –Dijagram WRC iz 1992. godine daje tačnije rezultate od Šeflerovog De Long-ovog strukturnog dijagrama za preciznije određivanje ferita (0 – 100 FN) u mikrostrukturi austenitnih materijala sa sadržajem hemijskih elemenata: Mn<10%, Mo<3%, N<0,2 % i Si<1%. Ovaj dijagram može poslužiti u samo uskom područje učešća ferita koji je određen za vrednosti $Cr_{ekv} 17-31 \%$ i $Ni_{ekv} 9-18 \%$.

WEAR označava kombinaciju nekoliko otpornosti prema habanju, kao što su otpornosti prema mehaničkoj abraziji i koroziji i ne mora biti ograničena na samo jednu otpornost metala navara.

Fe - je oznaka za hemijski element koji se u hemiji zove gvožđe, a zapravo je **železo, jer je gvožđe** legura železa Fe i ugljenika. Napomena: u ovom materijalu za „čist“ Fe koristićemo termin – železo.

Uvod

Upotreba kataloga za obložene elektrode, može da bude vrlo stresan i zamoran posao u trenucima kada se tehnolozi ili inženjeri zavarivanja susreću sa novim problemima u zavarivanju. Kataloško označavanje je najčešće skromno i uopšteno, često bez navedenih materijala na kojima je obložena elektroda predviđena za zavarivanje ili samo sa crtežima kao praktičnim primerima. Crteži u katalogu mogu da budu sasvim dovoljan podsetnik u slučaju kada već postoji primenjeno iskustvo iz određene oblasti. U stvarnosti svako ko se bavi zavarivačkim poslom, uključujući i iskusne tehnologe zavarivanja, mogu se naći u nedoumici prilikom izbora elektrode. To je povod za nastanak ove knjige.

Ova knjiga urađena da bude pomoćno sredstvo, prilikom istraživanja i pronalaženja potrebne obložene elektrode, na osnovu zadanog materijala, radnih uslova i podataka datih u katalogu proizvođača. Prema tome, cilj izrade ove knjige je da u izvesnoj meri olakša izbor obložene elektrode. Obrnuto, u susretu sa novim problemom, korisnik knjige može steći izvesno znanje i prediskustvo, koje će mu pomoći da brzom pretragom pronađe jednu ili više obloženih elektroda u ponuđenim katalogima.

Dovoljno je razumeti fizičke i metalurške karakteristike metala i odgovarajućeg metala ispune zavarenog spoja i pravilno ih ukonponovati, da bi se postigli uspešni rezultati zavarivanja.

Ova knjiga je dopuna kataloga pri izboru obloženih elektroda za zavarivanje i kao takva namenjena je majstorima, mladim inženjerima, tehnolozima i inženjerima zavarivanja, kao podsetnik, ali i svima koji bi želeli da poboljšaju rezultate svog rada i pripreme se da mogu da odgovore izazovima novonastalih zavarivačkih potreba.

PODSETNIK!

Što više znate o karakteristikama elektroda koje koristite na gradilištu bićete bolji i zavarivač i rukovodilac, jer su one najznačajniji deo pribora za zavarivanje sa obloženim elektrodama.

Problem pri izradi knjige je izbor dovoljne količine potrebnih informacija i znanja iz metalurgije. Previše metalurgije, smanjuje pažnju slabijeg poznavaoaca ove materije, pa bi važne stvari ostale propuštene. Sa druge strane premalo metalurgije, sprečava pravilan izbor elektroda, vodi ka nerazumevanju i pojednostavljenju problematike zavarivanja. Za poznavaoce metalurgije, sigurno će primetiti da je nedovoljno obrađena ova materija, jer je dosta kvalitetnih stvari je izostavljeno. Sa druge strane, za nekog ko nije u ovoj oblasti, sve što je napisano iz metalurgije je samo teorija bez prakse. Kao autor, pokušaću da pronađem „pravu meru“ za većinu korisnika ove materije.

Jedna od najvažnijih stvari u zavarivanju, termička obrada pre, za vreme i posle zavarivanja, nije našla mesto u ovom materijalu i samo su prikazane preporuke za elektrode. Kao takvo ostaje nedorečeno i potrebno je da korisnik nastavi sa proširivanjem znanja i u toj oblasti.

Arčibal Rajs: „Kada student položi ispit, on praktično ništa ne zna! Njega će izgraditi sama praksa, i to pod uslovom da ga je profesor naučio na koji način da sagleda stvari. Diplome stečene ispitima položenim tako što su za tu priliku napamet naučeni paragrafi iz knjiga ništa ne vrede“.

Treba podsetiti čitaoca, da je zavarivanje ozbiljno-opširna nauka. Studiranje zavarivanja zahtevalo bi još jedan tehnički fakultet. Na žalost, i sami zavarivači o zavarivanju malo znaju, pa je i neznanje, prema njima, malo. Na nekim značajnim tehničkim fakultetima, zavarivanje, kao grana nauke, se izučava u samo nekoliko lekcija.

• OBLOŽENE ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE I NAVARIVANJE •

Većina običnih metalnih radnika vidi zavarivanje sa obloženim elektrodama kroz jednu, dve ili nekoliko elektroda, sa kojima rešavaju sve situacije. Zavarivanje se svodi na odabir jačine struje i tehnike vođenja elektrode. U suštini, zavarivanje je i osmišljeno tako da može da ga koristi širok spektar ljudi različitog zanimanja i kvalifikacija. **Jednostavnost zavarivanja sa obloženim elektrodama je njegova superiornost i njegova „magija“.**

U ovoj knjizi su prekršena pravila pravopisa, samo sa jednim ciljem: da čitaocu budu jasne i razdvojene činjenice. Kao najčešća graška pojavljivače se opis sadržaja nekog hemijskog elementa, kao što je maksimalni sadržaj ugljenika u leguri zavarenog spoja: $C \leq 0,08\%$ (čitaj: MAKSIMALNI SADRŽAJ UGLJENIKA NE PRELAZI OSAM STOTIH DELOVA MASENOG PROCENTA).

Kada je sadržaj nekog hemijskog elementa dat u sledećim vrednostima: C0,04-0,08% (čitaj: SADRŽAJ UGLJENIKA SE KREĆE U GRANICAMA OD ČETIRI DO OSAM STOTIH DELOVA MASENOG PROCENTA).

Da bi sadržaj bio tehnički pregledniji, numeričke vrednosti su spojene sa slovnim oznakama: Ø2,5mm, umesto Ø 2,5 mm ili 250°C umesto 250 °C.

Sadržaj hemijskih elemenata je u masenim procentima, izuzev vodonika koji se opisuje u zapreminskim jedinicama po jedinici mase (ml/100gr)

Odgovornost za konačni rezultat u zavarivanju, ni na koji način ne može preuzeti autor ili osobe koje su na bilo koji način pomogle u izradi ove knjige. Ova knjiga je samo pomoćno sredstvo na putu do konačnog cilja. Znači, od čitaoca se zahteva, stalni rad i istraživanje, kako bi se došlo do pravih rezultata u svakoj situaciji. Većina zavarivačkih poslova se može rešiti na više načina, pri čemu rezultati mogu biti zadovoljavajući. Problemi koji se postavljaju pred tehnologe i inženjere zavarivanju su nesvakidašnje situacije, za koje je potreban pravilan odabir tehnologije i tehnike zavarivanja. Zavarivanje sa obloženim, odnosno oplštenim elektrodama je takvo da najčešći problem zavarivačima i inženjerima i tehnolozima zavarivanja predstavlja, zapravo, izbor elektrode i termičkog obrade zavarenog spoja.

Ne zaboraviti: za uspešan rad neophodno je posedovanje standarda koji su navedeni u ovoj knjizi. Knjiga Vam samo može olakšati snalaženje u standardima i njihovo upoređivanje, a ne može ih zameniti!

PODSETNIK!

**Za uspešan i siguran rad korisnik mora posedovati standarde i njih koristiti.
Ova knjiga ne može zameniti standarde koji su navedeni.**

Autor

1. PROIZVODNJA OBLOŽENIH (OPLAŠTENIH) ELEKTRODA

1.1 Istorijat razvoja i proizvodnje obloženih elektroda

Obložena elektroda za ručni elektrolučni postupak zavarivanja je praktičan potrošni alat, u današnjem obliku izum Švedskog inženjera Kjellberga 1907. godine.

Ne treba zaboraviti ni pionire u zavarivanju, Francuskog istraživača Demetrona koji je 1881. godine izveo zavarivanje olovnih ploča sa grafitnom elektrodom. Uporedo sa njim, 1882. godine u Rusiji, naučnik Bernandos je izveo zavarivanje čelika sa strujom iz akumulatora uz pomoć grafitne elektrode. Rezultat je bio zavareni spoj, slabih mehaničkih svojstava zbog zaostalog ugljenika u zavarenom spoju i kiseonika iz vazduha koji je gradio oksidne uključke i pore. Postupak po Benardosu je prilično zastareo i zbog toga se ne koristi pa ga nećemo ni proučavati.

PODSETNIK!

U ovoj knjizi će se koristiti i sledeći termini opláštena elektroda ili samo elektroda, sa istim značenjem kao osnovni termin, obložena elektroda.

Međutim, zahvaljujući njegovom istraživanju, njegov zemljak, odnosno ruski inženjer Slavjanov je 1889. godine uspeo da izvede zavarivanje sa topljivom elektrodom u jednosmernoj struji koji je dobio iz posebnog generatora. Zahvaljujući Slavjanovom izumu topljive elektrode, otklonjen je veliki problem u zavarivanju. Rezultati su bili daleko bolji od zavarivanja sa grafitnom elektrodom, ali i dalje je postojao problem oksidnih uključaka, pora i velike količine azota u metalu šava.

Tadašnji operatori su primetili da se zavarivanjem sa zardalom žica proizvodi bolji zavar od sjajne čiste žice. Iznenađujuće je bilo da žica koja je zamotana u novine ili kada se stavi borova daska blizu zavarenog mesta, zavari su bili daleko bolji od zavara sa čistom žicom. Eksperimentisalo se i

tako što su korišćene različite vrste žice, što je za posledicu imalo dalje razvijanje te oblasti. Ova rana zapažanja doveli su do razvoja obložene elektrode.

Jedan od nepremostivih problema u tom vremenu je bio nestabilan zavarivački luk.

Da bi se omogućio stabilniji zavarivački luk, prvi praktični koraci su bili premazivanje gole žice sa kredom u tankom sloju ili su jednostavno голу žicu umakali u kreč, da bi je osušenu, koristili za zavarivanje. Ispitivanja bi pokazali da su rezultati kvaliteta metala šava elektroda sa krečom ili kredom bili isti kao kod zavarivanja sa golom žicom, ali je zavarivački luk bio stabilniji. Ove obloge od krede su imale oznake AN-1 i VIAM-25.

Drugi problem, zaštite zavarivačkog luka od gasova iz atmosfere je rešenje koje je postavio Kjellberg, pa ga mnogi i smatraju tvorcem obloženih elektroda. On je utvrdio da za pokazatelj zaštite metala šava, može da posluži sadržaj azota u metalu šava. Nekoliko godina kasnije ručno elektrolučno (REL) zavarivanje sa obloženom elektrodom je postao osnovni postupak spajanja metalnih materijala, što je i do danas ostao, pa zbog toga i ima prema standardu EN 287-1 međunarodnu prvu kodnu oznaku br 111.

Zahvaljujući tehničko tehnološkim rešenjima izrade obloženih elektroda i korišćenja savremenih invertorskih aparata za zavarivanje, koji se i dan danas svakodnevno unapređuju, zavarivanje obloženim elektrodama je sve manje složen proces i sve manje zavisi od umešnosti i visprenosti pojedinca-zavarivača.

Razvoj obloženih (oplaštenih) elektroda je omogućio razvoj industrije čelika pogodnih za zavarivanje i stvaranje čitavog spektra konstrukcija, mašina i alata, primenjenih u svakom delu života čoveka. Zbog toga kažemo da zavarivanje sa obloženom elektrodom je najrasprostranjeniji postupak zavarivanja u mašinskom održavanju konstrukcija i sklopova.

Obložena elektroda je sastavljena iz metalnog jezgra i zaštitne obloge, pri čemu zaštitna obloga elektrode služi prvenstveno da zaštiti zavarivački luk sa tečnim metalom i metal u zavarivačkom kupatilu od štetnog delovanja atmosferskih gasova, a ujedno i da legira šav, stabilizuje luk i poboljšava zavar na druge načine. Međutim, oksidaciju metala šava jednim delom izvode i materijali koji su sastavni deo obloge, kao što su oksidi gvožđa, karbonati, silikati i slično. Ove materije se dodaju u sastav obloge radi poboljšanja performansi i tehnoloških svojstava elektroda i proizvedenog metala zavara.

Metalno jezgro elektroda za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika, najčešće čini mekana čelična žica od umirenog čelika, sa niskim procentom ugljenika i legirajućih elemenata. To je pravilo koje važi za elektrode koje se proizvode po ISO, AWS i EN standardima. Međutim elektrode koje se proizvode po ruskom standardu „ГОСТ“, imaju „obrnutu“ logiku u odnosu na elektrode koje su proizvedene po ISO, AWS i EN.

Za takve elektrode, prioritet je stavljen na žičano jezgro elektrode. Tako se prema ovom standardu za izradu elektrode koriste razna metalna jezgra, različitog hemijskog sastava, o čemu će biti posebno reči. Inače, jezgro nije obloženo zaštitnom oblogom na slobodnom kraju, kako bi se omogućio dobar kontakt i prenos električne energije u čeljustima zavarivačkih klešta i uspostavljanje strujnog kola sa osnovnim metalom na suprotnom kraju.

Postupak zavarivanja sa obloženom elektrodom naziva se ručno elektrolučno zavarivanje i skraćenice za ovaj postupak u literaturi na engleskom jeziku su sledeće: „shielded metal arc welding – SMAW“ ili „Manual Metal Arc (MMA) welding“. Društvo za unapređenje zavarivanja Srbije - DUZS koristi oznaku E-postupak. U nekoj literaturi pod oznakom REL podrazumevaju se svi ručni postupci elektrolučnog zavarivanja. Mi ćemo koristiti naziv **zavarivanje sa obloženom elektrodom**, jer ovu problematiku u ovoj knjizi opisujemo.

Danas imamo veoma veliki i širok spektar proizvođača obloženih elektroda sa oko 4000 različitih proizvoda iz ove oblasti u koje uključujemo: gole elektrode, tankobložene elektrode, elektrode za ispunu i elektrode sa teškom oblogom.

Primena obloženih elektroda u zavarivanju obuhvata široki dijafazon slučajeva, od izrade neobaveznih ograda i terasa pa sve do zavarivanja cevi i sudova pod visokim pritiskom. Gotovo da nema poljoprivrednog domaćinstva ili zanatske radnje gde u toku radnog veka nije upotrebljen postupak zavarivanja sa obloženim elektrodama bilo da je u pitanju izgradnja objekta ili u toku rada održavanja. Zahvaljujući obloženim elektrodama rutilnog tipa omogućava se početnicima jednostavno rukovanje i mogućnost da se vrlo brzo oprobaju u zavarivanju nezahtevnih zavarenih spojeva. Bazični tip elektrode omogućava izradu vrlo snažnih spojeva odličnog kvaliteta, a celulozna i rutilna obloga elektrode omogućava zavarivanje u svim položajima. Zahvaljujući visokom pritisku, usled pritiska gasova iz obloge elektrode, vrlo lako se izvodi provarivanje ugaonih šavova. Ne sme se zaboraviti da ne mogu sve elektrode odgovarati za sve uslove i položaje zavarivanja. Početnici vrlo brzo mogu da izrađuju pripoje u toku priprema za zavarivanje, dok vešti zavarivači završavaju zavareni spoj.

Zavarivanje obloženom elektrodom je donedavno primenjivano više od svih ostalih postupaka zavarivanja zajedno. Prosečno za izgradnju jednog broskog tankera nosivosti 80.000 tona zavari oko 250 km ugaonih spojeva i oko 10 km sučeonih spojeva. U rafinerijama nafte, termoelektranama i slično, ima u proseku od 10.000 do 100.000 zavarenih spojeva pod pritiskom i kilometri zavarene konstrukcije. Veliki deo zavarivanja bude izveden postupkom zavarivanja sa obloženim elektrodama.

1.2. Hemijski sastav zaštitne obloge elektroda

Najsloženiji deo obložene elektrode u hemijskom i metalurškom smislu je zaštitna obloga, koja podrazumeva pravilni odabir hemijskih komponenti i njihov maseni sadržaj u oblozi elektrode.

Za inženjere i tehnologe zavarivanja može biti interesantan hemijski sastav obloge elektroda za zavarivanje čelika u kome najčešće učestvuju sledeće materije:

- **STVARAČI TROSKE I FLUKSA**. Ovi sastojci moraju da obezbede sledeće osobine: viskoznost i povoljnu gustinu šljake tako da ona pliva na površini rastopa i površinski napon koji će sprečiti razlivanje tečnog metala šava. Pored toga ove materije moraju obezbediti povoljnu tačku topljenja. Između troske, nastalih gasova i metala ne sme doći do reakcija i stvaranja gasnih pora u šavovima.

Jedna od najznačajnijih komponenti u zaštitnoj oblozi koja utiče na stvaranje troske je CaCO_3 , odnosno kalcijum karbonat koji na visokim temperaturama disocira na ugljen-dioksid CO_2 koji je zaštitni gas tečnog metala i CaO koji pomaže u stvaranju šljake i štiti metalne kupke. Ostali metalni oksidi, kao što je MgO , se dodaju u zaštitnu oblogu kako bi se regulisala tečljivost šljake, ali i da se obezbedi smanjenje uticaja atmosfere.

MgO u odnosu na CaO, nema neku značajnu ulogu u oblozi sem toga da ima snažnu funkciju regulisanja tečljivosti šljake.

Pesak, odnosno silicijum-dioksid (SiO_2), je česta i jeftina komponenta u oblozi, čija je uloga u obrazovanju šljake, regulaciji viskoznosti šljake ali ima uticaj na stabilizaciju električnog luka. Pošto se šljaka učvršćuje relativno brzo, potrebno je da što duže zadržava toplotu (kao neka vrsta termoizolatora) i dozvoljava da se osnovni metali polako ohladi i stvrdne uz istovremeno žarenje prethodnog sloja, što je od izuzetnog značaja za kvalitet šava. Što je sporije očvršćavanje metala smanjuje se količina gasova koja će zaostati unutar šava nakon zavarivanja. Kod legura metala koji u procesu zavarivanja zahtevaju nizak unos toplote i maksimalnu međuprolaznu temperaturu, odnosno kada što pre treba smanjiti unetu toplotu i sniziti temperaturu, teži se izradi obloženih elektroda čija će šljaka biti tanja, sa dobrom razmenom toplote.

Šljaka koja sadrži čestice peska će vezivati ostale nečistoće za sebe, i pri tome će biti uvek manje specifične težine od metala šava, usled čega će isplivati na površinu.

Kalcijum karbonat (CaCO_3) se može pojaviti u više amotrofnih oblika poput mermera, kreča i slično. Kreč značajno više upija vode u odnosu na druge oblike kalcijum karbonata. Prah koji je dobijen mlevenjem mermera, koji je čest sastojak elektroda može u sebi sadržavati i druge oblike kalcijum karbonata, koji mogu biti osetljivi na vlagu.

Magnetit je ruda železa koja takođe obezbeđuje povoljne osobine šljake, i kao takav se često koristi u izradi obloge elektroda.

Titanijum-dioksid (RUTIL) TiO_2 (sa Fe10%) ima za cilj da omogući formiranje veoma fluidne šljake, kiselog tipa, koja brzo prelazi u čvrsto stanje. TiO_2 je najvažniji oksid koji služi za poboljšavanje stabilizacije i jonizacije luka. Spomenuti oksid je zapravo nerafinisan oblik TiO_2 koji je glavni sastojak zaštitne obloge "rutilnih" elektroda. Ovaj oksid titanijuma se u prirodi nalazi u tri oblika, od kojih su najčešće spominjani rutil, koji je mineral mlečno bele boje i anastaz. Možda je važno znati, da ovaj oksid nije suštinski najznačajniji u oblozi elektrode za stvaranje šljake kao što je to **kalcijum-fluorid**. U oblogama rutilnih elektroda kalcijum fluorid učestvuje sa minimum 35%, uz učešće drugih minerala kao što je feldspat, zatim gline i manje količine celuloze i vodenog stakla. Feldspat je ružičasti ili beo mineral nastao u granitnoj steni. Odatle neke rutilne elektrode imaju lep ružičasti ili svetlo sivi izgled.

Ostali stvarači troske:

- boksit Al_2O_3 , podiže temperaturu toljenja i smanjuje viskozitet šljake
- feldspar, smanjuje viskozitet šljake. Feldspati spadaju u lake minerale kao što je kvarc, beli liskun itd.
- kristobalit SiO_2 , obrazuje kiselu šljaku
- volastonit CaSiO_3 , obrazuje bazičnu šljaku
- dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, ređe se koristi za obrazovanje šljake u oblozi elektroda, već češće u čeličanama
- magnetit Fe_3O_4 , sem obrazovanja šljake ima i ulogu povećanja magnetičnosti luka
- periklas MgO, povećava temperaturu topljenja šljake
- pirolizit MnO_2 , obrazuje šljaku na površini tečnog metala

- **PLASTIFIKATORI**. S obzirom na to, da je materijal od koga se stvara zaštitna obloga je često granularna ili peskovita, potrebno je dodati materije koji će podmazati čestice materijala. Ove materije su plastifikatori koji omogućavaju stvaranje glatke smese koja se može duboko izvlačiti u mašini za izradu obloženih elektroda. Pre unošenja u mašinu, ova smesa se stavlja pod pritisak, kako bi se obezbedila kohezija i ravnomernost smese.

Za poboljšanje ekstruzije obloge najčešće se koriste:

- bentonit (glina) $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, poboljšava isticanje smese
- kaolin $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3(\text{OH})$, poboljšava isticanje smese
- glicerol $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$, poboljšava isticanje smese
- talk, poboljšava isticanje smese

Glina i guma spadaju u red plastifikatora, dodaju se u oblogu da obezbede elastičnost i čvrstoću obloge. One se dodaju ne zbog metala šava, nego sa ciljem da se obezbedi funkcionalnost obloge. Najčešće se koriste spomenute gline tipa **bentonita**, **kaolina** i sl. U oblogu mogu da se dodaju još azbest, kao i drugi minerali tipa **feldspara**, **dolomita** i sl.

- **VEZIVAČI**. Vezivači su tečni, rastvoreni silikati, kao što su **natrijum i kalijum silikati**, koji se koriste u oblozi elektrode kao veziva i nazivaju se vodeno staklo. Osnovna funkcija veziva je da formira „plastičnu“ masu materijala obloge sposobnog za duboko izvlačenje, povezivanje sa jezgrom elektrode i pečenje.

PODSETNIK!

Najvažniji sastojak obloge elektrode je CaF_2 , odnosno kalcijum fluorid.

Pored ove funkcije, vodena stakla imaju i sekundarnu ulogu koja bi bila da se smanji koeficijent trenja prilikom ekstruzije smese, odnosno dubokog izvlačenja. Ekstruzija je postupak u kome sitne čestice obloge na toploti postižu ravnomerno testasto stanje.

Nakon pečenja obloga bi trebala biti takva da obezbedi održavanje kratera na vrhu elektrode u toku zavarivanja i istovremeno imati dovoljnu čvrstoću da se ne bi iskrunila, napukla ili slomila. Vezivači se takođe imaju ulogu da obezbede nezapaljivost obloge, elektro-otpornost, kao i sprečavanje preranog razlaganja obloge usled povišene toplote u toku zavarivanja.

Vezivna sredsta:

- vodeno staklo $\text{Na}_2\text{O}_n\text{SiO}_2(\text{OH})_n$, najčešće korišćeno vezivno sredstvo
- potaša $\text{K}_2\text{O}_n\text{SiO}_2(\text{OH})_n$, ređe korišćeno vezivno sredstvo
- azbest koji je ranije često korišćen kako bi poboljšala se vrednost ispečene obloge.

Na smesu koja se formira itekako utiče gustina vodenog stakla. Proizvođači elektroda za svaki tip elektrode propisuju gustinu vodenog stakla, kako bi se osigurao kvalitet elektrode.

- **STVARAČI ZAŠTITNOG GASA.** Zaštitni gas je izuzetno bitan za kvalitet zavarenog spoja. Odlikuje ga količina u smislu protoka, pritisak i vrsta i sadržaj nekih od zaštitnih gasova, kao što su na primer CO_2 i H_2 . Hemijske materije u zaštitnoj oblozi elektrode koji služe za stvaranje zaštitnog gasa dele se na: ugljene hidrate, hidrate i karbonate.

Najznačajniji stvarači zaštitnog gasa u oblozi elektroda su **celuloza, karbonati kalcijuma i magnezijuma i voda** bilo da je kao vlaga ili sastavni deo neke materije kao što je glina ili liskun. Spomenuti materijali na visokoj temperaturi zavarivačkog luka razvijaju zaštine gasove ugljen-dioksid, ugljen-monoksid ali i vodenu paru. Vodena para na visokoj temperaturi i struji zavarivačkog luka disocira na vodonik i kiseonik. Vodonik služi kao zaštitni gas, a kiseonik se mora na vreme odstraniti tako što se u oblogu dodaju materije koje imaju veći afinitet prema kiseoniku u odnosu na metal šava i odstranjuju ga u obliku šljake.

Vlaga se posebno nalazi u elektrodama celuloznog tipa i njen je sastavni deo u količini od nekoliko procenata. Bez vlage, obloga elektrode celuloznog tipa ne bi imala zaštitnu ulogu, jer se ne bi stvarali zaštitni gasovi vodonika i ugljen-dioksida. Zato kažemo da je vlaga neophodan sastojak obloge celulozne elektrode kao što su tipovi elektroda AWS A5.1: E6010 ili E6011. Prečišćena **drvena pulpa**, $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ je osnovni sastojak u celuloznoj oblozi sa istom ulogom koju ima CaCO_3 u bazičnoj oblozi, odnosno to je sastojak za stvaranje zaštitnog gasa CO_2 .

Kalcijum fluorid ima više uloga u oblozi elektrode, uključujući i stvaranje gasa za zaštitu luka, stvaranje šljake i osiguranje tečljivosti i rastvorljivosti metalnih oksida u šljaci. U metalurškom smislu ovaj mineral ima veću ulogu od rutila za stvaranje tečljivosti šljake, pa zato kažemo da je bitniji u zaštitnoj ulozi u odnosu na rutil. To na neki način ruši sve ustaljene nazive elektroda. Zamislite da se rutilne elektrode više ne zovu rutilne nego „kalcijum-fluoridne“.

Celuloza sagorevanjem proizvodi gasnu zaštitu električnog luka od atmosferskih gasova uključujući i kiseonik iz vazduha. Najčešće korišćena celuloza je dobijena iz pamuka, mlevene hartije, drveta, uključujući već spomenutu prečišćenu drvenu pulpu.

- **STABILIZATORI LUKA.** Za atmosferski vazduh kažemo da nije dovoljno provodljiv, jer teško održava stabilan zavarivački luk, što je bio najveći problem u prvim pokušajima razvoja elektroda za zavarivanje. Danas se u oblogu elektrode dodaju materije koji obezbeđuju provodljivost struje. Materijali koji se koriste za stabilizaciju zavarivačkog luka su **jedinjenja titanijuma, kalijuma i kalcijuma**. Elektrode koje se koriste za zavarivanje sa naizmeničnom strujom moraju imati višu koncentraciju ovih materija u oblozi u odnosu na elektrode koje su namenjene za zavarivanje samo na jednosmernoj struji.

- **TOPITELJI.** Jedan od značajnih problema koji se javljaju su oksidi koji imaju višu temperaturu topljenja i zgušnjavanja od legure koja se zavaruje. Kao takvi stvaraju oksidne uključke u metalu zavara. To je razlog zašto se dodaju materije koje omogućavaju smanjenje temperature topljenja ovih oksida. Najznačajnij ulogu u snižavanju temperature topljenja oksida i obrazovanju šljake, imaju:

- kriolit Na_3AlF_6 obrazuje šljaku
- LiF vrlo efikasan u obrazovanju šljake
- BaCO_3 sem što obrazuje šljaku oslobađa i zaštitne gasove
- CaF_2 o njemu smo već pričali, ali da ponovimo izuzetan u obrazovanju šljake

PODSETNIK!

Obloga bazične elektrode je kruta i lako se lomi, dok ostale elektrode imaju elastičnu oblogu, koja teže puca pri savijanju, što je naročito bitno kod zavarivanja na nepristupačnim mestima.

- **LEGIRAJUĆI MATERIJALI.** Materijali koji se dodaju zaštitnoj oblozi sa ciljem da se obezbedi legiranje šava retko kada podrazumevaju čiste hemijske elemente, nikl, molibden i hrom koji se dodaju da bi obezbedili zahtevanu leguru u metalu šava.

Tabela 1/1: Preporučene vrednosti sastava nerazređenog metala šava dobijen od obloženih elektroda, punjene žice, žice i krute žice za zavarivanje

Hemijski element		Granične vrednosti i raspon tolerancije hemijskog sastava zavarenog metala šava prema sledećim standardima			
He mij ski sim bol	Hemijski sadržaj	DIN EN ISO 636, DIN EN ISO 14171, DIN EN ISO 2560, DIN EN 12536, DIN EN ISO 14341, DIN EN ISO 17632 Za nelegirane i fino zrne čelike	DIN EN ISO 18275, DIN EN ISO 26304, DIN EN ISO 16834, DIN EN ISO 18276 za visoko čvrste čelike	DIN EN ISO 3580, DIN EN 12536, DIN EN ISO 17634, DIN EN ISO 21952, DIN EN ISO 24598 za čelike otporne na puzanje	DIN EN ISO 3581, DIN EN ISO 14343, DIN EN ISO 17633 za nerđajuće i vatro otporne čelike
C		≤ 0,10	≤ 0,10	u skladu sa navedenim standardom	
Si		± 0,20	± 0,30	± 0,25	± 0,25
Mn	Mn ≤ 2,5	± 0,25			
	Mn > 2,5	-	-	-	± 0,25
P ³⁾	Mn ≤ 5,0	≤ 0,030 ²⁾	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,018
	Mn > 5,0 ili Cr > 20	-	-	-	≤ 0,025
S		≤ 0,030 ²⁾	≤ 0,020	≤ 0,025	≤ 0,015
Cr	Cr ≤ 0,8	-	± 0,20	± 0,15	-
	0,8 < Cr ≤ 3			± 0,25	-
	3 < Cr ≤ 7			± 0,40	-
	7 < Cr ≤ 20		-	± 0,80	± 0,65
	Cr > 20		-	-	± 0,80
Cu ³⁾		≤ 0,30			
Ni	Ni ≤ 2,0	-	± 0,25	± 0,30	± 0,25
	2 < Ni ≤ 6			-	± 0,35
	Ni > 6		-	-	± 0,50 ⁴⁾
Mo	Mo ≤ 0,7	-	± 0,15	± 0,15	± 0,15
	0,7 < Mo ≤ 3		-	± 0,20	± 0,25
	Mo > 3		-	-	± 0,40
Nb ³⁾⁵⁾		-	-	± 0,15	≥ 10 x C% ≤ 1,10
V		-	± 0,10	± 0,10	-
W		-	-		

Zahtevi prema EN ISO 14172 ili EN ISO 18274 primenjuju se za hemijski sastav metala za zavare od niklovih legura.

- 1) Granične vrednosti i tolerancije ove tabele moraju se poštovati ako predstavljaju ograničenja u odnosu na klasifikacioni standard. Ako tabela ne pokazuje granične vrednosti ili tolerancije, moraju se poštovati vrednosti navedene u odgovarajućem standardu.
- 2) Zbir P i S ne sme prelaziti 0,050%.
- 3) Za posebne slučajeve, može se dogovoriti i druga ograničenja prilikom naručivanja.
- 4) U slučaju kada je sadržaj mangana veći od Mn5% tolerancija za nikl mora biti ± Ni1,0%.
- 5) Kada se koristi za srednje vlažne površine primarnog kruga u reaktorskim postrojenjima pod pritiskom vode ili u okruženju vodene pare u reaktorskim postrojenjima sa ključalom vodom, nije dozvoljeno zameniti Nb sa Ta.

Ferolegure (fero-mangan, fero-silicijum, fero-hrom, fero-molibden i dr.), su supstance sa legirajućim ili dezoksidirajućim elementima jer su pristupačne, i isplative. Zbog očekivanih gubitaka u zavarenom spoju u oblogu se dodaju legure i materijali koji će omogućiti potrebne osobine čvrstoće i duktilnosti.

Za zavarivanje nelegiranih čelika, elektrode treba da obezbede dovoljne količine ugljenika, mangana i silicijuma u metalu i troski nastalog depozita, kako bi se ostvaril željeni nivo čvrstoće zavarenih spojeva. Deo ugljenika i mangana u depozitu zavarenog spoja dobija se iz jezgre žice, što najčešće nije dovoljno, pa se obloga dopunjava sa fero-manganom, a u nekim slučajevima se dodaje i fero-silicijum.

Fero-mangan i fero-silicijum retko kada ne nalazi svoje mesto u oblozi elektrode, a razlog za njihov izostanak se može pravdati samo visokom cenom sirovina iz kojih potiču. Fero - silicijum i spomenute ferolegure pomaže dezoksidaciji rastopljenog zavarenog metala i dopunjavanju sadržaja mangana i silicijuma u sadržaju deponovanog metala šava. Feromangan se koristi za dezoksidaciju i za povećanje Mn do propisanog iznosa u metalu šava. U oblogu elektrode se fero-mangan dodaje u dva oblika, fero-mangan-karbure i fero-mangan-afine.

Gvozdeni prah se dodaje u oblogu sa ciljem povećanja produktivnosti, obezbeđivanjem dodatnog metala koji će biti deponovan u metalu šava. Često u literaturi se može pronaći i drugi naziv za gvozdeni prah - železni

PODSETNIK!

Železo je čist metal sa oznakom Fe, a gvožđe je legura železa i ugljenika Fe-C.

prah. Da se podsetimo, gvožđe je legura železa sa ugljenikom. Železo je čist metal, a gvožđe je legura železa i ugljenika. U oblogu elektroda se dodaje legura gvožđe, pa iz toga sledi da je dodati prah zapravo, gvozdeni prah. Legirajući i dezoksidirajući metali koji se najčešće koriste u oblogama elektroda:

- fero-silicijum, obično sa Si50%
- fero-aluminijum, sa Al85%
- fero-titanijum, sa Ti40%
- fero-mangan, sa Mn80%

Na kvalitet zavara utiče oblik i veličina zrna železnog praha, granulacija, kao i specifična težina. Nepravilan, rastresit i porozan železni prah je redukovani železni prah, (u literaturi se još zove pulverzovano gvožđe), dobijen na drugačiji način od atomizovanog železnog praha sa glatkim i ujednačenim zrnima visoke specifične težine. Atomizovan prah ima prednost u odnosu na redukovan prah za proizvodnu elektroda sa visokim stepenom iskorišćenja, jer ima veću specifičnu težinu.

-LEGIRAJUĆI ELEMENTI. Uticaj pojedinih elemenata na zavareni spoj kao što su molibden, hrom, nikel, mangan i drugi, utiču na stvaranje specifičnih mehaničkih osobina metala zavarenog spoja. U literaturi se mogu pronaći objašnjenja u vezi sa pojedinačnim uticajem hemijskih elemenata iz obloge elektroda, na čist metal zavarenog spoja. Dodavanjem legirajućih elemenata postiže se promena osobina zavarenog spoja, uključujući osobine austenita i ferita, zatim promene prokaljivosti i fizičko-mehaničkih osobina nerazređenog metala šava. Na izbor elektrode često utiče njen hemijski sastav, koji će pomoći da se stvore potrebne strukture.

Tabela 1/2: hemijski elementi se smatraju legirajućim ako je njihova najmanja vrednost u leguri

Mo	V	Co	Ti	Al	W	Cr	Ni	Si	Mn
0,08	0,10	0,10	0,05	0,10	0,10	0,30	0,30	0,60	0,80

Zavisno od uticaja na sužavaju ili proširenje oblasti γ -čvrstog rastvora (austenitni rastvor, pogledajte Fe-C dijagram), legirajući elementi mogu se podeliti u dve grupe:

Elementi koji proširuju oblast γ -čvrstog rastvora su takozvani **gamageni** elementi ili **austenizatori**. Ovu grupu obrazuju elementi koji sa železom obrazuju neograničeno čvrste rastvore (Ni, Mn, Co) i oni koji su ograničeno rastvorljivi u železu (C, N, Cu, Zn).

U drugu grupu spadaju elementi koji sužavaju oblast γ -čvrstog rastvora uz jednovremeno širenje oblasti γ -čvrstog rastvora. To su **alfageni** elementi ili **feritizatori**. U ovoj grupi su Cr, Si, Nb, Ti, V, Mo, W.

Nezaobilazni legirajući elementi

Uobičajeni legirajući elementi nelegiranih čelika su ugljenik, mangan i silicijum. Za njih možemo da kažemo da su nezaobilazne komponente čelika. Njihov uticaj može se na sledeći način predstaviti:

C- Ugljenik (specifična težina 2,25g/cm³ na 20°C), je najznačajniji legirajući element u čeliku u odnosu na sve ostale legirajuće elemente. Kao što smo rekli to je gamageni element, sa čijim povećavanjem dolazi do otvrdnjavanja nerazređenog metala šava, pa se najčešće teži da se jezgro elektrode izradi sa malim sadržajem ugljenika.

Tako sa povećavanjem procenta ugljenika za samo 0,1% njegova zatezna čvrstoća R_m raste za 90MPa, a napon na granici tečenja R_{ch} za 45MPa. Međutim zatezna čvrstoća raste sa procentom ugljenika u čeliku do 0,9%, a nakon toga opada. Razlog za to je da se ugljenik izdvaja u obliku perlita na granici zrna. Svojstva plastičnosti i žilavost opadaju sa porastom ugljenika.

O ugljeniku je dosta pisano u literaturi, a za nas je bitno da ga u metalu šava ima manje, kako bi se sprečila pojava karbida koji smanjuju procenat legirajućih elemenata. Izuzetak su elektrode koje imaju za cilj postizanje veće čvrstoće metala šava, kao što su elektrode koje služe za tvrdo navarivanje ili za tvrde i alatne čelike.

Mn- Mangan (specifična težina $7,2g/cm^3$ na $20^\circ C$). Posle ugljenika, mangan se smatra jednim od najznačajnijih legirajućih elemenata za legiranje metala šava. koji povećavaju čvrstoću metala šava i omogućava vezivanje sumpora u metalu šava pa se smatra jednim od najvažnijih dezoksikatora i desulfurizatora metala šava, ukoliko mu je sadržaj u metalu šava Mn0,25-0,4%.

To je razlog zašto se on pojavljuje u tabelama hemijskog sastava nerazređenog metala šava. Mangan zato što je dezoksikator odvodi kiseonik i sumpor iz rastopljenog metala šava u trosku.

Zbog velikog afiniteta prema sumporu, mangan stvara sulfid MnS, čime se sprečava stvaranje sulfida FeS. Najmanja količina sumpora kada nema mangana, obrazuje sulfid železa koji se izdvaja na granicama zrna. Sumpor je često uzrok krtog loma koji se zove crveni lom. Stoga se u oblogu elektrode dodaje mangan koji vezuje sumpor za sebe. Da se podsetimo, odnos sumpora i mangana treba da bude najmanje 10:1, odnosno da sadržaj mangana bude više od deset puta u odnosu na sadržaj sumpora. Ukoliko nema dovoljno mangana onda se sumpor vezuje za gvožđe. Pa na temperaturama rastopljenog zavarivačkog kupatila i temperaturama očvršćavanja, gvožđe-sulfid ostaje u tečnom stanju jer očvršćava padom temperature na $985^\circ C$ i niže. Međutim MnS se topi na $1620^\circ C$ i na temperaturi rastopljenog metala zavarivačkog kupatila je čvrst. Lom u crvenom usijanju (crveni lom) je posledica nedovoljne količine mangana.

Zajedno sa ugljenikom, mangan je odgovoran za tvrdoću i čvrstoću čelika, jer je gamageni element, povećava stabilnost austenita u austenitnim CrNi čelicima. Osim toga, mangan značajno poboljšava plastičnost čelika i njegovu žilavost.

Mangan utiče i na proširenje područja austenita, tako što snižava temperaturu A_{c3} i A_{c1} u odnosu na nisko ugljenične čelike. Zavareni spoj prelazi austenitnu mikrostrukturu, nezavisno od sadržaja ugljenika, ukoliko je sadržaj mangana u čistom metalu šava, veći od Mn12%. Zato kažemo da mangan može delimično ili potpuno da zameni nikel.

S obzirom na to da mangan sastavni deo procesa proizvodnje čelika, možemo reći da ne postoji čelik, koji u svom hemijskom sastavu ne sadrži mangan. Tako, sastavu jezgra žice obložene elektrode čini i Mn0,3-0,6%, mada neki proizvođači insistiraju na tome da mangana ima Mn0,4-0,5% u jezgru žice. Sadržaj mangana kada je manji od 0,3% u čistom metalu šava, to može da dovede do unutrašnje poroznosti i pucanja, zbog manjeg vezivanja sa sumporom, dok sa druge strane mangan u oblozi elektrode kada se nalazi u procentu koji je viši od Mn1%, utiče na prokaljivost zavarenog spoja. U literaturi se može pronaći da zavareni spoj koji sadrži više od Mn0,8%, može da dovede do pojave hladnih prslina.

Pri zavarivanju nezakaljivih čelika, mangan poboljšava čvrstoću i žilavost, tako dodatak Mn1% u metalu zavara, dovodi do podizanja napona tečenja za oko 100 MPa.

Obratite pažnju na količinu mangana u čistom metalu šava bazične elektrode AWS A5.1: E7018 (tabela dole). Mangan je sposoban da formira sa sumporom mangan sulfid (MnS), pa je pogodan za potrebe zavarivanja. Kao što je rečeno, odnos mangana i sumpora treba da bude najmanje 10 prema 1. Čelik sa niskim odnosom stvorenog mangan sulfida u čistom metalu zavara, može sadržati sumpor u obliku gvožđe sulfida (FeS), koji može izazvati pucanje u zavarenom spoju. Među slabije karbidotvorne elemente spada mangan koji ne obrazuje sa ugljenikom u čeliku poseban karbid, već se delimično rastvara u cementitu.

U oblogu se dodaje u dva oblika jedinjenja mangana, kao **prah feromangana ili elektrolitički manganski prah, koji su vrlo toksični i kod zaposlenih u proizvodnji elektroda mogu da izazovu bolest koja je poznata pod imenom Manganova**. Simptomi ove bolesti su: premor, slaba pokretljivost, vrtoglavica i opšte stanje slabosti i ukrućenosti mišića. Osim toga, mangan utiče trajno na nervni sistem i na plodnost muškaraca.

Tabela 1/3: Najčešći sadržaj zapreminskog procenta mangana u dve najzastupljenije elektrode

Tipične elektrode	Maseni procenat Mn u oblozi elektrode	Maseni procenat Mn u čistom metalu šava
E6013	9-10%	0,4-0,5%
E7018	5-6%	1,0-1,1%

Obratite pažnju na razliku u hemijskom sastavu obloge elektrode i nerazređenog metala šava.

S obzirom na visoke procenete mangana u oblozi, neminovna je njegova pojava u zaštitnom gasu i dimnim gasovima na mestu zavarivanja. Iz razloga zaštite na radu, teži se daljem smanjivanju ove toksične materije. Međutim, sa manjim težinskim procentom mangana u metalu šava, smanjuju se mehaničke karakteristike zavarenog spoja, smanjuje se tvrdoća i zatezna čvrstoća, a povećava duktilnost, pa je pred istraživačima i konstruktorima elektroda postavljen izazov ne samo da se smanji procenat mangana, nego istovremeno da se ispune zahtevi mehaničkih svojstava metala šava.

Si – Silicijum (specifična težina $2,42\text{g/cm}^3$ na 20°C), nije metal nego metaloid koji je nezaobilazni element koji se vrlo često sreće u čelicima kao sastavni deo rude iz koje se dobija čelik ili iz termoizolacione obloge u čeličanama, pa je kao takav nezaobilazni sastojak u legurama zavara obloženih elektroda.

To je razlog zašto se javlja u tablicama hemijskog sastava nerazređenog metala šava. Silicijum umereno utiče na jačanje čelika, povećava snagu i tvrdoću, ali u manjoj meri od mangana.

Silicijum se rastvara u tečnom metalu šava i teži da ga ojača, smanjujući duktilnost što može da izazove hladne pukotine. Sa manjim procentom od $\text{Si}0,2-0,7\%$ povećava čvrstoću zavarenog spoja. Neki tipovi obloga za elektrode mogu imati do 1% silicijum oksida, kako bi se obezbedilo poboljšano čišćenje i deoksidacija za zavarivanje na zardalim površinama. Kada obložena elektroda sadrži silicijum u procentu $\text{Si}<2\%$ ima za cilj da se koristi kao sredstvo za dezoksidaciju ili kao legirajući element koji podiže čvrstoću, otpornost prema habanju i granicu razvlačenja (kao kod čelika za izradu opruga).

Silicijum izrazito povećava otpornost prema uticaju toplote, usled čega je neizbežan legirajući element koji se dodaje obloženim elektrodama za zavarivanje visokolegiranih čelika $\text{Si}<1,2\%$.

Navar specijalnih obloženih elektrode koji sadrži $\text{Si}5,5\%$, je vrlo tvrda, lomljiva legura koja ima izrazitu otpornost na kiselinu i koji se može obrađivati samo brušenjem.

Silicijum dioksid SiO_2 , se često koristi u sastavu obloga za elektrode, kao kvarcni pesak. To je drugi mineral po zastupljenosti na zemlji. Vrlo je štetan za zaposlene koji se nalaze u usitnjavanju ove materije za potrebe izrade obloge elektroda.

Bolest koju kvarcni pesak izaziva, naziva se Siluminoza. Koliko je opasan kvarcni pesak govori i sledeći podatak, kada bi čovek udahnuo samo jednu šaku ove prašine, krenulo bi ispunjavanje tečnosti u plućima, usled čega bi nastupilo davljenje u sopstvenoj tečnosti.

PODSETNIK!

Loši uticaji na zavareni spoj su posledica nemoći da se u potpunosti izbegnu pojedine hemijske materije pri korišćenju prirodnih minerala za izradu zaštitne obloge.

Ostali legirajući elementi

Pored najuticajnih hemijskih elementa ugljenika, mangana i silicijuma, koji su sastavni deo svakog čelika, najčešće korišćeni legirajući elementi pri izradi obloge elektrode, za koje kažemo da imaju svoje dobre i loše uticaje na zavareni spoj su:

Cr – Hrom (specifična težina $7,2\text{g/cm}^3$ na 20°C) je snažan hemijski element za legiranje čelika, pri čemu ovaj metal ima nizak uticaj na tvrdoću nerazređenog metala šava, ali zato daje visoku otpornost na koroziju. Iz tog razloga često se javlja u kombinaciji sa niklom i bakrom. Cr se dodaje mnogim niskolegiranim čelicima u malim količinama. Nerđajući čelici mogu sadržati više od $\text{Cr}10,5\%$, a tradicionalno je to više od $\text{Cr}11-12\%$. Ovih $\text{Cr}10,5\%$ u zavarenom spoju nije dovoljno za radne uslove kod kojih je korozija izražena. Ovakvi zavareni spojevi su koroziono postojani na vazduhu u „ruralnim oblastima“, ali u „gradu“ izloženi toksičnim atmosferskim prilikama, vremenom gube svoje zaštitne osobine, jer za gradski vazduh je potrebno da zavareni spoj ima najmanje hroma $\text{Cr}12\%$ u čeliku. Za čelik koji ima $\text{Cr}15\%$ kažemo da je potpuno koroziono postojan na atmosferskom vazduhu. Koroziona postojanost čelika je moguća jer hrom ima nešto veći afinitet prema kiseoniku, nego železo i obrazuje oksid Cr_2O_3 na površini legure. Da se ponovi: Hrom ima veći afinitet prema ugljeniku od železa i formira karbide koji su termički postojaniji i tvrdi od karbida železa. Međutim, koroziona postojanost se značajno menja kada je zavareni spoj izložen vrućem vazduhu, dimnim gasovima, pogotovo ako sadrže hloride, fosfora i sumporna jedinjenja. Zavareni spojevi koji su izloženi morskoj vodi, industrijski slanoj vodi, prehrambenim uslovima, uslovima rada u hemijskoj ili petrohemijskoj industriji, zahtevaju značajno viši procenat hroma kako bi se obezbedila koroziona i oksidna postojanost u tim uslovima, a pogotovo na povišenim radnim temperaturama. Ponekad zavareni spojevi ni sa visokim sadržajem hroma ne mogu da odgovore potrebnoj korozinoj otpornosti, pa se pri izboru obloženih elektroda biraju one koje mogu da stvore legure sa sadržajem pomoćnih elemenata koji će povećati otpornost, kao što je molibden.

Ni - Nikl (specifična težina 8,9g/cm³ na 20°C), je metal koji ima značaj uticaj na povećanje žilavosti na niskim temperaturama, zato što kritična tačka martenzitne transformacije opada sa povećanjem sadržaja nikla, istovremeno povoljno utiče na povećanje otpornosti na koroziju kod čelika, ali se nikl dodaje i da bi se povećala tvrdoća i čvrstoća zavarenog spoja. Nikl do sadržaja od Ni10% u zavarenom spoju, utiče na rast napona tečenja i zatezne čvrstoće. Ovaj metal se često koristi u kombinaciji sa drugim legirajućim elementima, pri čemu se posebno ističe hrom i molibden.

Nerđajući čelici predviđeni za zavarivanje po pravilu sadrže između nikla Ni8-14%. Analogno tome trebalo bi da i zavareni spojevi ovih čelika sadrže ovaj procenat Ni, međutim preventivno se često koriste obložene elektrode koje imaju viši sadržaj nikla.

Najrasprostranjeniji nerđajući čelici su sa sadržajem 18%Cr i 8%Ni, sa niskim sadržajima ugljenika imaju stabilnu austenitnu strukturu, što znači za zavarivanje koriste se obložene elektrode sa niskim sadržajem ugljenika.

Mo – Molibden (specifična težina 10,2g/cm³ na 20°C), ima efekte sličan manganu i vanadijumu, pa često se koristi u kombinaciji sa jednim ili drugim, jer povećava prokaljivost i čvrstoću zavarenog spoja, a sprečava pojavu visokotemperaturne krstosti popuštanja. Ovaj element stvara jak, tvrdi karbid i obično je prisutan u oblozi elektroda u količinama Mn0,2-5%, pa utiče na sitnoznost čelika i na otpornost na habanje (npr. navarivanje brzoreznih čelika). Prisustvo molibdena u leguri, povećava zateznu čvrstoću metala šava, na sobnoj temperaturi, ali ima uticaj na rast čvrstoće nerazređenog metala šava koji je predviđen za rad na visokim temperaturama uz porast otpornosti na puzanje. Pored uticaja na promene mehaničkih osobina, molibden se dodaje nerđajućim čelicima da bi povećala koroziona otpornost u nekim korozionim radnim sredinama izloženih korozionim materijama (npr. u nekim kiselinama ili sredinama zasićenim hloridnim jonima Cl⁺), u kojima je postojanost zavarenih spojeva koji su legirani hromom, nedovoljna. U kombinaciji s hromom, molibden povećava otpornost zavarenog spoja prema opštoj i rupičastoj koroziji.

B – Bor (specifična težina 2,3g/cm³ na 20°C), iako je sadržan u veoma malom procentu u oblozi elektrode B0,001-0,003%, ima visok uticaj, jer značajno povećava tvrdoću zavarenog spoja. Usled povećanja tvrdoće, kažemo da ovaj element smanjuje zavarljivost čelika, ali poboljšava navarene površine, zbog stvrdnjavanja tvrdih zavarenih spojeva. Dodavanjem elementa bora u zaštitnu oblogu elektroda sa predviđenom austenitnom legurom CrNi 18 8 (AISI: 302, 304, 321, 347) čelika može se povećati granica tečenja (stvaranjem borida sa ugljenikom) uz istovremeno povećanje čvrstoće usled taložnog otvrdnjavanja, što će za posledicu imati smanjenje otpornosti na koroziju. Taloženje na sobnoj temperaturi povećava čvrstoću visokotemperaturnih austenitnih čelika na visokim temperaturama. Kod konstrukcionih čelika, ovaj element utiče na poboljšanje kaljenja tako što povećava čvrstoću ispod površine koja je izložena kaljenju.

Cu – Bakar (specifična težina 8,92g/cm³ na 20°C), kao hemijski element nema značajnog uticaja na zavarivanje, jer blago povećava otpornost na koroziju i otpornost na pucanje zavarenog spoja. Stoga se koristi kao zaštita od korozije kod žica za zavarivanje. Iako je gamageni element bakar ne pokazuje primetan uticaj na strukturu nerđajućeg čelika, kome se dodaje prvenstveno radi poboljšanja hemijske postojanosti u nekim agresivnim sredinama. Međutim bakar ima veliki uticaj pri konstruisanju obloženih elektroda za zavarivanje legura bakra, nikla, livenih gvožđa i slično. Bakar ima povoljnu osobinu da mu je temperatura očvršćavanja najniža u odnosu na čelik i nikl i kao takav poslednji očvršćava. Kod intermedijalnih spojeva kod koji je velika razlika u temperaturi očvršćavanja, kada je sadržaj bakra nizak u obloženoj elektrodi, bakar popunjava praznine nastale između različitih metala i time značajno utiče na porast čvrstoće zavarenog spoja. Bakar se odlično meša i rastvara sa niklom pa kao takav stvara veliki broj legura, pa se ovaj element pronašao u veoma velikom broju elektroda za zavarivanje i mnogi koji se bave zavarivanjem niklovih legura, bakar smatraju za jednog od najvažnijih elemenata u obloženim elektrodama.

Co – Kobalt (specifična težina 8,9g/cm³ na 20°C), je metal koji ne stvara karbide, jer se ne jedini sa ugljenikom, ali sprečava rast zrna u zavarenom spoju pri visokim temperaturama. Kobalt je element koji izrazito inhibira na povišenim temperaturama i izrazito poboljšava visoku temperaturnu čvrstoću i postojanost na popuštanje pri povišenim temperaturama. Zbog toga se često koristi kao legirajući element u brzoreznim čelicima, alatnim i konstrukcijskim čelicima, materijalima otpornim na puzanje, koji su namenjeni za rad pri povišenim temperaturama.

Elektrode koje se koriste za zavarivanje delove nuklearnih energetskeg postrojenja ne smeju imati sadržaj kobalta, jer je on nepoželjan zbog stvaranja radioaktivnog izotopa: kobalt-60.

Al – Aluminijum (specifična težina $2,7\text{g/cm}^3$ na 20°C), je jedan od glavnih dezoksikatora koji se koristi pri proizvodnji čelika, koji ujedno poboljšava mehaničke osobine. Sa malim dodacima aluminijuma specifične težine od samo $2,7\text{ gr/cm}^3$, u oblozi elektrode pomaže formiranju fino zrnaste mikrostrukture uz povećanju žilavosti zavarenog spoja. Aluminijum ima izuzetno povoljan uticaj na otpornost na starenje. Jedna od povoljnosti je što ne stvara karbide (jedinjenje sa ugljenikom), niti je rastvorljiv u njima. S obzirom da aluminijum formira nitride (jedinjenje sa azotom), onda se koristi za legiranje azotnih čelika (čelika sa povećanim sadržajem azota najčešće do masenih $\text{N}0,2\%$, mada su izrađeni čelici koji sadrže i do $\text{N}3\%$. Aluminijum povećava otpornost zavarenog spoja na oksidaciju na vazduhu na povišenim temperaturama, jer stvara jako čvrste nitride sa azotom i stoga često se dodaje feritnim toplotno otpornim čelicima. Aluminijum u obloženim elektrodama se ređe koristi, jer reakcijom aluminijuma s niklom ili titanijumom mogu nastati intermetalni spojevi Ni_3Al i $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$ koji mogu štetiti zavarenim spojevima.

Ti – Titanijum (specifična težina $4,5\text{g/cm}^3$ na 20°C), je metal koji se prvenstveno koristi za stabilizaciju karbida, naročito u toku zavarivanja, jer ima viši afinitet prema ugljeniku u odnosu na železo. Zahvaljujući toj osobini titanijum se kroz zaštitnu oblogu elektroda uvodi u čelik da bi suzbio štetan uticaj ugljenika, stvarajući karbide titanijuma, za koje kažemo da su prilično stabilni i na visokim temperaturama. Da se podsetimo, hromni karbidi se formiraju u temperaturnom opsegu $425\text{-}843^\circ\text{C}$. Za titanijum kažemo da je najvažniji stabilizator u sprečavanju stvaranja hromnih karbida. Dodavanjem rastopljenom metalu šava, približno $0,25\text{-}0,60\%$ titanijuma, stvoriće se uslovi za stvaranje titanijumovih karbida, pre početka stvaranja hromnih karbida, odnosno pre nego što padne temperatura u procesu očvršćavanja metala šava. Time će se sprečiti vezivanje ugljenika za hrom, koji se dodaje u leguru zavara kako bi se povećala otpornost na koroziju. U tom procesu ugljenik će se pre vezivati za titanijum nego za hrom, usled čega će se sprečiti smanjenje količine hroma na granicama zrna, predupređujući pojavu međukristalne korozije. Možemo zaključiti da titanijum sprečava lokalno iscrpljivanje hroma u nerđajućem čeliku tokom dugog zagrevanja, što je naročito bitno na visokim temperaturama, a osim toga povećava čvrstoću čeliku.

U oblogama elektroda se koristi TiO_2 koji utiče na kontrolu porasta zrna, što poboljšava žilavost i duktilnost, uz istovremeni porast čvrstoće i otpornosti na koroziju. Titanijum iz metala šava uklanja „štetne“ slobodne elemente vezujući ih za sebe, kao što su kiseonik, sumpor, azot i ugljenik. Titanijum pored navedenih karakteristika, za zavarivače je bitan i što smanjuje martenzitnu tvrdoću i otvrdnjavanje u srednje hromnim čelicima i sprečava stvaranje austenita u visoko hromnim čelicima. Međutim, upotreba titanijuma u obloženim elektrodama se postepeno smanjuje, zbog mogućnosti proizvođača da isporučuju nerđajući čelik sa veoma niskim sadržajima ugljenika, koji se dosta lakše mogu zavarivati bez dodavanja stabilizujućih hemijskih elemenata koji imaju veći afinitet prema ugljeniku.

PODSETNIK!

Sadržaj niobijuma u količinama većim od $\text{Nb}1\%$, je štetan za zavareni spoj.

Nb i Ta – Niobijum (specifična težina $8,5\text{g/cm}^3$ na 20°C), i tantal (specifična težina $16,6\text{g/cm}^3$ na 20°C), su elementi se gotovo uvek zajedno i veoma teško se odvajaju jedan od drugog, tako da se po pravilu koriste zajedno u oblozi elektroda. Tantal i niobijum su veoma izraženi stvarači karbida, zbog svog izrazito visokog afiniteta prema ugljeniku, pa kažemo da su ovi elementi stabilizatori zavarenih spojeva otpornih na visoku koroziju snažnih korozionih hemikalija. Ovaj element u malim količinama, smanjuje veličinu zrna, stvarajući veoma tvrde, male i jednostavne karbide.

U zavarenom spoju niobijum ima vrlo značajnu ulogu, slabije oksidira, jer ima značajno veći afinitet prema stvaranju karbida u odnosu na hrom, pa srećava stvaranje hromnih karbida i njegovo procentualno smanjenje u hemijskom sastavu nerazređenog metala šava. Niobijum je manje podložan oksidaciju u odnosu na titanijum. Pored toga, niobijum poboljšava duktilnost, povećava tvrdoću, smanjuje površinsko habanje i koroziju. Povećanje tvrdoće ne utiče negativno na zavarljivost. Dopušteni sadržaj niobijuma u zavarenom spoju nerđajućih čelika je deset puta veći od sadržaja ugljenika, međutim u austenitnim čelicima tipa 18-8 CrNi se ne preporučuje veća koncentracija niobijuma od $\text{Nb}1\%$, Sadržaj niobijuma u velikim količinama je štetan za zavareni spoj, jer smanjuje zavarljivost sa porastom tvrdoće.

Niobijum je redak metal koji mikrolegiranjem poboljšava mehaničke osobine čelika i zavarenih spojeva. Ovaj metal se ranije zvao kolumbijum (Cb), pa se u originalnim Šeflerovim dijagramima iz 1949. godine, tako i naziva. AWS standard ovaj metal i dalje prepoznaje kao kolumbijum i koristi njegov hemijski naziv Cb (primer: oznaka obložene elektrode AWS A5.4: E309Cb).

V - Vanadijum (specifična težina $5,6\text{g/cm}^3$ na 20°C), se dodaje u oblogu elektrode sa drugim legirajućim elementima sa ciljem da ograničava rast zrna, povećava otvrdnjavanje, povećava žilavost i otpornost na udarno opterećenje. To je vrlo dobar element u zavarenom spoju, jer utiče na čvrstoću legure zavarenog šava i poboljšava njegove opšte mehaničke osobine. Efekti koje postiže vanadijum su slični onima koje postižu Mn, Mo i Nb. Međutim, učešće vanadijuma je ograničeno na $V \leq 0,05\%$ u zavarenom spoju, jer kod većeg njegovog udela može postojati tendencija da se čelik ošteti tokom naknadnog termičkog opterećenja.

W - Volfram (specifična težina $19,25\text{g/cm}^3$ na 20°C), je metal koji je izraziti karbidotvorac, a uz to poboljšava žilavost i sprečava rast zrna. Ovaj element značajno povećava otpornost na habanje na visokim temperaturama. Povišeni sadržaj volframa u leguri gradi veoma teške i tvrde karbide i povećava tvrdoću čelika koja se zadržava i pri višim temperaturama! Istovremeno pri povećanju sadržaja ovog elementa povećava se zatezna čvrstoća, čvrstoća popuštanja i tvrdoća na sobnoj i povišenim temperaturama. Posebno značajni, iz aspekta izuzetno velike otpornosti protiv abrazivnog habanja su spomenuti volframovi karbidi i isporučuju se između ostalog, u obliku žica punog preseka ili cevi punjenih karbidima. Tvrdoća ovog karbida se kreće od 2400-2700 HV.

N₂ - Azot (specifična težina $1,25\text{kg/Nm}^3$ na 20°C , a temperatura prelaska iz čvrstog u tečno stanje je $-269,9^\circ\text{C}$) povećava tvrdoću zavarenog spoja, jer obrazuje tvrde i krte nitrde, izaziva starenje čelika, a istovremeno smanjuje žilavost metala šava, pa kažemo da na metal zavara ovaj hemijski element deluje slično kao ugljenik. Azot u prisustvu Al, Nb i V pozitivno deluje na usitnjavanje zrna čelika, zamenjuje ugljenik u malim količinama, kako bi se povećala tvrdoća. Azot formira nitrde, a ne karbide, a u nekim legurama je u potpunosti zamenio ugljenik. Tako postoje legure koje sadrže $\text{N}0,02\%$, a pojedine legure sadrže i do $\text{N}3\%$ u svom hemijskom sastavu. Zavarivač treba da zapamti da na zavareni spoj azot iz atmosfere deluje nepovoljno, jer značajno povećavajući tvrdoću zavara, što stvara mogućnost pojave hladnih prslina.

P - Fosfor (specifična težina $1,82\text{g/cm}^3$ na 20°C , a temperatura prelaska iz čvrstog u tečno stanje je $44,1^\circ\text{C}$), smatra se nezaobilaznim legirajućim elementom, a sa povećavanjem sadržaja postaje štetan u zavarenom spoju. Rastom procenta fosfora u metalu zavara, raste i zatezna čvrstoća i tvrdoća, dok duktilnost i žilavost se smanjuju. Međutim prevelik procenat fosfora u hemijskom sastavu nerazređenog metala šava uzrokuje pucanje, pa se smatra neželjenom nečistoćom. Maksimalna količina fosfora u čeliku više klase je između $\text{P}0,03\text{-}0,05\%$, ali prilikom zavarivanja može nastupiti hladne pukotine i/ili tople pukotine ako je sadržaj fosfora više od $\text{P} \geq 0,04\%$. Ovaj hemijski element prouzrokuje rast zrna i povećava krtost zavarenog spoja. Fosfor sa železom gradi fosfide i utiče tokom deformacija, na temperaturama do 600°C , na zavareni spoj stvarajući uslove za nastanak pojave koja se zove, plavi lom.

S - Sumpor (specifična težina $2,07\text{g/cm}^3$ na 20°C , a temperatura prelaska iz čvrstog u tečno stanje je 119°C), se smatra nečistoćom, koja nepovoljno deluje na čelik, izuzev kada se dodaje u većoj količini kako bi se omogućilo lakša obradivost čelika, odnosno mašinsko rezanje. Zašto je važno da procenat sumpora bude mali? Sumpor je štetna primesa, ne računajući čelike za automate gde se dodaje kao legirajući element.

Kod zavarenih spojeva, teži se ograničenju ovog elementa koji značajno smanjuje žilavost na niskim temperaturama. Sumpor ima značajan uticaj na probleme vezane za nastanak pukotina u zavarenom spoju slično kao što ima uticaj fosfor, pa je sadržaj ograničen na $\text{S} < 0,05\%$ u metalu zavara obloženih elektroda. Po standardu se može primetiti da većina elektroda ima sadržaj sumpora manji od $\text{S} < 0,03\%$, jer ima pozitivan efekat na procese u zavarenom spoju. Sumpor na metal šava deluje kao šljaka, skuplja se prema sredini zavarivačkog kupatila, što za posledicu izaziva vruće pukotine.

Kada su fosfor ili sumpor prisutni u elektrodi u masenom procentu više od $(\text{P+S}) > 0,04\%$, one će uticati na metal šava jer se tokom procesa topljenja obložene elektrode prenose u istopljeni metal sa vrlo malim gubitkom sopstvenog sadržaja u zavarivanju i standardom je regulisan njihov sadržaj $(\text{P+S}) < 0,05\%$. Nedostaci koje izazivaju sumpor i fosfor u zavarenom spoju se povećavaju sa porastom sadržaja ugljenika u čeliku. Nemojte da Vas zavara mali procenat sumpora i fosfora, jer je u pitanju veća zapremina zbog niske specifične težine.

Neplanirani legirajući elementi - Svaki hemijski element sa određenim procentom u sadržaju čelika postaje legirajući element. Tako recimo titanijum sa procentom od samo $\text{Ti}0,05\%$ postaje uticajni sadržaj zavarenog spoja da se može nazvati legirajući element. Primer je i element bor, koji sa sadržajem od samo $\text{B}0,001\%$ je legirajući element. Neki od legirajućih elemenata stvaraju supstitucijske ili intersticijske čvrste rastvore sa čelikom.

Pored spomenutih hemijskih elemenata u svakoj leguri zavarenog spoja mogu se pojaviti i neplanirane primese koje mogu da utiču za kvalitet zavarenog spoja, a koje se nalaze u obloženim elektrodama ili u nečistoćama osnovnog materijala koji se zavaruje. Sve nečistoće možemo razvrstati na sledeći način.

Prateće primese: Si, S, P, Mn, Al su posledica prerade metala u čeličanama.

Skrivene primese: N, O, H su posledica kontakta tečnog metala sa vazduhom i zaštitnim gasovima prilikom sagorevanja obloge elektrode. To je naročito izraženo kod celuloznih, vlažnih bazičnih elektroda ili zamašćenih, ofarbanih ili prljavih obloženih elektroda bilo kog tipa.

Slučajne primese: Cu, Co, Cr, Pb i sl. su posledica najčešće dodavanja starog otpada u procesu proizvodnje osnovnog materijala koji se zavaruje. Koliki je uticaj pojedinih elemenata govori i sledeći primer: Ako jedan automobilski akumulator od 55A slučajno upadne u baržu od 80 tona tečnog čelika, značajno može da promeni osobine cele barže tako da je ona neprihvatljiva, pa se mora dodavati čelika kako bi se razblažio uticaja olova. Veličina atoma olova je nesrazmerno velika u odnosu na kristalnu rešetku čelika, tako da ne može da substituiše u kristalnu rešetku, nego je „nadima“, kao kada se košarkaška lopta stavi u dečiji ranac.

Proizvođač čelika kada eksperimentom utvrdi sadržaj barže i utvrdi da je visok nivo olova, onda se ta kompletna barža odmah vraća nazad u visoku peć kako bi se na količinu od nekoliko hiljada tona sirovog gvožđa smanjio sadržaj olova daleko ispod promila. Kod zavarivanja, kada se zavaruju elementi koji su ofarban i sa starim olovnom zaštitnim bojama, može doći do zaostatka atoma olova u rešetki zavarenog spoja. Dovoljna je vrlo mala količina, da naruši integritet zavarenog spoja, naročito ako je on pod opterećenjem.

Tabela 1/4: Temperature topljenja pojedinih metala i njihovih legura

Naziv metala ili legure	Hemijska oznaka	Temperatura topljenja (°C)	Naziv metala ili legure	Hemijska oznaka	Temperatura topljenja
Aluminium	Al	660	Magnezium	Mg	650
Aluminijumske leg.	-	540 – 650	Mangan	Mn	1245
Antimon	Sb	630	Mesing	(Ms)	~900
Bakar	Cu	1083	Molibdenum	Mo	2620
Berilijum	Be	1278	Nemačko srebro	-	900
Bizmut	Bi	271	Olovo	Pb	327
Bor	B	2180	Nikl	Ni	1453
Bronza	-	~1000	Niobijum	Nb	2468
Kadmijum	Cd	321	Paladijum	Pd	1554
Cirkonijum	Zr	1852	Platina	Pt	1772
Crveni mesing	-	1150	Rodijum	Rh	1966
CrNi 18 8 (AISI: 302, 304, 321, 347)	-	1420	Selenijum	Se	221
Čelik	-	~1500	Srebro	Ag	961
Čisto železo	Fe	1536	Silicijum	Si	1410
Germanijum	Ge	937	Tantal	Ta	2996
Hrom	Cr	1857	Titanijum	Ti	1660
Iridijum	Ir	2410	Vanadijum	V	1890
Kalaj	Sn	232	Volfram	W	3410
Kobalt	Co	1495	Cink	Zn	419
Liveno gvožđe	-	~1200	Zlato	Au	1064

1.2.1. Recepture za izradu obloženih elektroda

Za regulisanje hemijskog sastava šava presudno utiče hemijski sastav zaštitne obloge elektrode za zavarivanje. Zaštitna obloga određuje upotrebljivost zavarenog šava, uz pomoć dobro poznatih principa metalurgije, hemije i fizike. Sadržaj ugljenika u zaštitnoj oblogi elektrode je jako bitan što se na sledeći način može objasniti.

Kod nisko ugljeničnih čelika osnovna klasifikacija čelika je zavisna od sadržaja ugljenika i pratećih elemenata. Da bi se dobila odgovarajuća čvrstoća zavarenog spoja kod nisko ugljeničnih čelika, mora da se postigne adekvatan i zadovoljavajući procenat ugljenika u metalu šava. Tehnolog zavarivanja kada je upoznat sa hemijskim sastavom čelika koji se zavaruje, koji uključuje i sadržaj ugljenika, može da sa relativno dobrom preciznošću da predvidi i reguliše sastav šava, izborom adekvatne obložene elektrode.