

MIKROSTRUKTURA I SVOJSTVA MARTENZITNOG KOROZIJSKI POSTOJANOG ČELIKA

Rendulić, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/um:nbn:hr:128:469028>

Rights / Prava: [In copyright/Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-13**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

MATIJA RENDULIĆ

**MIKROSTRUKTURA I SVOJSTVA
MARTENZITNOG KOROZIJSKI
POSTOJANOG ČELIKA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2021. godina

VELEUČILISTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

MATIJA RENDULIĆ

**MIKROSTRUKTURA I SVOJSTVA
MARTENZITNOG KOROZIJSKI
POSTOJANOG ČELIKA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor :
dr. sc. Tihana Kostadin

KARLOVAC, 2021.godina



ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

Datum:
02.03.2021

| | | |
|--|--|---------------------------|
| Ime i prezime | MATIJA RENDULIĆ | |
| OIB / JMBG | | |
| Adresa | | |
| Tel. / Mob./e-mail | | |
| Matični broj studenta | | |
| JMBAG | | |
| Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija) | Xpreddiplomski | specijalistički diplomski |
| Naziv studija | PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA | |
| Godina upisa | | |
| Datum podnošenja molbe | | |
| Vlastoručni potpis studenta/studentice | | |

Naslov teme na hrvatskom: MIKROSTRUKTURA I SVOJSTVA MARTENZITNOG KOROZIJSKI POSTOJANOG ČELIKA

Naslov teme na engleskom: MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF MARTENSITIC STAINLESS STEEL

Opis zadatka: Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela. U teorijskom dijelu potrebno je opisati proces korozije, te korozijijski postojane čelike, sa posebnim naglaskom na martenzitne čelike, te njihova mehanička svojstva i obradivost, kao i njihovu primjenu.

U eksperimentalnom dijelu rada, za izabrani martenzitni korozijijski postojani čelik, napraviti: ispitivanje vlačne čvrstoće, udarnog rada loma, tvrdoće i metalografsku analizu mikrostrukture, te analizirati dobivene rezultate, uz osnovnu statističku obradu rezultata dobivenih ispitivanjima. Na kraju napisati odgovarajući zaključak.

Rad urediti prema pravilima VUK.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA

Izjavljujem da sam ja, student Matija Rendulić, matični broj studenta: 0110616047, upisan u VI. semestar preddiplomskog stručnog studija strojarstva, akademske godine 2020./2021., radio ovaj rad samostalno, primjenom znanja stečenih na Veleučilištu u Karlovcu, uz pomoć korištenja stručne literature i savjeta mentora. Zahvaljujem se svima koji su mi pružili podršku tijekom studiranja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice Tihane Kostadin, dr.sc, kojoj se također ovim putem zahvaljujem.

Karlovac, 02.03.2021

Matija Rendulić

SAŽETAK

Završni rad podijeljen je u dva dijela, teorijski i eksperimentalni dio. U teorijskom dijelu opisana je korozija, njezini oblici, te mikrostruktura nehrđajućih postojanih čelika. Posebno je naglašena mikrostruktura, svojstva i primjena martenzitnih korozijskih postojanih čelika.

U eksperimentalnom dijelu provedena su ispitivanja vlačne čvrstoće, udarnog rada loma, tvrdoće i metalografska analiza mikrostrukture za izabrani materijal, oznake X20 Cr13 ili HRN oznake Č4172. Na temelju dobivenih rezultata i provedene analize donesen je odgovarajući zaključak.

Ključne riječi: vlačna čvrstoća, udarni rad loma, tvrdoća, mikrostruktura nehrđajućih postojanih čelika.

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF MARTENSITIC STAINLESS STEEL

SUMMARY

The final paper is divided into two parts, theoretical and experimental part. The theoretical part describes corrosion, its forms, and the microstructure of stainless steels. The microstructure, properties and application of martensitic stable steels are especially emphasized.

In the experimental part, tests of tensile strength, impact fracture, hardness and metallographic analysis of the microstructure on selected martensitic steel marked X20 Cr13 were performed. Based on the obtained results and the conducted analysis, an appropriate conclusion was made.

Key words : tensile strength, impact fracture, hardness and microstructure.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

POPIS OZNAKA

| | |
|--|-----------|
| 1. Uvod o koroziji..... | 1 |
| 1.1 Kemijska korozija..... | 2 |
| 1.2 Elektrokemijska korozija..... | 2 |
| 1.3.Korozionska postojanost..... | 2 |
| 2. Oblici korozije..... | 3 |
| 2.1. Posebni oblici korozije..... | 4 |
| 2.1.1 Interkristalna korozija..... | 4 |
| 2.1.2 Točkasta – jamičasta korozija..... | 5 |
| 2.1.3 Napetosna korozija..... | 5 |
| 2.1.4 Erozija i kavitacija..... | 6 |
| 3. Mikrostruktura korozionskih postojanih čelika..... | 7 |
| 3.1 Feritni čelici..... | 7 |
| 3.2 Superferitni čelici..... | 9 |
| 3.3 Austenitni čelici..... | 9 |
| 3.4 Austenitno feritni čelici s 40% do 60% ferita (Duplex čelici)..... | 10 |
| 4. Martenzitni korozionski postojani čelici..... | 12 |
| 4.1 Mikrostruktura martenzitnog postojanog čelika..... | 12 |
| 4.2 Toplinska obrada korozionskih postojanih martenzitnih čelika..... | 14 |
| 4.3 Martenzitna pretvorba..... | 20 |
| 4.4 Mekomartenzitni čelici..... | 23 |
| 4.5 Martenzitno – feritni čelici..... | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 5. Eksperimentalni dio..... | 25 |
| 5.1 Ispitni materijal..... | 25 |
| 5.2 Ispitivanje udarnog rada loma..... | 26 |
| 5.2.1 Rezultati udarnog rada loma..... | 29 |
| 5.3 Ispitivanje tvrdoće..... | 31 |
| 5.3.1 Rezultati ispitivanja tvrdoće..... | 32 |
| 5.4 Ispitivanje vlačne čvrstoće..... | 34 |
| 5.4.1 Rezultati vlačne čvrstoće..... | 36 |
| 5.6 Metalografsko ispitivanje..... | 41 |
| 5.7 Analiza rezultata..... | 44 |
| 6.Zaključak..... | 45 |

LITERATURA

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| SLIKA 1. : Mikrostruktura interkristalne korozije..... | 4 |
| SLIKA 2. : Oblici točkaste - jamičaste korozije..... | 5 |
| SLIKA 3. : Mikrostruktura napetosne korozije..... | 6 |
| SLIKA 4. : Mikrostruktura feritnih čelika..... | 8 |
| SLIKA 5. : Mikrostruktura austenitnih čelika..... | 10 |
| SLIKA 6. :Mikrostruktura duplex čelika..... | 11 |
| SLIKA 7. : Mikrostruktura martenzitnih čelika..... | 12 |
| SLIKA 8. : Prikaz BTC kristalne rešetke..... | 13 |
| SLIKA 9. : Prikaz mikrostrukture martenzitnih čelika nakon kaljenja..... | 14 |
| SLIKA 10. : Dijagram popuštanja čelika..... | 15 |
| SLIKA 11. : Dijagram popuštanja za oznaku čelika Č. 4172..... | 16 |
| SLIKA 12. : Karakteristike čelika oznake Č. 4172..... | 17 |
| SLIKA 13. : Parametri kaljenja i popuštanja za čelik Č. 4172..... | 18 |
| SLIKA 14. : Uptnov dijagram..... | 21 |
| SLIKA 15. : Područja optimalnih temp. austenitizacije čelika..... | 22 |
| SLIKA 16. : Oblik i dimenzije epruveta za ispitivanje udarnog rada loma..... | 26 |
| SLIKA 17. : Prikaz Charpyev bat..... | 27 |
| SLIKA 18. : Prikaz uzorka prije ispitivanja udarnog rada loma..... | 28 |
| SLIKA 19. : Dijagram analize udarnog rada loma..... | 30 |
| SLIKA 20. : Prikaz uzorka nakon provedenog ispitivanja udarnog rada loma..... | 30 |
| SLIKA 21. : Mjerenje tvrdoće..... | 31 |

| | |
|--|----|
| SLIKA 22. : Skala tvrdoće po Vickersu i Brinellu..... | 33 |
| SLIKA 23. : Presjek okrugle epruvete..... | 35 |
| SLIKA 24. : Prikaz epruveti prije ispitivanja vlačne čvrstoće..... | 35 |
| SLIKA 25. : Postavljanje epruvete u čeljust kidalice..... | 39 |
| SLIKA 26. : Mjerenje sile Fm i Rm..... | 39 |
| SLIKA 27. : Epruveta nakon loma..... | 40 |
| SLIKA 28. : Prikaz epruvete nakon provedenog statičkog vlačnog ispitivanja..... | 40 |
| SLIKA 29. : Uredaj za brušenje i poliranje..... | 41 |
| SLIKA 30. : Svjetlosni metalografski mikroskop..... | 42 |
| SLIKA 31. : Mikrostruktura ispitnog materijala X20 Cr13 pri povećanju 200x..... | 43 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| TABLICA 1. : Četiri stupnja postojanosti opće korozije..... | 3 |
| TABLICA 2. : Korozijijski postojani martenzitni čelici..... | 16 |
| TABLICA 3. : Primjena martenitnih čelika..... | 19 |
| TABLICA 4. : Korozijijski postojani mekomartenzitni čelici..... | 24 |
| TABLICA 5. : Kemijski sastav materijala X20 Cr13..... | 25 |
| TABLICA 6. : Rezultati ispitivanja udarnog rada loma..... | 29 |
| TABLICA 7. : Parametri ispitivanja tvrdoće po Brinellu..... | 31 |
| TABLICA 8. : Rezultati ispitivanja tvrdoće po Brinellu..... | 32 |
| TABLICA 9. : Standardne mjere za označavanje okruglih epruveta vlačnog ispitivanja..... | 34 |
| TABLICA 10. : Rezultati dobiveni ispitivanjem vlačne čvrstoće..... | 36 |
| TABLICA 11. : Analiza rezultata..... | 44 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Naziv veličine |
|-----------------------------------|--------------------|--|
| ϑ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura |
| F_e | N | sila tečenja |
| F_m | N | maksimalna sila |
| HB | - | tvrdoća prema Brinellu |
| HRC | - | tvrdoća prema Rockwellu |
| L_0 | mm | početna mjerna duljina |
| S_0 | mm^2 | površina početnog presjeka |
| D | Mm | promjer kuglice |
| $R_{p0,2}$ | N/mm^2 | konvencionalna granica razvlačenja |
| R_e | N/mm^2 | granica razvlačenja |
| R_m | N/mm^2 | vlačna čvrstoća |
| Z | % | kontrakcija |
| M_s | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura početka stvaranja martenzita |
| M_f | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura završetka stvaranja martenzita |
| KV | J | udarni rad loma |
| $\text{Fe}_3\text{C}^{\text{id}}$ | mas.% | udio eutektoidnog cementita |
| $\text{Fe}_3\text{C}^{\text{e}}$ | mas.% | udio eutektičnog cementita |
| $\text{Fe}_3\text{C}'$ | mas.% | udio primarnog cementita |
| $\text{Fe}_3\text{C}''$ | mas.% | udio sekundrnog cementita |
| P | - | perlit |

1. UVOD U KOROZIJU

Korozija je razaranje metala i legura zbog elektrokemijskog ili kemijskog međusobnog djelovanja metala i vanjskog medija.

Ovisno o svojstvima medija i međudjelovanja, razlikuju se sljedeće vrste korozije: plinska, atmosferska, biološka, podvodna, itd. Do pojave opasnosti od korozije utječe na konstrukcije u različitim granama industrije poput:

- Dijelovima opreme u prehrambenoj ili farmaceutskoj industriji,
- Propuštanje cjevovoda ili spremnika,
- Kod mostova, brodova, platformi za bušenje i drugih opterećenih konstrukcija.

Kako bi se usporila reakcija na razaranje površinskih slojeva, potrebno je uzeti u obzir da na brzinu i mehanizam korozijских procesa djeluju vanjski i unutrašnji faktori.

a) Vanjski faktori [2]:

- temperatura,
- naprezanje,
- tlak medija, promjena pH,
- kavitacija,
- erozija,
- iznos trenja,
- brzina protoka medija.

b) Unutrašnji faktori:

- prisutnost uključaka,
- nejednoličnost čelika uslijed likvacije,
- različit sastav površinskih slojeva čelika,
- nejednoličnost deformacije, rasporeda naprezanja,
- nejednolična rekristalizacija.

Korozija konstrukcijskih materijala prema mehanizmu procesa razlikuje se:

1. Kemijska korozija metala,
2. Elektrokemijska korozija metala,
3. Koroziju ili degradaciju nemetala u fluidima.

1.1 Kemijska korozija

Kemijska korozija je proces između metala i plinovitog, odnosno kapljevitog medija koji nisu elektroliti, ali imaju sklonost prema metalu. Primjeri spajanja metala s kisikom iz suhog vrućeg plina su slučajevi pri kovanju, valjanju metala, zavarivanju, žarenju, itd. Kemijska korozija u kapljevitom stanju, odnosno tekućine koje nisu električni vodiči i ne sadrže vodu su razni tekući kemijski spojevi kao npr. alkohol, benzin, nafta, aceton, i sl.

1.2 Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija javlja se kod metala u električki vodljivim tekućinama, odnosno elektrolitima. Proces elektrokemijske korozije sastoji se od ionizacije metala i redukcije depolarizatora. Depolarizator se reducira vezanjem viška elektrona, a može biti kation ili anion otopljen u elektrolitu ili molekula čvrste tvari.

1.3 Korozionska postojanost

Korozionska postojanost je otpornost materijala na djelovanje okолнog medija, odnosno postojaniji je onaj materijal kod kojeg, u jednakim vanjskim uvjetima dolazi do manjeg razaranja na površinu ili do promjena mikrostruktura.

Na pasivaciju, tj. stvaranje tanke guste zaštitne prevlake najviše utječe maseni udio kroma i drugih legiranih elemenata.

Dva su uvjeta korozionski postojanog čelika. Prvi je da sadrži barem 12% kroma u čvrstoj otopini, a drugi uvjet je homogena monofazna mikrostruktura.

2. OBLICI KOROZIJE

Postoje oblici korozije koji su opasni za rad različitih strojnih dijelova, a često nastupaju u unutrašnjosti presjeka, stoga nisu vidljivi na površini.

Pojavni oblici korozije su:

1. Opća, ravnomjerna ili neravnomjerna korozija, koja zahvaća čitavu izloženu površinu materijala,
2. Lokalna (mjestimična) korozija, koja zahvaća dio izložene površine materijala.

Najmanji opasan oblik korozije, a nastupa ravnomjerno po cijeloj površini je opća (jednolična) korozija.

Za postojanost opće korozije prikazuje se u četiri stupnja, prikazani tablicom. Intenzivnost opće korozije mjeri se u određenom rasponu gubitka mase, odnosno određenom gubitku dimenzije u mm/godini.

Tablica 1. Četiri stupnja postojanosti opće korozije [4]

| Stupanj | Gubitak mase ΔG , g/m ² h | Gubitak dimenzije Δs , mm/god. | Opis postojanosti |
|---------|---|---|---------------------|
| 0 | < 0,1 | < 0,11 | potpuno postojana |
| 1 | 0,1...1,0 | 0,11...1,1 | praktički postojana |
| 2 | 1,0...10,0 | 1,1...11,0 | slabo postojano |
| 3 | >10,0 | >11,0 | nepostojano |

2.1 Posebni oblici korozije

Posebni oblici korozije pojavljuju se lokalno na površini i širi se prema unutrašnjosti presjeka strojnog dijela.

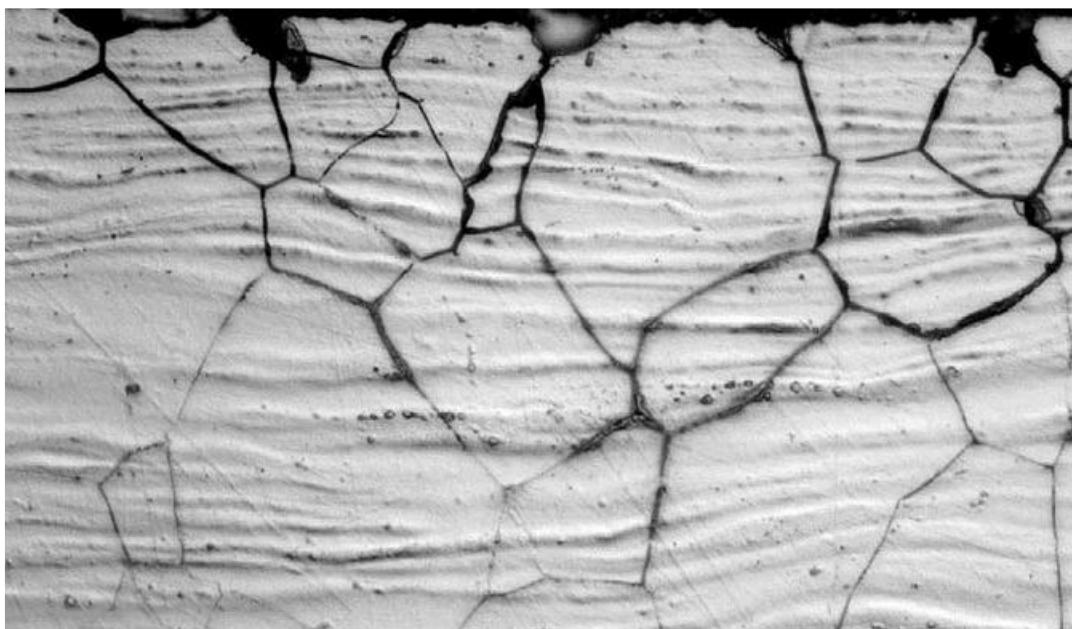
Dijele se na:

- interkristalna korozija,
- točkasta – jamičasta korozija,
- napetosna korozija,
- kontaktna korozija,
- korozija u rasporu,
- erozija i kavitacija.

2.1.1 Interkristalna korozija

Radi se o korozijskoj agresiji duž granice zrna čime izaziva razaranje metalne veze među kristalima u mikrostrukturi čelika i do konačnog raspada strojnog dijela.

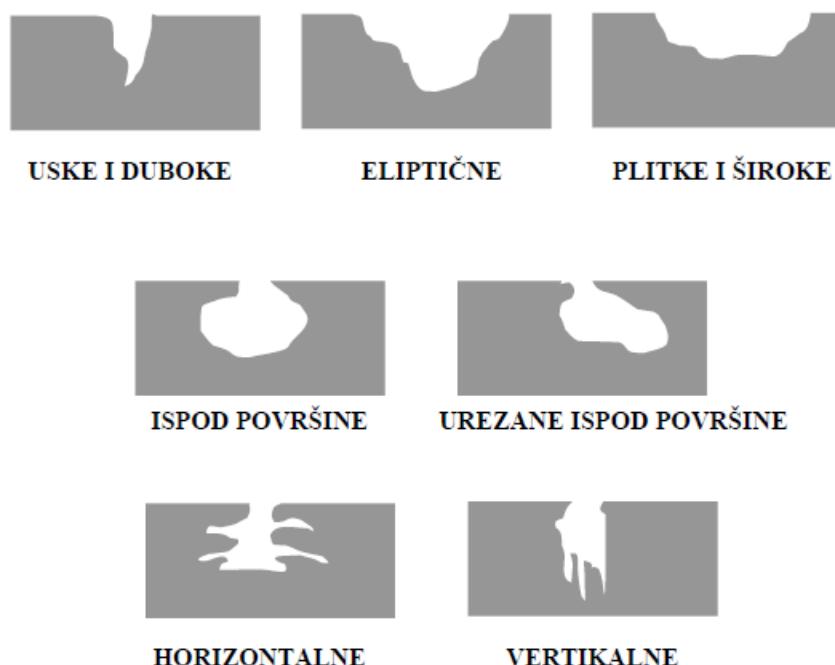
Opasan oblik korozije jer ostaje neprimijećen, a pri tome utječe na mehanička svojstva materijala, žilavost i smanjenje čvrstoće.



Slika 1. : Mikrostruktura interkristalne korozije

2.1.2 Točkasta – jamičasta korozija

Točkasta – jamičasta (engl. pitting), pojavljuje se u obliku malih jamica, a s vremenom u rupice, odnosno prodore, te zahvaća mali dio površine strojnog dijela. Jedna od najopasnijih oblika korozije, a uzrok je nehomogenost strukture ili u kemijskom sastavu materijala. Kako bi se spriječila opasnost od pojave točkaste korozije, pasivizira se površina u 10 do 12% - noj dušičnoj kiselini.



Slika 2. : Oblici točkaste- jamičaste korozije

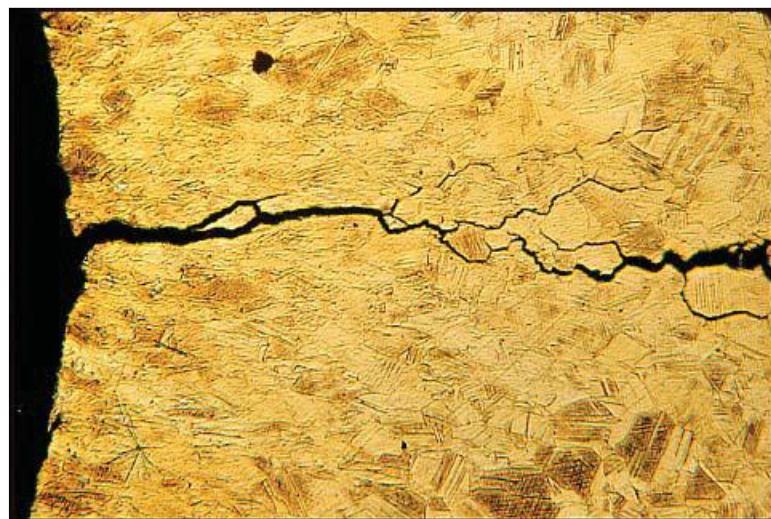
2.1.3. Napetosna korozija

Napetosna korozija nastupa kada su strojni dijelovi istodobno izloženi vlačnom naprezanju i kemijskoj agresiji. Posljedica naprezanja dolazi uslijed hladnog oblikovanja deformiranjem, hladne obrade, zavarivanja, prenaglog gašenja i sl.

Naprezanja zajedno s djelovanjem agresivnog medija, zazivaju pukotine okomito na smjer naprezanja. Kako bi se spriječila pojava napetosne korozije potrebno je provesti žarenje za smanjenje zaostalih naprezanja pri temperaturi od 850 do 900°C.

Proces napetosne korozije može se podijeliti u četiri faze:

1. Inkubacija,
2. Pojava pukotine,
3. Prodiranje pukotine,
4. Lom.



Slika 3. : Mikrostruktura napetosne korozije

2.1.4. Erozija i kavitacija

Ukoliko se radi o djelovanju medija mehaničkog trošenja uzrokovanog udaranjem tekućine, plina ili pare koje sadržavaju krute čestice vrlo je teško prepoznati radi li se o eroziji ili od nekih drugih korozijskih oblika. Primjeri kod kojih se pojavljuje erozija su cjevovodi, lopatica, pumpi, i sl.

Kavitacija se pojavljuje ako unutar tekućine dolazi do naglog pada tlaka i stvaranja parnih mjehurića i pri tome do oštećenja na površinu materijala. Oblik kavitacije se može spriječiti sniženjem brzine. Primjeri kavitacije su oštećenja u pumpama, propelerima, ventilima, i sl.

3. MIKROSTRUKTURA KOROZIJSKI POSTOJANIH ČELIKA

Koroziji postojani čelici s obzirom na sastav i mikrostrukturu dijele se na [2] :

1. Jednostruko legirani Cr – čelici koji prema mikrostrukturi mogu biti:

- Feritni,
- Martenzitni i martenzitno – karbidni,
- Feritno – martenzitni.

2. Cr – Ni, Cr – Ni – Mo i Cr – Mn čelici:

- Austenitni,
- Feritni,
- Martenzitni,
- Austenitno – feritni,
- Martenzitno – feritni,
- Austenitno – martenzitno – feritni.

Podskupine čelika dobivene modificiranjem sastava i mikrostrukture su:

- Superferitni čelici s vrlo niskim %C i niskim masenim udjelima nečistoća,
- Austenitni s vrlo niskim %C,
- Duplex čelici,
- Niskougljični martenzitni.

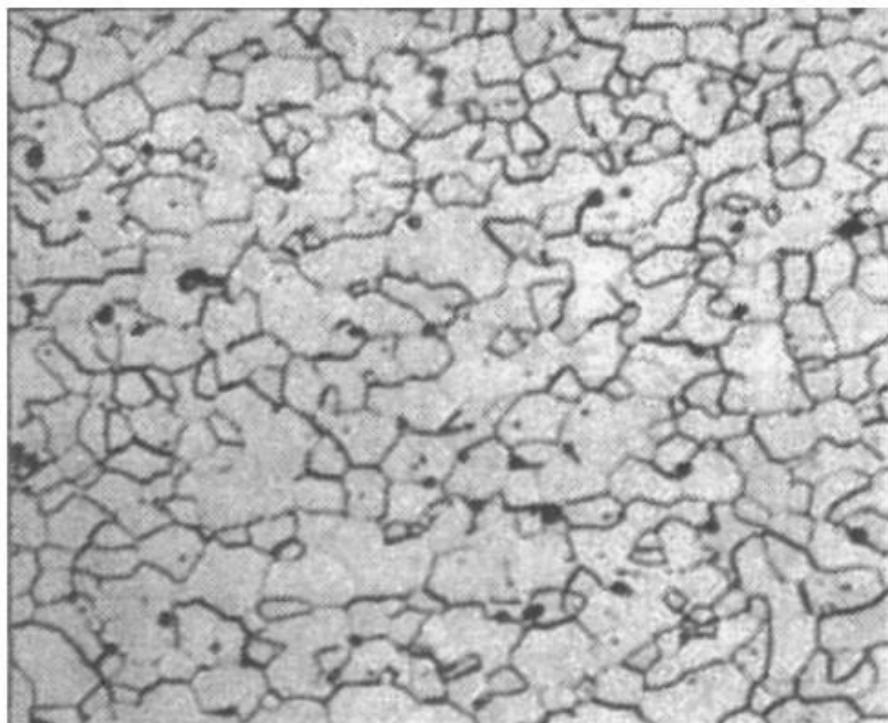
3.1 Feritni čelici

Feritna struktura sadrži vrlo niski udio ugljika (< 0,1 %C) i visoki udio kroma (13...17%Cr). Primjenjuju se u brušenom ili fino poliranom žarenom stanju. Feritni čelici su feromagnetični i ne mogu očvrsnuti postupcima toplinske obrade jer nemaju faznu pretvorbu. Prednost feritnih čelika je što su ekonomski prihvativiji i otporniji na koroziju i oksidaciju čelika.

Svojstva feritnih čelika:

- Skloni su pojavi "krhkosti 475°C" pri duljem zagrijavanju na temperaturama od 350 do 520°C,
- Slabo zavarljivi zbog rasta zrna pri temperaturama iznad 900°C,
- Nepostojani su na djelovanje rastaljenih metala i kloridnim otopinama,
- Magnetični,
- Postojani su prema oksidirajućim kiselinama (dušičnoj kiselini, vodenim otopinama, amonijevoj salitri, smjesi dušične, fosforne i solne kiseline), te su postojani u dimnim plinovima koji sadrže sumpor.

Feritni čelici se koriste za izradu automobilskog ispušnog katalizatora, nosača semafora i natpisa iznad autocesta.



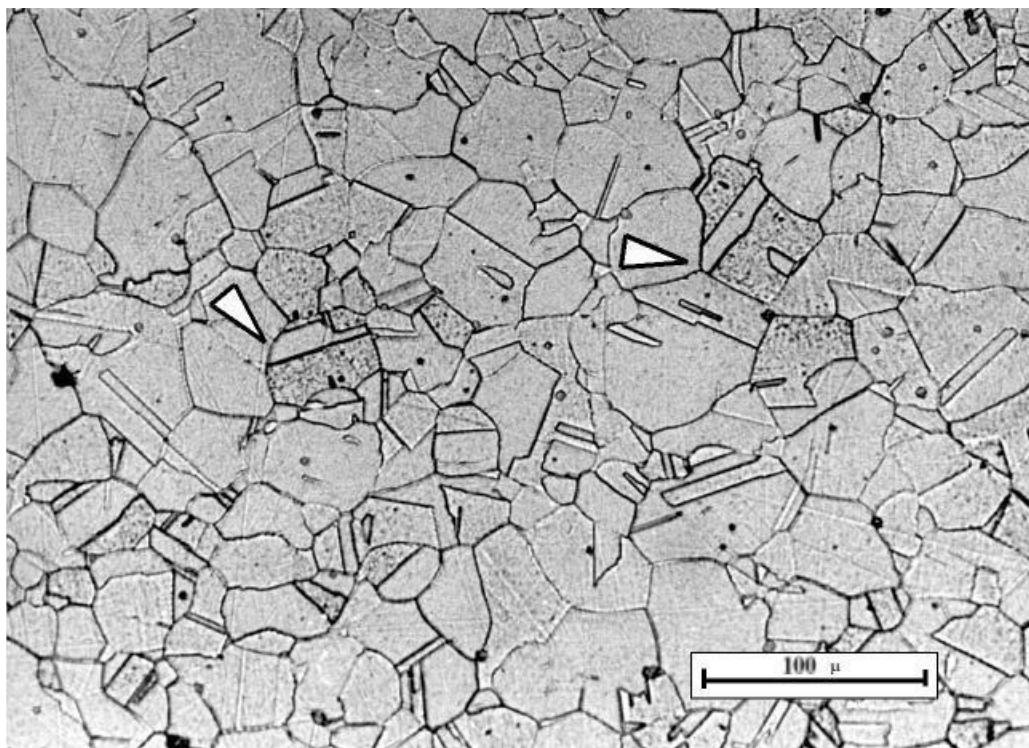
Slika 4. : Mikrostruktura feritnih čelika

3.2 Superferitni čelici

Superferitni čelici oznakom "ELA" (engl. Extra Low Additions) imaju vrlo mali udio nečistoća i primjesa u sastavu čelika, odnosno ima vrlo visoku čistoću sa sniženim postotkom ugljika i povišenim udjelom kroma i legiranim elementima za razliku od feritnih čelika. Za takvo postignuće superferitni čelici se proizvode sa suvremenim metodama u induktičkim vakuumskim pećima, elektronskom mlazu, itd. Imaju višu granicu razvlačenja pri radnim temperaturama do $\approx 350^{\circ}\text{C}$, višu otpornost na puzanje pri 20°C , te žilavost pri niskim temperaturama. Zbog navedenih svojstava superferitni čelici mogu biti zamjena za skuplje austenit čelike.

3.3 Austenitni čelici

Skupina austenitnih čelika sadrže uglavnom od 0,02 do 0,15% C, 7 do 20% Ni, 15 do 20 % Cr, te uz dodatne legirane elemente Mo, Ti, Nb, Ta koji dovode do pojave ferita od do 10% u mikrostrukturi. Mikrostruktura austenitnih čelika može bit monofazna, odnosno bez ferita i austenitno feritna sa 5% do 10% delta – ferita. Austenitni čelici imaju dobru žilavost i čvrstoću i prikladni su za deformiranje u hladnom i topлом stanju. Primjenjuj se prehrambenoj industriji, mljekarama, u industriji nafte, tekstila, papira, kože, šećera, primjenjiv je za izradu tlačnih spremnika, uređaja u medicini i ortopediji, itd.



Slika 5. : Mikrostruktura austenitnih čelika

Svojstva austenitnih čelika:

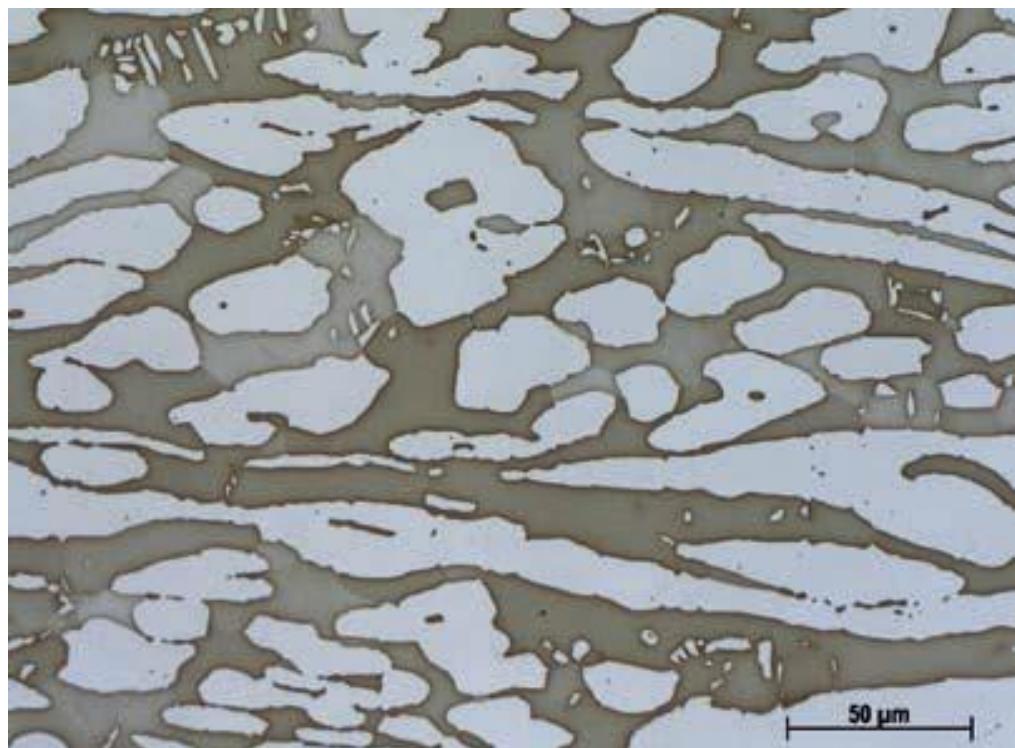
- Visoka otpornost na puzanje materijala,
- Prisutnost delta – ferita u zavarivanju otežava pojavu toplih pukotina,
- Očvršćuju hladnom deformacijom,
- Dobra žilavost pri vrlo niskim temperaturama,
- Pojava senzibilizacije čelika na duljem izotermičkom držanju pri temperaturama od 550° do 850°C . Senzibilizacija smanjuje otpornost napetosnu i rupičastu koroziju u procijepu što dovodi do pada mehaničkih svojstava.

3.4 Austenitno – feritni čelici s 40% do 60% ferita (duplex čelici)

Duplex čelici kombiniraju prednosti austenitne i feritne mikrostrukture. Zbog visokog udjela ferita su feromagnetični, imaju višu toplinsku vodljivost i nižu toplinsku rastezljivost od austenitnih čelika.

Svojstva austenito – feritnih čelika (duplex čelici):

- Viša granica razvlačenja,
- Povišena tvrdoća,
- Otpornost na abrazijsko trošenje,
- Dobra žilavost i duktilnost,
- Bolja otpornost na rupičastu koroziju od austenitnih čelika,
- Otporan prema napetosnoj koroziji,
- Dobra mehanička svojstva.



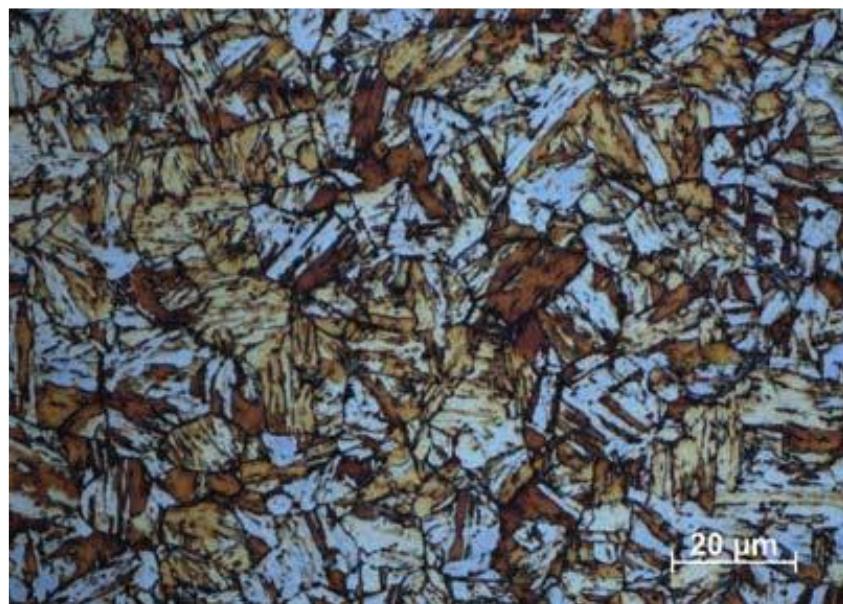
Slika 6. : Mikrostruktura duplex čelika

Zbog svojih korozijskih i mehaničkih svojstava duplex čelici se primjenjuju za izradu transporta (cisterne), u industriji nafte i plina (crpke, destilatori, ventili, cjevovodi,...), brodogradnji (kormila, ležajevi, propellerske osovine,...), za izmjenjivače topline i separatore u petrokemijskoj industriji itd.

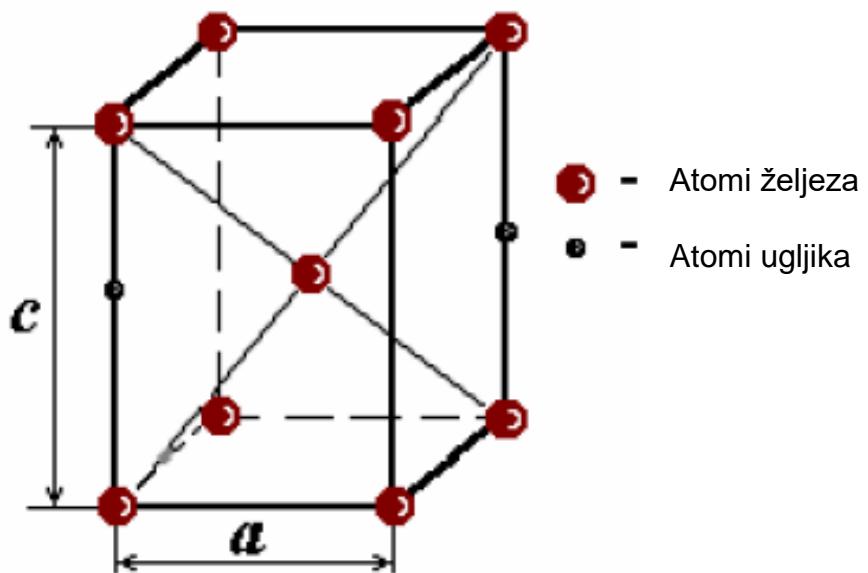
4. MARTENZITNI KOROZIJSKI POSTOJANI ČELICI

4.1 Mikrostruktura martenzitnih postojanih čelika

Martenzitni postojani čelici sadrže od 0,2% do 1,0% C i sa 13% do 18% Cr. Čelici sa 1,5% do 2,5% Ni, poboljšavaju koroziju otpornost i postižu monofaznu martenzitnu ili martenzitno – karbidnu strukturu. Martenzitno – karbidna struktura nastaje kada brzina hlađenja stabilnog austenita dostigne vrijednost kritične brzine. U mikrostrukturi kaljenog čelika martenzit se javlja u obliku igličastih kristala. Reakcijom martenzita transformira se γ -faza s plošno centriranom kubičnom kristalnom rešetkom u α -fazu s bazno - centriranom tetragonskom rešetkom (BTC). Uslijed velike brzine hlađenja i pada temperature brzina difuzije približava se praktički nuli, pa ugljik više nema mogućnosti da difundira kroz kristalnu rešetku ferita (α -Fe). Tetragonska kristalna struktura martenzita je prezasićena čvrsta otopina ugljika u α -Fe, koja ima određenu unutrašnju napetost i kojom se objašnjavaju visoka tvrdoća i otpornost martenzita prema nagrizanju s metalografskim reagensima. Martenzit nastaje kao rezultat bez difuzijske pretvorbe austenita i ovisi samo o temperaturi, a ne o vremenu trajanja procesa. Martenzit nastao pretvorbom austenita, sa sadržajem $>0,15\%$ C ima BTC kristalnu rešetku kod koje je parametar c veći od parametra a. Što je veći sadržaj ugljika u martenzitu, to je veći omjer c:a, tj. veća je tetragonalnost rešetke.



Slika 7. : Mikrostruktura martenzitnog čelika

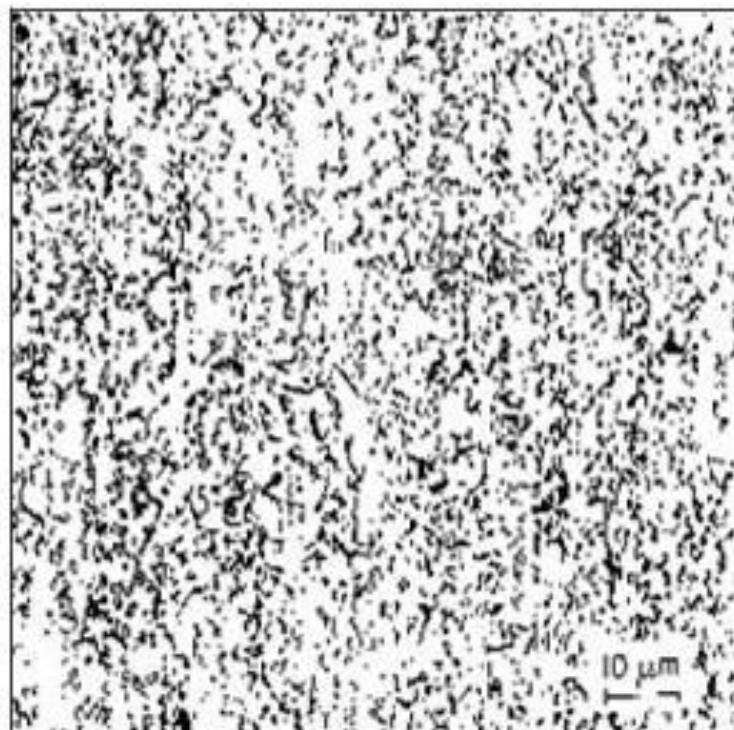


Slika 8. : Prikaz BTC kristalne rešetke

Martenzitni čelici mogu se podijeliti u dvije skupine. Prva skupina je ona koja sadrži do 0,25%C i pripadaju konstrukcijskim čelicima i obično se poboljšavaju, a druga skupina s više od 0,3%C pripadaju alatnim čelicima i nakon kaljenja se nisko popuštaju. U poboljšanom stanju čelici su koroziji postojani uz visoku granicu razvlačenja i žilavost, a u kaljenom stanju dobru koroziju postojanost i otpornost na trošenje.

4.2 Toplinska obrada korozijskih postojanih martenzitnih čelika

Postupke toplinske obrade korozijski postojanih martenzitnih čelika čine: žarenje, kaljenje, te nisko ili visoko popuštanje. Granica razvlačenja martenzitnih čelika u žarenom stanju (prije kaljenja i popuštanja) iznosi oko 275 N/mm^2 . Postupak sferoidizacijskog, odnosno mekog žarenja se provodi na temperaturama od 770°C za podeutektoidne čelike, za nadeutektoidne čelike do 800°C . Cilj mekog žarenja čelika je omekšati ga zbog što bolje obradivosti rezanjem strugotine, jer u protivnom se oštice alata brzo troše i ne održavaju oštinu prolaskom kroz strukture s tvrdim lamelama cementita te osiguravaju čeliku strukturu koja je pogodna za naknadne toplinske obrade (kaljenje). Nakon žarenja ostvaruje max. tvrdoću od 220 HB i max. čvrstoću od 740 N/mm^2 . U ovom stanju čelici imaju dobru rastezljivost i oblikovljivost u hladnom stanju, i lakše se oblikuju u konačni oblik.



Slika 9. : Prikaz mikrostrukture martenzitnog čelika nakon kaljenja

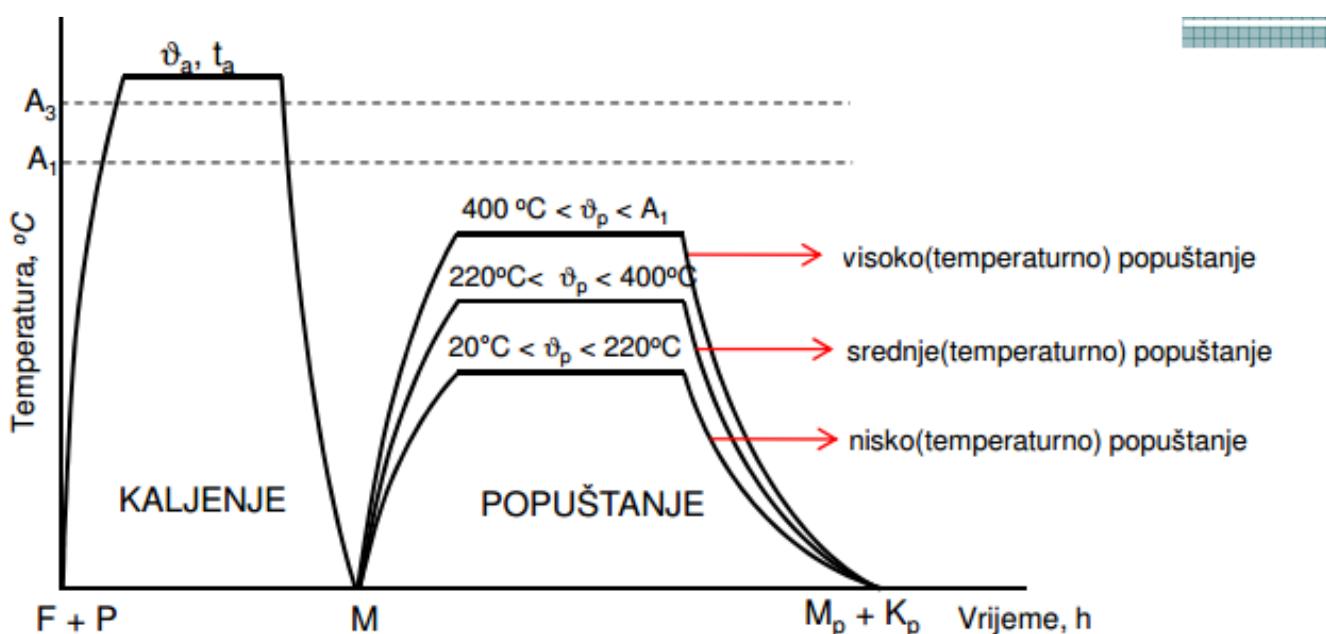
Kaljenje martenzitnog čelika Č. 4172 se odvija na temperaturama od 950 do 1020°C. Zbog toga su poželjna predgrijavanja, te rad u zaštitnoj atmosferi ili u vakuumskim pećima. Postupak kaljenja se sastoji od:

- ugrijavanja na temperaturu austenitizacije i progrijavanja,
- držanja pri temperaturi austenitizacije u svrhu otapanja ugljika i legirajućih elemenata u austenitu,
- gašenja u svrhu postizanja martenzitne mikrostrukture.

Nepotpuno kaljenje se povodi u svrhu jednoličnog rasporeda ugljikovih i kromovih atoma u završnom kaljenju u smislu smanjenja deformacija.

Sredstva za gašenje mogu biti zrak ili ulje. Ako se želi postići bolja tvrdoča nakon kaljenja potrebno je gasiti čelik u boljem sredstvu, odnosno ako čelik gasimo na zraku ostvaruje se tvrdoča od 44 HRC, a ako se gasi u ulju može se ostvariti tvrdoča od 53 HRC.

Kod gašenja je primjenjiv postupak martempering. Izvodi se na način da se gasi u toploj kupki pri 280° do 320°C u cilju smanjenja deformacija oblika proizvoda pri završnom kaljenju.



Slika 10. : Dijagram popuštanja čelika [1]

Postoje dva područja temperaturnih popuštanja [4] :

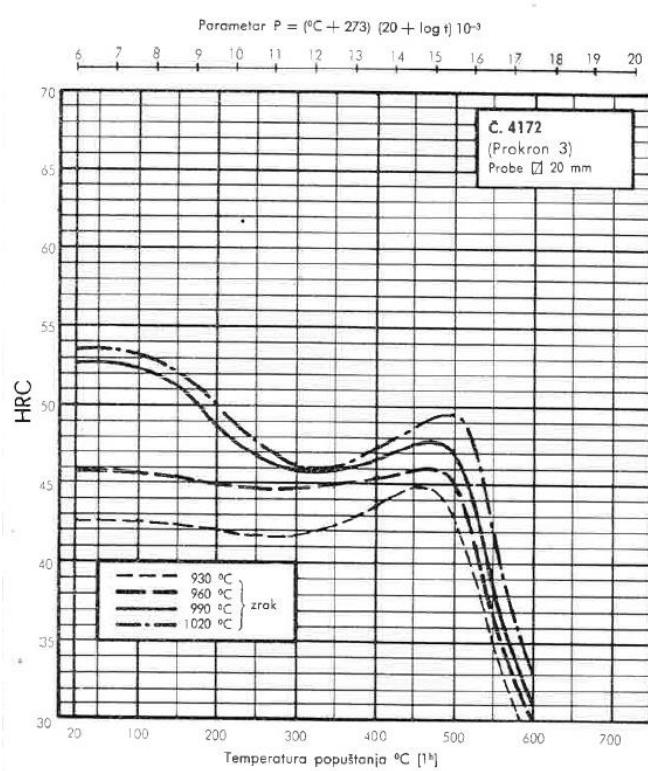
- $\vartheta_p \approx 140 - 450^\circ\text{C}$ pretežno se primjenjuju za alate,
- $\vartheta_p > 630^\circ\text{C}$ za dijelove strojeva ili uređaja.

Čelik Č.4172 sa kemijskim sastavom od 0,2 % ugljika, 13% kroma i 1% silicija i mangana se popušta na temperaturama od 150 - 450°C, te se ostvaruje radna tvrdoća alata od 52 do 44 HRC.

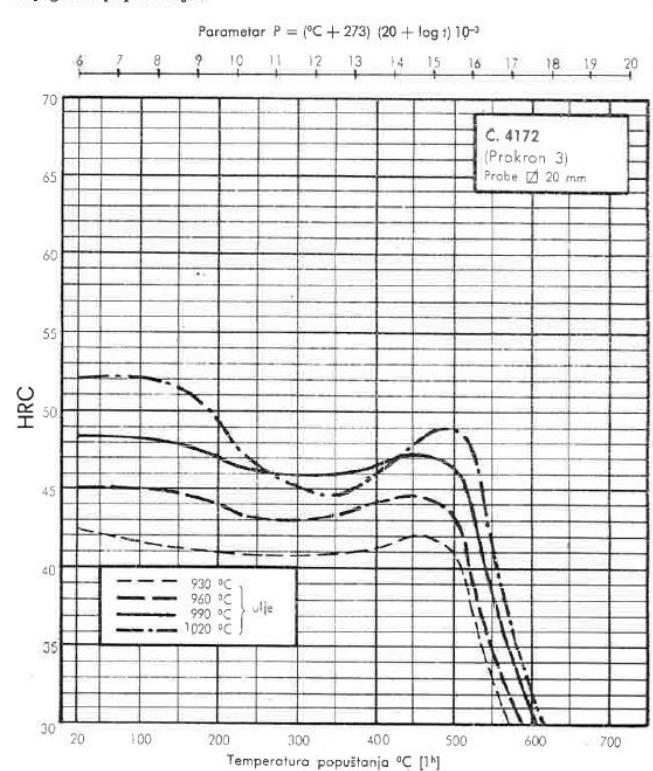
Č. 4172

(Prokron 3)

Dijagram popuštanja:



Dijagram popuštanja:



Slika 11. : Dijagram popuštanja za označku čelika Č. 4172 [10]

Č. 4172

(Prokron 3)

Približan kemijski sastav u %

| C | Si | Mn | Cr |
|-----|--------|--------|----|
| 0.2 | max. 1 | max. 1 | 13 |

Usporedbe:

| SR Njemačka | | USA | Francuska | Italija | CCCP | ČSSR |
|-------------|------------|----------|-----------|------------|---------|-------|
| W. № | DIN | AISI | AFNOR | UNI | POCT | ČSN |
| 1.2082 | X 20 Cr 13 | Type 384 | Z 20 C 13 | X 20 Cr 13 | 20 X 13 | 17022 |
| 1.4021 | | | | | | |

Tip čelika:

Visoko legirani kromov nerđajući čelik nižeg sadržaja ugljika.

Karakteristike i osnovna svojstva:

Prvenstveno se koristi za nerđajuće konstrukcione dijelove, a korisno se upotrebljava i za nerđajuće alate od kojih se ne traži naročito velika tvrdoća i otpornost protiv habanja.

Upotreba:

Matrice za prešanje tabletta i dugmadi. Matrice za lijevanje predmeta iz aluminija i mesinga. Za kirurške instrumente, koji nisu namijenjeni za rezanje.

Tipizacija:

Netipiziran.

Kovanje:

1100—850°C

Meko žarenje:

| Temperatura | Tvrdoća nakon žarenja | Cvrstoća nakon žarenja |
|-------------|-----------------------|----------------------------|
| 770—800°C | max. 220 HB | max. 740 N/mm ² |

Kritične preobražajne točke (srednje orientacione vrijednosti)

| Ac početak | Ac završetak | Ar početak | Ar završetak |
|------------|--------------|------------|--------------|
| 790°C | 850°C | 830°C | 670 °C |

Linearni toplinski koeficijent istezanja — (brzina zagrijavanja 2,5 °C/min)
Stanje: žareno

| 100 α (°C ⁻¹) | 200 α (°C ⁻¹) | 300 α (°C ⁻¹) | 400 α (°C ⁻¹) | 500 α (°C ⁻¹) | 600 α (°C ⁻¹) | 700 α (°C ⁻¹) | 800 α (°C ⁻¹) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 9,4·10 ⁻⁶ | 10,4·10 ⁻⁶ | 11,1·10 ⁻⁶ | 11,6·10 ⁻⁶ | 11,8·10 ⁻⁶ | 12,0·10 ⁻⁶ | 12,5·10 ⁻⁶ | |

Ms točka (orientaciona vrijednost)

| Temp. aust. za Ms | Sredstvo rashladivanja | Temperatura Ms |
|----------------------|---------------------------|-------------------|
| 1000°C | ulje | 300°C |
| 1000°C | zrak | 280°C |

Slika 12. :Karakteristike čelika oznake Č. 4172 [10]

Č. 4172

(Prokron 3)

Kaljenje:

| Temperatura | Sredstvo | Tvrdoča kaljene probе Ø 20 mm |
|-------------|---------------|-------------------------------|
| 950—1020°C | zrak ili ulje | 44—53 HRC |

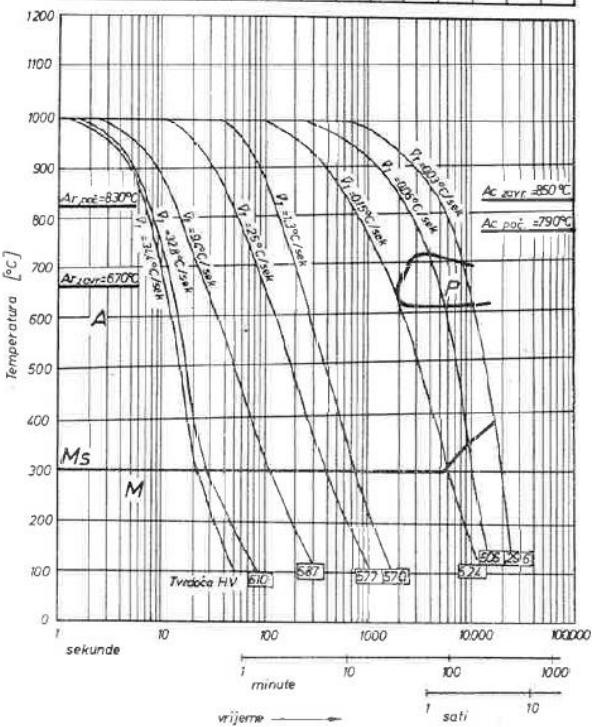
Popuštanje:

(Prema dijagramu popuštanja)

| Temperatura | Radna tvrdoča alata |
|-------------|---------------------|
| 150—450°C | 52—44 HRC |

TTT — dijagram

| Kemijski sastav u % | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | V | W | Cu | Mo |
|---------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|---|---|----|----|
| | 0,21 | 0,47 | 0,45 | 0,030 | 0,022 | 12,9 | 0,17 | — | — | — | — |



Č.4172 ŽR Prokron-3
Austenitizacija 1000°C
20min

Slika 13. :Parametri kaljenja i popuštanja za čelik Č. 4172 [10]

Tablica 2. : Koroziski postojani martenzitni čelici [4]

| Oznaka čelika | | Sastav % | Tvrdoća u sferoidizacij skom žarenju, HB | Toplinska obrada | | | Mehanička svojstva nakon popuštanja | | |
|--------------------|-------|--------------|--|--|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| EN | HRN | | | Austenitiza cija, $\Theta_a, ^\circ C$ | Gašenje * HRC \approx | Popušta nje $\Theta_p, ^\circ C$ | Rm, N/mm ² | R _{p0,2} , N/mm ² | A ₅ , %, min. |
| X20Cr13 | Č4172 | - | ≤220 | 980...1030 | z, u 47 | 650...75 0 | 800... 650 | 400 | 18 |
| X20CrMo13 | - | 1...1,3 Mo | ≤265 | 950...1000 | u 47 | 650...75 0 | 900... 750 | 550 | 14 |
| X22CrNi17 | Č4570 | 1,5...2,5 Ni | ≤275 | 1000... 1050 | u 47 | 630...72 0 | 950... 800 | 600 | 14 |
| X30Cr13 | Č4173 | - | ≤245 | 980...1030 | u, z | 640...74 0 | 1000... 800 | ≤500 | 11 |
| X36CrMo17 (alatni) | - | 1...1,3 Mo | ≤250 | 1000...1030 | u 49 | 650...75 0 | 950... 800 | 600 | 14 |

*gašenje na z...zrak
u...ulje

Tablica 3. : Primjena martenzitnih čelika

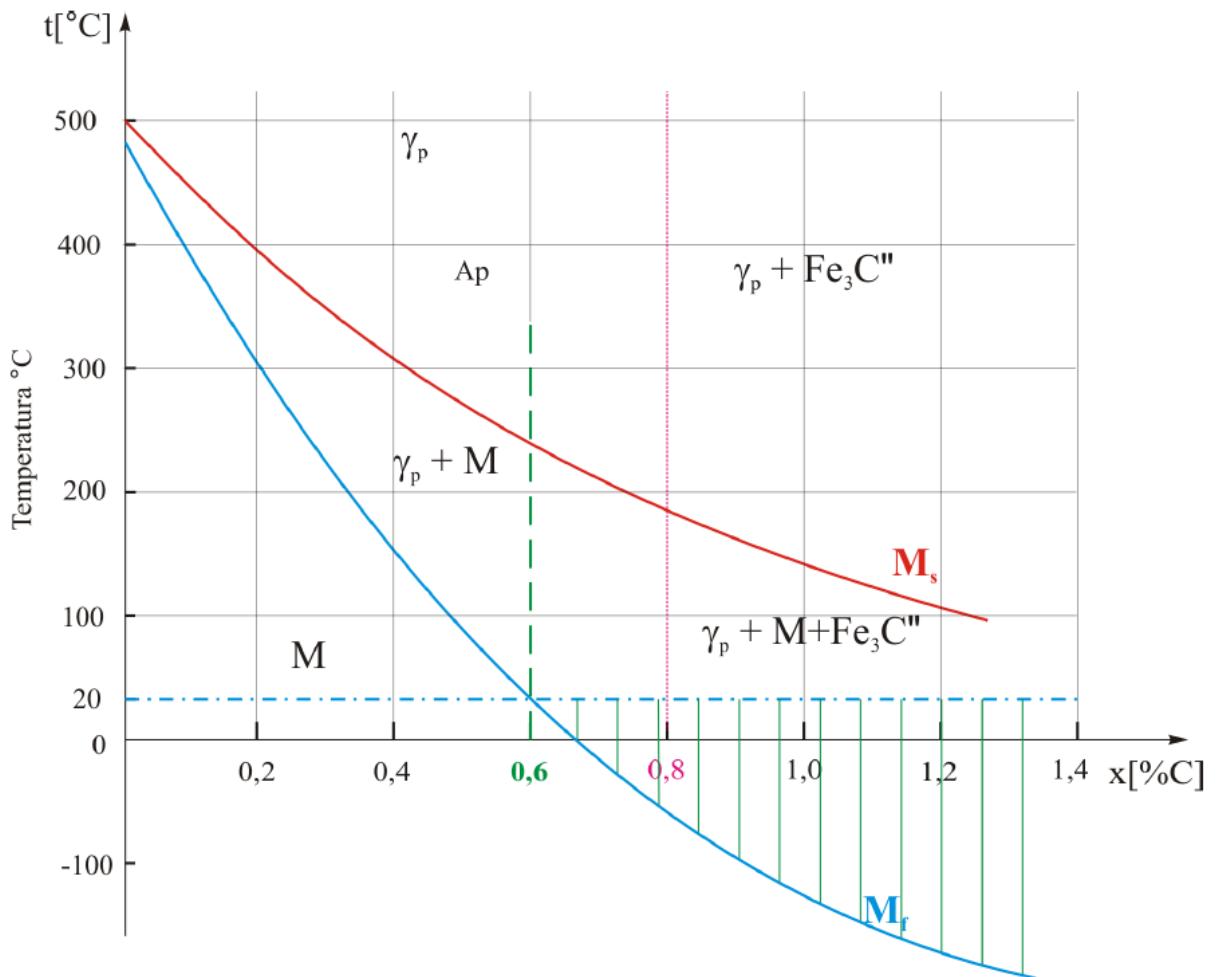
| Čelik | Primjena |
|-------------------------|---|
| X20 Cr 13 (Č4172) | <ul style="list-style-type: none"> kirurški instrumenti pribor za jelo: vilice, žlice,... strojni dijelovi: osovine, turbinske lopatice, ventilni stošci |
| X20 CrMo 13 | <ul style="list-style-type: none"> isto kao Č4172, ali za radne temperature do 500°C toplinske napregnute opruge |
| X22 CrNi 17 (Č4570) | <ul style="list-style-type: none"> osovine, ventili, dijelovi pumpa u industriji papira za dijelove kompresora |
| X30 Cr13 (Č4173) | <ul style="list-style-type: none"> opruge vijci (za radu u agresivnoj atmosferi) mjerni alat |
| X36 CrMo 17 (alatni) | <ul style="list-style-type: none"> kirurški rezni alat zubarski alat dijelovi kalupa za preradu polimera |

4.3 Martenzitna pretvorba

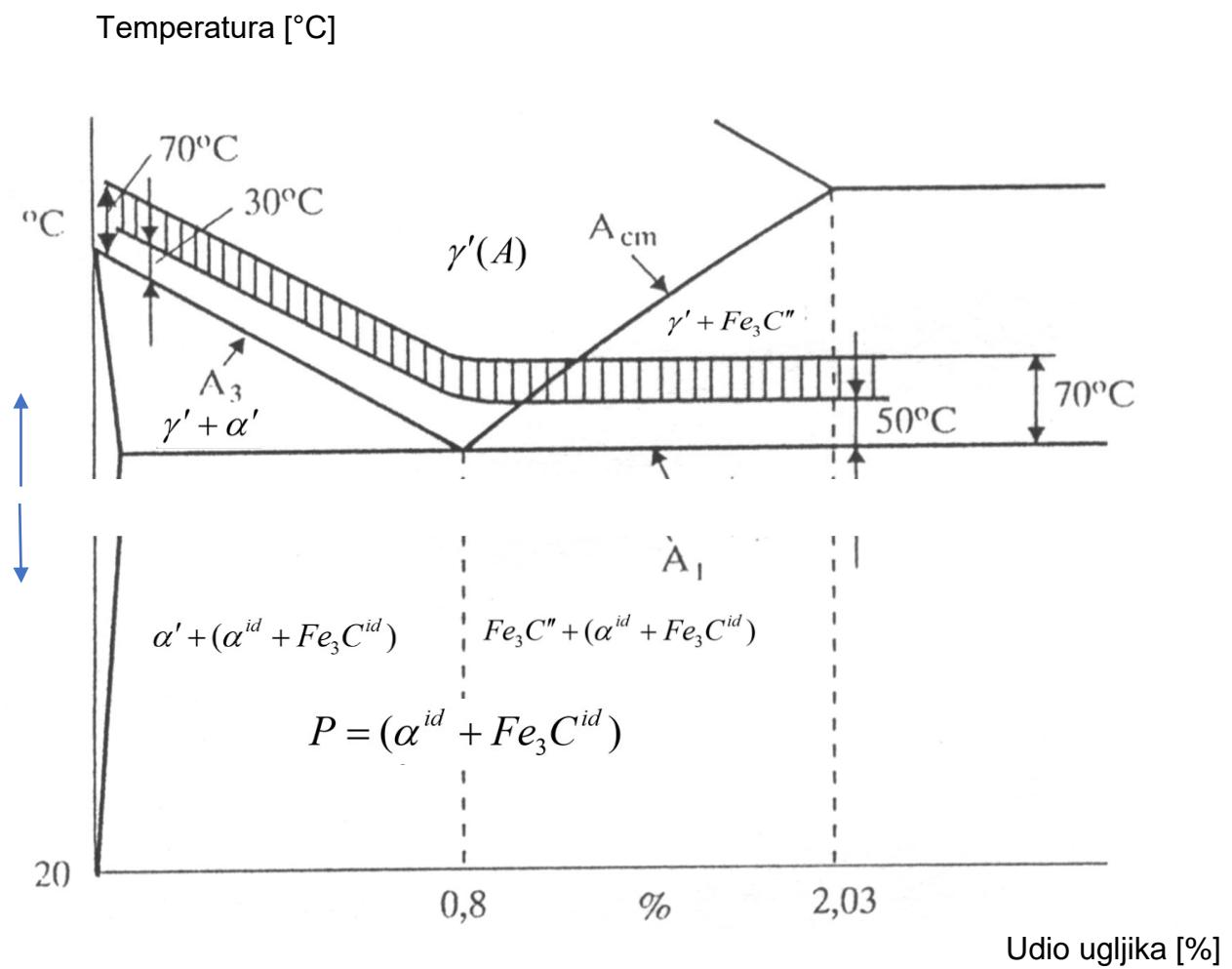
Martenzitna pretvorba se ne provodi do kraja. Kod čelika sa većim sadržajem ugljika i kod legirnih elemenata, odnosno kod čelika čija je temperatura M_s niža od $+20^{\circ}\text{C}$, zaostaje određena količina austenita. Zaostali austenit smanjuje tvrdoću, čvrstoću i otežava obradivost brušenjem. Kako bi se eliminirao zaostali austenit i postigla približno martenitna struktura provodi se toplinska obrada na temperaturama ispod 0°C . Čelik treba hladit u sredstvima koja imaju nižu temperaturu nego što je temperatura završetka stvaranja martenitne strukture (npr. suhi led, tekući dušik, smjesa alkohola). Takva obrada se zove duboko pothlađivanje.

Ugrijavanjem na neku temperaturu između A_1 i A_3 za podeutektoidni čelik, postiže se stanje austenita i ferita. Gašenjem dolazi do pretvorbe pothlađenog austenita u martenit, pa se takva kaljena mikrostruktura austenitiziranog čelika sastoji od martenzita i ferita. Ugrijavanjem na temperaturu od 50°C do 70°C iznad A_1 za nadeutektoidni čelik dovodi čelik u stanje austenita i sekundarnog cementita. Gašenjem dolazi do pretvorbe pothlađenog austenita u martenit, a jedan dio austenita ostaje zatvoren jer nije dostignuta temperatura završetka pretvorbe austenita u martenit. Detaljan prikaz austenitizacije čelika prikazan je na slici 15.

Povećanjem brzine hlađenja austenitiziranog čelika temperature potiskuju se prema nižim temperaturama, odnosno temperature A_3 , A_1 i A_{cm} prelaze u jednu krivulju M_s (početak stvaranja martenitne transformacije). Ako se čelik austenitne strukture dovoljno brzo hlađi, austenit će ostati postojan sve do sjecišta pripadajuće koncentracije čelika s krivuljom M_s . I tek će tada početi transformacija u martenit. Austenit, postojan između A_3 i M_s , odnosno između A_{cm} i M_s temperatura, naziva se pothlađeni austenit – γ_p . Do transformacije pothlađenog austenita u martenit, konačno dolazi u određenom temperaturnom intervalu, odnosno ispod M_s temperature. Temperatura na kojoj završava transformacija austenita naziva se M_f (završetak stvaranja martenzita). Dijagram koji predstavljaju M_s i M_f krivulje naziva se Uptonov dijagram prikazan na slici 14.



Slika 14. : Uptnov dijagram



Slika 15. : Područje optimalnih temperatura austenitizacije za kaljenje ugljičnih čelik [1]

4.4 Mekomartenzitni čelici

Skupina mekomartenzitnih čelika zbog sniženog udjela ugljika utječe na povišenje prokaljivosti do otpornosti na popuštanje i na visoku radnu temperaturu. Sadrži <0,1% C, 13 do 18% Cr, 1 do 6% Ni i 0 do 3% Mo. Mekomartenzitni čelici sa svojim realnim postotkom ugljika od 0,03 do 0,05%, postiže mehanička, fizikalna i kemijska svojstva austenitizacijom pri 950°C do 1050°C, gašenjem na zraku ili ulju, te popuštanju pri temperaturama od 450°C do 600°C.

Svojstva mekomartenzitnih čelika:

- pripadaju među visokočvrste čelike – njihova granica razvlačenja Rp_{0,2} iznosi do 1000 N/mm²,
- postojani na opću koroziju, ali slabi su na jamičastu koroziju.

Primjenjuju se za dijelove strojeva, za dijelove izložene agresiji nečistog zraka (npr. u zrakoplovstvu), agresiji slane atmosfere. Primjenjivat će se za turbine, vijke u proizvodnji papira, za dijelove pumpa (rotori, osovine, lopatice).

Tablica 4. Korozijijski postojani mekomartenzitni čelici [4]

| Oznaka čelika EN | Sastav % | Gašenje | | Popuštanje | | $R_{p,0,2}$ N/mm ² |
|---------------------|-----------------|----------------------|----------|---------------------------|-------------|----------------------------------|
| | | $\Theta_a, ^\circ C$ | Sredstvo | $\Theta_p,$ $^\circ C$ | $t_p,$ h | |
| X5CrNi13 14 | $\leq 0,7$ Mo | 900...1000 | zrak | 450 | 2 | 900 |
| | | | | 530 | 8 | 850 |
| | | | | 600 | 8 | 600 |
| X3CrNi13 4 | $\leq 1,0$, Mo | 950...1050 | zrak | 680 | 2 | 750 |
| X5CrNi 13 6 | - | 950...1050 | zrak | 530 | 8 | 850 |
| | | | | 600 | 8 | 600 |
| X3CrNiMo 14 5 | 2,3 Mo | 950...1050 | zrak | 450 | 2 | 990 |
| | | | | 500 | 2 | 100 |
| | | | | 600 | 2 | 800 |
| X4CrNiMo 16 5 | 1,0 Mo | 1000 | zrak | 450 | 2 | 980 |
| | | | | 500 | 2 | 1020 |
| | | | | 620 | 2 | 580 |

4.5 Martenzitno – fritni čelici

Martenzitno – feritni čelici sadrže do 0,2% ugljika, 13 do 17 % kroma. Prikladni su za poboljšavanje i kaljenje s visokim popuštanjem. Imaju bolju čvrstoću, tvrdoću i otporniji su na mehanička trošenja, ali zato imaju nižu korozijujsku postojanost. Karakterizira ih feritno – karbidna struktura u žarenom stanju, feritno – martenzitna nakon gašenja s oko 1000°C i feritno- austenitna struktura pri 1000°C. Postojani su na vlažan zrak, vodenu paru i vodu, pa se stoga primjenjuju za dijelove vodnih turbin, strojne dijelove u proizvodnji dušične kiseline, te za pribor za jelo. Vrste martenzitno feritnih čelika: X10 Cr 13 (Č4170), X15 Cr13 (Č4171), X7 CrAl 13, ...

5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu zadatka provedena su tri različita ispitivanja: ispitivanje vlačne čvrstoće, udarnog rada loma i tvrdoće na materijalu EN oznake X20Cr13 ili HRN oznake Č4172. Ispitivanja su se provodila u laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu.

5.1 Ispitivani materijal

Ispitivani materijal X20Cr13 je u poboljšanom stanju, te kemijski sastav naveden je u tablici.

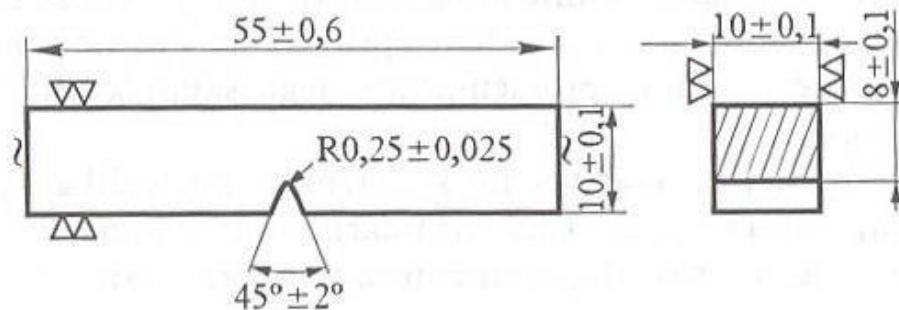
Tablica 5. : Kemijski sastav materijala X20Cr13

| Fe, % | C, % | Si, % | Mn, % | P, % | S, % | Cr, % | Mo, % | Ni, % | V, % | Nb, % | Cu, % |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 85,85 | 0,236 | 0,352 | 0,683 | 0,044 | 0,023 | 11,97 | 0,125 | 0,299 | 0,053 | 0,07 | 0,195 |

5.2 Ispitivanje udarnog rada loma

Za ispitivanje udarnog rada loma koristi se Charpyev bat. Provodi se sa ciljem utvrđivanja udarnog opterećenja, a iznos udarnog rada loma je pokazatelj žilavosti ili krhkosti materijala s utorom. Ispitni uzorak se opterećuje udarcem brida bata, po sredini uzorka, nasuprot uzorku.

Ispitivanje se provodilo na pet uzoraka, odnosno epruveta kvadratnog presjeka s dimenzijama $10 \times 10 \times 55\text{mm}$ i V utorom.



Slika 16. : Oblik i dimenzije epruveta za ispitivanje udarnog rada loma



Slika 17. : Prikaz Charpyje bata



Slika 18. : Prikaz uzorka prije ispitivanja udarnog rada loma

5.2.1 Rezultati udarnog rada loma

Tablica 6. : Rezultati ispitivanja udarnog rada loma

| Uzorak | Izmjerena udarnog rada loma, KV, J |
|-------------|---------------------------------------|
| 1 | 16,0 |
| 2 | 17,0 |
| 3 | 15,0 |
| 4 | 12,50 |
| 5 | 15 |
| ΣKV | 75,50 |

Prema izmjerrenom udarnog rada loma može se izračunati aritmetička sredina:

$$(1) \quad X = \frac{\Sigma KV}{\text{br. uzorka}} = 15,1 J$$

Standardna devijacija:

(2)

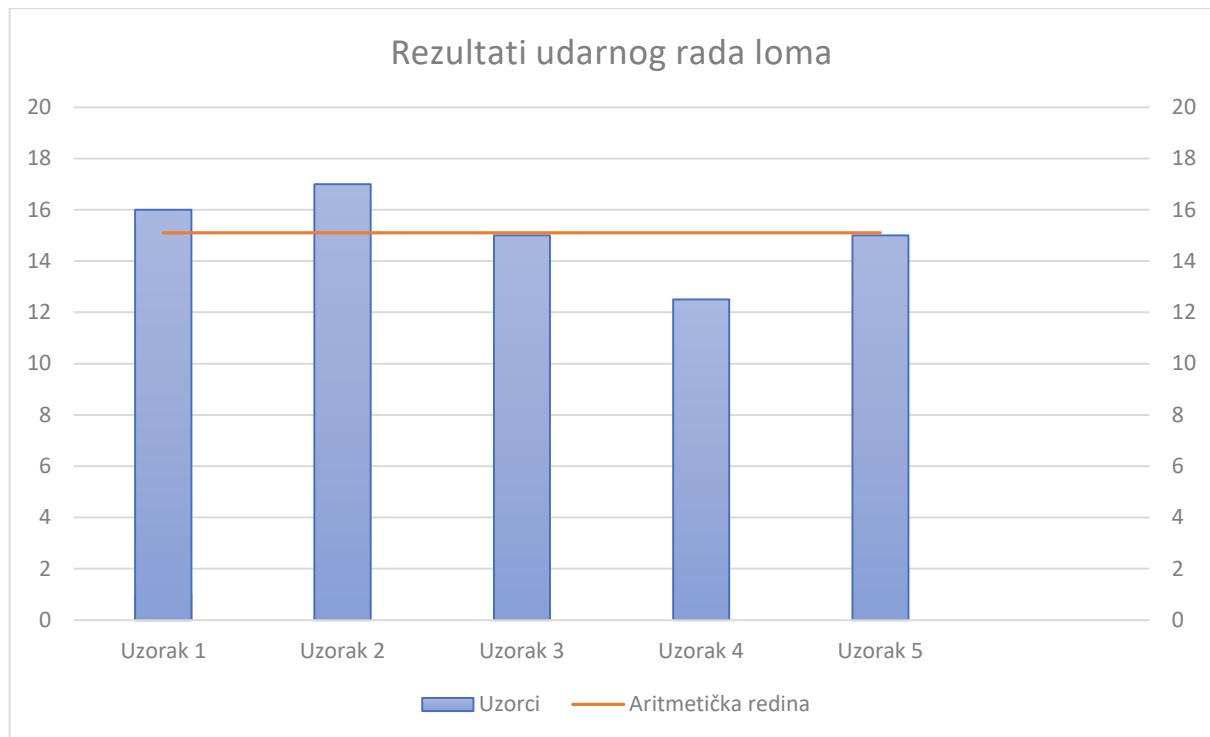
$$s = \sqrt{\frac{(uzorak_1 - x)^2 + (uzorak_2 - x)^2 + (uzorak_3 - x)^2 + (uzorak_4 - x)^2 + (uzorak_5 - x)^2}{n}}$$

(3)

$$s = \sqrt{\frac{(16,0 - 15,1)^2 + (17,0 - 15,1)^2 + (15,0 - 15,1)^2 + (12,50 - 15,1)^2 + (15 - 15,1)^2}{5}}$$

(4)

$$s = 1,50 J$$



Slika 19. : Dijagram analize udarnog rada loma



Slika 20. : Prikaz uzorka nakon provedenog ispitivanja udarnog rada loma

5.3 Ispitivanje tvrdoće

Samo ispitivanje se provodi na tvrdomjeru. Tvrdomjer je uređaj pomoću kojeg se ispituje tvrdoća materijala prilikom prodiranja znatno tvrđeg materijala.

Za ispitivanje tvrdoće koristila se metoda po Brinellu. Napravljena su tri mjerenja iz prethodnog navedenih uzoraka.



Slika 21. : Mjerenje tvrdoće

Tablica 7. : Parametri ispitivanja tvrdoće po Brinellu

| | |
|-----------------------------|------|
| Sila utiskivanja F , N | 1893 |
| Promjer kuglice ϕ , mm | 2,5 |
| Vrijeme utiskivanja t , s | 20 |

5.3.1 Rezultati ispitivanja tvrdoće

Tablica 8. : Rezultati ispitivanja tvrdoće po Brinellu

| Izmjerena tvrdoća, HB | | |
|-----------------------|------------|------------|
| Mjerenje 1 | Mjerenje 2 | Mjerenje 3 |
| 272 | 278 | 278 |

Izračun aritmetičke sredine za tvrdoću prema Brinellu:

(5)

$$X = \frac{\Sigma \text{ izmjerene tvrdoće}}{\text{br. uzoraka}} = \frac{828}{3} = 276 \text{ HB}$$

Standardna devijacija:

(6)

$$s = \sqrt{\frac{(mjerenje_1 - x)^2 + (mjerenje_2 - x)^2 + (mjerenje_3 - x)^2}{n}}$$

(7)

$$s = \sqrt{\frac{(272 - 276)^2 + (278 - 276)^2 + (278 - 276)^2}{3}} = 2,80 \text{ HB}$$



Slika 22. : Skala tvrdoće po Vickersu i Brinellu

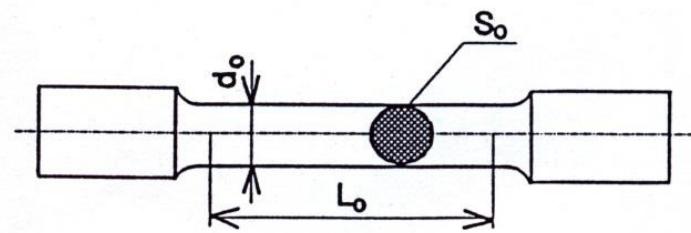
5.4 Ispitivanje vlačne čvrstoće

Statičko vlačno ispitivanje čvrstoće se provodi u svrhu ponašanja materijala u uvjetima jednoosnog statičkog vlačnog naprezanja. Uređaj kojim se mjeri vlačna čvrstoća naziva se kidalica ili univerzalna ispitivalica. Uređaj na kojem je provedeno ispitivanje je Otto Wolpert Werke, tip U60, 1953.godine. Ima svoje mjerno područje do 600kN. Osim mjerjenja vlačne čvrstoće, može mjeriti i tlačnu čvrstoću, granicu razvlačenja, istezanja i kontrakcije.

U ovom dijelu ispitivalo se pet epruveta. Epruvete su okruglog presjeka sa istom početnom mjernom duljinom. Mjerena su granica razvlačenja, vlačna čvrstoća, istezljivost, te produženje. Standardne mjere označavanja vlačne epruvete okruglog presjeka s promjerom epruvete $d_0 = 10 \text{ mm}$ i početnom mjernom duljinom epruvete $L_0 = 50 \text{ mm}$ prikazano je tablicom.

Tablica 9. : Standardne mjere za označavanje okruglih epruveta vlačnog ispitivanja

| Promjer epruvete d_0 | Metrički navoj d_1 | Najmanji polumjer unutarnjeg navoja | Visina glave epruvete h | Kratka proporcionalna epruveta | | | Dulja proporcionalna epruveta | | |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--|-------------------------|----------------------------------|--|-------------------------|----------------------------------|
| | | | | Početna mjerna duljina epruvete L_0 | Probna duljina L_v | Ukupna duljina epruvete L_t | Početna mjerna duljina epruvete L_0 | Probna duljina L_v | Ukupna duljina epruvete L_t |
| 8 | M12 | 9,33 | 10 | 40 | 48 | 75 | 80 | 88 | 115 |
| 10 | M16 | 13,00 | 12 | 50 | 60 | 90 | 100 | 110 | 140 |
| 12 | M18 | 14,35 | 15 | 60 | 72 | 110 | 120 | 132 | 170 |



Slika 23. : Presjek okrugle epruvete



Slika 24. : Prikaz epruvete prije ispitivanja vlačne čvrstoće

5.4.1 Rezultati vlačne čvrstoće

Tablica 10. : Rezultati dobiveni ispitivanjem vlačne čvrstoće

| Epruvete | Promjer epruvete ϕ , mm | Površina S_0 , mm ² | Granica razvlačenja Fe, Re | Vlačna čvrstoća Fm, Rm, | Izduženje A | Kontrakcija Z |
|----------|------------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------|
| 1 | 10 | 78,53 | 56000 N | 65000 N | 58,48 mm | 6,15 mm |
| | Izračunata vrijednost: | | 713 N/mm ² | 828 N/mm ² | 16,9 % | 62,1 % |
| 2 | 10,05 | 79,32 | 55000 N | 65000 N | 57,95 mm | 6,10 mm |
| | Izračunata vrijednost: | | 693 N/mm ² | 819 N/mm ² | 15,9 % | 63,1 % |
| 3 | 10,05 | 79,32 | 57500 N | 65500 N | 58,76 mm | 6,74 mm |
| | Izračunata vrijednost: | | 725 N/mm ² | 826 N/mm ² | 17,5 % | 55,0 % |
| 4 | 9,92 | 77,28 | 58000 N | 64000 N | 59,86 mm | 6,05 mm |
| | Izračunata vrijednost: | | 751 N/mm ² | 828 N/mm ² | 19,7 % | 62,8 % |
| 5 | 9,85 | 76,20 | 55000 N | 63000 N | 58,87 mm | 6,02 mm |
| | Izračunata vrijednost: | | 722 N/mm ² | 827 N/mm ² | 17,7 % | 62,6 % |

Izračun aritmetičke sredine za izračunate vrijednosti granice razvlačenja i vlačne čvrstoće:

(8)

$$\Sigma Re = \text{epruveta 1} + \text{epruveta 2} + \text{epruveta 3} + \text{epruveta 4} + \text{epruveta 5} = 3604 \text{ N/mm}^2$$

(9)

$$X_{Re} = \frac{\Sigma Re}{Uk. broj eruveta} = \frac{3604}{5} = 720,80 N/mm^2$$

(10)

$$\Sigma Rm = epruveta 1 + epruveta 2 + epruveta 3 + epruveta 4 + epruveta 5 = 4128 N/mm^2$$

(11)

$$X_{Rm} = \frac{\Sigma Rm}{Uk. broj epruveta} = \frac{4128}{5} = 825,60 N/mm^2$$

Standardna devijacija za granicu razvlačenja R_e :

(12)

$$s_{Re} =$$

(13)

$$= \sqrt{\frac{(epruveta_1 - X_{Re})^2 + (epruveta_2 - X_{Re})^2 + (epruveta_3 - X_{Re})^2 + (epruveta_4 - X_{Re})^2 + (epruveta_5 - X_{Re})^2}{n}}$$

(14)

$$s_{Re} = 18,79 N/mm^2$$

Standardna devijacija za vlačnu čvrstoću R_m :

(15)

$$s_{Rm} =$$

(16)

$$= \sqrt{\frac{(epruveta_1 - X_{Rm})^2 + (epruveta_2 - X_{Rm})^2 + (epruveta_3 - X_{Rm})^2 + (epruveta_4 - X_{Rm})^2 + (epruveta_5 - X_{Rm})^2}{n}}$$

(17)

$$s_{Rm} = 3,38 N/mm^2$$

Formule za izračun vrijednosti:

- Površina epruvete $S_0 [mm^2]$:

(18)

$$\frac{D^2 \times \pi}{4}$$

- Granica razvlačenja $Re [N/mm^2]$:

(19)

$$\frac{Fe}{S_0}$$

- Vlačna čvrstoća $Rm [N/mm^2]$:

(20)

$$\frac{Fm}{S_0}$$

- Izduženje $A [\%]$:

(21)

$$\frac{Luk - L_0}{L_0} \times 100$$

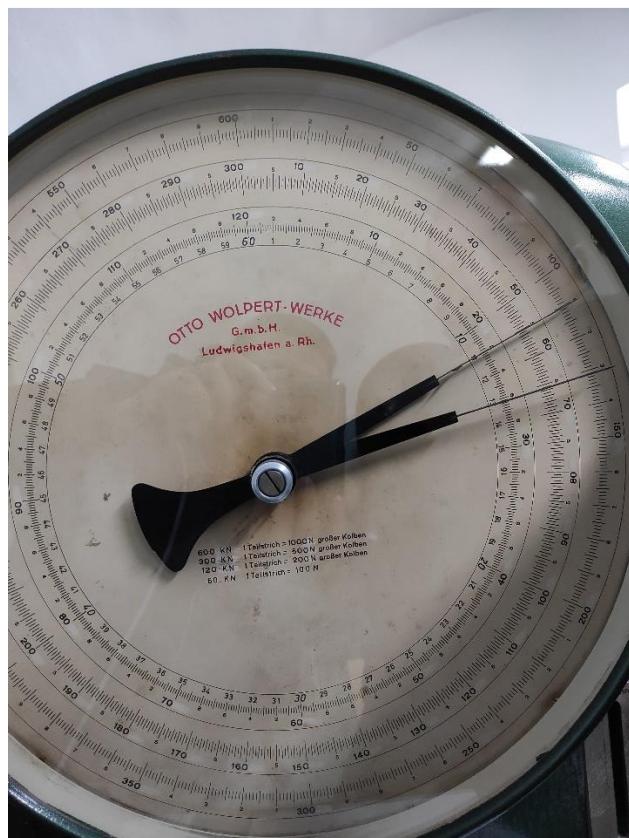
- Kontrakcija $Z [\%]$:

(22)

$$\frac{S_0 - s_0}{S_0} \times 10$$



Slika 25. : Postavljanje epruvete u čeljust kidalice



Slika 26. : Mjerenje sile F_m i R_m



Slika 27. : Epruveta nakon loma



Slika 28. : Prikaz epruveta nakon provedenog statičkog vlačnog ispitivanja

5.6 Metalografsko ispitivanje

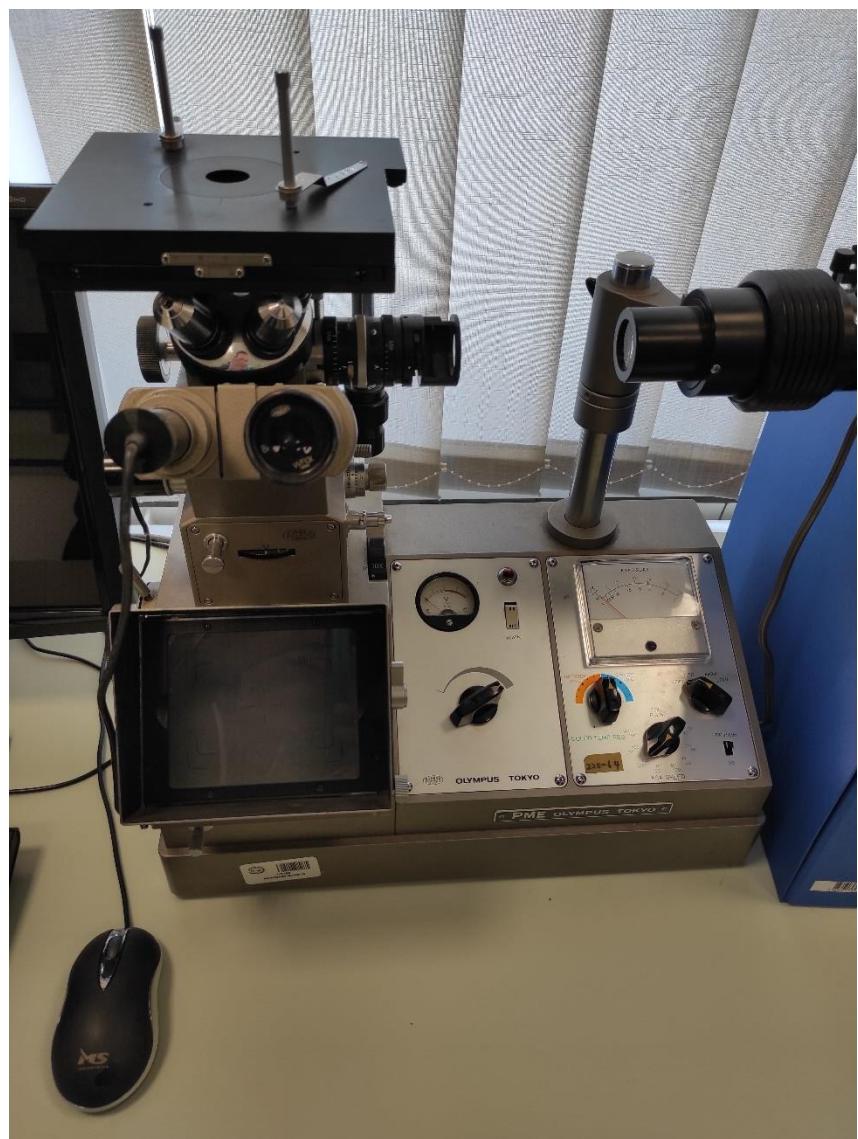
Metalografija se bavi istraživanjem strukture metala i legure pomoću svjetlosnog i elektronskog mikroskopa. Razlikuje se makrostruktura koja je vidljiva golim okom ili uz malo povećanje i mikrostruktura koja zahtjeva povećanje pomoću mikroskopa.

Priprema uzorka za metalografsko ispitivanje:

1. Izrezivanje uzorka,
2. Brušenje,
3. Umetanje malih uzoraka u smolu,
4. Fino brušenje,
5. Poliranje,
6. Odmašćivanje,
7. Nagrizanje površine uzorka,
8. Ispitivanje uzorka,
9. Sušenje.

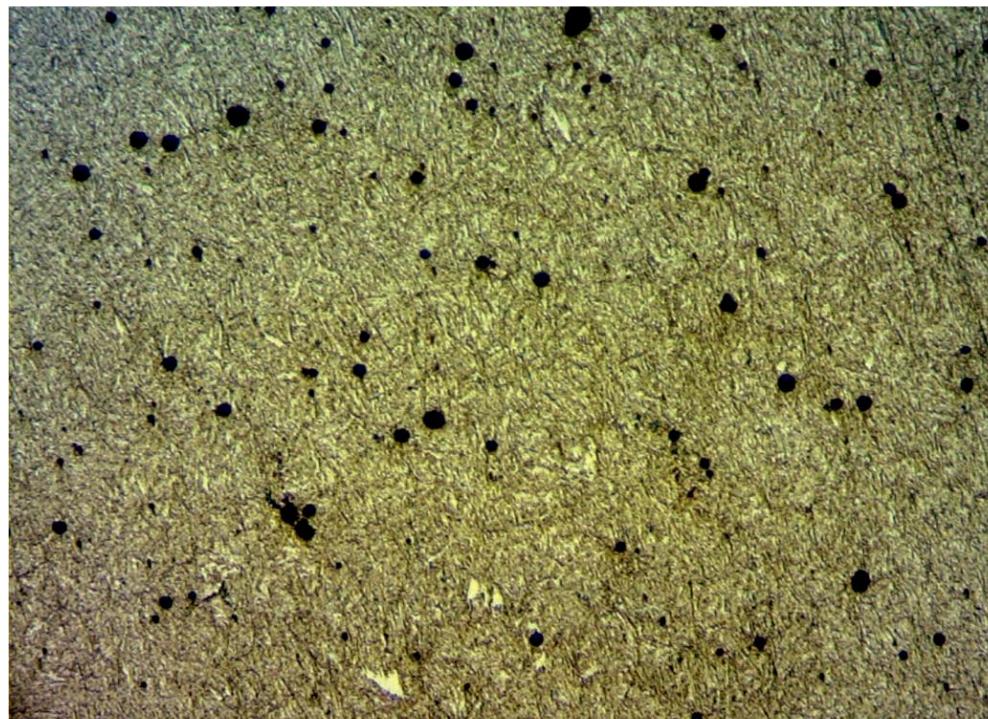


Slika 29. : Uređaj za brušenje i poliranje



Slika 30. : Svjetlosni metalografski mikroskop

Nakon pripreme uzorka za metalografsko ispitivanje prikazana je slika mikrostrukture ispitnog materijala X20Cr13.



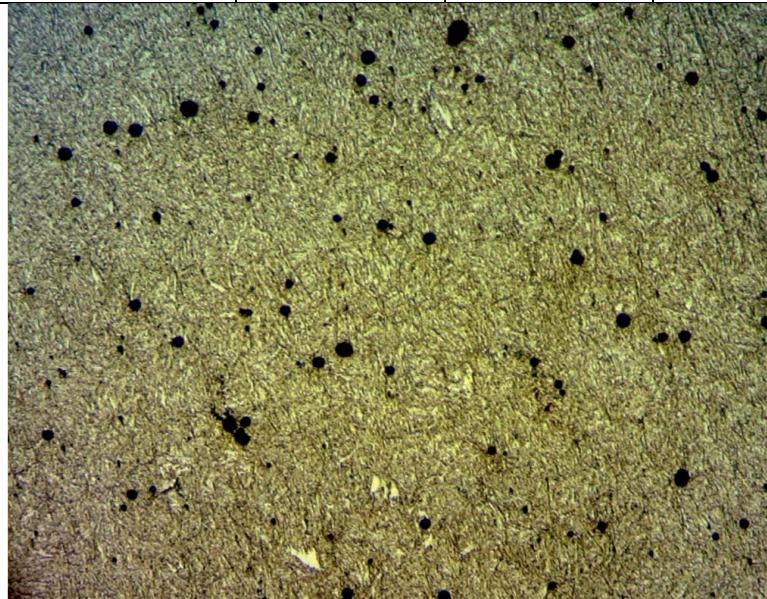
Slika 31. : Mikrostruktura ispitnog materijala X20 Cr13 pri povećanju 200 x

5.7 Analiza rezultata

Na prethodnim poglavljima vidljiva je analiza i statistička obrada što je sumarno dano u tablici 11.

Tablica 11. : Analiza rezultata

| | Udarni rad loma, KV, J | Tvrdoća, HB | Vlačna čvrstoća R_m , N/mm^2 |
|-----------------------|------------------------------|----------------|--|
| Br. uzoraka | 5 | 3 | 5 |
| Aritmetička sredina | 15,1 | 276 | 825,60 |
| Standardna devijacija | 1,50 | 2,80 | 3,38 |



Prikazana je igličasta martenzitna mikrostruktura pri povećanju 200 x.

6. ZAKLJUČAK

Provedenim ispitivanjem materijala X20Cr13 u skladu sa dobivenim rezultatima može se zaključiti da izmjerene vrijednosti odgovaraju zahtijevanim vrijednostima za ispitani materijal. Također je nakon metalografskog ispitivanja vidljiva igličasta martenzitna mikrostruktura. Čelik X20Cr13 sadrži 0,2% ugljika, 13% kroma i maksimalno 1% mangana i silicija.

Osnovni uvjeti koroziski postojanih čelika je minimalno 12% kroma i monofazna mikrostruktura. Koroziski postojani čelici prema mikrostrukturi mogu biti: austenitni, feritni, superferitni, duplex čelici, martenzitni, niskougljični matrenzitni, mekomartenzitni čelici.

U ovom radu ispitivana su osnovna mehanička svojstva i mikrostruktura koroziskog martenzitnog postojanog čelika. Martenzitni koroziski čelici postojani čelik koriste se za nehrđajuće alate od kojih se ne traži velika tvrdoća i otpornost na trošenje, primjenjuju se za kirurške instrumente, koji nisu namijenjeni za rezanje.

LITERATURA

- [1] Sonički N. : *Tehnički materijali*, Veleučilište u Karlovcu, 2013.
- [2] Filetin T., Kovačiček F., Indof J. : *Svojstva i primjena materijala*, Sveučilište FSB Zagreb, 2002.
- [3] Laque F. L., Copson H. R., : *Otpornost materijala i legura na koroziju*
- [4] Novosel M., Krumes D. : *Posebni čelici*, Slavonski Brod, 1998.
- [5] Marković T. : *Korozija i zaštita materijala*, Sarajevo, 1964.
- [6] Kostadin T. : *Materijali 2*, (interna skripta Veleučilišta u Karlovcu)
- [7] Kostadin T. : *Materijali 1*, (interna skripta Veleučilišta u Karlovcu)
- [8] Božić T. : *Toplinska obrada materijala 1*, (interna skripta Veleučilišta u Karlovcu)
- [9] Kostadin T. : *Čelici i željezni ljevovi* (interna skripta Veleučilišta u Karlovcu)
- [10] Metalbiro : *Čelični materijali*, Zagreb, 1984.
- [11] Galić Iva : *Završni rad*, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [12] Trifunović B. : *Poznavanje čelika*, 1957.