Svojstva i primjena nehrđajućih čelika pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike

Dujak, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:718952

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marin Dujak
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda
Smjer Mehanizacija

Svojstva i primjena nehrđajućih čelika pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marin Dujak
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda
Smjer Mehanizacija

Svojstva i primjena nehrđajućih čelika pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:
1. Ivan Vidaković, mag.ing.mech.
2. Prof.dr.sc. Goran Heffer
3. Doc.dr.sc. Vjekoslav Tadić

Osijek, 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Završni rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Marin Dujak

Svojstva i primjena nehrđajućih čelika pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike

Sažetak:
Nehrđajući čelik pripada u skupinu čelika s velikom otpornosti prema kemijskim agensima i koroziji. Da bi čelik bio nehrđajući potrebno je da slitina ispuni dva uvjeta, a to su: minimalno 12% kroma i postojanje homogene monofazne feritne, austenitne ili martenzitne mikrostrukture. Opisani su sastavi i svojstva navedenih mikrostruktura. U zavarivanju nehrđajućih čelika koriste se MIG/MAG i TIG tehnologije zbog njihove jednostavnosti, preciznosti i brzine zavarivanja. U ovom radu se opisuju svojstva i primjena nehrđajućih čelika kod poljoprivrednih strojeva, u stočarstvu i u voćarstvu i vinogradarstvu.

Ključne riječi: nehrđajući čelik, primjena, svojstva, zavarivanje

28 stranica, 4 tablica, 20 grafikona i slika, 31 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Jurja Strossmayer University in Osijek BSc Thesis

Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek

Undergraduate university study Agriculture, course Mehanizaction

Marin Dujak

Properties and application stainless steel in manufacturing of parts agricultural Techniques

Summary:
Stainless steel belongs to the group of steels with high resistance to the chemical agents and corrosion. In order for the steel to be stainless, it is necessary for the alloy to meet two conditions, namely: minimum 12% of chromium and the existence of a homogeneous monophase ferrite, austenitic or martensitic microstructure. The compositions and properties of these microstructures are described. In welding stainless steel we use MIG/MAG and TIG technologies because of their simplicity, precision and welding speed. In this document describes the properties and applications of stainless steels in agricultural machinery, in livestock breeding and in fruit and viticulture growing.

Keywords: stainless steel, application, properties welding.

28 pages, 4 tables, 20 figures, 31 references

BCs Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek.

SADRŽAJ

1. UVOD 2

2. NEHRĐAJUĆI ČELICI 3

2.1. Feritni nehrđajući čelici 3

2.1.1 Superferitni nehrđajući čelici 5

2.2. Austenitni nehrđajući čelici 5

2.2.1. Austenitni Cr-Ni-(Mo) čelici 9

2.2.2. Austenitni čelici sniženog sadržaja ugljika 10

2.2.3. Stabilizirani austenitni čelici s Ti, Nb, Ta 10

2.2.4. Visokoaustenitni Cr-Ni-Mo čelici 10

2.2.5. Visokoaustenitni Cr-Ni-Mo čelici sa sadržajem Mo većim od 4%. 10

2.2.6. Austenitni čelici legirani s N 10

2.3. Austenitno-feritni (dupleks) nehrđajući čelici 11

2.4. Martezitni nehrđajući čelici 11

2.4.1. Mekomartenzitni čelici 13

3. ZAVARIVANJE NEHRĐAJUĆIH ČELIKA 14

3.1. Zavarivanje nehrđajućih čelika MIG/MAG postupkom 15

3.2. Zavarivanje nehrđajućih čelika TIG postupkom 16

4. PRIMJENA NEHRĐAJUĆIH ČELIKA U POLJOPRIVEDI 17

4.1. Primjena nehrđajućih čelika u poljoprivrednoj mehanizaciji kod poljoprivrednih strojeva 18

4.2. Primjena nehrđajućih čelika u stočarstvu 19

4.3. Primjena nehrđajućih čelika u voćarstvu i vinogradarstvu 22

5. ZAKLJUČAK 26

6. LITERATURA 27

1. UVOD

Nehrđajući čelik ili korozijski postojani je skupina čelika velike otpornosti prema kemijskim agensima i koroziji. Da bi čelik bio nehrđajući potrebno je da slitina čelika ispuni dva uvjeta, a to su: minimalno 12% kroma i postojanje homogene monofazne feritne, austenitne ili martenzitne mikrostrukture radi izbjegavanja opasnosti od nastanka područja s različitim elektropotencijalom od potencijala osnovne mase. Pored kroma postojanost (pasivnost) povećava se dodatkom nikla, molibdena, titanija ili niobija. Inoks i prokrom su trgovački nazivi za nehrđajući čelik, a odnose se uglavnom na mekane nemagnetične austenitne čelike koji sadrže nikal (http://www.enciklopedija.hr).

Nehrđajući su čelici razvijeni između 1904. i 1915. godine. Izumitelj nehrđajućega čelika je Harry Brearley, dok su za navedeno otkriće također zaslužni i istraživači poput Leona Guilleta, Philipa Monartza, Benno Straussa, Eduarda Maurera i Elwooda Haynesa. Prvi njemački patent nehrđajućih čelika javlja se 1912., dok se prvi američki patent javlja 1915. godine (http://www.estainlesssteel.com).

Danas, nehrđajući čelici, imaju jako široku primjenu od poljoprivredne do prehrambene industrije, medicine, brodogradnje itd. Koristi se također kao luksuzni ukrasni materijal najviše zbog svog sjaja, laganog održavanja i dugotrajnosti kao što je slučaj kod nosača registarskih oznaka na vozilu što možemo vidjeti na slici 1.



Slika 1. Nosač registarskih oznaka od nehrđajućeg čelika za vozila

(Izvor: https://www.bauhaus.hr)

Nehrđajući čelici su definirani nacionalnim standardima (HRN, DIN, AISI), a vjerovatno zbog utjecaja brodogradnje u Hrvatskoj se ustalila upotreba oznaka za nehrđajuće čelike prema američkom standardu AISI (American Iron and Steel Institute) (Blažević, 2013.).

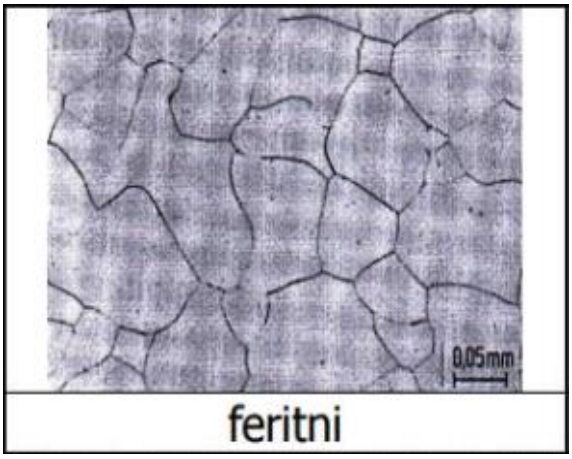
2. NEHRĐAJUĆI ČELICI

Prema mikrostrukturi nehrđajuće čelike možemo podijeliti u četiri osnovne skupine:

1. feritni nehrđajući čelici,
2. austenitni nehrđajući čelici,
3. austenitno-feritni (dupleks) nehrđajući čelici i
4. martezitni nehrđajući čelici (http://www.worldstainless.org).

2.1. Feritni nehrđajući čelici

Feritni nehrđajući čelici sadrže 13 - 17% Cr i <0,1% C te imaju feritnu mikrostrukturu bez sposobnosti fazne transformacije i usitnjenja zrna, slika 2. Usitnjenje zrna bi se moglo postići u nekim slučajevima pomoću hladne deformacije (stupanj deformacije 30 - 50%) te rekistalizacijskim žarenjem (npr. 615°C/15 min.; hlađenje na zraku ili vodi) (Kožuh, 2010.). Mehanička svojstva i primjena nekoliko feritnih nehrđajućih čelika navedena su u tablici 1. Prednost feritnih nehrđajućih čelika je u nižoj cijeni od austenitnih čelika, dok im je glavni nedostatak ostjetljivost na interkristalnu koroziju.



Slika 2. Mikrostruktura feritnih nehrđajućih čelika

(Izvor: Kožuh, 2010.)

Tablica 1. Mehanička svojstva i primjena feritnih nehrđajućih čelika

Oznaka čelika VDEh (HRN)	**Sastav, "ostalo, %**	**Mehanička svojstva**			**Posebna otpornost i primjeri primjene**
		R_m, N/mm^2	$Rp_{0,2}$ N/mm^2	A_5, %	
X6 Cr 17 (Č4174)		450-600	270	20	Korozijski postojani pribor za jelo (osim oštrice noža), dijelovi kućanskih aparata, dijelovi uređaja u proizvodnji dušične kiseline i sapuna te u petrokemijskoj industriji.
X6 CrMo 17	1,1Mo	450-650	270	20	Posebno otporan na slanu vodu i organske kiseline, za auto-dijelove, okvire prozora, prevlake hladnjaka, kvake, okvire retrovizora.
X8 CrTi 17 (Č4971)	0,7 Ti	450-600	270	20	Kao X6Cr17, otporniji na rast zrna, za zavarene dijelove kućanskih aparata, za sita i okvire.
X8 CrNb 17	0,9Nb	450-600	270	20	Dijelovi uređaja u mljekarama, pivovarama, proizvodnji boja i sapuna (ponajprije za zavarene dijelove).
X8CrMoTi 17	1,75Mo 0,65Ti	500-600	300	20	Za jače napregnute zavarene dijelove aparata u proizvodnji jestivog octa, u mljekarama, prešaonicama voća. *Nije za udarni rad!*
X12CrMoTi25	2,5Mo 1,8Ti	650-750	550	12	Za otopine s visokim udjelom slobodnog klora.
X12CrMoS17	0,25Mo 0,20S	700-850	450	12	Za obradbu odvajanjem čestica na automatima: vijke, zakovice, matice, male zupčanike, male osovine.

(Izvor: Kožuh, 2010.)

Feritni čelici su visoko korozijski otporni na dijelovanje dušične kiseline i njenih vodenih otopina, amonijevoj salitri te smjesi dušične, fosforne i solne kiseline. Nasuprot tome, nisu otporni na djelovanje rastaljenih metala (Al, Sb, Pb), amonijevog biflourida, barijevog klorida, broma, octene kiseline itd (Brkić, 2007).

Svojstva feritnih nehrđajućih čelika su:

- relativno su mekani,
- magnetični,
- slabo zavarljivi zbog sklonosti pogrubljenju zrna (>900°C),
- skloni pojavi „krhkosti 475“ pri izloženosti temperaturi 350 - 520°C,
- skloni stvaranju krhke sigma faze (520 - 850°C),
- slaba deformabilnost,
- dobra obradivost odvajanjem čestica (bolja od austenitnih),
- loša postojanost u kloridnim otopinama (npr. morska sol),
- nisu osjetljivi na pojavu napetosne korozije,
- dodatkom molibdena povećava im se otpornost na jamičastu koroziju,
- ekonomski su prihvatljiviji od ostalih nehrđajućih čelika,
- skloni lomu pri niskim temperaturama (Kožuh, 2010.).

2.1.1. Superferitni nehrđajući čelici

Visok sadržaj kroma (od 17% do 30% Cr) niži C i N utječu na povećanje plastičnih svojstava i bolju zavarljivost. Legiranjem s Mo i stabiliziranjem s Ti i No postiže se veća korozijska postojanost. S tim svojstvima ovaj tip čelika upotrebljava se za izradu spremnika za toplu vodu, solarnih panela, proizvodnji vina i piva. Po svojstvima približavaju Cr – Ni - Mo čelicima. Zahtijevaju pažljivost kod zavarivanja (http://www.strojopromet.com).

2.2. Austenitni nehrđajući čelici

Austenitni nehrđajući čelici uglavnom sadrže 0,02 - 0,15 % C, 15 – 20 % Cr, 7 – 20 % Ni uz moguće dodavanje određene količine molibdena, titana, niobija, tantala, dušika. Svi dodaci, osim dušika, dovode do pojave ferita u mikrostrukturi, a na slici 3. imamo prikaz austenitne mikrostrukture (Rešković, 2011.).

Dodatkom nikla i dušika djeluje se na proširenje područja stvaranja martenzita. Austenitni čelici mogu prijeći u martenzitno stanje „dubokim“ hlađenjem ili hladnom deformacijom. Međutim, mikrostruktura austenitnih nehrđajućih čelika prvenstveno može biti monofazno austenitna ili austenitno-feritna (s 5 - 10 % delta ferita). Delta ferit negativno

djeluje na ponašanje čelika pri toploj preradi (valjanje, kovanje), ali je ipak nužan radi otežavanja pojave toplih pukotina.

Tablica 2. Primjena austenitnih nehrđajućih čelika s <10% delta ferita u mikrostrukturi

Oznaka čelika		Sastav "ostalo", %	**Mehanička svojstva pri 20°C**					**Posebna otpornost i primjeri primjene**
Oznaka čelika prema VDEh	HRN M_s, M_d		R_m, N/mm^2	$R_{p0,2}$, N/mm^2	HB	A_5, %	KV, J	
X12 CrNi 18 8	Č4571 M_s= -58°C M_d= + 25°C	-	700	215	180	50	85	Standardni tip čelika - predmeti u kućanstvu, aparati i uređaji u prehrambenoj industriji, u mljekarama, u pivovarama, ortopediji. Primjenjiv je do 300°C.
X5 CrNi 18 9	Č4580 M_s= -32°C M_d=+37°C	-	700	185	180	50	85	Otporan na različite organske i anorganske kiseline - industrija masnih kiselina, papira, tekstila, umjetnih vlakana, aparata za pranje. Primjenjiv do 300°C.
X10 CrNiTi 18 9	Č4572 M_s= -72°C M_d = +14°C	0,5 Ti	750	205	190	40	85	Otporan na IKK i bez topl.obradbe nakon zavarivanja, -mljekarstvo, industrija namirnica, te masnih kiselina, sapuna, kože, šećera, industrija filmova. Primjenjiv za tlačne spremnike do 450°C.
X5 CrNiMo 18 10	Č4571 M_s= 166°C M_d=-25°C	2,25 Mo	700	205	180	45	85	Otporan prema neoksidirajućim kiselinama i prema točkastoj koroziji uslijed halogenih medija, otporan na IKK i bez topl. obradbe. -industrija celuloze, boja, ulja, sapuna, tekstila, mljekarstva i pivovare
X10 CrNiMoTi 18 10	Č4571 M_s=-206°C M_d=-48°C	2,25 Mo 0,5 Ti	750	225	190	40	85	Posebno otporan na neoksidirajuće kiseline i medije s halogenidima, topl. obradba nakon zavarivanja nepotrebna. -industrija tekstila, sulfita, celuloze, masnih kiselina, gume, boja, uređaja za medicinu, fotografiju i plast. mase

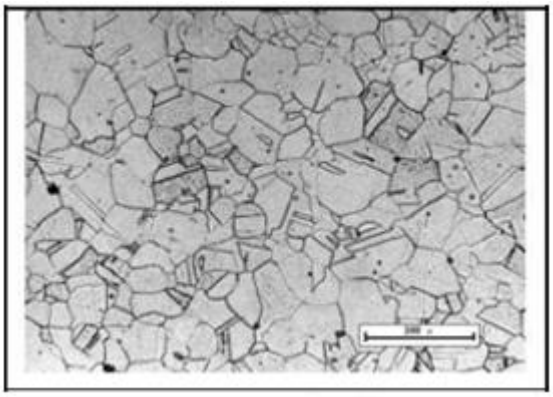
(Izvor: Kožuh, 2010.)

U prethodnoj tablici su prikazani osnovni podaci o sastavu, svojstvima i primjeni različitih vrsta austenitnih čelika, s manje od 10 % delta ferita i austenitnih čelika bez delta ferita u mikrostrukturi, dok je tablici 3. prikaz primjene austenitnih nehrđajućih čelika bez delta ferita u mikrostrukturi.

Tablica 3. Primjena austenitnih nehrđajućih čelika bez delta ferita u mikrostrukturi

Oznaka čelika prema VDEh	**Sastav, "ostalo" %**	**Mehanička svojstva**					**Posebna postojanost i primjeri primjene**
		R_m, N/mm^2	$R_{p0,2}$, N/mm^2	HB	A_5, %	KV, J	
X5 NiCrMoCuNb 20 18	2,25 Mo 2 Cu 0,4 Nb	740	225	190	40	82	Posebno povišena postojanost prema sumpornoj i fosfornoj kiselini - industrija boja, umjetnih vlakana, zavarljiv bez naknadne toplinske obradbe
X5 CrNiMoTi 25 25	2,25 Mo 0,25 Ti	740	225	190	40	69	Industrija tekstila, celuloze, boja, fotopribora i kemikalija, plast. masa, gume, zavarljiv bez naknadne toplinske obradbe
X5 NiCrMoCuNb 22 18	3,25 Mo 0,4 Nb 1,25 Cu	740	275	190	30	105	Industrija boja, plastike i nafte

(Izvor: Kožuh, 2010.)



Slika 3. Mikrostruktura austenitnog čelika AISI 316L

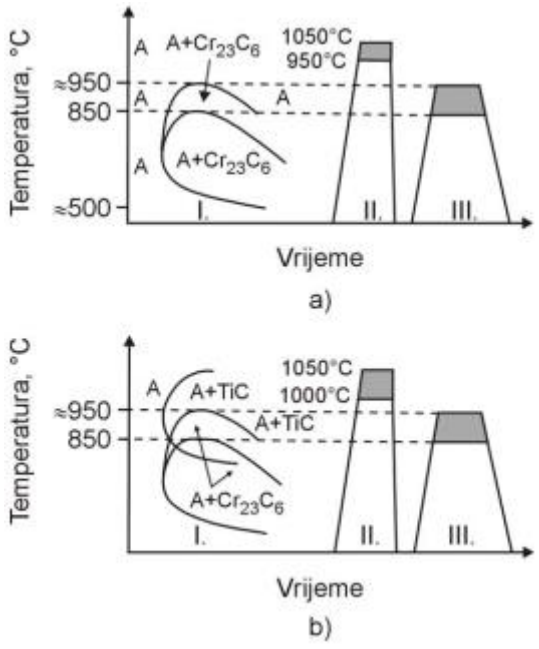
(Izvor: Kožuh, 2010.)

Glavna svojstva austenitnih nehrđajućih čelika su:

- nema mogućnost usitnjavanja zrna,
- nemagnetični su,
- veće napetosti i deformacije tijekom zavarivanja nego kod feritnih čelika,

- legiranjem s molibdenom, volframom i vanadijem postiže se dobra otpornost prema puzanju pri temperaturama iznad 600°C,
- velika žilavost, oksidacijska i korozijska otpornost,
- visok odnos čvrstoća/masa,
- dobra svojstva pri niskim temperaturama,
- postojana austenitna struktura „solidus“ teperature do ispod sobne temperature, kubično plošno centrirana (FCC) rešetka koja osigurava visoku deformabilnost,
- nisu skloni povećanju zrna u zoni utjecaja topline tijekom zavarivanja (Kožuh, 2010.).

Glavni problem u pogledu korozijske otpornosti predstavlja karbid Cr_3C_6. Nastanak karbida $Cr_{23}C_6$ može se izbjeći ukoliko čelik sadrži jake karbidotvorce koji stvaranjem tipa MC (npr. TiC, TaC, NbC) onemogućavaju spajanje ugljika s kromom te na taj način sprječavaju osiromašenje perifernih zona austenitnih zrna (Glavaš i Unkić, 2008). Na osnovi tih spoznaja može se definirati postupak i cilj toplinske obrade austenitnih nehrđajućih čelika.



Slika 4. Shematski prikaz toplinske obrade nestabiliziranog (a) i titanom stabiliziranog (b) austenitnog nehrđajućeg čelika

(Izvor: Kožuh, 2010.)

I. - shematski prikaz TTT dijagrama (samo za hlađenje);

II. – gašenje (kaljenje bez polimoforne pretvorbe);

III. – žarenje (stabilizacija destabiliziranog austenita).

Kako je na slici 4. vidljivo, iz shematski prikazanih mogućih promjena u mikrostrukturi tijekom hlađenja destabiliziranih austenitnih nehrđajućih čelika, može se zaključiti da:

- pri hlađenju (npr. sa ≈ 1200 °C) nastane monofazno austenitna mikrostruktura do temperature ≈ 950 °C,
- Između 950 i 850 °C dolazi do izlučivanja karbida Cr23C6, ali nakon određenog vremena oni se ponovno raspadaju i difundiraju u austenit.

Pri sporom hlađenju između 850 i 550 °C iz austenita izlučuju karbidi Cr23C6. Navedeni karbidi nastaju od atoma ugljika i kroma iz perifernih područja zrna te uzrokuju senzibilizaciju čelika, a u nekim uvjetima i interkristalnu koroziju. Dugotrajno zadržavanje čelika u ovom temperaturnom području neće izazvati raspad karbida i difuziju kroma i ugljika u austenit (Alar, 2015).

2.2.1. Austenitni Cr-Ni-(Mo) čelici

Austenitni Cr-Ni-(Mo) čelici sadrže oko 18% Cr i 8% Ni, danas su najčešće u primjeni i kao takvi spadaju u najvažniju grupu korozijski otpornih materijala. Osnovna značajka je relativno visoka korozijska postojanost uz potreban oprez kod odabira tipa čelika za agresivne medije, s druge strane niska granica razvlačenja limitira prinjenu kod zahtjevnih konstrukcija. Legiranjem osnovne grupe 18/8 Cr-Ni čelika povećava se korozijska otpornost za primjenu u kemijskim uvjetima, a također se utječe na povećanje čvrstoće. Vrlo dobro se zavaruje. W.Nr. 1.4301 je predstavnik te grupe čelika (http://www.strojopromet.com).

2.2.2. Austenitni čelici sniženog sadržaja ugljika

Korozijski su puno otporniji, pa se uspješno primjenjuju u kemijskoj, farmaceutskoj i prehrambenoj industriji. Sposobnost poliranja im je puno bolja od onih koji su stabilizirani titanom (W.Nr. 1.4541). Predstavnik tih čelika je W.Nr. 1.4404 (http://www.strojopromet.com).

2.2.3. Stabilizirani austenitni čelici s Ti, Nb, Ta

Prvenstveno se stabiliziraju radi otpornosti na interkristalnu koroziju (http://metalcentar.ba).

2.2.4. Visokoaustenitni Cr-Ni-Mo čelici

Dodatno se povisuje sadržaj Cr i Ni, a legiranje s Mo je do 4%. Time se postiže još bolje otpornost prema nekim tipovima korozije.

2.2.5. Visokoaustenitni Cr-Ni-Mo čelici sa sadržajem Mo većim od 4%.

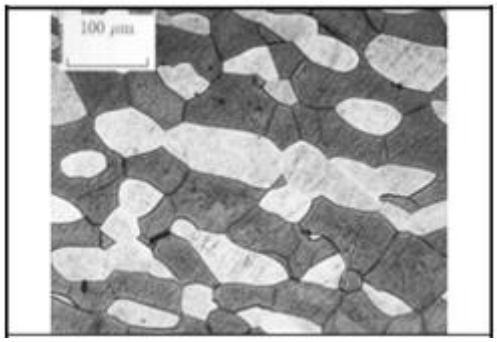
Postiže se dodatna otpornost na koroziju, a primjena se proširuje osim na posebne dijelove kemijske industrije i na postrojenja za proizvodnju papira i celuloze. S povećanjem postotka legiranih dodataka treba prilagoditi postupak i tehnologiju zavarivanja (Izvor: http://www.strojopromet.com).

2.2.6. Austenitni čelici legirani s N

Uobičajeno se legira do 0,2% N, i na taj način bitno povećava čvrstoća i opća korozijska postojanost, primjena tih čelika je osim u kemijskoj industriji i u nautici i rashlanoj tehnici.

2.3. Austenitno-feritni (dupleks) nehrđajući čelici

Dupleks čelici posjeduju dvofaznu austenitno - feritnu mikrostrukturu s 40 - 60% ferita. Čelik s 22 – 24 % kroma i 6 – 8 % nikla pri temperaturi 20 °C, tj. Zagrijan do 1000 °C sastojat će se od ferita i austenita. Ukoliko su prisutni ostali legirajući elementi tada vrijedi da dodatak molibdena, silicija, titana i niobija djeluje slično kao porast sadržaja kroma, a mangana, bakra, dušika i ugljika kao povišenje sadržaja nikla. Povišenjem temperature iznad 1000 °C poraste udio ferita a smanjuje se udio austenita tako da čelik s 22 % kroma i 8 % nikla pri 1350 °C posjeduje jednofaznu feritnu mikrostrukturu (Izvor: https://hr.wikipedia.org).

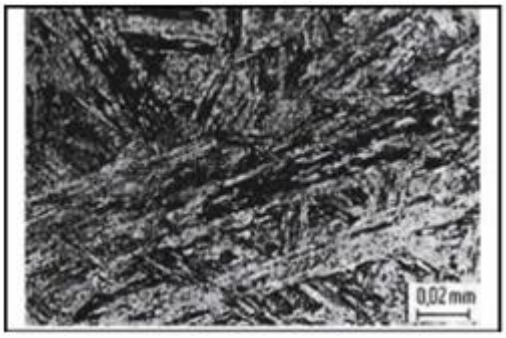


Slika 5. Mikrostruktura dupleks nehrđajućeg čelika

(Izvor: Kožuh, 2010.)

2.4. Martezitni nehrđajući čelici

Martezitni nehrđajući čelici imaju povišeni udio ugljika (0,20 - 1,0 %), iznad 13 % kroma (do 18 %) te mogu sadržavati i do 1,3 % molibdena i 2,5 % nikla. Optimaln mehanička svojstva i korozijska postojanost ove skupine čelika postiže se kaljenjem na zraku ili u ulju i naknadnim popuštanjem. Martezitni nehrđajući čelici mogu se podijeliti u dvije podskupine: konstrukcijski (sadrže do = 0,25 % C, poboljšavaju se) i alatni čelici (>0,3 % C, nakon kaljenja se nisko popuštaju). Kod konstrukcijskih čelika posebna pažnja se usmjerava prema korozijskoj postojanosti, a kod alatnih postoji dodatni zahtjev prema otpornosti na abrazijsko trošenje. Radi toga alatni čelici imaju dvofaznu mikrostrukturu (martezit + karbidi) čija je korozijska postojanost niža od jednofazne martezitne mikrostrukture (Kraut, 2009.).



Slika 6. Miktrostruktura martenzitnog nehrđajućeg čelika

(Izvor: Kožuh, 2010.)

Tablica 4. Svojstva i primjena martezitnih nehrđajućih čelika

Čelik	**Posebno postojan**	**Primjeri primjene**
X20 Cr 13 (Č4172)	- na vodu i vodenu paru, - na organske kiseline: octenu, mliječnu, voćnu	- kirurški instrumenti (kliješta, pincete) - pribor za jelo: vilice, žlice - strojni dijelovi: osovine, stapajice, ventilni stošci, sapničke igle, turbinske lopatice, "holandski" noževi (za papir)
X20 CrMo 13	- povišena postojanost u odnosu na X20 Cr 13 (posebno toplinska)	- kao X20 Cr 13 ali za radne temperature i do 500 °C, za toplinski napregnute opruge
X22 CrNi 17 (Č4570)	- na organske kiseline koje se javljaju u industriji namirnica, octene kiseline i sapuna, na oksidirajuću razrijeđenu HNO_3, postojan na morsku vodu	- osovine, ventili, dijelovi pumpa, dijelovi uređaja u mljekarama, u industriji papira, u proizvodnji kvasca i škroba, za dijelove kompresora
X30 Cr 13 (Č4173)	- na vodu i paru (samo u kaljenom stanju)	- opruge, vijci (za rad u agresivnoj atmosferi), škare, mjerni alat
X36 CrMo 17 (alatni)	- u atmosferi aminokiselina, octene kiseline, pa i solne kiseline (PVC)	- dijelovi kalupa za preradbu polimera, kirurški rezni alat, zubarski alat
X42 Cr 13 (alatni)	- kao X36 CrMo 17	- kao X36 CrMo 17, posebno za aminoplaste
X45 CrMoV 15	- otporan do 500 °C	- različiti rezni alati, kirurški skalpeli
X90 CrMoV 18	- istovremeno vrlo otporan na trošenje i koroziju	- noževi za meso, skalpeli, korozijski postojani kotrljajući ležajevi, sapnice, pribor za jelo otporan na abrazijske praške za čišćenje, britve, žileti

(Izvor: Kožuh, 2010.)

2.4.1. Mekomartenzitni čelici

Uglavnom se primjenjuju za izradu dijelova strojeva i aparata izloženih djelovanju nečistog zraka (iznimno djelovanju morske vode), izradu lopatica Peltonovih i Kaplanovih turbina, za valjke u proizvodnji papira, izradu dijelova crpki (rotori, osovine, lopatice, klizne plohe) (http://www.strojopromet.com).

3. ZAVARIVANJE NEHRĐAJUĆIH ČELIKA

Zavarivanje je proces izrade nerazdvojnog spoja uspostavljanjem međuatomskih veza između dijelova koji se zavarivauju, gdje se pojedinačno ili kombinirano koristi toplinska i mehanička energija, a po potrebi i dodatni materijal (Bogner, 2007.). Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogeni zavareni spoj. Zavarivanje je drukčije od lemljenja, a to je spajanje taljenjem legure s nižim talištem od materijala predmeta koji se spajaju. Različiti izvori energije mogu se koristiti za zavarivanje, kao što je mlaz vrućih plinova, električni luk, tok nabijenih čestica, laser, električna struja, trenje, ultrazvuk i slično (Samardžić, 2012.). Klasifikacija postupaka zavarivanja i srodnih postupaka, sa referentnim oznakama definirana je standardom (Gangur, 2013.). Premda je zavarivanjem moguće spajanje metala s metalom, nemetala s nemetalom i metala s nematalom, zavarivanje podrazumijeva spajanje metala s metalom. Moderna povijest zavarivanja datira s kraja XIX stoljeća, usvajanjem tehnologije elektrolučnog zavarivanja netopljivom grafitnom elektrodom, a potom zavarivanjem topljivom elektrodom u elektroluku istosmjerne struje (Jovanović, 2008.).

Prema načinu spajanja metode zavarivanja se dijele u dvije velike grupe:

- Zavarivanje taljenjem, zavarivanje materijala u rastaljenom stanju na mjestu spoja uz dodatni materijal ili bez njega (plinsko zavarivanje i elektrolučno zavarivanje)
- Zavarivanje pritiskom, zavarivanje materijala u čvrstom ili omekšanom stanju na mjestu spoja s pomoću pritiska ili udarca (kovačko zavarivanje i elektrootporno zavarivanje) (http://www.ram-rijeka.com).

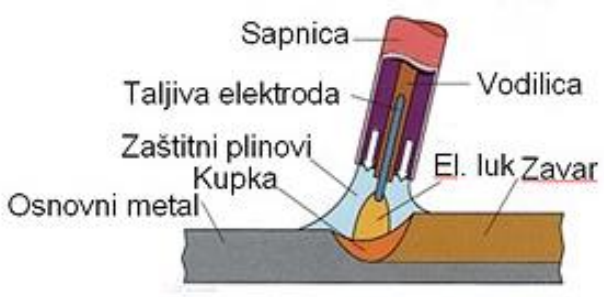
Kod zavarivanja nehrđajućih čelika najčešći postupci koji se koriste su:

- MIG (Metal Inert Gas) je vrsta elektrolučnog zavarivanja taljivom žicom u zaštiti neutralnog plina – uglavnom argona (Ar),
- MAG (Metal Active Gas) je vrsta elektrolučnog zavarivanje taljivom žicom u aktivnom zaštitnom plinu - ugljikov dioksid (CO_2) ili plinska smjesa ($Ar + CO_2$, $Ar + CO_2 + O_2$)

- TIG (Tungsten Inert Gas) je elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti neutralnog plina (Rudan, 2007.).

3.1. Zavarivanje nehrđajućih čelika MIG/MAG postupkom

Naziv MIG/MAG dolazi od engleskih izraza *Metal Inert Gas* (Metal - inertan plin), odnosno *Metal Active Gas* (Metal - aktivni plin). Ovi izrazi u sebi sadrže i opis postupka, dok se kod MIG postupka zavarivanje ostvaruje pod zaštitom inertnog plina, kod MAG postupka aktivan plin sudjeluje u zavarivanju. U inozemstvu se može koristiti i na izraz GMAW, odnosno *Gas Metal Arc Welding*.



Slika 7. Zavarivanje MIG/MAG postupkom

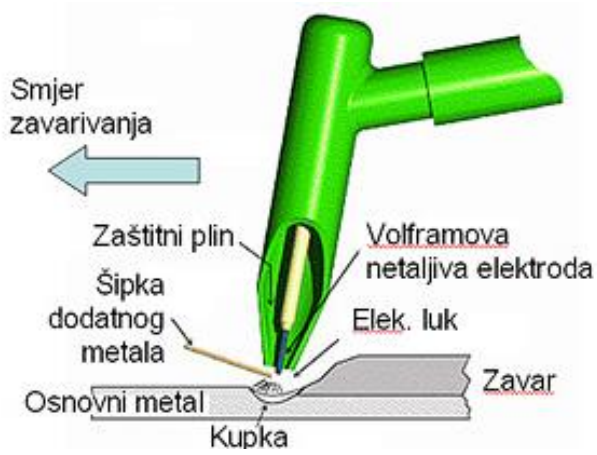
(Izvor: http://www.zavarivanje.info)

Riječ je o izrazu koji obuhvaća MIG i MAG zavarivanje, odnosno zavarivanje s taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi. Kod MIG/MAG zavarivanja metalna elektroda namotana na kolut se potiskuje kroz vodilicu u pištolju za zavarivanje gdje se tali u električnom luku uz zaštitu plina i prenosi u rastaljeni metal kojeg se zavaruje. Kod MIG zavarivanja se koriste neutralni, odnosno inertni plinovi poput argona, helija ili njihovih mješavina.

Kod MAG zavarivanja koriste se aktivni plinovi, najčešće CO2 i njegove mješavine s drugim plinovima, zbog ovoga se taj tip zavarivanja ponekad naziva i CO_2 zavarivanje. Riječ je o izuzetno brzoj metodi zavarivanja koja je primjenjiva na sve vrste metala, u svim položajima i moguće ju je automatizirati, odnosno robotizirati. MIG/MAG aparati za varenje kao i vezana oprema su doduše relativno skupi (http://www.zavarivanje.info).

3.2. Zavarivanje nehrđajućih čelika TIG postupkom

TIG tehnologija zavarivanja, poznata i pod imenom GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) ili WIG (Wolfram Inert Gas), je elektrolučni postupak zavarivanja gdje se toplinom oslobođenom u električnom luku, koji se uspostavlja između elektrode načinjene iz volframa i radnog komada, tali osnovni, a po potrebi i dodatni materijal kao što možemo vidjeti na slici 8. (Kralj, 1992.).



Slika 8. Zavarivanje TIG postupkom

(Izvor: http://www.zavarivanje.info)

Energija potrebna za taljenje metala dovodi se pomoću električnog luka koji se održava između volframove elektrode i radnog komada pod zaštitom inertnog plina. Nehrđajući čelici se uvijek zavaruju s istosmjernom strujom (DC) s elektrodom na minus polu. U ovakvim uvjetima radni komad je na udaru elektrona, dok je elektroda, obično od volframa legiranog s torijevim oksidom (2 % TrO_2), otporna na trošenje.

Dodatni materijal je obično u obliku šipke, za ručne ili u obliku namotane žice, za automatizirane postupke. Inertni plin, koji štiti ZUT od atmosferskih utjecaja, omogućuje jako stabilan električni luk. Ovisno o osnovnom materijalu zaštitni plin je argon (Ar), helij (He), te njihove kombinacije s vodikom (H) i dušikom (N) (O'Brien, 1991.).

4. PRIMJENA NEHRĐAJUĆIH ČELIKA U POLJOPRIVEDI

Nehrđajući čelici svoju primjenu pronalaze u različitim industrijskim segmentima, od poljoprivrede, prehrambene industrije, medicine, brodogradnje, itd. Često se koriste i kao luksuzni ukrasni materijal, najviše zbog svog sjaja, ali i laganog održavanja i dugotrajnosti. Nehrđajući čelici imaju široku primjenu u poljoprivredi počevši od ratarstva, stočarstva, voćarstva, vinogradarstva, zbog više razloga, kao što su pasivnost materijala na koroziju, ne stare, otporni su na kiseline, lužine i atmosferske utjecaje.

ISSF (International Stainless Steel Forum, 2014.) navodi da se nehrđajući čelici vrlo često primjenjuju u poljoprivredi. Od jednostavne opreme za hranjenje pa sve do najnaprednije robotizirane opreme za mužnju. Nehrđajući čelik se nalazi na farmama u brojnim aplikacijama, gdje je alternativa plastici, lakim metalima (uglavnom aluminiju) i prije svega pocinčanom čeliku.

Postoje dobri ekonomski razlozi za zamjenu pocinčanog čelika nehrđajućim čelikom, a najvažniji je što standardni pocinčani dijelovi imaju ograničen vijek trajanja. Njihova zaštita od korozije ovisi o deponiranom galvaniziranom sloju cinka. Kad se zaštitni pocinčani sloj ukloni slučajnim oštećenjem ili strojnom obradom, nezaštićeni čelik izložen je okolišu i koroziji.

4.1. Primjena nehrđajućih čelika u poljoprivrednoj mehanizaciji kod poljoprivrednih strojeva

Ispušna cijev na traktoru je često izrađena od nehrđajućeg čelika, a razlog tome su visoke temperature koje ispušna cijev mora podnositi. Primjer traktorske ispušne cijevi na od nehrđajućeg čelika prikazan je na slici 9.



Slika 9. Ispušna cijev od nehrđajućeg čelika

(Izvor: https://www.oglasnik.hr)

Osim izloženosti visokih temperatura, nehrđajući čelik nalazi svoju primjenu i kao spremnik za različite tekućine.

Slika 10. nam prikazuje silos za gnojovku koji je izrađen od nehrđajućeg čelika, a razlog tome je nepropustnost tekućine i postojanost prema koroziji.



Slika 10. Silos za gnojovku

(Izvor: http://www.panonagro.com)

4.2. Primjena nehrđajućih čelika u stočarstvu

U stočarskoj proizvodnji nehrđajući čelici primijenjuju u izradi spremnika za gnoj, gnojovku i otpadne vode, spremnika za bioplin, spremika za mlijeko i laktofriza, dijelova sustava za hranjenje i napajanje stoke, kaveza za stoku, opreme za mužnju, ograda, električne i mehaničke opreme (grijanje i klimatizacija), vrata i pregrada na farmama, komponenata opreme za održavanje kože životinja, itd. (Šubarić i sur.,2012).

Laktofriz i stanica za sanitacije zatvorenih sustava postrojenja su izrađene od nehrđajućeg čelika jer se tako zadržava visoka kvaliteta mlijeka, a to nam je prikazano na slici 11. i slici 12.



Slika 11. Laktofriz

(Izvor: https://www.frassinox.com)



Slika 12. Stanica za sanitacije zatvorenih sustava postrojenja

(Izvor: https://www.frassinox.com)

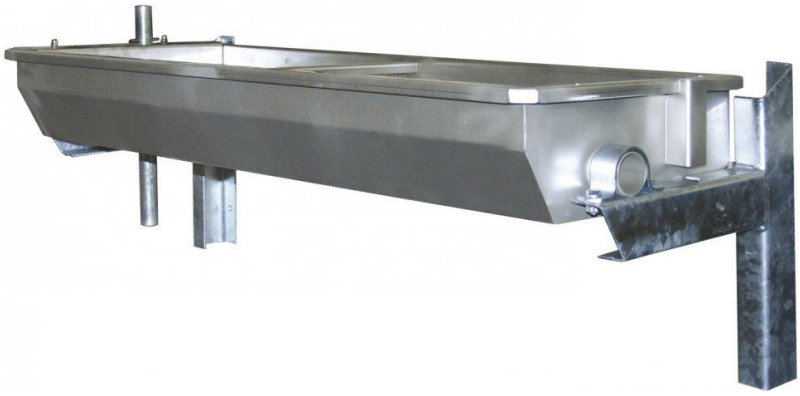
Najčešće su to sustavi za hranjenje stoke i hranilice s mlijekom za telad. Pojilica za mliječne krave se sastoji od ventila od mjedene cijevi, čvrsti trup od lijevanog željeza i

posude od nehrđajućeg čelika. Nehrđajući čelik omogućava optimalnu higijenu vode. Na slici 13. prikazana je pojilica od nehrđajućeg čelika, dok je na slici 14. prikazano korito za napoj goveda zidne montaže, izvedeno s nagibnim mehanizmom, koji omogućava brzo i lako čišćenje korito od nehrđajućeg čelika.



Slika 13. Pojilica od nehrđajućeg čelika s cijevnim ventilom

(Izvor: https://www.agrodirekt.eu)



Slika 14. Korito od nehrđajućeg čelika sa zidnom montažom

(Izvor: https://www.agrodirekt.eu)

U svinjogojstvu upotrebu nalazi različita izvedba pojilica od nehrđajućeg čelika (slika 15.).



Slika 15. Pojilica od nehrđajućeg čelika za svinje

(Izvor: https://poljoprivredna-oprema.hr)

4.3. Primjena nehrđajućih čelika u voćarstvu i vinogradarstvu

U voćarstvu i vinogradarstvu u upotrebi su posude od nehrđajućeg čelika, najčešće za fermentaciju i čuvanje alkoholnih pića. Strojevi u podrumarstvu su prilagođeni tehnološkom procesu proizvodnje vina, te ih možemo podijeliti u dvije osnovne skupine, za preradu gožđa i doradu i punjenje vina. U prvu skupinu ubrajamo muljaču, tijesak i crpke, gdje se potom oprema koristi za preradu u tehnološkom procesu proizvodnje vina, odnosno doradu vina, i to pročistače, rashladne uređaju, centrifuge kao i punionice koje se prilagođavaju podrumarstvu.

Gotovo su nezamjenjivi spremnici za čuvanje vina, kakav je prikazan na slici 16, koji je kapaciteta 480 litara, s ravnim dnom, za fermentaciju i čuvanje vina, te ostalih prehrambenih tekućina, izrađen od visokokvalitetnog nehrđajućeg čelika. Isporučuje se s postoljem, poklopcem protiv ulaska prašine, plutajućim poklopcem (plovak) te plastičnom slavinom.



Slika 16. Nehrđajuća posuda (bačva) s ravnim dnom od 480L

(Izvor: https://www.bauhaus.hr)

Spremnici izrađeno od nehrđajućeg čelika gotovo su redoviti u upotrebi, gdje zamjenjuju drvene bačve za skladištenje vina, prije svega zbog svojih odlika, jer nemaju sitne pore, te se lakše čiste, a čišćenje se vrši ispiranjem blagim sredstvima koja nisu na bazi klora i sumporne kiseline koje oštećuju čelik. U procesu proizvodnje vina, prednost je drvenih bačvi, iz razloga što kroz njihove pore ulaze zrak i kisik, gdje dolazi do oksidiranja pojedinih tvari koje mijenjaju kemijski sastav, dok druge tvari postaju teže topive i talože se na dno i stjenku posude.

Potom, nakon što je vino sazrelo, najčešće nakon dva ili tri ptretakanja, prelijeva se u nehrđajuće bačve, čiji čelik sadržava 18 - 20 posto kroma i 9 - 14 posto nikla, čiji omjer osigurava otpornost materijala prema agresivnim kiselinama vina i uopće na koroziju. Upotreba posuda od nehrđajućeg čelika ne zahtjeva unutrašnju izolaciju i vanjski premaz, te je stoga njihovo održavanje jednostavno, a trajnost neograničena.

Također, u procesu proizvodnje vina brojni su alati koje koristi sustav prerade proizvedeni od nehrđajućih čelika, od prese na dalje.

Nakon što se grožđe podvrgava hladnoj maceraciji, gdje se pri niskim temperaturama omogućuje izdvajanje boje iz kožice koja prelazi u sok, a ne protječe zajedno s alkoholnom fermentacijom, u trajanju od 3 - 24 sata, masulj ide na ocjeđivanje i na prešanje, gdje je nerijetko cijeli sustav izrađen od nehrđajućih čelika.



Slika 17. Nehrđajuća muljača za grožđe

(Izvor: http://mit.com.hr)



Slika 18. Nehrđajuća preša za grožđe

(Izvor: http://mit.com.hr)



Slika 19. Uređaj za pročišćavanje mošta i vina

(Izvor: http://www.vinogradarstvo.com)

Uz to, dobiveni mošt pod djelovanjem kvašćevih gljivica se razlaže na alakohol, vodu i ugljični dioksid, koji je otrovni plin, izrazito opasan jer je bez boje i mirisa, te ga treba eliminirati putem odgovarajućih ventilacijskih sustava. Kako je teži od zraka, izrazito je opasan za djecu i životinje, čak i uz prirodno prozračivan prostor, što zahtjeva ugradnju odgovarajućih ventilacijskih sustava, najpogodnijh od nehrđajućih čelika.



Slika 20. Ventilacija izrađena od nehrđajućeg čelika

(Izvor: http://www.lk-montaza.com)

5. ZAKLJUČAK

Nehrđajući čelik pripada u skupinu čelika velike otpornosti prema kemijskim agensima i koroziji. Da bi čelik bio nehrđajući potrebno je da slitina čelika ispuni dva uvjeta, a to su: minimalno 12% kroma i postojanje homogene monofazne feritne, austenitne ili martenzitne mikrostrukture radi izbjegavanja opasnosti od nastanka područja s različitim elektropotencijalom od potencijala osnovne mase. Pored kroma postojanost (pasivnost) povećava se dodatkom nikla, molibdena, titanija ili niobija.

Prilikom odabira primjene materijala postoji više kriterija kojima se vodimo, od društveno odgovorne brige za okoliš, mogućnosti recikliranja materijala, odabira proizvoda prema trajnosti, ekonomičnosti tj. troškovima nabave i održavanja, ali i upotrebljivosti. Primjena nehrđajućih čelika pristuna je u brojnim područjima ljudskog djelovanja, od medicine, prehrambene, farmaceutske, kemijske i petrokemijske industrije, građevinarstvu, strojarstvu i brodogradnji, pa sve do poljoprivredne djelatnosti, iz razloga prednosti koje osiguravaju. Koristi se također kao luksuzni ukrasni materijal najviše zbog svog sjaja, laganog održavanja i dugotrajnosti. Svojim brojnim svojstvima nehrđajući čelici postaju nezaobilazni materijal u primjeni pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike.

Nehrđajući čelici postaju nezaobilazan materijal brojnih industrija, ponajviše zbog otpornosti na korozivna djelovanja i kemijske utjecaje, pa tako i u poljoprivrednoj proizvodnji. Primjena različitih tipova nehrđajućih čelika u poljoprivredi je neupitna zbog njihovih svojstava, ovisno o vrsti čelika, dobroj duktilnosti, žilavosti, zavarljivosti, istezljivosti, korozivnim i drugim mehaničkim svojstvima.

Prema mikrostrukturi nehrđajuće čelike možemo podijeliti u četiri osnovne skupine: feritni nehrđajući čelici, austenitni nehrđajući čelici, austenitno-feritni (dupleks) nehrđajući čelici i martezitni nehrđajući čelici.

Primjena u poljoprivredi je svakim danom sve šira, a najčešće se koristi kod poljoprivrednih strojeva, u stočarstvu i u voćarstvu i vinogradarstvu.

6. LITERATURA

1. Alar, V., (2015.): Kemijska postojanost metala. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
2. Blažević, I., (2013.): Korozijska oštećenja konstrkucija od nehrđajućih čelika. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
3. Bogner, M., (2007.): Zavarivanje. ETA, Beograd.
4. Brkić, S., (2007.): Nehrđajući čelici u farmaceutskoj prehrambenoj i kemijskoj industriji. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb.
5. Gangur, S., ISO : 4063 Nomenclature of welding and allied processes – chronological overview, dostupno na: http://www.scribd.com/doc/121696023/ISO-4063-The-chronologicaloverview-of-nomenclature-system-ISO-4063-for-welding-and-allied-processes, (20.07.2019.).
6. Glavaš, Z. i Unkić, F., (2008.): Lijevanje željeznih metala. Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak.
7. Jovanović, M., (2008.): Praktikum REL i MAG/MIG zavarivanja. Kragujevac.
8. Kožuh, S., (2010.): Specijalni čelici. Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak.
9. Kralj, S. i Andrić, Š., (1992.): Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
10. Kraut, B., (2009.): Strojarski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb.
11. O'Brien, R. L., (1991): Welding Handbook: Welding processes. American Welding Society, Miami.
12. Rešković, S., (2011): Ispitivanje materijala. Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak.
13. Rudan, M., (2007.): Zavarivanje nehrđajućih čelika MIG impulsnim postupkom. Optimus, Pula.
14. Samardžić, I., (2012.): Povijest zavarivanja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Osijek, Strojarski fakulte u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod.
15. Šubarić, D., i sur.,(2012.): Higijena i sanitacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek.
16. http://metalcentar.ba/nehrdajuci-celici/, (20.07.2019.).

17. http://mit.com.hr/vinarska-oprema/, (15.07.2019.).
18. http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=43280, (01.09.2019.).
19. http://www.estainlesssteel.com/historyofstainlesssteel.shtml, (20.08.2019.).
20. http://www.lk-montaza.com, (01.09.2019.).
21. http://www.panonagro.com, (01.09.2019.).
22. http://www.ram-rijeka.com/c/931/Osnovni-postupci-zavarivanja---Ram-Rijeka.wshtml, (01.09.2019.).
23. http://www.strojopromet.com/inox/, (20.08.2019.).
24. http://www.vinogradarstvo.com/vinarstvo/podrumarstvo/170-strojevi-i-naprave-u-podrumu, (01.09.2019.).
25. http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Atlas_Grade_datasheet_-_all_datasheets_rev_Aug_2013.pdf, (10.08.2019.).
26. http://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno, (23.08.2019.).
27. https://poljoprivredna-oprema.hr, (01.09.2019.).
28. https://www.agrodirekt.eu, (01.09.2019.).
29. https://www.bauhaus.hr/nosaci-registarskih-plocica-za-automobile-nehrdajuci-celik.html, (01.09.2019.).
30. https://www.frassinox.com, (01.09.2019.).
31. https://www.oglasnik.hr, (01.09.2019.).