Izrada šanka od nehrđajućeg čelika

Žunta, Milan

Undergraduate thesis / Završni rad

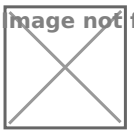
2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:877200

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

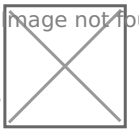
Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences





POLITEHNIKA PULA
VISOKA TEHNIČKO-POSLOVNA ŠKOLA s p.j.

IZRADA ŠANKA OD NEHRĐAJUĆEG ČELIKA

Kolegij: Tehnike materijala

Mentor: Božo Smoljan

Student: Milan Žunta

JMBAG: 0636

Pula, siječanj, 2015

1. UVOD 1

1. 1. Predmet i cilj istraživanja 1

1. 2. Znanstvene metode 1

1. 3. Struktura rada 1

2.Osnovna obilježja čelika 3

3.Nehrđajući čelik 5

3.1.Feritni nehrđajući čelici 7

3.2.Austenitni nehrđajući čelici 11

3.3.Austenitno-feritni (dupleks) nehrđajući čelici 17

3.4.Martenzitni nehrđajući čelici 20

4.Problem napetosne korozije 25

5.INOX 304 i INOX 430 28

6.Proizvodnja šanka 30

6.1.Proces izrade šanka 30

6.2.Postupak proizvodnje 33

6.3.Rezanje lima 33

6.4.Štancanje lima 34

6.5.Savijanje 36

6.6.Rezanje cijevi 38

6.7.Zavarivanje 38

7.Zaključak 45

8.Popis literature 46

9.Popis slika 47

1. Uvod

Inox i prokrom predstavljaju sinonime i trgovački nazivi za nehrđajući čelik odnosno korozijski postojani čelik koji zahvaljujući udjelu kroma i drugih kemijskih elemenata ima svojstvo postojanosti i otpornosti na djelovanje korozije. U ovome radu analiziraju se inox čelici pogodni za izradu nehrđajućih šankova.

1. 1. Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja ovoga rada jest nehrđajući šank i primjena i inox čelika za konstrukciju nehrđajućeg šanka.

Cilj istraživanja jest utvrditi postupke i metode izrade šanka od nehrđajućeg čelika te analizirati prednosti i nedostatke raznih varijanti nehrđajućih čelika.

1. 2. Znanstvene metode

Pri pisanju ovoga rada korištena je metoda analize i sinteze, metode komparacije te metoda deskripcije.

1. 3. Struktura rada

Ovaj je rad podijeljen u nekoliko cjelina, od kojih je prva njegov uvod, u kojem je ukratko objašnjen način izrade rada te osnovne teze iz rada, i to kroz područja problema, predmeta i svrhe istraživanja, zatim radne hipoteze i pomoćnih hipoteza, svrhe i ciljeva istraživanja, znanstvenih metoda koje su upotrebljavane pri izradi rada te strukture rada.

Prvo poglavlje, *Osnovna obilježja čelika* govori o temeljnim obilježjima čelika i značaju čelika u industriji. Pri tome se analiziraju svojstva i osobine čelika te značaj primjena čelika u različitim područjima.

Drugo poglavlje, *Nehrđajući čelik* obrađuje temeljne vrste nehrđajućih čelika, pri čemu se posebno analiziraju feritni, austenitni, dupleks i martenzitni nehrđajući čelici.

Treće poglavlje, *Problem napetosne korozije* analizira jedan od najvećih problema pri konstrukciji nehrđajućih čelika, problem napetosne korozije koji se unatoč svojstvima nehrđanja pojavljuje kod nekih vrsta nehrđajućih čelika te je stoga važan za analizu svojstva čelika i odabir pravog čelika s obzirom na namjenu.

Četvrto poglavlje, *Proizvodnja šanka* opisuje proces i postupak prizvodnje pojedine faze u izradi šanka

Rad završava sa zaključkom u kojem su sažete najvažnije spoznaje dobivene u radu.

2.Osnovna obilježja čelika

Čelik predstavlja slitinu željeza s ugljikom koji je prisutan u omjeru od 2,06% te drugih kemijskih elemenata ovisno o primjeni i namjeni čelika. U određenim slučajevima koje određuju kemijska svojstva dodanih kemijskih elemenata za legiranje udio ugljika može biti i nešto veći od 2,06%. Gotovo sva količina proizvedenog sirovog željeza iz visoke peći prerađuje se u čelik, jer su njegova mehanička svojstva mnogo bolja od svojstava željeza. Primjena željeza je prvenstveno u obliku čelika, a manje kao sirovog ili lijevanog željeza, s obzirom na činjenicu kako željezo u čistom obliku nije primjenjivo za tehničku upotrebu već uglavnom služi samo za neke specijalne namjene. Nasuprot tome, čelik ima znatno bolja mehanička svojstva i šire područje primjene u industriji i svakodnevnom životu.

U literaturi postoji nekoliko definicija čelika. Europske norme definiraju čelik kao željezni materijal pogodan za toplu preradu. Također, čelik se može definirati kao slitina (legura) željeza i ugljika (<2%) sa ili bez dodatka ostalih legirajućih elemenata. Važnost čelika u razvoju civilizacije očituje se u činjenici da je trenutna godišnja količina proizvedenog čelika u svijetu oko deset puta veća od ukupne proizvedene količine svih ostalih metala i legura. Godišnje se u svijetu proizvede više od milijardu tona čelika. (Kožuh 2010, 1)

Prema svojem sastavu, Čelik je deformabilna željezna legura koja osim ugljika sadrži i druge primjese kemijskih tvari. One mogu biti korisne i štetne. Pod korisne primjese u čeliku ubrajaju se krom, nikal, molibden itd., dok su štetni uglavnom fosfor i sumpor. Osim navedenih elemenata čelik može sadržavati i oligoelemente kao što su bakar, kositar, arsen i dr., kao i plinove poput kisika, dušika ili vodika. Prisutnost plinova u najvećem broju slučajeva pogoršava svojstva konačnog proizvoda.

Masovna proizvodnja čelika je započela u 19. stoljeću otkrićem Bessemerovog i Thomasovog postupka. Čelik se danas proizvodi postupkom u konverterima s kisikom (LD postupak) ili u električnim pećima (elektrolučna peć, elektroindukcijska peć). U industrijski manje razvijenim državama još se koriste Siemens-Martinove peći. Osnovna sirovina za proizvodnju čelika u konverterima s kisikom je sirovo željezo. U električnim pećima pretaljuje se uglavnom stari otpadni čelik. Konvertor s kisikom i električna peć su uređaji za taljenje, a rafinacija taline (rafinacijski procesi) obavlja se u raznim reaktorima sekundarne metalurgije ili metalurgije u loncima, već prema svojstvu i kakvoći čelika. (Požar 1987, 142)

Višestruka upotreba čelika prvenstveno proizlazi iz njegovih uporabnih svojstava odnosno mogućnosti postizanja dobre kombinacije čvrstoće, žilavosti, rastezljivosti, oblikovanja deformiranjem, promjene sastava legiranjem, toplinskom obradom itd. Osnovna svojstva čelika ovise o kemijskom sastavu, mikrostrukturi, te stanju, obliku i dimenzijama gotovog proizvoda. (Kožuh 2010, 2)

Zahvaljujući ekonomičnosti u proizvodnji koja čini čelik pogodnijim i isplativijim od mnogih drugih metala i njihovih slitina, čelik je pronašao široku primjenu u raznim područjima, pa se tako čelik upotrebljava kao materijal u svim najznačajnijim granama industrije, kao i u prometu, građevinarstvu, poljoprivredi, obrtništvu te velikom broju drugih djelatnosti.

Ovisno o kemijskom sastavu čelike se može podijeliti u dvije osnovne grupe: specijalni (posebni) i masovni čelici. Pojam "specijalni" čelik podrazumijeva željezne legure koje se svojim posebnim svojstvima razlikuju od uobičajenih masovnih čelika. Takva posebna svojstva se mogu postići na tri načina: utjecajem na kemijski sastav, proizvodnjom te preradom čelika. Čelik se smatra posebnim ukoliko su mu svojstva poboljšana barem jednim od tri spomenuta načina. (Kožuh 2010, 4)

Znanstvena istraživanja redovito nastoje usavršiti kvalitetu slitine čelika te se stoga industrija proizvodnje čelika stalno poboljšava, stvarajući tako nove slitine boljih karakteristika. Stoga su inovacije na području metalurške proizvodnje i toplinske obradbe većina različitih vrsta proizvedenih čelika dovele do velikog broja specijalnih (posebnih) čelika. Skupini specijalnih čelika tako pripadaju svi plemeniti, te velika većina kvalitetnih čelika, uključujući i nehrđajući inox čelik.

3.Nehrđajući čelik

Hrđa odnosno korozija predstavlja kemijski proces koji dovodi do razaranja metala ili legura zbog djelovanja metala ili njegove legure s vanjskim medijem. Uvjeti međudjelovanja i svojstva medija određuju vrstu korozije pa tako postoji plinska, atmosferska, podvodna, biološka korozija itd. Vrste korozije određuju se i prema načinu na koji dolazi do razaranja metala, pa se tako pojavljuje:

- opća korozija (jednolično odnošenje površine),
- jamičasta korozija (točkasta, rupičasta, "pitting"),
- interkristalna korozija,
- napetosna korozija

Korozijska postojanost odnosno osobina nehrđanja predstavlja sposobnost materijala da se suprotstavi negativnom djelovanju korozijskog medija pomoću usporavanja njegovog djelovanja. Na primjeru čelika, usporavanje djelovanja korozije postiže se primjenom legure od kroma.

Nehrđajući čelik ili korozijski postojani čelik je slitina željeza i najmanje 12 % kroma, dok moderni nehrđajući čelici sadrže i do 30% kroma. Osim legiranja s najmanje 12% kroma, da bi čelik bio korozijski postojan (pasivan), mora biti ispunjen još jedan uvjet, a to je postojanje homogene monofazne feritne, austenitne ili martenzitne mikrostrukture, radi izbjegavanja opasnosti od nastanka područja s različitim elektropotencijalom od potencijala osnovne mase. Nužni uvjet za korozijsku postojanost čelika pri sobnoj temperaturi je legiranje s minimalno 12% kroma. Ukoliko se uz krom (feritotvorac) ne dodaju elementi koji proširuju područje austenita (npr. Ni, Mn) niskougljični čelik s <0,1% C i >15% Cr posjedovati će postojanu feritnu mikrostrukturu od sobne temperature pa do temperature solidusa. Legiranje kromom utječe na sklonost pojavi krhkosti nakon popuštanja, ali se to može izbjeći dodatnim legiranjem s molibdenom. (Kožuh 2010, 11)

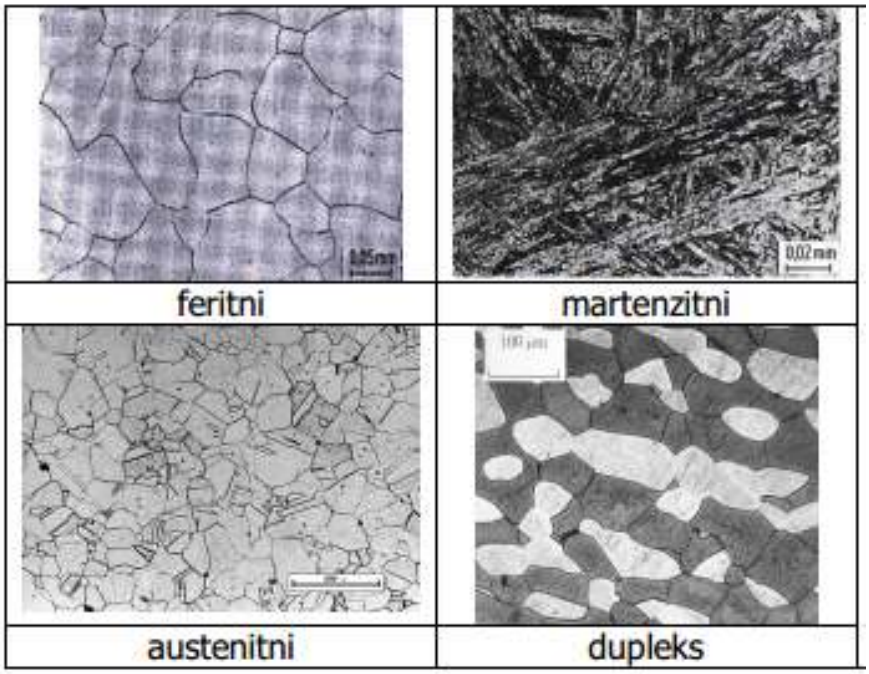
Pored kroma, postojanost prema koroziji povećava se dodatkom nikla. Kombinacijom legiranja kromom i niklom razvijeni su čelici tipa 18/8 (18% Cr i 8% Ni), s austenitnom mikrostrukturom koji su otporni na djelovanje kiselina. Legiranje molibdenom omogućava lakše pasiviziranje, te poboljšava korozijsku postojanost i otpornost na jamičastu koroziju Cr-

Ni čelika. Legiranjem jakim karbidotvorcima, npr. titanij, niobij, omogućava se izbjegavanje pojave interkristalne korozije. Općenito vrijedi da skupina korozijski postojanih čelika mora sadržavati: (Općenito o nehrđajućem INOX čeliku 2013)

- feritotvorce – Cr, Si, Al, Mo, Nb, Ti
- austenitotvorce – Ni, Mn, (Co), Cu, N.

Svjetska ispitivanja nehrđajućih čelika usmjerena su prema razvijanju novih vrsta „niskolegiranih“ nehrđajućih čelika s manjim udjelom skupih legura, koji su otporniji na koroziju uzrokovanu kloridima u lužnatim medijima, a cijena im je znatno niža, pa je time njihova uporaba u građevinskim konstrukcijama ekonomski opravdanija. Legure čelika sa smanjenim udjelom nikla i molibdena mogu imati cijenu manju od cijene nehrđajućeg čelika, a gotovo jednaku korozijsku otpornost u alkalnom mediju. (Serdar, Oslaković i Bjegović 2010, 211)

U osnovi, danas se pojavljuju četiri osnovne grupe odnosno vrste nehrđajućih čelika, pri čemu je podjela izvršena na osnovi njihovih mikrostruktrunih obilježja. Tako postoje martenzitni, feritni, austenitni i dupleks (austenitno – feritni) nehrđajući čelici (slika 1.). Dodatno, navedena podjela može se proširiti ako se uzme u obzir i mogućnost očvršćavanja, pa tako postoji i peta skupina nehrđajućih čelika - tzv. precipitacijski očvrstivi čelici. (Juraga, Šimunović i Stojanović 2007)



Slika 1: Karakteristične mikrostrukture pojedinih grupa nehrđajućih čelika (Juraga, Šimunović i Stojanović 2007)

Sve četiri vrste nehrđajućih čelika imaju svoje specifične primjene i karakteristike koje će biti prikazane u nastavku.

3.1.Feritni nehrđajući čelici

Feritni nehrđajući čelici u svojem sastavu sadrže 13 - 17% kroma te manje od 0,1% ugljika. Pri tome je njihova struktura izvedena tako da nemaju sposobnost fazne transformacije i usitnjenja kristalnog zrna, osim u iznimnim slučajevima u kojima bi se usitnjenje zrna moglo postići primjenom hladne deformacije (stupanj deformacije 30 - 50%), te rekistalizacijskim žarenjem (primjerice na temperaturi od 615 stupnjeva celzijusa kroz dužinu trajanja od 15 minuta, te zatim hlađenjem na zraku ili vodi).

Ferit je faza koja prevladava u mikrostrukturi ovih čelika. Ova vrsta nehrđajućih čelika je i nazvana po toj karakteristici. Njihova je osnovna osobina dobra otpornost na napetosnu, rupičastu i koroziju u procijepu (osobito u medijima koji sadrže kloride). Primjenjuju se na mjestima gdje je otpornost na koroziju važnija od mehaničkih svojstava (čvrstoće, žilavosti i istezljivosti). Vrste s nižim udjelom kroma (10,5 do 14 %) primjenjuju se za ispušne sustave

automobila zbog bolje otpornosti na opću koroziju u odnosu na ugljične čelike. Vrste s većim udjelom kroma primjenjuju se u uvjetima veće korozijske agresije, za dekorativne elemente u arhitekturi i automobilsku opremu. Feritni čelici s najvišim udjelom kroma primjenjuju se u kemijsko procesnoj industriji, u industriji celuloze i papira te u rafinerijama. Posjeduju bolju korozijsku postojanost od austenitnih i martenzitnih čelika. Međutim, relativno su skupi i teško se obrađuju. (Kovačiček, Filetin i Indof 2007)

Povijesno gledano, razvoj feritnih nehrđajućih čelika razvijao se kroz tri različite faze putem promjene kemijskog sastava tvari, te se stoga navode tri osnovne generacije feritnih nehrđajućih čelika. U prvoj generaciji pojavljuju se čelici sa srednjim udjelom kroma te relativno visokim udjelom ugljika, koji se očituju po feritno nečistoj mikrostrukturi. Drugim riječima, njihova mikrostruktura nije do kraja feritna. Pri tome je na visokim temperaturama uz ferit često prisutna i manja količina austenita koja hlađenjem do sobne temperature prelazi u martenzit.

Feritni čelici druge generacije razvili su se u nastojanju da se postigne potpuno feritna struktura i poboljša zavarljivost. Imaju niži sadržaj ugljika i dodatak stabilizirajućih elemanata (Nb ili Ti) koji vežu za sebe ugljik i dušik, i promiču feritnu mikrostrukturu.

Feritnost kao karakteristika usavršena je u trećoj fazi, pri čemu čelik u ovoj fazi ima visoki udio kroma i niski udio ugljika. Iako se i dalje pojavljuju nečistoće, one su veoma rijetke te neznatno djeluju na strukturu čelika. Prisutan je u tragovima i dušik. Zbog visokog stupnja čistoće posjeduju izvanrednu korozijsku otpornost i ograničenu žilavost i istezljivost.

Feritni nehrđajući čelici imaju visoku razinu otpornosti djelovanja dušične kiseline i raznih vodenih otopina dušične kiseline kao i na djelovanje smjesa dušične, fosforne i solne kiseline. Nasuprot tome, nisu otporni na djelovanje rastaljenih metala (aluminij, antimon, olovo), amonijevog biflourida, barijevog klorida, broma, octene kiseline itd.

Ostala svojstva feritnih nehrđajućih čelika su: (Kožuh 2010, 60)

- 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 obradljivost odvajanjem čestica (bolja od austenitnih),
- loša postojanost u kloridnim otopinama (npr. morska voda),
- nisu osjetljivi na pojavu napetosne korozije,
- dodatkom molibdena povećava im se otpornost na jamičastu koroziju,
- ekonomski prihvatljiviji od ostalih nehrđajućih čelika,
- skloni lomu pri niskim temperaturama.

Kako bi se uklonili ili barem umanjili nedostaci prethodno navedeni primjenjuju se metode povećanja udjela kroma ili smanjenja udjela ugljika ugljika u slitini kao i metode legiranja primjenom molibdena i nikla, u određenim situacijama također i primjenom legiranja titanom i niobijem. Uklanjanje nečistoća pokazalo je značajna poboljšavanja u karakteristikama feritnih čelika. Proces dobivanja vrlo niskih udjela nečistoća i primjesa provodi se primjenom suvremenih metoda rafinacije kao što su indukcijska vakuumska peć, elektronski mlaz i druge. Uslijed niskih udjela “dodataka“ takvi čelici se nazivaju ELA čelici (eng. Extra Low Additions).

Struktura nehrđajućih feritnih čelika posebice se proučava od četrdesetih godina prošlog stoljeća, pri čemu se nastoji utvrditi značaj hlađenja na svojstva čelika.

Kako bi se regulirala mehanička svojstva feritnih čelika, njihov se kemijski sastav regulira na način da mikrostruktura od početka skrućivanja pa do sobne temperature bude potpuno feritna. Pri tome je značajno kako feritne čelike nije moguće očvrsnuti putem austenitno martenzitne pretvorbe neovisno o tome sadrže li određenu količinu martenzita. Taj proces nije moguć jer unatoč prisutnosti martenzita čvrstoća nije dovoljna za provođenje pretvorbe. Određeno povećanje čvrstoće moguće je postići dodavanjem dušika i ugljika ali to nosi opasnost od pojave krhkosti. U praksi se, za povećanje čvrstoće feritnih korozijski postojanih čelika, najčešće koristi hladna deformacija.

Nedostatak feritnih čelika jest podložnost takozvanoj rupičastoj odnosno interkristalnoj, koroziji kao i koroziji u procijepu. S obzirom na činjenicu da u svojem kemijskom sastavu

sastavu nemaju nikla, feritni čelici su otporni na napetosnu koroziju i bolji su izbor od austenitnih nehrđajućih čelika za medije koji sadrže kloride. Ipak problem se pojavljuje prilikom procesa zavarivanja, pri čemu dolazi do raznih mikrostrukturnih promjena uslijed kojih se značajno smanjuje korozijska postojanost.

Rupičasta korozija i korozija u procijepu mogu se spriječiti izborom čelika s optimalnim kemijskim sastavom i strukturom. Na pojavu interkristalne korozije teško je utjecati osobito ako se primjenjuje zavarivanje. Ako se po granicama kristalnih zrna izluče karbidi i/ili nitridi i smanji se udio kroma uz granicu zrna ispod granične vrijednosti, stvoreni su uvjeti za nastanak interkristalne korozije. Otpornost na interkristalnu koroziju je direktno ovisna o sadržaju kroma i intersticijskih elemenata (ugljika i dušika) (Rede 2012)

Tijekom zavarivanja, na temperaturi višoj od 1000°C, ugljik i dušik se potpuno otapaju u metalu zavara i zoni utjecaja topline. Hlađenjem nastaju kromom bogati karbidi tipa $M_{23}C_6$ i nitridi Cr_2N. Ovi precipitati nastaju po granicama i unutar kristalnih zrna, ovisno o brzini hlađenja i masenim udjelima ugljika i dušika. Kod većih brzina hlađenja precipitati uglavnom nastaju unutar zrna a pri sporijem hlađenju uglavnom se izlučuju po granicama zrna. U mikrostrukturi feritnih čelika sa srednjim i visokim sadržajem kroma nakon zavarivanja prisutni su precipitati navedenih faza i unutar zrna i po granicama zrna. Kod čelika s visokim udjelom ugljika i dušika (više od 1000 ppm) ne može se brzim gašenjem izbjeći nastanak precipitata pri zavarivanju i zato su ovi čelici osjetljivi na interkristalnu koroziju. Kod čelika s niskim i srednjim sadržajem ugljika i dušika (~ 200 do 500 ppm) moguće je naglim hlađenjem izbjeći nastanak precipitata po granicama zrna. Ako su se precipitati već izlučili i ako je došlo do smanjenja sadržaja kroma uz granicu zrna, žarenjem na temperaturi od 700 do 950°C može se sve vratiti na početno stanje prije formiranja precipitata (Rede 2012).

Feritni čelici se smatraju zbog svoje intenzivnosti strukture nepovoljnima za zavarivanje zbog njihovog rasta zrna mikrostrukture. U primjeni ih zamjenjuju skupi austenitni nehrđajući čelici zbog svoje dobre sposobnosti zavarivanja. Ipak kako bi zavarivanje bilo uspješno potrebno je primijeniti odgovarajuće parametre te tada nema potrebe za mijenjanjem feritnih nehrđajućih čelika sa austenitnim nehrđajućim čelicima. (Tušek, i dr. 2012, 176)

Za optimalne parametre čvrstoće zavarenih spojeva iz feritnih nerhđajućih čelika, zavarivanje treba imati sloj nezavisnih zrna u svojoj sredini.

3.2.Austenitni nehrđajući čelici

Austenitni nehrđajući čelici predstavljaju najzastupljeniju skupinu nehrđajućih čelika dostupnih na tržištu. Isto tako uslijed različite primjene pojavljuju se u velikom broju različitih varijanti. Glavna prednost im je korozijska postojanost na veliki broj različitih medija te zadržavanje dobrih svojstava unatoč temperaturi. Drugim riječima, korozijska otpornost ostaje postojana i na veoma niskim kao i visokim temperaturama. Isto tako odlikuju se dobrim svojstvima u pogledu zavarljivosti što ih čini pogodnima za primjenu u različitim oblicima i situacijama. Nedostatak im je velika cijena proizvodnje u usporedbi sa feritnim nehrđajućim čelicima.

Maksimalna temperatura primjene je oko 760 °C, do koje ne dolazi do smanjenja čvrstoće i otpornosti na oksidaciju. Mogu se (značajno) očvrsnuti hladnom deformacijom. Primjenjuju se u uvjetima kad se traži dobra postojanost na atmosfersku koroziju i koroziju na povišenoj temperaturi.

Austenitni nehrđajući čelici su CrNi čelici s malim postotkom ugljika (C) koji se kreće u granicama od 0.03% do 0.12%. Postotak kroma (Cr) se kreće od 12 do 25% dok je postotak nikla (Ni) u granicama od 8 do 25%. (Ljubičić, Kodvanj i Ljubenkov 2010, 277)

Njihova se legura proizvodi legiranjem sa elementima koji osiguravaju formiranje austenitne mikrostrukture: niklom, dušikom i bakrom. Ukupni maseni udio gamagenih legirnih elemenata uglavnom prelazi 8%. Ugljik, iako nije legirni element također promiče austenitnu mikrostrukturu, a dodaje se i zato što povisuje otpornost na puzanje. Dušik, osim što promiče austenitnu strukturu, povisuje čvrstoću na sobnoj i niskim temperaturama. Zbog visokog udjela legirnih elemenata austenitni čelici su skuplji od martenzitnih nehrđajućih čelika i feritnih s nižim i srednjim sadržajem kroma. Ipak, njihova dobra svojstva, osobito dobra oblikovljivost i zavarljivost, opravdavaju njihov izbor i kompenziraju razliku u cijeni. Svi austenitni čelici imaju dobru duktilnost i žilavost i postižu značajnu istezljivost tijekom vlačnog opterećenja. (Rede 2012). Na slici 2 prikazana je mikrostruktura austenitnog nehrđajućeg čelika sa 100% austenita.



Slika 2: mikrostruktura austenitnog nehrđajućeg čelika (Rede 2012)

Na tržištu postižu visoku cijenu radi velikog udjela legirnih elemenata, pri čemu su skuplji od leritnih i martenzitnih nehrđajućih čelika. Ipak, njihova dobra svojstva, prije svega odlična prilagodljivost na oblikovanje i mogućnost zavarivanja bez gubitka nehrđajućih svojstava na području zavarivanja opravdavaju njihov izbor i kompenziraju razliku u cijeni. Također njihova se cijena opravdava karakteristikama očuvanja i rastezljivosti, s obzirom da imaju dobru duktilnost i žilavost i postižu značajnu istezljivost tijekom vlačnog opterećenja.

Tabela 1: Maseni udjeli ugljika i legirnih elemenata u austenitnim čelicima

element	maseni udio u postocima
krom	16 do 26
nikal	8 do 35
mangan	1 do 2
silicij	0.5 do 3
dušik	do 0.15
molibden	do 2
titan i niobij	do 0.2
ugljik	0.02 do 0.08

Izvor: (Rede 2012)

Austenitni čelici pronalaze svoju primjenu u najrazličitijim područjima i granama gospodarstva. Koriste se kao elementi nosivih konstrukcija te za razne druge primjene u arhitekturi, za izradu i dizajn kuhinjskih uređaja te za izradu medicinskog pribora. Uslijed veoma dobre korozijske korozijske postojanosti imaju veoma široko područje svoje primjene, koje proširuju druge karakteristike kao što je velika mogućnost manipulacije u oblikovanju zavarljivost, izdržljivost itd.

S obzirom da određene izvedbe austenitnih čelika mogu izdržati veoma visoke temperature, primjenjuju se na temperaturama upotrebe do 1000°C prije svega kao nosači i košare u pećima za toplinsku obradu. Za postizanje učinkovitosti na tako velikim temperaturama koriste se s austenitni čelici sa visokim udjelom legirnih elemenata. Pri tome osim visokog udjela kroma, imaju visoki udio silicija, a često i aluminija te ugljika, čime se značajno povisuje otpornost na oksidaciju i pougljičavanje te čvrstoća na visokoj temperaturi.

Austenitni nehrđajući čelici su osjetljivi na napetosnu koroziju pa se ne preporuča njihova primjena u okruženju s morskom vodom ili mediju koji sadrži kloride te u jako korozivnim medijima. Opasnost od ovog tipa korozije povećana je ako je konstrukcija izvedena zavarivanjem. (Rede 2012)

Iako dolaze u velikom broju varijacija u komercijalnoj primjeni, dvije su temeljne grupe u kojoj se pojavljuju austenitni čelici ovisno o vrsti gamagenih legirnih elemenata u njihovom sastavu:

- austenitni nehrđajući čelici s niklom
- Ni-Mn-N – austenitni nehrđajući čelici

Prema američkom sustavu označavanja (AISI – American Iron and Steel Institute) prva podskupina pripada seriji 300, a čelici iz druge podskupine pripadaju seriji 200. Iako je razvijeno mnoštvo različitih vrsta austenitnih čelika, vrste s oznakom 300 (po AISI sustavu) su najstarije,imaju najširu primjenu i najčešće se primjenjuju. Većina austenitnih čelika razvijena je iz čelika 18-8 (18 %Cr i 8-10 % Ni), dodavanjem legirnih elemenata i modificiranjem sastava, čime su se postigla bolja mehanička i korozijska svojstva. Najčešće primjenjivanje vrste austenitnih nehrđajućih čelika su čelici tipa 304, 316, 321 i 347 te njihove varijacije. (Rede 2012)

Važna je i primjena vrsta sa oznakom N, kod kojih je povećan sadržaj dušika do vrijednosti 0,20 % kako bi se poboljšala svojstva izdržljivosti čelika. Maseni udio dušika može biti i viši od navedene vrijednosti ako čelik sadrži dovoljno mangana, zato što mangan povisuje topivost dušika u austenitu. Dušik kod austenitnih čelika povoljno djeluje na čvrstoću, otpornost na adheziju i otpornost na rupičastu koroziju.

Vrste koje sadrže titan i niobij (tip 321 i 347) su stabilizirane vrste austenitnih nehrđajućih čelika, a niobij i titan se nazivaju stabilizirajućim legirnim elementima. Imaju veći afinitet prema ugljiku od kroma pa se njihovim dodavanjem sprečava nastanak kromovih karbida tipa M23C6 po granicama kristalnih zrna. Umjesto njih na povišenoj temperaturi formiraju se titanovi i/ili niobijevi karbidi tipa MC. Dodatkom titana i niobija u iznosu od 1 %, znatno se reducira sadržaj otopljenog ugljika u austenitu, a time i mogućnost nastanka kromovih karbida. Formiranje kromovih karbida može dovesti do senzibilizacije što je preduvjet za nastanak interkristalne korozije. (Rede 2012)

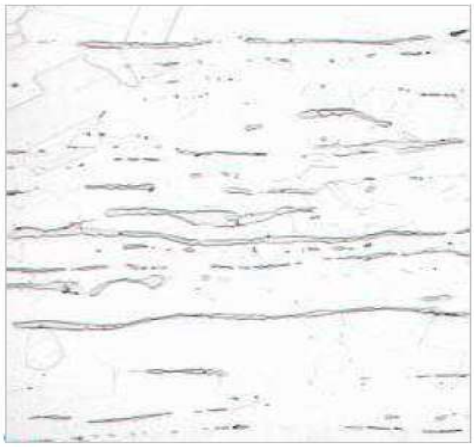
Povećanje nikla u sastavu legure postiže višu otpornost na adhezijski mehanizam trošenja. Uslijed velike cijene nikla u proizvodnji legura se često poseže i za drugim gamagenim legirnim elementima. Među elemente koji stabiliziraju austenitnu fazu i koji mogu zamijeniti

nikal ubrajaju se ugljik, dušik, mangan, bakar i kobalt. Pri tome je zanimljivo kako u svojim različitim kombinacijama ovi elementi mogu proizvesti gotovo jednako dobru leguru sa antikorozijskim svojstvima kao i legura sa niklom, međutim ni jedan od navedenih elemenata pojedinačno dodan, nema dovoljno jako djelovanje u smislu promicanja austenitne mikrostrukture, pa se više njih mora dodati ako se želi postići potpuno austenitna mikrostruktura.
Stoga za postizanje austenitne mikrostrukture koja će imati dobra protukorozijska svojstva treba voditi računa o sljedećim osobinama elemenata: (Rede 2012)

- ugljik je jaki gamageni element ali se ne smije dodati u većoj količini zbog izrazito nepovoljnog djelovanja na korozijsku postojanost i duktilnost čelika;
- udio mangana od čak 25% ne može osigurati potpuno austenitnu mikrostrukturu u čeliku koji sadrži oko 15% kroma;
- dušik se ne može dodati u dovoljnoj količini za potpuno austenitnu mikrostrukturu;
- bakar u većoj količini loše djeluje na duktilnost;
- kobalt je jako skup.

Prema kemijskom sastavu austenitni čelici su čisto austenitne strukture ili kombinirane austenitno-leritne strukture. Pri tome se nastoji termodinamičkom obradom prilagoditi mikrostruktura kako bi na sobnoj temperaturi bila potpuno austenitna ili austenitna s malim udjelom feritne faze. Konačni rezultat mikrostrukture ovisi o balansu alfagenih i gamagenih legirnih elemenata mikrostruktura pri čemu je struktura ili potpuno austenitna ili austenitno feritna.

Trakaste nakupine delta-ferita usmjerene su paralelno sa smjerom valjanja. Feritna faza nastaje zbog segregacije alfagenih legirnih elemenata (ponajprije kroma) tijekom kristalizacije i naknadne termomehaničke obrade. Volumni udio delta-ferita najčešće ne prelazi 2 do 3 %. Njegova prisutnost u mikrostrukturi nije nužno nepoželjna, iako u određenim uvjetima može smanjiti duktilnost i žilavost austenitnih nehrđajućih čelika. Uz trakaste nakupine delta-ferita mogu se izlučiti nepoželjne mikrostrukturne faze (karbidi tipa M23C6 i sigma-faza) (Rede 2012).



Slika 3: mikrostruktura austenita i delta feritnog nehrđajućeg čelika (Rede 2012)

Formiranje mikrostrukture kod austenitnih nehrđajućih čelika može se pratiti u ravnotežnom pseudobinarnom Fe-Cr-Ni dijagramu sa 70 % Fe, prikazanom na slici 3. Ovisno o sadržaju kroma i nikla, u primarnoj kristalizaciji, formira se austenitna ili feritna mikrostruktura. Legure koje imaju više nikla i manje kroma od gore navedenih vrijednosti, nakon primarne kristalizacije mikrostruktura je potpuno austenitna. U trokutastom području na ~ 12% Ni, između likvidus i solidus linije, prisutni su austenit, ferit i talina, a neposredno nakon skrućivanja mikrostruktura je bifazna i sastoji se od ferita i austenita. (Rede 2012)

Prema svojim mehaničkim svojstvima, austenitni čelici imaju vrijednosti vlačne čvrstoće i granice razvlačenja slične vrijednostima niskougljičnih čelika. Pri tome su minimalne vrijednosti konvencionalne granice razvlačenja ($R_{p0,2}$) nalaze se u rasponu od 205 do 275 N/mm^2, dok se razine vlačne čvrstoće (R_m) nalaze između 520 i 760 N/mm_2. Istezljivost austenitnih nehrđajućih čelika kreće se u rasponu od 40 do 60%.

Kako bi se povisile vrijednosti čvrstoće i granice razvlačenja primjenjuje se obrada hladnom deformacijom. Austenitni čelici općenito ne mogu očvrsnuti precipitacijom niti strukturnom transformacijom. Ukoliko se hlađenje odvija u veoma niskim temperaturama ili ukoliko dolazi do hladne deformacije sa veoma visokim stupnjem ugnječenja u mikrostrukturi čelika pojavljuje se martenzit.

Osnovno svojstvo austenitnih nehrđajućih čelika je, kao što je već navedeno, potpuna otpornost na opću atmosfersku koroziju pri sobnoj temperaturi te otpornost na koroziju unatoč

zavarivanju i sličnim promjenama. Ipak ukoliko je temperatura povišena otpornost na koroziju se smanjuje te može doći do razaranja materijala. Istraživanja pokazuju (Ljubičić, Kodvanj i Ljubenkov 2010, 280) kako neovisno o temperaturi otpornost na opću koroziju u morskoj vodi je prilično visoka. Brzina korozije iznosi oko 2,5x10-5 mm/god. ili manje.

Unatoč tome što imaju jako dobru korozijsku postojanost, austenitni čelici u određenim uvjetima prerade i primjene mogu postati osjetljivi na interkristalnu, rupičastu, napetosnu, galvansku i koroziju u procijepu te mikrobiološki izazvanu koroziju i erozijsku koroziju (tribokoroziju). (Rede 2012)

3.3.Austenitno-feritni (dupleks) nehrđajući čelici

Dupleks čelici su kombinirani čelici u svojoj mikrostrukturi od ferita i austenita u podjednakim volumnim udjelima. Pojavljuju se u tridesetim godinama dvadesetog stoljeća prije svega radi problema sa zavarivanjem feritnih čelika ali i zbog problema sa korozijskom postojanošću i krhkošću. Ipak svoju primjenu u široj komercijalnoj upotrebi dobivaju tek u osamdesetim godinama dvadesetog stoljeća. Tada su ispravljeni osnovni problemi koji su onemogućavali bolju primjenu ove vrste čelika, pri čemu je korozijska postojanost bila jedan od glavnih problema, a koji je rješen dodavanjem dušika. Od osamdesetih kreće brzi razvoj i primjena dupleks čelika. Danas se dupleks čelici primjenjuju na mnogim mjestima zbog svojih superiornih korozijskih i vrlo dobrih mehaničkih svojstva. Zbog visokog udjela ferita oni su feromagnetični, imaju višu toplinsku vodljivost i nižu toplinsku rastezljivost od austenitnih čelika. Na mjestima gdje se traži visoka otpornost na napetosnu i rupičastu koroziju, bolji su izbor od austenitnih čelika.

Ova vrsta čelika profilirala se zbog izvanredne kombinacije korozijske postojanosti koju jamči austenitni dio legure te mehanička svojstva lerita. Pri tome mehanička svojstva osiguravaju smanjenje nosivih presjeka i smanjenje ukupne mase proizvoda. Radi toga je dupleks nehrđajući čelik idealan za proizvodnju naftovoda i plinovoda dok u blažem korozivnom okruženju mogu biti dovoljno dobra zamjena za puno skuplje niklove legure.

Dupleks čelici imaju puno višu granicu razvlačenja (oko 425 N/mm^2) u odnosu na austenitne (oko 210 N/mm^2). Tvrdoća im je također viša, a shodno tome i otpornost na abrazijsko trošenje. Većina novijih dupleks čelika ima dobru žilavost i duktilnost. Zbog velikog udjela

feritne faze, pri sniženju temperature naglo prelaze iz žilavog u krhko područje, slično kao feritni nehrđajući čelici. Donja temperatura primjene je ograničena na – 40°C. Gornja temperatura primjene dupleks čelika je oko 315°C, zbog brojnih mikrostrukturnih precipitata koji se mogu izlučiti na relativno niskoj temperaturi, a koji loše utječu na korozijsku postojanost i mehanička svojstva. (Rede 2012)

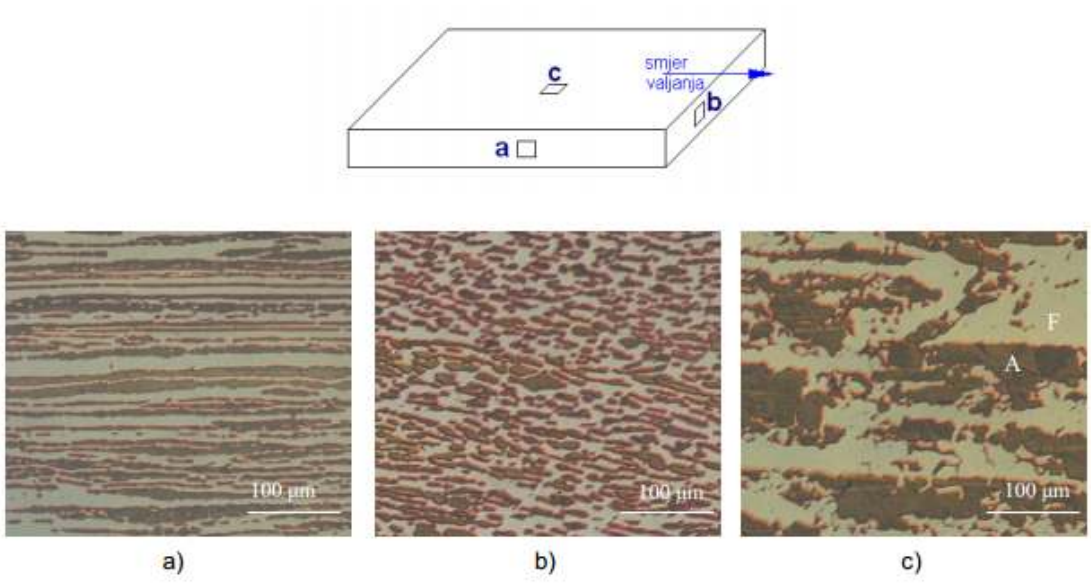
Prema toplinskoj rastezljivosti dupleks čelici nalikuju na ugljične i niskolegirane čelike uslijed čega im ova podudarnost omogućava međusobno spajanje u određenim komercijalnim primjenama, kao što su primjerice tlačne posude. Time je primjena ovakvih posuda zbog sličnih svojstava moguća na visokim temperaturama jer ne dolazi do prevelike napetosti zagrijavanjem.

Dupleks nehrđajući čelici su složene Fe-Cr-Ni-N legure čiji je kemijski sastav podešen tako da im se mikrostruktura na sobnoj temperaturi sastoji od 50 % volumnih udjela ferita i isto toliko austenita. Takva mikrostruktura zove se dupleks struktura, a po njoj su ovi čelici dobili ime. Osim kroma i nikla, važni legirni elementi su dušik, molibden, volfram i bakar. Dušik je izraziti gamageni element, promiče austenitnu fazu i povisuje otpornost na rupičastu koroziju. Molibden, volfram i bakar dodaju se uglavnom zbog povišenja korozijske postojanosti. Visoki maseni udjeli legirnih elemenata, a osobito vrlo zahtjevan termomehanički postupak nakon skrućivanja, čini dupleks čelike puno skupljima od većine austenitnih nehrđajućih čelika. (Rede 2012)

Kako bi se formirala prilagođena dupleks mikrostruktura koja osigurava iskorištavanje maksimuma iz svojstava austenitne i feritne strukture, važan je režim hlađenja nakon primarne kristalizacije. U prvoj fazi svi se dupleks čelici hlade na način da se provodi kristalizacija kao što se to obavlja i kod feritnog čelika. Daljnjim hlađenjem formira se austenitna faza, koja započinje najprije na granicama, a zatim i na određenim kristalografskim ravninama unutar feritnog zrna.

Pri procesu transformacije ferita u austenit, legirni elementi koji stabiliziraju austenit (ugljik, nikal, dušik i bakar) difundiraju u austenit, a legirni elementi koji podržavaju ferit (krom, molibden i volfram) otapaju se u feritu. Količina austenita ovisi o brzini ohlađivanja ferita, vrsti i udjelu legirnih elemenata te o brzini difuzije svakog pojedinog legirnog elementa. Optimalna fazna ravnoteža kod dupleks čelika postiže se pri podjednakim volumnim udjelima

ferita i austenita. Zato se za određeni kemijski sastav brzina ohlađivanja podešava tako da u temperaturnom intervalu između 1050 i 1150˚C u mikrostrukturi ima 50% ferita i 50% austenita. Dalje se hlađenje nastavlja gašenjem u vodi što osigurava zadržavanje postignutog faznog omjera i na sobnoj temperaturi. (Rede 2012)



Slika 4: mikrostruktura dupleks čelika (shema i uvećani prikazi) (Rede 2012)

Na slici 4 prikazana je mikrostruktura valjane ploče od čelika X2CrNiMoN22-5- 3 iz tri različita presjeka s obzirom na smjer valjanja. Mikrostruktura je izazvana sredstvom za nagrizanje LB I (Lichtenegger i Bloech). Izgled mikrostrukture po presjecima se razlikuje, a volumni udjeli ferita i austenita su podjednaki u sva tri presjeka (oko 50 %). Ovako izbalansiranom mikrostrukturom bez štetnih izlučevina i precipitata, osigurana je najbolja kombinacija mehaničkih svojstava i kemijske postojanosti. a) Paralelno sa smjerom valjanja, b) Poprečno na smjer valjanja, c) U smjeru valjanja, paralelno s površinom

Proces gašenja, kojim se naglo spušta temperatura u leguri, osim postizanja izbalansiranog omjera ferita i austenita, također služi i uklanjaju negativne odnosno štetne mikrostrukturne faze koje se mogu formirati na temperaturama ispod 1000°C pri sporom hlađenju. Vrsta i količina precipitiranih faza ovisna je o vremenu i temperaturi, a njihovo izlučivanje uzrokuje snižavanje mehaničkih svojstava i korozijske postojanosti.

Prema svojim mehaničkim svojstvima dupleks čelici su slični austenitnim čelicima te su otporni na hladnoću. Isto tako posjeduju visoku čvrstoću, i unatoč tomu, dobru istezljivost i dobru žilavost. Pogodni su za upotrebu na velikim hladnoćama jer žilavost zadržavaju do -40° C.

Za mehanička svojstva dupleks čelika općenito vrijedi sljedeće: (Rede 2012)

- tvrdoća dupleks čelika kreće se u rasponu od 250 do 350 HV.
- mikrotvrdoća: austenita ~300 HV0,02, ferita od 300 do 550 HV0,002
- vlačna čvrstoća, R_m: 700-1100 N/mm2
- konvencionalna granica razvlačenja, $R_{p0,2}$: 500-800N/mm2
- udarna radnja loma, KV: do170 J

Dupleks nehrđajući čelici imaju puno bolju korozijsku postojanost prema napetosnoj koroziji od austenitnih nehrđajućih čelika. Zbog visokog masenog udjela kroma i nižeg udjela nikla osobito su otporni prema napetosnoj koroziji u kloridnom okruženju. (Rede 2012)

3.4.Martenzitni nehrđajući čelici

Martenzitni nehrđajući čelici predstavljaju nehrđajuće čelike koji se temelje na leguri u trojnom sustavu Fe-Cr-C, pri čemu imaju povišeni udio ugljika (0,2 - 1,0%), iznad 13% kroma (do 18%), te mogu sadržavati i do 1,3% molibdena i 2,5% nikla. Njihova optimalna mehanička svojstva i korozijska postojanost se postižu procesom kaljenja na zraku ili u ulju kao i procesom naknadnog popuštanja. Martenzitni nehrđajući čelici su feromagnetični.

Dvije su osnovne skupine martenzitnih nehrđajućih čelika:

- konstrukcijski (sadrže do ≈ 0,25% C, poboljšavaju se) i
- alatni čelici (> 0,3% C, nakon kaljenja se nisko popuštaju).

Martenzitni nehrđajući čelici imaju široki raspon vrijednosti za čvrstoću i granicu razvlačenja. Granica razvlačenja može biti od 275 N/mm^2 u žarenom stanju, do 1900 N/mm^2 u gašenom i popuštenom stanju (za visokougljične vrste). Popuštanje se uvijek provodi nakon gašenja da

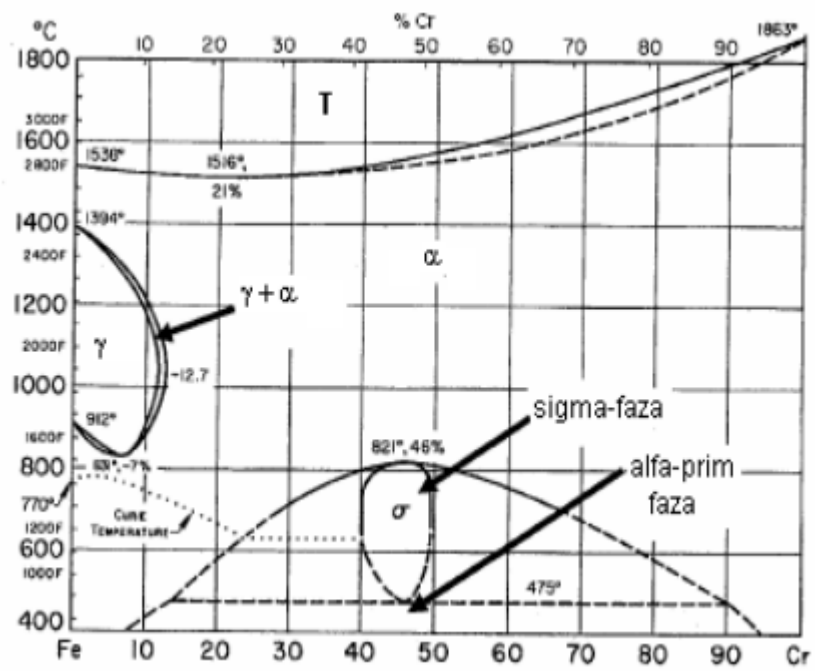
se postigne viša žilavost i istezljivost. Glavno svojstvo martenzitnih čelika je ipak visoka tvrdoća što je temelj za dobru otpornost na abrazijsko trošenje. (Rede 2012)

Njihov je temeljni nedostatak u tome što nemaju jednako dobru korozijsku postojanost kao drugi nehrđajući čelici, prije svega zbog nižeg udjela kroma i višeg udjela ugljika u usporedbi sa drugim nehrđajučim čelicima. Stoga se njihova primjena prije svega pojavljuje u uvjetima kad se od materijala traži visoka čvrstoća i tvrdoća uz blaže zahtjeve glede korozijske postojanosti.

Primjenjuju se za lopatice parnih, plinskih i mlaznih turbina na relativno niskim radnim temperaturama, za parne cjevovode, vodne turbine, brane u kanalima sa slatkom vodom, cijevi i ventile u rafinerijama nafte, obloge valjaka za kontinuirano lijevanje i dr. Niskougljični supermartenzitni čelici koriste se za naftovode i plinovode. Čelici s višim udjelom kroma i ugljika koriste se za kirurške instrumente, pribor za jelo, zupčanike i osovine. Ne koriste se na temperaturama višim od 650°C zbog pada mehaničkih svojstava i korozijske postojanosti. (Rede 2012)

Njihovu primjenu posebno ograničava činjenica što ova vrsta nehrđajućih čelika ima najlošiju zavarljivost od svih nehrđajućih čelika jer prilikom hlađenja nakon zavarivanja u martenzitnoj mikrostrukturi ostaje nepopušteni martenzit. Pri zavarivanju se moraju primijeniti posebne mjere opreza osobito za čelike s više od 0,1 % C.

Formiranje mikrostrukture martenzitnih nehrđajućih čelika odvija se tako da se najprije formira feritna faza s prostorno centriranom kubnom rešetkom koja se pojavljuje u širokom rasponu temperatura i udjela. Slijedi slično kao i kod dupleks čelika austenitna faza koja se događa u temperaturnom intervalu od 800 do 1400°C kod legura koje sadrže do 12,7 % kroma u području koje se, zbog specifičnog oblika, zove gama petlja. Ukoliko se proizvodnja odvija u ravnotežnim uvjetima hlađenja austenit iz gama petlje transformira se ponovo u ferit, a pri bržem ohlađivanju (nadkritičnom) u martenzit. Dodavanjem ugljika i ostalih gamagenih elementa u sustav Fe-Cr širi se gama petlja, stabilizira austenitna faza i olakšava transformacija austenita u martenzit. Fazni dijagram prikazan je na slici 5:



Slika 5: fazni dijagram martenzitnog nehrđajućeg čelika (Rede 2012)

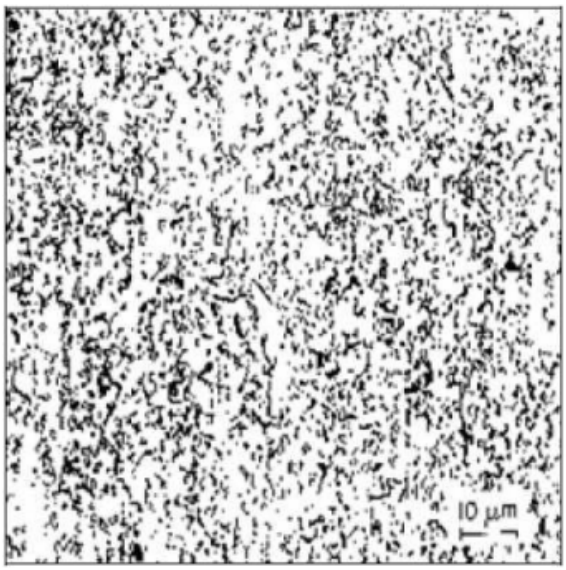
Granica razvlačenja martenzitnih čelika u žarenom stanju (prije kaljenja i popuštanja) iznosi oko 275 MPa. Mikrostruktura se sastoji od ferita i karbida. U takvom stanju se ovi čelici daju dobro hladno oblikovati deformiranjem ili obradom odvajanjem čestica. Čvrstoća se povisuje toplinskom obradom, a kolika će biti njezina vrijednost ovisi, prije svega, o sadržaju ugljika u čeliku. Povećanjem masenog udjela ugljika rastu čvrstoća i tvrdoća a padaju žilavost i istezljivost. Martenzitni čelici s višim udjelima ugljika mogu doseći tvrdoću od 60 HRC. (Rede 2012)

Kako bi se poboljšale mehaničke karakteristike martenzitnih nehrđajućih čelika, primjenjuju se toplinske obrade kojima se postižu specifična mikrostrukturalna stanja ovisno o tome želi li se poboljšati čvrstoća, tvrdoća ili žilavost. Najčešće se primjenjuje toplinska obrada koju sačinjava proces žarenja sa ciljem poboljšanja mogućnosti za rezanje i mogućnosti stvaranja deformacija na samome čeliku u hladnome stanju, kao i mogućnosti provođenja austenitiziranja s ciljem postizanja potpuno austenitne ili austenitno-karbidne mikrostrukture. Primjenjuje se i metoda nadkritičnog hlađenja pri kojem austenit prelazi u martenzit te popuštanja kojim se povisuje žilavost i duktilnost martenzitne mikrostrukture.

Martenzitni nehrđajući čelici najčešće se isporučuju u sferoidizacijski žarenom stanju. U ovom stanju čelici imaju dobru rezljivost i oblikovljivost u hladnom stanju, i lakše se oblikuju

u konačni (ili skoro-konačni) oblik. Naknadnim kaljenjem i popuštanjem postižu se zahtijevana eksploatacijska svojstva. Sferoidizacijsko ili meko žarenje postupak je ugrijavanja čelika na odgovarajuću temperaturu, duljeg držanja na toj temperaturi i vrlo sporog hlađenja. Fizikalna osnova procesa je djelovanje površinskih napetosti u smislu globularizacije. Karbidi koji se nalaze u feritnoj metalnoj osnovi, zadržavanjem na temperaturi žarenja, poprimaju kuglasti oblik. Time se smanjuje tvrdoća čelika i poboljšavaju svojstva obradljivosti. (Rede 2012)

Maseni udio i veličina karbidnih čestica povećavaju se i smanjuju ovisno o promjenama temperature i vremena koje se provodi proces žarenja. Što je viša temperatura to je niža tvrdoća i bolja oblikovljivost čelika ali se povećava opasnost od rasta zrna što loše utječe na neka mehanička svojstva.



Slika 6: Mikrostruktura sferoidizacijski žarenog čelika X20Cr13 (750°C / 2 sata) (Rede 2012)

Na slici 6 je prikazana mikrostruktura sferoidizacijski žarenog čelika X20Cr13. Za postizanje željene tvrdoće martenzitnih čelika nužno je zagrijati čelik na temperaturu austenitizacije, tj. na temperaturu na kojoj je mikrostruktura čelika potpuno austenitna ili austenitna s određenim udjelom neotopljenih karbida. Samo iz austenita, uz dovoljno brzo hlađenje, može nastati martenzit. Viša temperatura austenitizacije doprinosi jačem otapanju karbida, okrupnjavanju preostalih karbidnih čestica i većoj količini legirnih elemenata otopljenih u austenitnoj metalnoj osnovi. Na višoj temperaturi povećava se opasnost od rasta austenitnih zrna. Maseni udio u austenitu otopljenih legirnih elemenata izravno utječe na temperaturu početka i

završetka pretvorbe austenita u martenzit (M_S i M_F), tj. na udio zaostalog austenita (A_Z), tvrdoću nakon kaljenja i tvrdoću nakon popuštanja. Volumni udio i veličina neotopljenih karbida. (Rede 2012)

Kraljem dvadesetog stoljeća dolazi do razvoja takovaznih super-martenzitnih nehrđajućih čelikla koji predstavljaju alternativno jeftinije rješenje za skuplje austenitne i dupleks nehrđajuće čelike. Njihova se primjena prije svega pronalazi u konstrukcijama podmorskih cjevovoda. Osnovna prednost ovih čelika jest u manjem sadržaju ugljika uslijed kojega imaju puno bolju zavarljivost od konvencionalnih vrsta martenzitnih čelika, a mehanička svojstva su im podjednaka. Zbog relativno niskog sadržaja legirnih elemenata jeftiniji su od austenitnih i dupleks nehrđajućih čelika.

Legiranje niklom kompenzira niski sadržaj ugljika. Nikal je gamageni legirni element i širi područje austenita u faznom dijagramu čime se omogućava fazna transformacija u martenzit. Molibden se dodaje zbog poboljšanja korozijske postojanosti, a titan zbog stabilizacije mikrostrukture formiranjem titanovih karbida (TiC) te povoljnog utjecaja na veličinu kristalnih zrna. Supermartenzitni nehrđajući čelici dijele se najčešće prema sadržaju legirnih elemenata na vrste s niskim, srednjim i visokim udjelom legirnih elemenata. (Rede 2012)

4.Problem napetosne korozije

Iako nehrđajući čelici predstavljaju odlična rješenja za sprečavanje korozije, proces napetosne korozije i dalje predstavlja golem izazov za znanstvenike, s obzirom da napetosna korozija i dalje nije sasvim razjašnjena te stoga nije sasvim razjašnjeno kako se protiv nje „boriti“.

Osnovni problem kod napetosne korozije jest u tome što korozijski procesi koji izazivaju napetosnu koroziju su teško uočljivi i najčešće se javljaju tijekom eksploatacije. Rezultiraju velikim gubitkom mehaničke čvrstoće, kasnije i lomom, a sve to uz mali gubitak mase materijala. Srećom, za pojavu i nastanak napetosne korozije istodobno moraju biti ispunjena tri uvjeta: (Brkić 2007)

- materijal sklon napetosnoj koroziji
- asgresivni medij koji u kombinaciji s materijalom pogoduje nastanku napetosne korozije
- naprezanje

Kako se za pojavu napetosne korozije moraju zadovoljiti sva tri uvjeta, do nje rijetko dolazi, no u slučajevima kada se dogodi često ima veoma velike posljedice i veliku štetu na materijalu. Pojava napetosne korozije shematski je prikazana na slici 7:



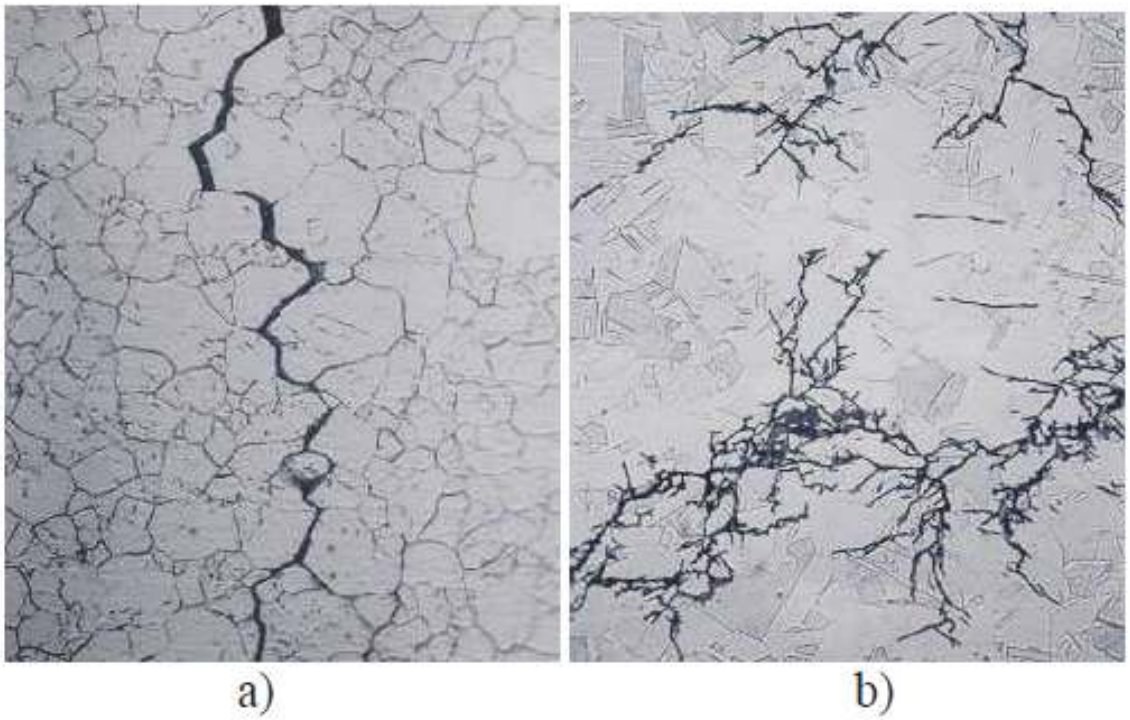
Slika 7: shematski prikaz čimbenika koji dovode do napetosne korozije (Horvat, Samardžić i Kondić 2011, 106)

Napetosna korozija nehrđajućih Cr-Ni čelika je lokalni korozijski proces koji ni do danas u cijelosti nije obrađen i razjašnjen. Radi se o korozijskom fenomenu koji transkristalno ili interkristalno razara strukturu materijala i nerijetko iznenada dovodi postrojenja izvan upotrebe. Na nastanak i razvoj napetosne korozije djeluje više čimbenika te ju je najčešće teško predvidjeti i otkriti prije njene završne faze – loma. (Horvat, Samardžić i Kondić 2011, 108)

Napetosna korozija se kod nehrđajućih čelika najčešće pojavljuje u opasnim elektrolitima koji sadrže CI i OH (visoka pH vrijednost) ili H_2S. Naprezanja koja su uvjet za nastajanje ovog oblika korozije ponajviše su zaostala naprezanja (unutarnja) do kojih dolazi uslijed plastične deformacije unutar samih materijala, ali i tijekom procesa zavarivanja ili nekih drugih tehnoloških procesa. S povećanjem koncentracije elektrolita, za pojavu napetosne korozije dovoljne su manje vrijednosti naprezanja.

Osim već spomenutih utjecajnih faktora, za pojavu napetosne korozije nehrđajućih čelika važnu ulogu ima i temperatura. Ispod 55 °C ovaj oblik korozije se ne pojavljuje. Transkristalni lom nastupa najčešće na temperaturama većim od 80 °C, dok je na nižim temperatura česti slučaj interkristalnog loma. Prema NiDI (Nickel Development Institute) koji je na 80 uzoraka istražio napetosnu koroziju nehrđajućih austenitnih čelika serije 300, pokazalo se da je u 76% slučajeva (61 uzorak) priroda loma bila transkristalna (slika 8). (Horvat, Samardžić i Kondić 2011, 108)

Vrsta legure ima ključnu ulogu u mehanizmu stvaranja napetosne korozije. Stoga su glavni čimbenici o kojima ovisi pojava napetosne korozije kemijski sastav, mikrostruktura, toplinske promjene itd. u leguri, ali isto tako i agresivni medij u kojem se čelična konstrukcija nalazi. Stoga je značajno kako isti materijali u različitim agresivnim sredinama ne moraju biti skloni napetosnoj koroziji, a problem se povećava ukoliko se uzme u obzir kako napetosna korozija nehrđajućih čelika često biva inicirana drugim oblicima korozije kao što je jamičasta i interkristalna korozija.



Slika 8: a) interkristalna i b) transkristalna napetosna korozija

Iz ovih razloga ponekad je vrlo teško definirati mehanizam nastajanja i propagacije napetosne korozije pa se zbog toga i često koriste dodatni termini kao što su kloridna napetosna korozija, kaustična napetosna korozija, politionska naptosna korozija itd. Oni direktno povezuju napetosnu koroziju s agresivnim medijem u kojem je nastala. Najizravniji način kontrole napetosne korozije je kontrola agresivnog okruženja. To je i metoda koja je vrlo rijetko moguća jer često same konstrukcije služe za transport agresivnih medija ili se nalaze u agresivnom okruženju koje ne možemo izbjeći. U tom slučaju moguća je primjena prevlaka na materijalima, izmjena elektrodnog potencijala, a vrlo učinkovita može biti primjena inhibitora korozije. (Horvat, Samardžić i Kondić 2011, 109)

5.INOX 304 i INOX 430

Za potrebe izrade šanka od nehrđajućeg čelika najčešće se koriste dvije varijante čelika, feritni čelik Inox 430, odnosno X6Cr17 feritni čelik te austenitni čelik tipa 304. Oba ova tipa imaju svoje prednosti i nedostatke koji su analizirani u nastavku.

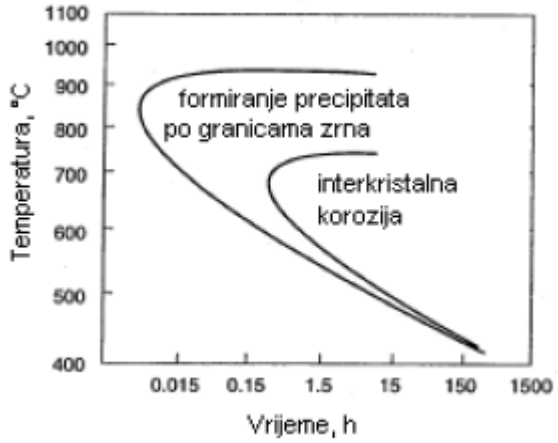
Čelik s oznakom 304 je temeljni čelik skupine austenitnih čelika te se zajedno sa modifikacijom čelikom 304L najčešće koristi u praksi. Ova vrsta čelika u komercijalne se svrhe prije svega koristi za izradu kuhinjskog sudopera, seta posuđa, pribora za jelo i ostale prehrambene opreme. Također se koristi i za izradu raznih drugih oblika opreme koja je redovito izložena djelovanju korozije. Nedotatak ovoga čelika, koji je modificiran inačicom 304L jest manja otpornost na rupičatu koroziju. Osnovni nedostatak ovoga čelika u usporedbi sa čelikom inox 430 jest cijena izrade koja je veoma velika. Kao i većina drugih austenitnih čelika, inox 304 je prilično skup u proizvodnji te je stoga visoka cijena i konačnog proizvoda.

Također, inox čelik 304 ima veću osjetljivost na napetosnu koroziju pa se ne preporuča njegova primjena u okruženju s morskom vodom ili mediju koji sadrži kloride kao ni u jako korozivnim medijima. Opasnost od ovog tipa korozije povećana je ako je konstrukcija izvedena zavarivanjem. S druge strane, čelik 304 ima bolja svojstva pri zavarivanju od čelika 430 te se stoga može zaključiti kako je bolji izbor ukoliko nisu prisutni ostali faktori opasnosti od napetosne korozije te ukoliko cijena nije važan faktor.

Inox čelik 430 je jedan od najpopularnijih feritnih nehrđajućih čelika u primjeni. Koristi se za proizvodnju automobilskih nosača guma, unutrašnjost perilice rublja, unutrašnjosti sušilice robe i slično. Njegova kemijska struktura ovisi o procesu hlađenja prilikom proizvodnje. Inox 430 čelik je jeftiniji stupanj čelika od inox 304 čelika te ima nedostatak slabih mogućnosti za varenje i formiranje. Ipak ima bolju postojanost na napetosnu koroziju te je bolji u primjeni u unutrašnjosti uređaja kod kojih je prisutna velika razina korozije.

Nedostatak kod austenitnog čelika 304 jest i pojava štetnih elemenata pri hlađenju. Ti štetni elementi, odnosno karbidi mogu nastati u skoro svim austenitnim čelicima zbog kroma koji je izrazito jaki karbidotvorac, a neizostavan je legirni element u svim nehrđajućim čelicima. I drugi karbidotvorni legirni elementi (molibden, niobij i titan) promiču nastanak karbida. Od tri navedena tipa karbida najveći značaj imaju karbidi tipa M23C6 zbog utjecaja na korozijsku

postojanost. Sitni karbidni precipitati formiraju se po granicama austenitnih zrna u temperaturnom području između 425 i 870 °C. U nastavku na slici 9 je prikazana precipitacija karbida na inox čeliku 304.



Slika9: Precipitacija karbida tipa $M_{23}C_6$ u austenitnom nehrđajućem čeliku X5CrNi18-10 (304) (Rede 2012)

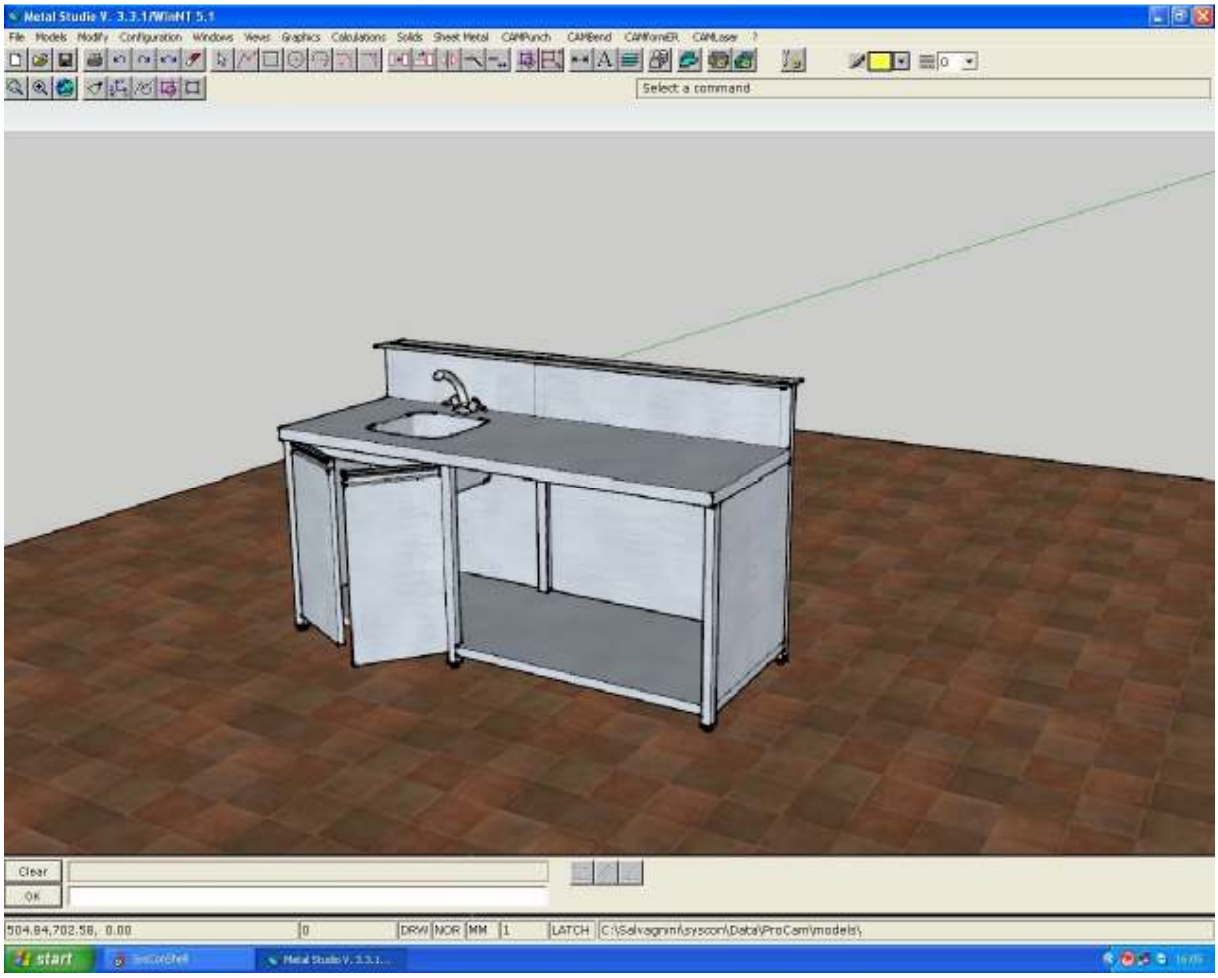
Prema performansama zavarljivosti bolji su austenitni čelici inox 304. Ipak treba imati na umu kako za ovu vrstu čelika vrijedi karakteristično svojstvo austenitnih čelika prema kojem veliki utjecaj na zavarljivost ima kemijski sastav, a osobito sadržaj sumpora i fosfora. Zbog velikog unosa topline tijekom zavarivanja, u zoni utjecaja topline mijenja se mikrostruktura osnovnog materijala. Po granicama austenitnih zrna mogu se izlučiti karbidi i druge štetne faze što je preduvjet zanastanak interkristalne korozije. U zavaru i oko zavara mogu zaostati naprezanja što može dovesti do napetosne korozije. S druge strane, feritni čelici inox 430 slabo se zavaruju te stoga nisu pogodni za oblikovanje.

6.Proizvodnja šanka

Šankovi nisu standardnih dimenzija,nego se rade prema mjerama sa terena i zahtjevima kupca. Za izradu šanka, treba znati točne mjere tlocrta prostorije te uzeti u obzir vrata , prozore, utičnice i ostale stvari koje su bitne za krajnji izgled šanka.

6.1.Proces izrade šanka

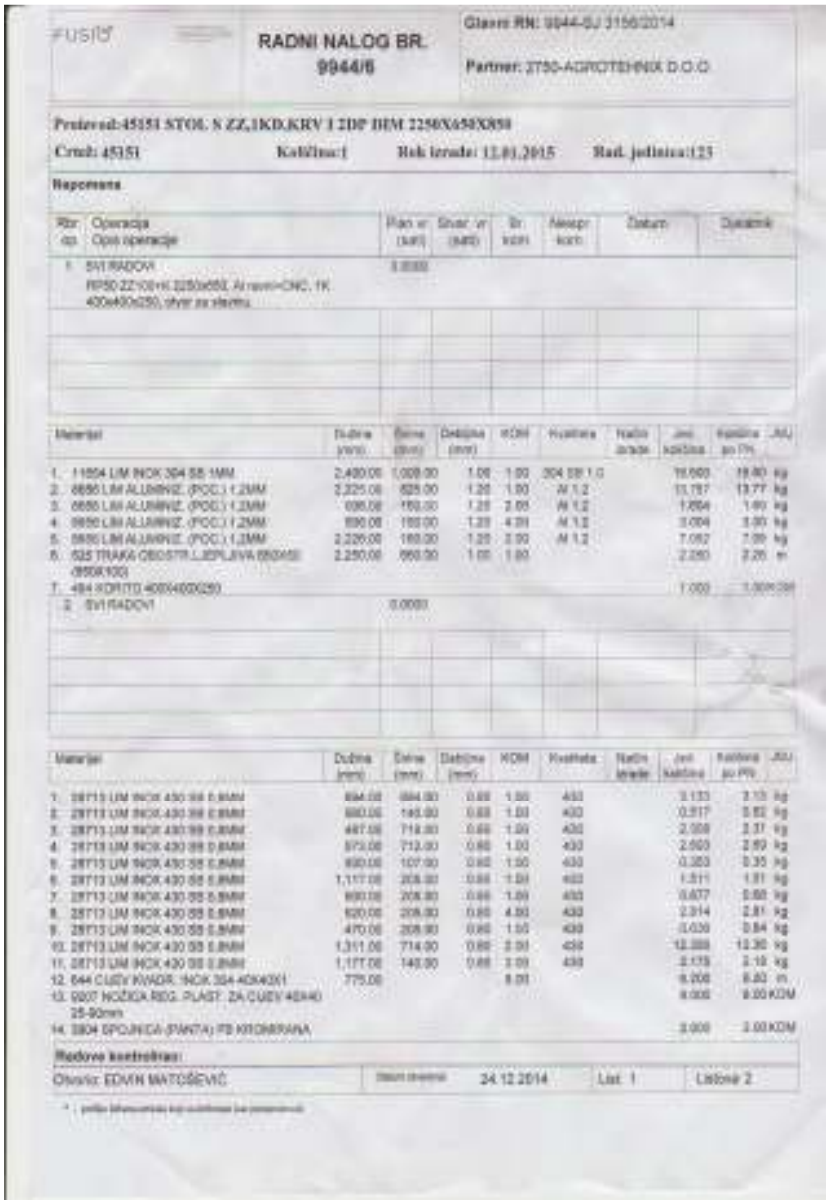
U proizvodnji šanka više je faza koje treba proći da bi se dobio gotov proizvod.
U prvoj fazi komercijalist ugovara sa kupcem željenu vrstu šanka, njegove dimenzije, raspored. U dogovoru sa kupcem, komercijalist daje narudžbu tehnolozima koji izrade nacrte tehnološkog rješenja (slika 10).



Slika 10: Tehnički nacrt; Izvor:Interni podaci poduzeća Fusio d.o.o.

Sa potvrdom kupca šalje se narudžba u službu za nabavu, gdje se otvaraju radni nalozi i pribavlja sav potreban materijal.

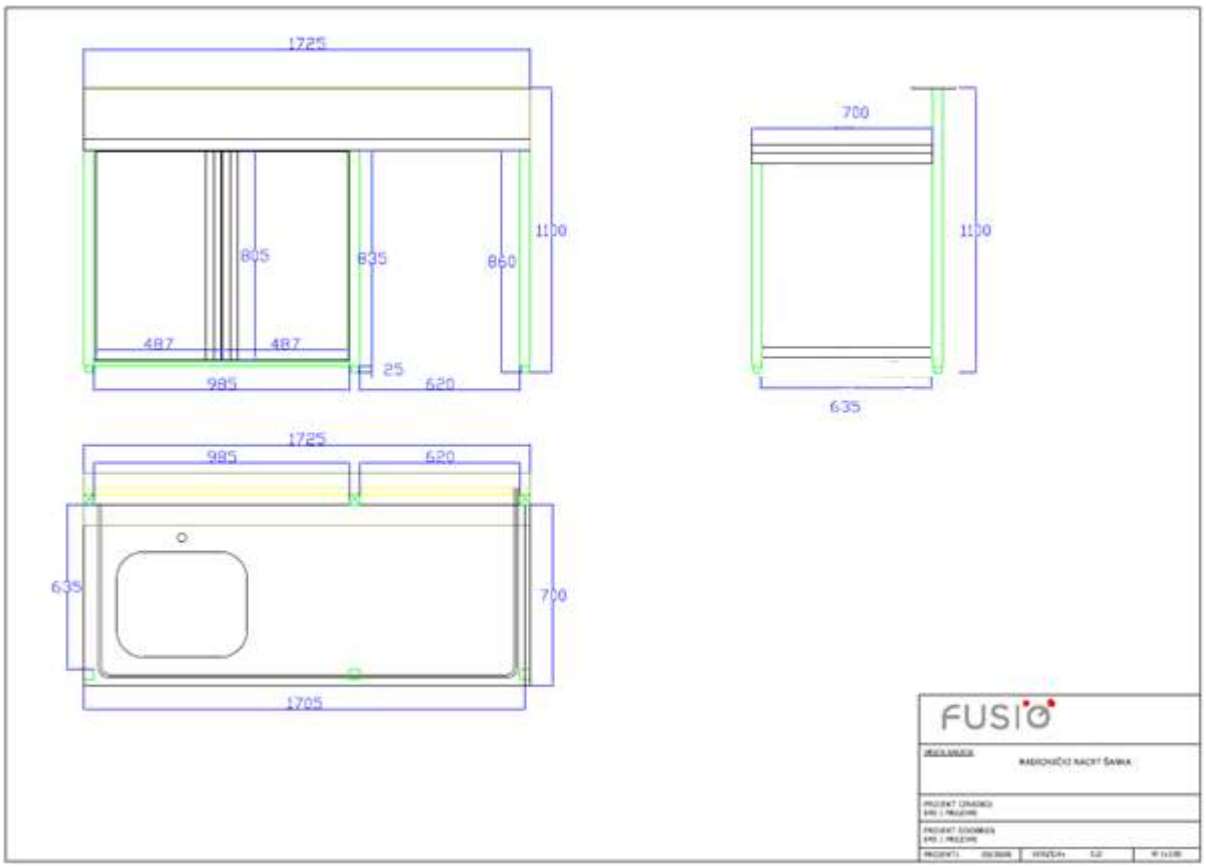
Druga faza sastoji se od pripreme proizvodnje u kojoj se ispisuju nalozi prema kojima se reže lim. Radni nalog mora sadržavati dimenziju i vrstu lima, program ili natuknicu prema kojoj se kasnije zna za što se taj lim koristi. (slika 11)



RADNI NALOG BR.
9944/6

Slika 11: Radni nalog; Izvor:Interni podaci poduzeća Fusio d.o.o.

Tehnički nacrti se izrađuju u CAD programu (autoCAD 2010) , koji se koriste i u izradi programa za štancanje i savijanje lima (slika 12).



Slika 12: Radionički nacrt; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

Treću fazu čini proizvodnja gdje djelatnici prema nalozima uz pomoć strojeva odrađuju pojedine radnje koje se sastoje od rezanja na škarama, štancanja, savijanja, varenja i završne obrade.

6.2.Postupak proizvodnje

Proizvodnja ima svoj redoslijed radnji po kojima se dolazi do gotovog proizvoda, uz prethodno odrađen posao nabave i pripreme naloga prema kojima se izrađuje šank, djelatnici su raspoređeni po fazama u proizvodnji.

6.3.Rezanje lima

Za rezanje lima koriste se CNC škare DURMA sa promjenjivim kutom gornjeg nosača, kut rezanja i zazor između noževa se automatski podešava CNC upravljanjem, za fleksibilan i precizan proces rezanja u odnosu na debljinu lima (slika 13).
Maksimalna duljina reza je 3000 mm, a maksimalna debljina 4mm.



Slika 13: Škare CNC Durma; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

Operater koji radi na škarama koristi skladište limova u kojima se nalaze limovi velikih standardnih dimenzija 4000x1000 i 4000x1500 koji su namijenjeni za skraćivanje na odgovarajuće dimenzije.
Lim je scotch brite, što znači da je satiniran sa gornje strane kao što se vidi na slici 14, te bude zaštićen sa folijom da se ne ošteti pri radu, folija se skida na kraju kad se završi proizvod .



Slika 14: Lim inox (satiniran sa gornje strane); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

Koriste se dvije različite kvalitete, inox 430 i AISI304. Debljina lima koja se koristi za rezanje je od 0.6mm do 2mm

Operater kad dobije nalog, reže lim prema zadanim dimenzijama, slaže na palete i prosljeđuje po potrebi do štance ili odmah na savijanje.

6.4.Štancanje lima

Automatska štanca CNC sa alatom za probijanje marke SALVAGNINI koristi se za probijanje limova. Stroj je kabelski povezan sa računalom u tehnološkoj pripremi, gdje tehnolozi pripremaju prethodno programe.
Operater koji radi na štanci ima svoje računalo na kojemu upisuje potreban program, poslaže lim na stol kako je prikazano na slici 15 i kada očita program, stroj si sam uzima lim, pozicionira te probija (slika 16). Štanca za probijanje koristi alate koji su na fiksnoj glavi, a kliješta koristi za pomicanje lima po površini štance.



Slika 15: Štanca CNC(ulazni stol); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.



Slika 16: Štanca CNC(pozicioniranje lima); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.



Slika 17: Štanca CNC(odštancan lim); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

Na slici 17 prikazan je lim nakon što je odštancan. Na kraju svakog štancanja operater provjerava lim koji mora biti točno odštancan prema nacrtu. Ako je dobar šalje se na savijačicu, lim koji nije točno odštancan vraća se na škare gdje ga se skrati za neke druge mjere po potrebi.

6.5.Savijanje

Za savijanje se koristi savijačica, koja je automatska CNC marke SALVAGNINI, povezana je kabelski sa tehnološkom pripremom. Za savijanje koristi segmente noževa različitih dimenzija, koje odabire prema gotovoj dimenziji savijanja, tehnolozi izrade program koji kasnije operater samo očita, položi lim na stol savijačice, a ona sama odradi ciklus (slika18).



Slika 18: Savijačica CNC(savijanje police); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

Za manje limove koristi se poluautomatska savijačica DURMA, ima alat duljine 3000mm, za savijanje koristi donji dio, matrice, a gore su noževi različitih profila, koji zavise i o materijalu koji se savija i o željenom obliku savijanja.

6.6.Rezanje cijevi

Tračna pila koristi se za rezanje cijevi, najčešće korištena cijev je presjeka 40x40 koja se koristi za noge na šanku ili pojačanja. Cijev polažemo u stroj, namjesti se graničnik na duljinu koja je na nalogu. Sa škripcem koji je na pili stisne se cijev i operater ručno pomiče gornji dio pile na kojoj je list (slika 19).

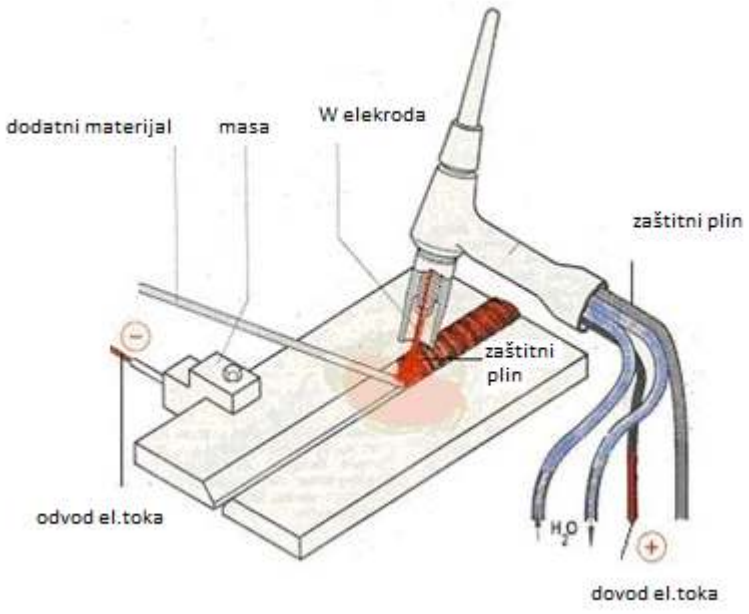


Slika 19:Tračna pila; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

.

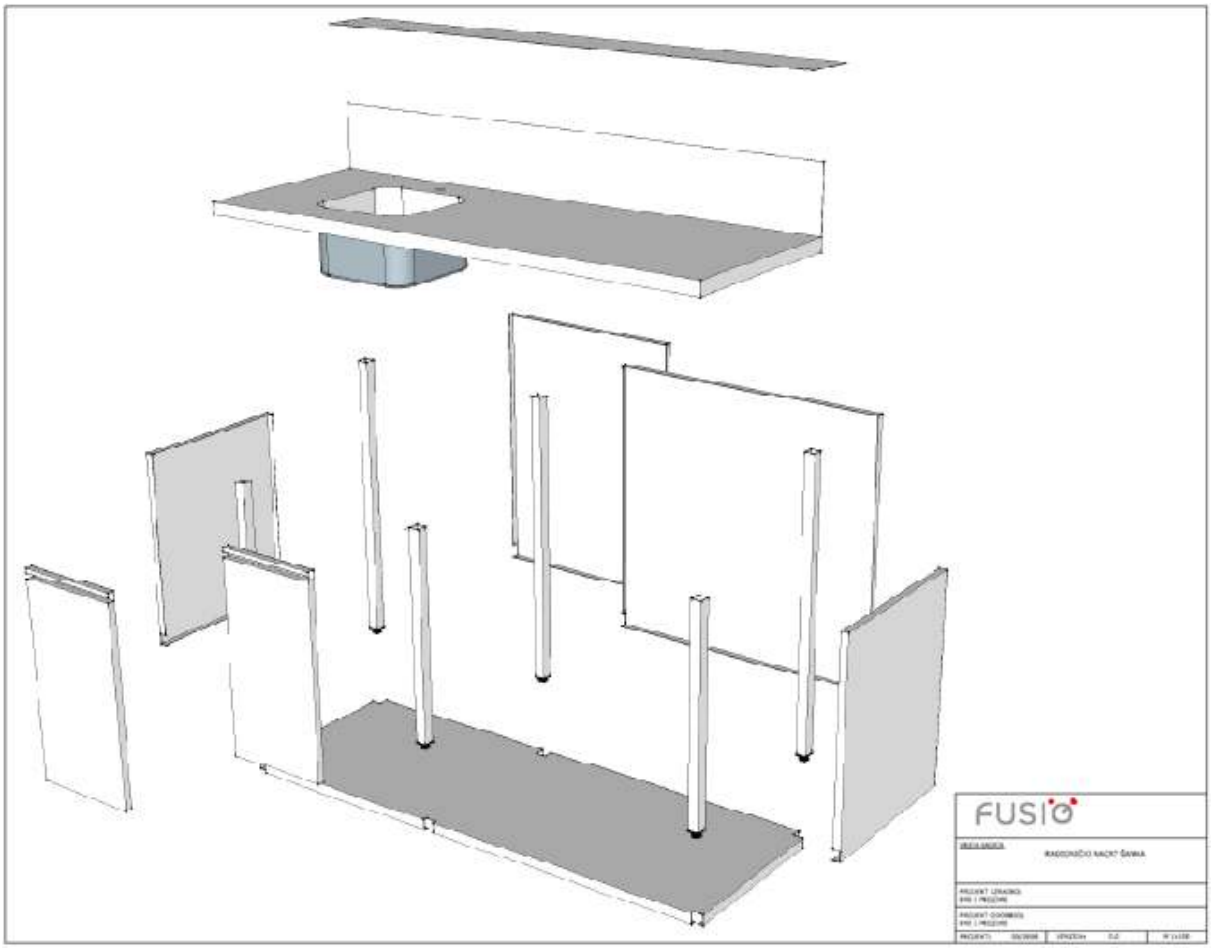
6.7.Zavarivanje

Za zavarivanje koriste se TIG aparati. Zavarivanje TIG postupkom (eng. Tungsten Inert Gas) je ručni postupak zavarivanja u neutralnoj smjesi plinova, koji koristi netaljivu volframovu elektrodu i ako je potrebno posebno dodatni materijal (slika 20). Svojstvo ovog postupka je stabilan električni luk i visoko kvalitetan zavar, ali zahtjeva izuzetne vještine zavarivača i relativno je spor. Pogodan za zavarivanje tankih limova



Slika 20: Princip TIG varenja; Izvor: www.genspot.com

Zagrijanu zonu, talinu i rastaljeni vrh žice te zagrijani vrh netaljive elektrode u procesu zavarivanja štiti interni plin od štetnih plinova iz atmosfere. Svi materijali koji se zavaruju moraju se dobro spajati, cijevi moraju biti točno i precizno odrezane te odmašćene. Za tanke cijevi debljine od 2 do 3 mm nije potrebno koristiti se dodatnim materijalom, na limovima treba skidat foliju prije varenja.



Slika 21: Sklopni nacrt; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

Za početak zavarivanja potrebno je da varioci dobiju sklopni nacrt (slika 21), na kojemu se točno vidi koliko ima proizvod dijelova, prema nacrtu znaju koji sve dijelovi im trebaju za šank, s time znaju kako ih zavariti. Na početku se zavaruje radna površina, na slici 22 prikazana je priprema, gdje se skida folija na mjestu varenja korita. Varenje korita odrađuju varioci ručno sa tig aparatom (slika 23 i 24), kasnije obrada se vrši isto ručno sa bušilicama te pripadajućim lepezastim brusnim kolutićima , detalj poslije obrade prikazan je na slici 25.



Slika 22: Radna površina (priprema za varenje); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.



Slika 23: Radna površina (varenje korita); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.



Slika 24: Radna površina (detalj vara prije obrade); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.



Slika 25: Radna površina (detalj vara poslije obrade); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.



Slika 26: Lepezasti brusni koluti“BKČ“; “BKK“; “SB“; Izvor: www.nemecart.hr

Lepezasti brusni kolut tip "BKČ" izrađen je od lamelica brusnog platna poredanih u krug i povezanih posebnom masom - armiranom smolom. Lepezasti brusni kolut tip "BKČ" izrađen je od lamelica brusnog platna i sintetskog brusnog materijala poredanih u krug i povezanih posebnom masom - armiranom smolom. Lepezasti brusni kolut tip "SB" izrađen je od lamelica "Scotch-brite"-a (3M), poredanih u krug i povezanih posebnom masom - armiranom smolom.

Opis:

Primjena, prvenstveno namijenjeni za zahtjevno brušenje i precizno završno brušenje. Pogodni za izvlačenje riseva i neravnina te za brušenje Inoxa, normalnog i legiranog čelika, obojenih metala i njihovih legura i aluminija.

Tip "BKČ" koristi se za prvo ili grubo brušenje, "BKK" je za dobivanje grube satinature i "SB"je namijenjen za završno matiranje Inox proizvoda.



Slika 27:Šank; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.

Za opis proizvodnje je odabran neutralni šank (slika 27). Neutralni šank se izrađuje od inox lima, sa raznim opcijama od običnih vrata, kliznih vrata, ladica, nagibnih ladica za smeće, perforiranih vrata, otvora za perilice, ledomate, depuratore ili police. Sve ručke na ladicama i vratima su izrađene kao cjelina na taj način ne može doći do trganja i čupanja ručkica prilikom rada. Radna površina može biti ravna, sa koritom ili više njih.

7.Zaključak

Nehrđajući čelici predstavljaju važan dio proizvodnog procesa u metalurgiji te predstavljaju veoma važan materijal u gotovo svim područjima, pa tako i u proizvodnji šankova. Zahvaljujući svojoj leguri koja im daje nehrđajuća svojstva, ovi čelici otporni su na djelovanje korozije te na njihovoj površini ne nastaje hrđa. Ipak ta otpornost nije savršena, uslijed različitih izvora i oblika korozije.

Četiri su temeljne vrste nehrđajućih čelika po svojim mikrostruktrunim obilježjima. To su martenzitni, feritni, austenitni i dupleks (austenitno – feritni) nehrđajući čelici. Svaka od ovih skupina ima svoje prednosti i nedostatke, pri čemu su se najbolji pokazali dupleks i austenitni čelici, no oni imaju veliki nedostatak u svojoj velikoj cijeni.

Na tržištu se pojavljuju dva temeljna tipa nehrđajućih čelika pogodnih za izradu šankova. To je čelik inox 304 koji je austenitan, te feritan čelik inox 430. Prednost inox 304 čelika jest veća mogućnost oblikovanja i manipulacije, dok je prednost feritnog 430 čelika u jeftinijoj cijeni. Veliki nedostatak koji ograničava primjenu inox 430 čelika jest njegove slabe mogućnosti zavarivanja.

Ugostiteljski šankovi su vrlo bitan dio svih ugostiteljskih objekata kao što su caffe barovi, hoteli, restorani. Svojim vizualnim dizajnom privlače goste a dobrim tehničkim dizajnom olakšava i ubrzava rad zaposlenika, na taj način dobivamo zadovoljnije zaposlenike i najbitnije goste koji su brže usluženi. Za proizvodnju takvog šanka potreban je tim stručnjaka kojeg čine projektanti, tehnolozi i djelatnici u proizvodnji, koji su raspoređeni u fazama proizvodnje, svaki svojim radom doprinosi dobrom i kvalitetnom gotovom proizvodu.

8.Popis literature

1. Brkić, Srećko. *Nehrđajući čelici u farmaceutskoj, prehrambenoj i kemijskoj industriji.* Zagreb: Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, 2007.
2. Horvat, Marko, Ivan Samardžić, i Veljko Kondić. »Napetosna korozija.« *Tehnički glasnik*, 2011: 103-109.
3. Juraga, Ivan, Vinko Šimunović, i Ivan Stojanović. »Zavarivanje Cr-Ni čelika, korozijska postojanost, rukovanje.« *Društvo za zavarivanje Istra.* 2007. http://www.dtzi.hr/upload/pdf/4.%20SEMINAR/1.%20RAD.pdf.
4. Kovačiček, Franjo, Tomislav Filetin, i Janez Indof. *Svojstva i primjena materijala.* Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2007.
5. Kožuh, Stjepan. *Specijalni čelici - skripta.* Sisak: Metalurški fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2010.
6. Ljubičić, Petar, Janoš Kodvanj, i Boris Ljubenkov. »Mehanička svojstva nehrđajućeg čelika pri niskim temperaturama.« *Zbornik radova Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje* , 2010: 270-282.
7. *Općenito o nehrđajućem INOX čeliku.* 2013. http://www.serto-bel.hr/inox-opcenito/.
8. Požar, Hrvoje. *Tehnička enciklopedija.* Zagreb: Grafički zavod Hrvatske, 1987.
9. Rede, Vera. *Struktura i svojstva nehrđajućih čelika -skripta.* Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2012.
10. Serdar, Marijana, Irina Stipanović Oslaković, i Dubravka Bjegović. »Primjena nehrđajućih čelika kao armature u betonu.« *Građevinar*, 2010: 219-227.
11. Tušek, J., A. Lešnjak, M. Pleterski, i D. Klobčar. »Utjecaj parametara zavarivanja na skrućivanje zavara kod feritnog nehrđajućeg čelika.« *Metalurgija*, 2012: 175-178.

9.Popis slika

Slika 1: Karakteristične mikrostrukture pojedinih grupa nehrđajućih čelika 7
Slika 2: mikrostruktura austenitnog nehrđajućeg čelika (Rede 2012) 122
Slika 3: mikrostruktura austenita i delta feritnog nehrđajućeg čelika (Rede 2012) 166
Slika 4: mikrostruktura dupleks čelika (shema i uvećani prikazi) (Rede 2012) 19
Slika 5: fazni dijagram martenzitnog nehrđajućeg čelika (Rede 2012) 222
Slika 6: Mikrostruktura sferoidizacijski žarenog čelika X20Cr13 (750°C / 2 sata)..... 233
Slika 7: shematski prikaz čimbenika koji dovode do napetosne korozije 255
Slika 8: a) interkristalna i b) transkristalna napetosna korozija 2727
Slika 9: Precipitacija karbida tipa $M_{23}C_6$ u austenitnom nehrđajućem (...) 29
Slika 10: Tehnički nacrt; Izvor:Interni podaci poduzeća Fusio d.o.o. 290
Slika 11: Radni nalog; Izvor:Interni podaci poduzeća Fusio d.o.o. 291
Slika 12: Radionički nacrt; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o..... 292
Slika 13: Škare CNC Durma; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o..... 293
Slika 14: Lim inox(satiniran sa gornje strane); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o..... 294
Slika 15: Štanca CNC(ulazni stol); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o. 295
Slika 16: Štanca CNC(pozicioniranje lima); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o. 295
Slika 17: Štanca CNC(odštancan lim); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.. 296
Slika 18: Savijačica CNC(savijanje police); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o..... 297
Slika 19: Tračna pila; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.. 298
Slika 20: Princip TIG varenja; Izvor: www.genspot.com 299
Slika 21: Sklopni nacrt; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o..... 40
Slika 22: Radna površina (priprema za varenje); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o.... 41
Slika 23: Radna površina (varenje korita); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o. 41
Slika 24: Radna površina (detalj vara prije obrade); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o. 2942
Slika 25: Radna površina (detalj vara poslije obrade); Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o. 2942
Slika 26: Lepezasti brusni koluti“BKČ“; “BKK“; “SB“; Izvor: www.nemecart.hr 293
Slika 27: Šank; Izvor:Interne slike poduzeća Fusio d.o.o. 29294