

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Корозија и заштита материјала

Број индекса: 518/2010

Милица Петровић

Нерђајући челик

-дипломски рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. доц. др Михаел Бучко – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2017.

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

1. Дефинише нерђајуће челике,
2. Наведе њихове врсте, ознаке, састав, где се која врста нерђајућег челика користи,
3. Наведе врсте корозије код нерађајућих челика
4. Наведе и објасни поступке заваривања нерђајућег челика
5. Опише добијање нерђајућег челика
6. Објасни и наведе примере примене нерђајућег челика

Препоручена литература:

Вујичић, В., Корозија и технологија заштите метала, Београд 2002

Јовановић, М., Адамовић, Д., Лазић, В., Ратковић, Н.: Машински материјали, Машински факултет Крагујевац, 2003.,

Ивица Блажевић- дипломски рад, Свеучилиште у Загребу, Факултет стројства и бродоградње

Крагујевац, 2017.

Ментор:

доц. др Михаел Бучко

РЕЗИМЕ РАДА

У оквиру овог рада је дата дефиниција нерђајућег челика, објашњен његов настанак и основне поделе. Такође је објашњено и означавање нерђајућег челика према SRPS EN 10027-1:2005 стандарду и представљен упоредни преглед ознака неких врста нерђајућих челика. Дефинисано је шта су хемијске а шта механичке карактеристике материјала са посебним акцентом на карактеристике нерђајућег челика. Наведени су примери примене за неке врсте нерђајућег челика као и облици корозије који се јављају. Након тога је дата дефиниција заварљивости и објашњени поступци заваривања нерђајућег челика, затим и поступак његовог добијања. Наведени су примери оружја са деловима од нерђајућег челика и дате њихове карактеристике.

Кључне речи : нерђајући челик, отпорност на корозију, заваривање

SUMMARY

In this work, the definition, the origin and classification of stainless steel is presented. In addition, the labeling of stainless steel according to EN 10027-1:2005 standard is explained, and a comparative review of the codes of some types of stainless steel is given. Special chemical and mechanical characteristics of stainless steel are described, and the application examples and the corrosion types of stainless steel are listed. The definition of weldability is also given, and the welding procedures of stainless steel are described. Finally, the examples of weapons parts made of stainless steel are presented.

Keywords : stainless steel, corrosion resistance, welding

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	5
Карактеристике челика	5
Производња челика	6
Врсте челика.....	6
2. Дефиниција нерђајућег челика	7
Настанак нерђајућег челика	8
3. Подела нерђајућих челика	10
Хромни нерђајући челици (више од 12,5% Cr).....	11
Хром-никл нерђајући челици.....	13
Нерђајући челици са Mn и N	19
Таложно ојачани нерђајући челици	19
4. Означавање нерђајућих челика.....	20
5. Хемијске и механичке карактеристике нерђајућих челика	37
Хемијске особине	37
Механичке карактеристике нерђајућих челика	39
6. Корозија нерђајућих челика	46
Облици корозије код нерђајућих челика.....	47
7. Заварљивост нерђајућих челика	55
Поступци за заваривање нерђајућих челика.....	59
Оцена заварљивости	66
8. Добијање нерђајућих челика.....	70
Машинска обрада нерђајућих челика	72
Обрада обликовањем код нерђајућег челика	73
Примена материјала од нерђајућег челика.....	74
9. Производња оружја од нерђајућег челика	76
Примери оружја са деловима од нерђајућег челика су следећи:	76
10. Животни циклус и рециклирање нерђајућих челика	80
11. ЗАКЉУЧАК.....	81

1.УВОД

Челик је метастабилно кристализована Fe-C (Fe-Fe₃C) легура са садржајем C до највише 4%. Додавањем W, Cr, Mo, V, Mn, Ni, Co и других метала, појединачно или у комбинацији, добијају се легирани челици за специјалне сврхе, изузетно механички, хемијски или топлотно постојани. Ако је масени удео легирајућих елемената већи од масеног удела Fe, или се Fe налази само у траговима, онда се не ради о челику већ о новим типовима легура. Широки распон и флексибилност карактеристика (уз помоћ легирања, термичке обраде и пластичне прераде) као и релативно ниска цена производње, чине челик и даље најраспрострањеније коришћеним металним материјалом [1].

Карактеристике челика

Челик може бити врло мек и као такав изузетно погодан за дубоко извлачење (прављење лименки, конзерви итд.). Насупрот томе челик може бити врло тврд и крт, као на пример код мартензитних челика који се користе за сечива. Пред модерну производњу челика постављају се високи захтеви, који најчешће укључују оптималну комбинацију карактеристика као што су затезна чврстоћа са једне и дуктилност односно деформабилитет са друге стране. Поред тога мора се стално водити рачуна о исплативости производње што је последица непрестане промене цена легирајућих елемената. Најважнији легирајући елемент у челику је C. Он се у челику налази у облику једињења под именом цементит, Fe₃C. Повишени масени удео C чини челик чвршћим, али у исто време кртим материјалом. У зависности од удела C и температуре на којој се узорак челика налази на фазном дијаграму се могу уочити следећи микроконституенти: аустенит, ферит, примарни и секундарни цементит као и микроструктуре (смеше фаза): перлит, ледебурит. Ако се челик нагло охлади, тако да се дифузиони процеси (на првом месту дифузија C) не одиграју до краја, онда се у структури челика појављују нове микроструктуре које су већином презасићене C. Ако се убрзано хлађење одиграва из аустенитне области могу се јавити финоламелиране микроструктуре (сорбит или тросит) као и игличасти/зрнасти беинит или игличасти мартензит. Специфична тежина челика је скоро једнака као специфична тежина чистог Fe и износи око 7.850 kg/m³.

Карактеристике челика као што су тврдоћа, дуктилност, затезна чврстоћа, могу се креирати и контролисати у широком спектру, што челик чини основним металним конструкционим материјалом. Три основне методе, које се могу међусобно комбиновати, у циљу постизања жељених карактеристика челика су:

- легирање

- термичка обрада (жарење, каљење, побољшање) и
- пластична прерада (ваљање, извлачење итд.)

Производња челика

Производња челика има за циљ добијање легуре (Fe и C) жељеног хемијског састава и механичких карактеристика.

Производња челика се одиграва у челичанама, које су део ширег постројења под именом железара. То постројење се најчешће састоји од погона високе пећи, челичане и ваљаонице (топле и хладне). Погон високе пећи није неопходан у случају ако се челик добија из челичног отпада помоћу електролучних пећи.

Постоје генерално два типа железара:

- интегрална железара, она која поседује постројење високе пећи, конверторске челичане и топле и хладне ваљаонице,
- остали типови железара које немају производњу гвожђа (немају високу пећ).

Врсте челика

Према стандарду DIN EN 10020 постоје две главне класе челика:

- Квалитетни челици (QS)
- Специјални (племенити) челици (SS)

Данас је регистровано око 2500 различитих врста челика. Даља подела на подгрупе врши се према легурајућим елементима, микроструктури или механичким карактеристикама.

Према садржају легирајућих елемената челици се деле на:

- нелегирани челици - нелегирани челици се деле на оне који су предвиђени за термичку обраду и оне који то нису;
- нисколегирани челици - као нисколегирани челици третирају се они челици са укупним масеним уделом легирајућих елемената не мањим од 1%, али не већим од 5%. Ови челици поседују побољшане механичке карактеристике у односу на нелегиране челике;
- високолегирани челици - као високолегирани челик третира се челик који садржи више од 5% легирајућих елемената. Ови челици поседују изузетне карактеристике у зависности од тога која комбинација легирајућих елемената је примењена. Типичан пример је нерђајући челик, који своју отпорност на корозију дугује у првом реду Cr [1].

2. Дефиниција нерђајућег челика

Нерђајући челик (у народу познат као *росфрај*, *инокс*, *прохром*) је челик, високолегиран Cr, Ni и другим елементима (Mo, Cu, Ti, Si, Mn и Nb). Реч „инокс“ потиче од енглеског глагола “*inoxidizing*” што значи спречавање оксидације. Овај појам означава више од 120 различитих легура са антикорозивним својствима. У присуству Cr, челик има способност да се пасивира у многим срединама (хладне и вруће киселине, високе температуре, органске киселине, базе, раствори соли). Садржај Cr у овим челицима износи најмање 12,5%, што је неопходан услов за обезбеђење постојаности према корозији. Са повећањем садржаја Cr расте корозиона постојаност челика. Ni такође омогућује пасивизацију, али у знатно мањем степену. Са додатком 14-17% Cr, добијају се легуре које не оксидишу на ваздуху, води, у низу киселина, база и соли, приближавајући се скоро племенитим металима [2].

Нерђајући челици се одликују високом отпорношћу према корозији, која се постиже образовањем танког, тврдог и компактног површинског слоја, који штити метал од даље корозије. Хром као легирајући елемент формира транспарентни и безбојни заштитни слој на површини материјала, а уколико дође до његовог механичког оштећења, веома брзо реагује у присуству кисеоника из воде или ваздуха, и ствара нови заштитни слој, тако да нерђајући челик не захтева никакву додатну површинску заштиту против корозије. Корозиона постојаност нерђајућих челика зависи од структурног састава. Најбољу корозиону постојаност имају чврсти раствори легирани Cr и Ni. Корозиона постојаност нерђајућих челика се одређује постојаношћу оксидне превлаке на површини метала и зависи од агресивности средине. Осим високе отпорности према корозији, ови челици су ватроотпорни, па се користе за рад на температурама преко 550 °C, уместо нисколегираних челика.

Нерђајући челици су заштићени танким слојем хром-оксида по површини, који се формира реакцијом Cr из челика и O из ваздуха, тако да челик не захтева никакву додатну површинску заштиту против корозије. Каже се да нерђајући челик има јединствену карактеристику: “да се сам залечи”. У случају да површина претрпи оштећење, слој се тренутно сам обнавља у присуству кисеоника. Овај транспарентни пасивни слој има дебљину свега неколико атома и обнавља се под утицајем кисеоника и то без обзира да ли кисеоник потиче из ваздуха или из воде.

Нерђајући челици се користе за израду прибора за јело, елемената опреме у кухињама и ресторанима, хируршких инструмената, декоративних делова каросерија аутомобила. Осим тога, ови челици се користе за лежајеве, вентиле, опруге, мерне инструменте, делове пећи и размењивача топлоте у хемијској, петрохемијској и термоенергетској индустрији.

Поред високе корозионе постојаности, следећа карактеристика аустенитних нерђајућих челика је њихова немагнетичност коју дугују у првом реду Ni као легирајућем елементу који стабилизије високотемпературну немагнетичну, површински центрирану кубну решетку. Све оне врсте челика које се описују као нерђајући челик су топлјене у посебној процедури, поседују високи степен чистоће и равномерно реагују на третмане топлотом.

Примери стандардних ознака неких челика из ове групе су Č4171, Č4172, Č4173, Č4174, Č45707, Č4571, Č4572, Č4573 и Č4574. Комерцијално најпознатији нерђајући челик је Cr-Ni челик 18/8, са 18% Cr и 8% Ni. У последњим годинама може се видети повећана тражња за високолегираним челицима, укључујући и челике високе чврстоће и нерђајуће челике у конструктивној примени [1].

Настанак нерђајућег челика

Данас се не може тачно дефинисати ко је открио нерђајући челик. Могу се само набројати људи који су допринели откривању чињенице да се легирањем корозиона постојаност челика знатно побољшава:

- 1821-1822 год.- научници Pjer Bertje (Француска) и Stoddard и Farraday (Енглеска) су истакли да су Fe-Cr легуре отпорније на деловање одређених киселина, али испитивања су спроведена на легурама са малим процентом Cr (Bertje 1-1,5% Stoddard и Farraday 3%);
- 1871 год.- Woods и Clark (Енглеска) препознали су комерцијалну вредност нерђајућих хром легура, поднели захтев за патент и навели да за конструкције са максималном отпорношћу на корозију проценат Cr у легури треба да буде 30% и волфрама 1,5%, а за конструкције без захтева за максималну отпорност на корозију масени проценат Cr је 5%;
- 1905 год.- професор Leon Guillet (Француска) објављује прву књигу о нерђајућем челику, "*Stainless Steel*";
- 1908 год.- фабрика "Krup Iron Vorks" у Немачкој експериментише са додатком Ni у челик. Производи Cr-Ni челик за труп јахте од 366 t, "Germania" ("Half Moon");
- 1911 год.- важност минималног садржаја Cr у легури открио је P. Monnartz (Немачка). Открио је повезаност између садржаја Cr и отпорности према корозији, наводећи да је значајан подстицај у отпорности према корозији када легура има најмање 12,5% Cr;
- Као проналазач "*rustless steel*" (челика без рђе) или како ће га касније назвати "*stainless steel*" (нерђајући челик) води се Harri Brearli (Енглеска). Истражујући нове врсте челика почео је да испитује утицај Cr на челик, који је познат по томе што подиже тачку топлјења, у односу на стандардни угљенични челик. Резултат истраживања је била хром легура много више корозијски постојана него легуре до сада.

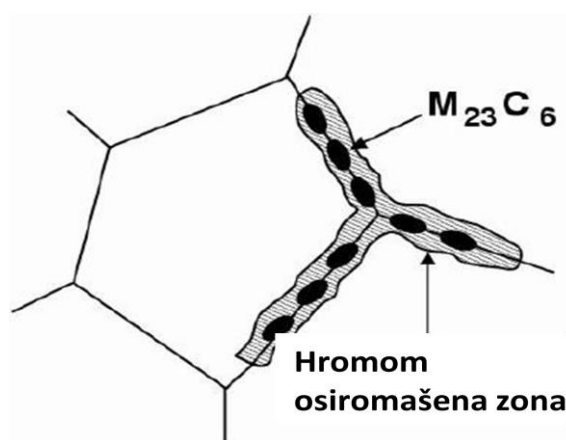
- 1913 год.- 13. августа произвео је, по његовим тврдњама, први нерђајући челик са 0,24% С и 12,8% Cr.
- 1911-1914 год- научници из Америке се укључују у истраживање. Becket i Dantsizen раде на феритним челицима хемијског састава 14-16% Cr и 0,07-0,15% С
- 1924 год- V. H. Hatfield наставља рад Harri Brearli и настаје нерђајући челик назван "18/8", који се и данас највише користи, са разним додацима. Овај челик осим Cr има и додатак Ni, односно 18%Cr и 8%Ni. Исти научник је открио и 18/8 нерђајући челик са додатком Ti, познат као "321" (по ASTM / AISI стандарду) [3, 4].

3. Подела нерђајућих челика

Нерђајући челици се деле у две велике групе:

- челици отпорни на киселине, који су отпорни на електрохемијску корозију (у органским и неорганским киселинама, једињењима азота, растворима соли - електролитима, агресивним животним намирницама) и
- ватроотпорни челици који не оксидишу на ваздуху и гасовитим продуктима сагоревања (CO , CO_2 , SO_2) на температури преко 600°C [5].

Челици отпорни на киселине морају садржати више од 12,5% Cr, а ватроотпорни челици више од 6% Cr и додаток Si и Al ради спречавања дубинске корозије. При дуготрајном држању на температури изнад 500°C , код челика отпорних на киселине долази до издвајања Cr по границама зрна и тиме осиромашења чврстог раствора у Cr (слика 1). Ако %Cr у чврстом раствору опадне испод 12% настаће селективна међукристална корозија. Склоност ка овој врсти корозије умањује се стабилизацијом челика помоћу Ti, Nb или Ta који имају већи афинитет према угљенику него Cr. Ефекат Cr огледа се у стварању пасивног слоја или заштитног оксидног слоја CrO_3 који штити материјал од корозије.



Слика 1-Издвајање хрома по границама кристалних зрна [5]

Према хемијском саставу нерђајући челици могу бити:

- хромни, Cr
- хром-никлови, Cr-Ni и
- хром-мангански, Cr-Mn

а према стању испоруке

- ваљани и
- ливени.

Ваљани нерђајући челици деле се према металуршкој структури на:

- аустенитне,
- феритне,
- мартензитне,
- таложно ојачане и
- дуплекс, а

ливени на:

- термо-постојане и
- корозионо-отпорне.

Хромни нерђајући челици (више од 12,5% Cr)

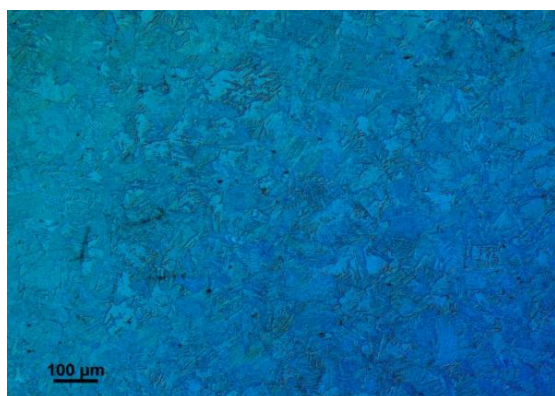
Хром је најважнији легирајући елемент у нерђајућим челицима. Нерђајућа својства челика зависе од односа Cr и C који су присутни у њему. Према садржају Cr, постоје три врсте Cr- нерђајућих челика:

- мартензитни (12,5-17,5% Cr)
- полуферитни и (15-17% Cr)
- феритни (> 18% Cr)

Мартензитни нерђајући челици

Ови челици се могу побољшати у зависности од садржаја C (0,12-0,45% C), који се подешава према садржају Cr, пошто се граде карбиди Cr. Добијена мартензитна структура је магнетична и крта; пре употребе мора да се подвргне отпуштању. Припадају групи високолегираних челика са садржајем Cr у неопходном садржају који се креће од 12,5 до 17,5% уз присуство повећаног садржаја Mn и Si и евентуално присуство Mo, Ni и V.

За побољшање својстава и промену корозионе постојаности у атмосферским условима, често се додаје 0,3% Ni. Корозиона постојаност ових челика се повећава каљењем на температури 850-920 °C. Ради отклањања унутрашњих напона врши се отпуштање на 250-400 °C. Да би се избегло снижење корозионе постојаности, не врши се отпуштање у температурном интервалу 450-550 °C. Од ових челика израђују се куглични лежајеви, ливачки калупи, ножеви медицинских инструмената, делови авиона и турбина. Структура мартензитних челика је приказана на слици 2 [1].



Слика 2- Структура мартензитног нерђајућег челика [24]

Полуферитни челици садрже:

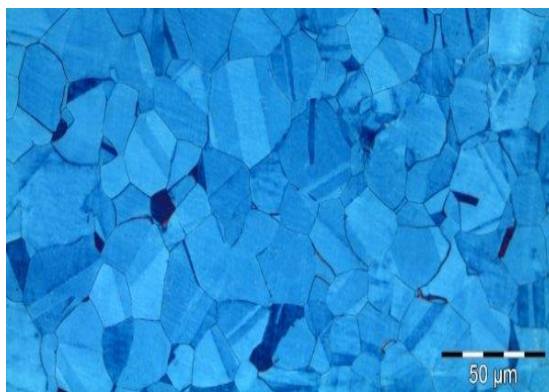
- до 0,08% C и 13-15% Cr или
- до 0,1% C и 15-17% Cr.

Могу се оплеменити-побољшати. Мање су крти од феритних и спадају у групу квалитетних корозионо постојаних материјала. Најбољу корозиону постојаност имају полуферитни челици после загревања на 760-800 °C. Загревањем на вишим температурама, материјал постаје крупнозрнаст, крт и смањује му се отпорност на корозију. Кртост им се смањује додатком мањих количина Ti и Nb. Користе се за делове од којих се захтева отпорност на хабање и корозију, као што су вентили, цевни проводници, апарати за производњу азотне киселине итд.

Феритни нерђајући челици

Ови челици садрже 0,12% C и више од 18% Cr. Имају неповољна ватроотпорна својства. Феритни челици су меки због малог садржаја C и испоручују се у жареном стању. Не могу се калити ни оплеменењивати. Имају велику отпорност на оксидирајуће киселине и базе, у речној и морској води. Не кородирају у додиру са храном. Отпорни су према гасовима у којима има сумпора до 1100 °C. Отпорни су на атмосферску корозију, а неотпорни у разблаженим растворима соне и сумпорне киселине, као и загрејане фосфорне киселине. За феритне нерђајуће челике карактеристична је појава смањења ударне жилавости на сниженим температурама, такозвани хладни лом.

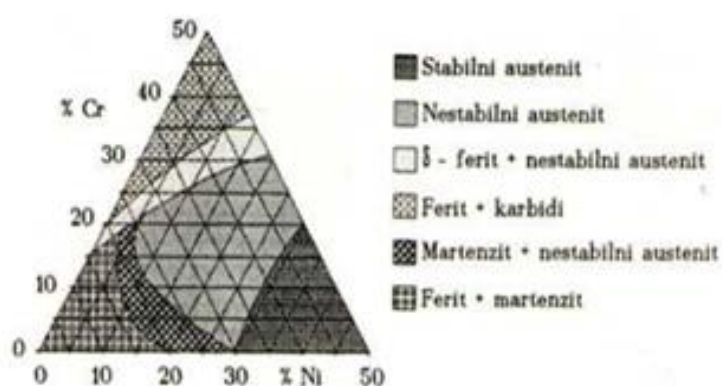
Најчешће се примењују за облагање предмета у архитектури, грађевинарству и угоститељству, за издувне системе мотора, за опрему за пренос топлоте у хемијској и петрохемијској индустрији, као и за кухињску опрему (судопере и сл.). Врло су подесни за дубоко извлачење. Ако се држе дуже на високим температурама, феритни челици нагињу образовању грубе (крупнозрнасте) структуре с повећањем кртости. Уопштено се може рећи да постојаност према корозији расте са порастом садржаја Cr. Структура феритног нерђајућег челика је приказана на слици 3 [1].



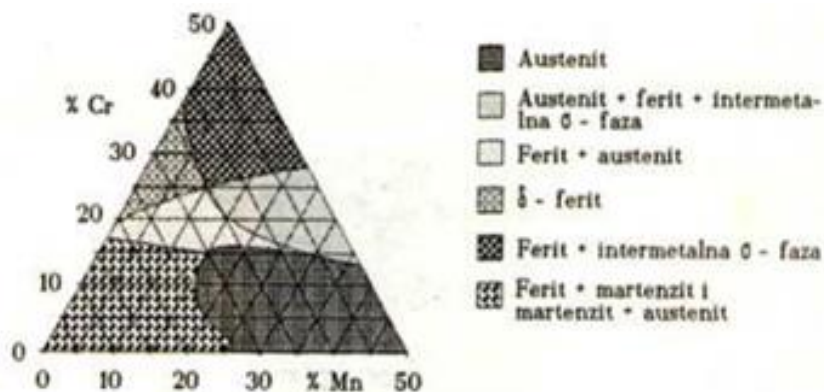
Слика 3-Структура феритног нерђајућег челика [25]

Хром-никл нерђајући челици

Хром-никл нерђајући челици добијају се уношењем у Cr нерђајуће челике, одређене количине Ni. За побољшање корозионих, али и других својстава, Cr-Ni челицима се додају и други легирајући елементи као што су Mn, Ti, Mo, Al. При додавању у хром нерђајуће челике Ni или Mn, феритни челици добијају аустенитну структуру. Уколико у челику недостаје Ni или Mn, да би се образовала потпуна аустенитна структура, образују се прелазне структуре: аустенит + ферит, аустенит + мартензит и др. Увођењем у састав Cr-Ni челика различитих елемената, долази до измене положаја фаза: γ , $\gamma + \alpha$ и α у дијаграму стања. Пораст садржаја Cr, увођење, Ti, Nb, Si, Al и Mo потпомажу образовање феритне фазе. Повећањем садржаја Ni и уношењем Ni, C и Mn проширује се област аустенита и ови челици постају аустенитно постојани.



Слика 4-Тројни дијаграм система Fe-C-Ni



Слика 5-Тројни дијаграм система Fe-Cr- Mn

Поређењем два дијаграма на сликама 4 и 5 види се, да услед мање ефикасности Mn у образовању аустенитне структуре, више су заступљене области: аустенит + ферит или аустенит + мартензит.

Према структури, **Cr-Ni-нерђајући челици** се деле на:

- аустенитне;
- аустенитно - феритне;
- аустенитно - мартензитно - феритне и
- мартензитно - феритне.

Аустенитни нерђајући челици

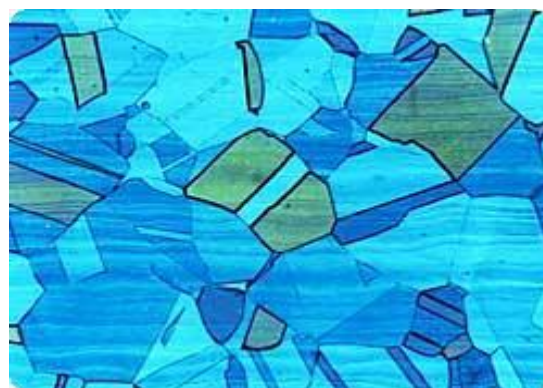
Аустенитни нерђајући и хемијски постојани челици припадају групи високолегираних Cr-Ni челика са врло ниским садржајем C. Разликују се од феритних по следећим својствима: немагнетични су, имају добру тврдоћу и чврстоћу, малу границу развлачења, одлична пластична својства, малу топлотну проводљивост, високу корозиону постојаност и постојаност на дејство H₂SO₄.

Додатак Ni нарочито појачава корозиону отпорност против оксидирајућих киселина. Већ и мањи додаци Ni осетно појачавају корозиону отпорност, нпр. додатком 1,5% Ni добијају се челици отпорни на морску воду. Поред Mn и Si, који су присутни у свим аустенитним челицима, неколико аустенитних челика има Mo а за побољшање својстава челика у малим количинама се додаје Ti и Ni. Аустенитни челици су немагнетични и некаљиви. Обично су легирани са 12,5 до 30% Cr и 7 до 25% Ni, док им садржај C обично не прелази 0,1%.

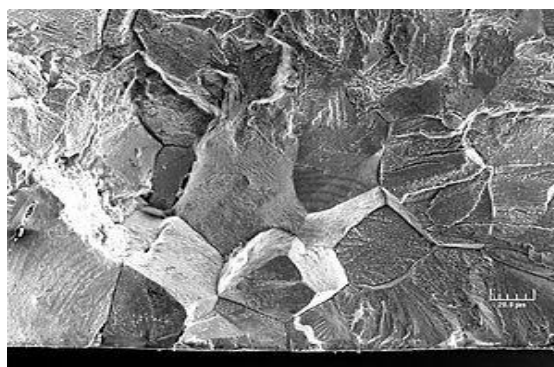
Уколико су легирани само са Cr и Ni, ови нерђајући челици имају чисту аустенитну структуру. Ако се таквим челицима, у циљу постизања нарочитих особина, додају Mo, Ti, Ta и Nb, главна маса челика прима аустенитну структуру с мањим деловима ферита. У таквом случају делимично се мењају физичке карактеристике, нпр. док су чисто аустенитни челици потпуно немагнетични, ови други, с протканим мрежицама ферита, врло мало су

магнетични, али су потпуно отпорни против међукристалне корозије после заваривања, док чисте аустенитне врсте нису отпорне па се после заваривања морају накнадно жарити у циљу обезбеђења против међукристалне корозије, уколико нису легирани са Ti, Ta или Ni.

Структура аустенитних челика се састоји из аустенитне основе по којој су разбацана зрна карбида, што је приказано на сликама 6 и 7.

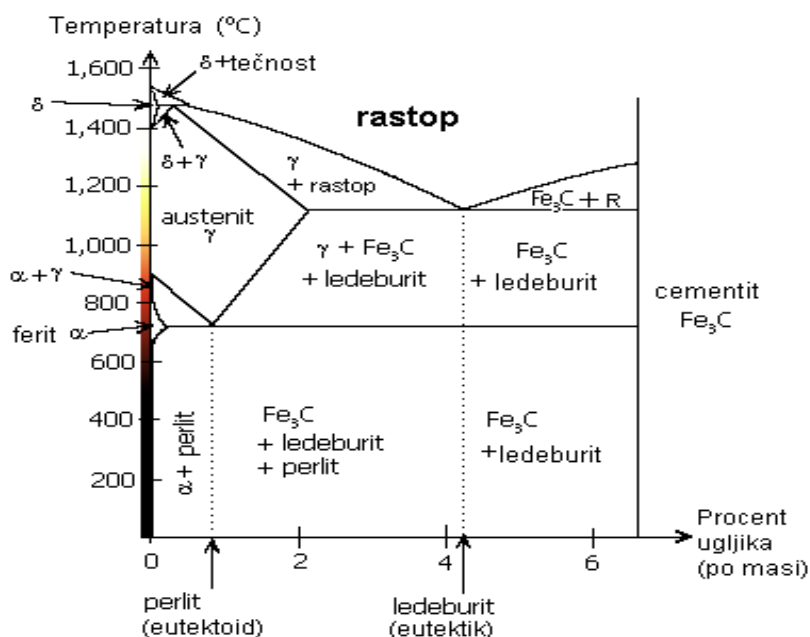


Слика 6- Типичне микроструктуре нерђајућих челика [26]



Слика 7 – Микроструктура Cr-Ni нерђајућег челика у каљеном стању[27]

Стабилност аустенита је повезана са променом растворљивости C (карбида) у γ -чврстом раствору са температуром, што се види из дијаграма приказаног на слици 8. При деформацији у хладном стању и при загревању на 460-800 °C, долази до излучивања карбида и повећања температуре мартензитне трансформације, која доводи до местимичног структурног преображаја, што све погодује појави међукристалне корозије. На слици 10 приказана је микроструктура Cr-Ni нерђајућег челика са карбидима по граници зрна. Склоност ка међукристалној корозији се повећава дуготрајним загревањем на 500-700 °C, чак и када су ови челици са врло ниским садржајем C (0,017 - 0,030% C). Да би се то спречило, додају се челику карбидизирајући елементи Ti и Nb, чији је садржај у зависности од садржаја C у њему, такав да вежу укупни садржај C у облику карбида TiC и NbC (слика 8 и 9).

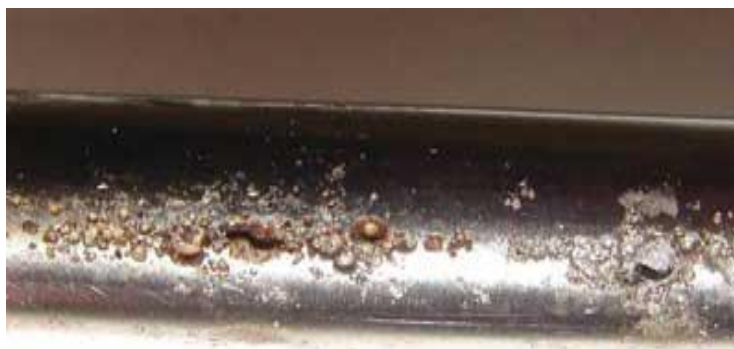


Слика 8- Растворљивост угљеника (карбида) у аустениту[28]



Слика 9 – Микроструктура Cr- Ni нерђајућег челика са карбидима по граници зрна аустенита[29]

За повећање корозионе постојаности на сону киселину, челицима се додаје 2-4% Mo. При нагом каљењу аустенитних нерђајућих челика јављају се рекристализациони процеси који одстрањују последице пластичног деформисања, коме се подвргавају ови челици. Као резултат каљења не повећава се тврдоћа, јер у њима је каљење процес омекшавања, тако да се механичка својства ових челика после каљења карактеришу ниском границом течења, малом чврстоћом и високом пластичношћу. Аустенитни Cr -Ni челици су склони општој корозији, по целој површини, или тачкастој корозији по дубини, што се види на слици 10.

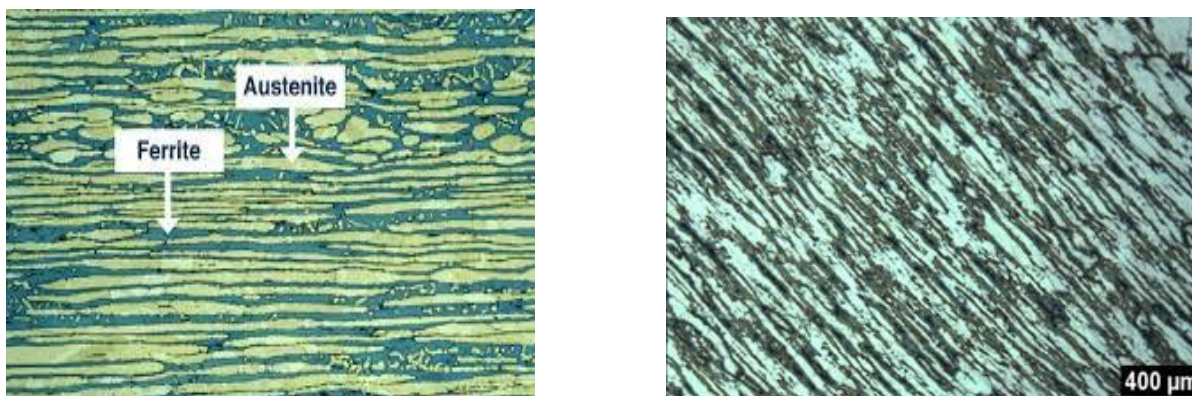


Слика 10- Тачкаста корозија нерђајућег челика [31]

Такође, склони су напонској корозији, која може бити кристална и међукристална. Да би се то избегло, подвргавају се термичкој обради, при којој се уклањају унутрашњи напони унети пластичним деформисањем. Аустенитни нерђајући челици се много користе, како због њихових високих аритикорозивних својстава, тако и због високих технолошких и механичких својстава. Аустенитни челик 18% Cr и (8-10% Ni) нема постојану структуру. Хлађењем или пластичним деформисањем, може се добити мартензит у структури. Има велику примену у изради производа широке потрошње, у архитектури и изради скулптура.

Аустенитно-феритни нерђајући челици (дуплекс челици)

Дуплекс нерђајући челици садрже Cr 18-30% и Ni 3-9%. Налазе се између аустенитних и феритних челика ($\alpha + \gamma$ фазе апроксимативно 50%-50%). Имају бољу корозиону отпорност од конвенционалних феритних челика и бољу чврстоћу од аустенитних (слика 11).

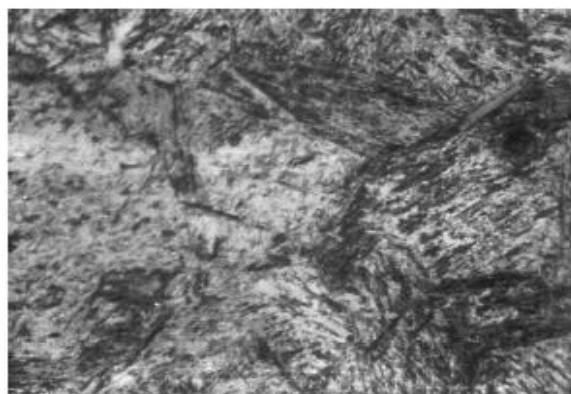


Слика 11- Структура дуплекс нерђајућих челика [30]

Карактеристично је да ови челици, углавном са великим садржајем Cr и малим садржајем Ni, имају двофазну структуру на собној температури (садржај аустенита је између 40% и 60%). Њихове механичке карактеристике су боље од механичких карактеристика аустенитних челика. Ови челици имају посебно добру отпорност према корозији и када су под напоном.

Аустенитно - мартензитни нерђајући челици

Cr-Ni нерђајући челици (15-17% Cr), који садрже Al и Mo, су челици аустенитно-мартензитне групе. После каљења имају највећу пластичност, јер се при преображају аустенита може вршити дубоко извлачење и пресовање у закаљеном стању. Висока чврстоћа аустенитно мартензитних нерђајућих челика, чија је типична структура приказана на слици 12, се добија без накнадног каљења, само обрадом пластичним деформисањем у хладном стању.



Слика 12- Типична структура аустенитно-мартензитног нерђајућег челика

При обради у хладном стању долази до преображаја аустенита у мартензит, због чега се и повећава чврстоћа. При накнадном старењу долази до даљег повећања чврстоће као последице издвајања металних једињења у дисперзном стању [1].

Нерђајући челици са Mn и N

Због дефицитарности Ni, он се делимично или у потпуности замењује другим хемијским елементима који потпомажу образовање аустенита. Најважнији су челици легирани са Mn и N. Највише се користи челик са 13% Cr, 4% Ni и 9% Mn са малим садржајем C. Ови челици су по својим својствима блиски Cr-Ni челицима по низу хемијских и физичких својстава. Смањење међукристалне корозије се постиже додавањем Ti и Nb. Увођење N као замене за Ni је веома успешно. Тако је челик са 25% Cr, 13% Ni и 0,20-0,25% N аналоган по својим својствима челику са 25% Cr и 20% Ni, а челик 18% Cr, 5% Ni и 0,20-0,25% N аналоган челику са 18% Cr и 9% Ni. Челик који је објединио утицај Mn и N је 20-25% Cr, 3,5% Ni, 3,5% Mn и 0,2% N. Овај челик је близак Cr-Ni челицима са повећаним садржајем Cr. Недостатак челика који садрже N је немогућност увођења Ti, ради ублажавања међукристалне корозије (Ti се везује у TiN).

Таложно ојачани нерђајући челици

Таложно ојачани нерђајући челици постижу велику јачину ниско-температурном термичком обрадом која готово не мења облик третираних предмета. Састав ових челика је такав да може настати ојачање, стварање интерметалних једињења и истовремено отпуштање мартензита. Када се тражи максимална јачина и велика корозиона отпорност састав челика је 17% Cr, 7%Ni, 1%Al. Пораст тврдоће и јачине делом настаје због мартензитне структуре, а делом због преципитације старењем.

Преципитационо ојачане легуре користе се за делове од којих се тражи велика јачина, не велика корозиона отпорност и лака обрада. То су рударске бушилице, делови пумпи високог притиска, високотемпературне пумпе и затварачи, компоненте авиона [5].

4.Означавање нерђајућих челика

Сви челици, као и остали метали који се користе у техници, означавали су се до 2003. године на начин који је био дефинисан националним југословенским стандардом JUS C.B9.020:1989. Овај стандард прихваћен је као национални стандард Републике Србије са ознаком SRPS C.B9.020.

Од 2003. године у циљу уједначавања система означавања челика усвојен је нови, европски систем означавања и носио је ознаку JUS EN10027-1:2003 и JUS EN10027-2:2003 [6].

Република Србија је 2005. године ове стандарде усвојила као своје националне стандарде са ознакама:

- SRPS EN 10027-1:2005: Систем означавања челика Део 1. Означавање, основне ознаке;
- SRPS EN 10027-2:2005: Систем означавања челика Део 2. Бројчани систем;
- SRPS CR 10260:2005: Систем означавања челика. Додатне ознаке

Сви стандарди, односно међународни ISO, европски EN или национални стандарди појединих земаља, прописују ознаку материјала, хемијски састав, најважније елементе, механичке карактеристике, намену итд. Произвођачи материјала су у обавези да произведени материјал дате ознаке задовољава све стандардом прописане вредности.

Европски начин означавања челика, који је у целости прихватио наш национални стандард, дефинисан је стандардима EN 10027-1:1992 и EN 10027-2:1992. Земље које су обавезне да примењују ове стандарде су још Аустрија, Белгија, Данска, Финска, Француска, Грчка, Холандија, Ирска, Исланд, Италија, Луксембург, Немачка, Норвешка, Португалија, Шпанија, Швајцарска, Шведска и Уједињено краљевство, као и друге које су у међувремену приступиле Европској унији.

Систем за означавање челика према SRPS EN 10027-1:2005, основне ознаке

Према овом стандарду ознака челика се састоји из основне ознаке и додатне ознаке.

Да би се избегле двосмислености при означавању челика потребно је основне ознаке употпунити са додатним ознакама за идентификацију допунских карактеристика челика или металуршких производа, нпр. погодност за употребу

на високој температури, стање површина, потребна термичка обрада, начин дезоксидације.

За сваку врсту челика предвиђена је само једна ознака. Бројеви и слова у ознаци пишу се једни за другима без размака. Ознаке додељује Европски комитет за стандардизацију CEN (European Committee for Standardization), на захтев националних стандардних организација или произвођача челика.

За потребе означавања челика, ознаке су сврстане у две основне групе:

- група 1- за челике који се означавају на основу употребе и механичких или физичких карактеристика,
- група 2- за челике који се означавају на основу хемијског састава, подељене у четири подгрупе.

Прва ознака код ливених челика

Када је челик специфициран у облику одливка, испред ознаке се ставља словна ознака Г.

Означавање челика из групе 1 (означавање на основу механичких или физичких карактеристика)

Ознака се састоји из два дела. Први део ознаке је словна ознака, а други део је бројчана ознака која представља границу развлачења или затезну чврстоћу. Први део ознаке је:

- а) S конструкциони челици у које спадају и финозрни челици,
 - Р челици за опрему под притиском,
 - L челици за цеви за цевоводе,
 - Е челици за механичке конструкције.

После ове ознаке пише се број који представља најмању утврђену вредност напона течења у N/mm^2 за опсег најмањих дебљина.

Напон течења односи се на горњи (ReH), доњи (ReL), конвенционални (Rp) или напон течења при утврђеном трајном издужењу (Rt) у зависности од захтева у одговарајућем стандарду за производ.

- б) В бетонски челици, после које се пише број који представља утврђену вредност за затезну чврстоћу (Rm) у N/mm^2
- ц) Y челици за преднапрезање бетона, после које се пише број који представља утврђену вредност за затезну чврстоћу (Rm) у N/mm^2
- д) R челици за шине или у облику шина, после које се пише број који представља најмању утврђену вредност за затезну чврстоћу (Rm) у N/mm^2
- е) Н хладноваљани пласнати производи од челика, после које се пише број који представља најмању утврђену вредност за напон течења

(ReL) у N/mm^2 или, ако је специфицирана само затезна чврстоћа, слово Т, после које се пише број који представља најмању утврђену вредност за затезну чврстоћу (Rm), N/mm^2

- ф) D за топловаљане производе намењене за обликовање у хладном стању,
- 1) C за хладноваљане производе
- 2) D за топловаљане производе намењене за обликовање у хладном стању,
- 3) X за производе за које услови ваљања нису назначени и још две ознаке које карактеришу челик, а које додељује одговорна организација.
- г) Т фини лим, бели лим, хромирани лим (производи од челика за амбалажу) иза које се додају и друга слова и бројке.
- х) М челици за примену у електротехници иза које се додају и друга слова и бројке.

Означавање челика из групе 2 (на основу хемијског састава)

За потребе означавања челика према хемијском саставу челици су подељени у четири подгрупе:

- Нелегирани челици са средњим садржајем мангана $< 1 \%$ носе ознаку C и стоструки средњи садржај C у процентима.
- Нелегирани челици са средњим садржајем $Mn \geq 1 \%$, нелегирани челици за обраду на аутоматима и легирани челици код којих је садржај сваког легирајућег елемента $< 5 \%$, носе ознаку поређану једну за другом:

-Стоструки садржај C у %;

-Хемијски симболи легирајућих елемената који дефинишу челик. Редослед симбола је према вредности садржаја;

-Бројеви који означавају вредности легирајућих елемената у % помножени са фактором из табеле 1, заокружени на најближи цео број.

Бројеви који се односе на различите елементе раздвајају се цртицама.

Табела 1- Фактори за легирајуће елементе у челицима [6]

Елемент	Фактор	Елемент	Фактор
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4	Ce, N, P, S	100
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10	B	1000

- Легирани челици код којих је садржај најмање једног легирајућег елемента $\geq 5\%$, носе ознаку поређану једну за другом:

-Словна ознака X;

-Стоструки садржај C у %;

-Хемијски симболи легирајућих елемената који дефинишу челик. Редослед симбола је према вредности садржаја;

-Бројеви који означавају вредности легирајућих елемената у %, заокружен на најближи цео број.

- Брзорезни челици носе ознаку:

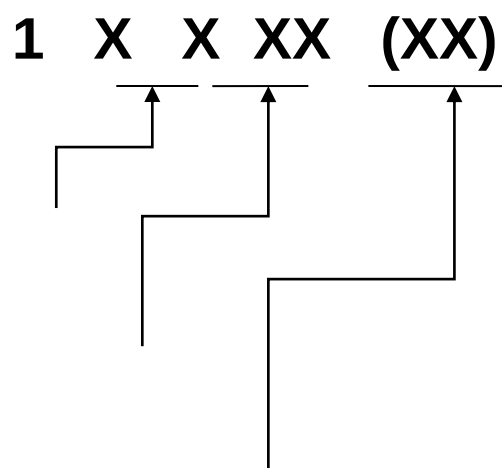
-Словну ознаку HS;

-Бројеве који показују вредности садржаја легирајућих елемената у следећем редоследу: волфрам (W), молибден (Mo), ванадијум (V) и кобалт (Co). Сваки број представља средњи садржај елемента, заокружен на најближи цео број.

Бројеви и различити елементи раздвајају се цртицом.

Систем за означавање челика према SRPS EN 10027-2:2005, бројчане ознаке

Структура бројчаних ознака челика према SRPS EN 10027-2 приказана је у даљем тексту. Ознака се састоји из низа бројки које се пишу једна за другом, без размака или других ознака између њих.



- Број групе материјала

1= челик

- Број групе челика

(видети у табели 2)

- Редни број

Бројке у заградама су предвиђене за евентуално (будуће) проширење ознаке

- Прва ознака, број 1. значи да је материјал челик. На овом месту могу бити и друге бројчане ознаке и то од 2 до 9 које се додељују за друге материјале.
- Иза прве бројчане ознаке следи друга од два броја, који представљају број групе челика, што је дато у табели 0.3. На пример, број 05 значи да је у питању квалитетан челик са средњим садржајем угљеника од 0,25 до 0,55 % ($0,25\% \leq C < 0,55\%$) који има затезну чврстоћу од 500 до 700 N/mm^2 ($500 N/mm^2 \leq R_m < 700 N/mm^2$) (табела 2).
- Иза друге бројчане ознаке од два броја следи трећа, као редни број која се, такође, састоји од два, евентуално четири броја. Редни број челика се додељује на основу захтева који је приказан у обрасцу I (табела 3.) и обрасцу II (табела 4). Захтев подноси произвођач материјала или национална стандардна организација. Додељивач броја челику је одговарајући технички комитет Европске уније ECISS. У стандарду су дата детаљна упутства за правилно попуњавање образаца I и II.

Ознака челика из претходног примера је 1.0570, 1. значи да је материјал челик, 05 значи да је челик квалитетан са садржајем C од 0,25 до 0,55%, који има затезну чврстоћу од 500 до 700 N/mm^2 . Број 70 је редни број челика под којим се могу добити детаљне информације о хемијском саставу челика и његовим механичким карактеристикама.

Табела 2 - Означавање групе челика (бројчане ознаке)

Нелегирани челици				Легирани челици								
	Основни челици		Квалитетни челици	Специјални челици	Квалитетни челици	Челици за алате	Резни челици	Нерђајући челици и челици отпорни на топлоту	Конструкциони челици			
0	00	90		10 Челици са посебним физичким особинама		20 Cr	30	40 Нерђајући челици Ni<2,5%, без Mo, Nb, Ti	50 Mn-Si-Cu	60 Cr-Ni Ca 2% ≤ Cr<3%	70 Cr Cr-B	80 Cr-Si-Mo Cr-Si-Mn-Mo Cr-Si-Mo-V Cr-Si-Mo-Mn-V
1			01 91 Конструкциони челици за општу употребу са $R_m < 500 \text{ N/mm}^2$	11 Конструкциони челици за опрему под притиском са C<0,50%		21 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-Si	31	41 Нерђајући челици са Ni<2,5%, са Mo, без Nb, Ti	51 Mn-Si Mn-Cr	61	71 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-B Cr-Si-Mn	81 Cr-Si-V Cr-Mn-V Cr-Si-Mn-V
2			02 92 Конструкциони челици за специјалне намене који нису намењени за термичку обраду са $R_m < 500 \text{ N/mm}^2$	12 Конструкциони челици за опрему под притиском са C≥0,50%		22 Cr-V Cr-V-Si Cr-V-Mn Cr-V-Mn-Si	32 Брзорезни челици са Co	42	52 Mn-Cu Mn-V-Si Mn-Si-V	62 Ni-Si Ni-Mn Ni-Cu	72 Cr-Mo са Mo<0,35% Cr-Mo-B	82 Cr-Mo-W Cr-Mo-W-V
3			03 93 Челици са средњим садржајем C<0,12% или $R_m < 400 \text{ N/mm}^2$	13 Конструкциони челици за опрему под притиском		23 Cr-Mo Cr-Mo-V Mo-V	33 Брзорезни челици без Co	43 Нерђајући челици са Ni≥2,5%, без Mo, Nb, Ti	53 Mn-Ti Si-Ti	63 Ni-Mo Ni-Mo-Mn Ni-Mo-Cu Ni-Mo-V Ni-Mn-V	73 Cr-Mo са Mo≥0,35% Cr-Mo-B	83
4			04 94 Челици са средњим садржајем 0,12% ≤C<0,25% или $400 \text{ N/mm}^2 \leq R_m < 500 \text{ N/mm}^2$	14		24 W Cr-W	34	44 Нерђајући челици са Ni≥2,5%, са Mo, без Nb, Ti	54 Mo Nb-Ti-V W	64	74	84 Cr-Si-Ti Cr-Mn-Ti Cr-Si-Mn-Ti,
5			05 95 Челици са средњим садржајем 0,25% ≤C<0,55% или $500 \text{ N/mm}^2 \leq R_m < 700 \text{ N/mm}^2$	15 Челици за алате		25 W-V Cr-W-V	35 Челици за лекаје	45 Нерђајући челици са посебним додацима	55 В Mn-B Mn<1,65% %	65 Cr-Ni-Mo са Mo<0,4% Ni<0,2%	75 Cr-V са Cr<0,2%	85 Челици за нитрирање

Табела 2 – наставак табеле

Нелегирани челици				Легирани челици															
Основни челици	Квалитетни челици	Специјални челици	Квалитетни челици	Челици за алате	Резни челици	Нерђајући челици и челици отпорни на топлоту	Конструкциони челици												
6	00	06	Челици са средњим садржајем C>0.55% или $R_m \geq 700 \text{ N/mm}^2$	Челици за алате	16	Челици за алате	26	W осим група 24, 25, и 27	36	Материјал и са посебним магнетским особинама без Cr	46	Нерђајући челици и челици отпорни према топлоти легирани са Ni	56	Ni	66	Cr-Ni-Mo са Mo<0,4 % 2,0%≤Ni <3,5%	76	Cr-V са Cr≥ 2,0%	86
7		07	Челици са високим садржајем P и S	Челици за алате	17	Челици за алате	27	са Ni	37	Материјал и са посебним магнетским особинама са Cr	47	Челици отпорни према топлоти са Ni≥2,5%	57	Cr-Ni са Cr< 1,0%	67	Cr-Ni-Mo са Mo<0,4 % 3,5%≤Ni <5,5% Mo≥0,4 %	77	Cr-Mo-V	87-88-89 Челици који нису намењени за термичку обраду која се врши код корисника
8		18	Челици за алате	Челици са посебним физичким особинама	08	98	Челици са посебним физичким особинама	28	Остали	38	Материјал и са посебним физичким особинама без Ni	48	Челици отпорни према топлоти са Ni≥2,5%	58	Cr-Ni са 1%<Cr≤ 1,5%	68	Cr-Ni-V Cr-Ni-W Cr-Ni-V-W	78	88-89 Заварени челици високе чврстоће
9		19	Конструкциони челици за опрему под притиском	Челици за остале области примене	09	99	Челици за остале области примене	29	39	Материјал и са посебним физичким особинама са Ni	49	Материјали са посебним особинама на повишеним температурама са Ni	59	Cr-Ni са 1,5%≤Cr <2,0%	69	Cr-Ni Осим група од 57 до 58	79	Cr-Mn-Mo Cr-Mn-Mo-V	

Табела 3 - образац I додељивање редног броја врстама челика за које је основни критеријум хемијски састав [6]

Подносилац захтева:			Име: Организација: Адреса: Контакт:							
	Број челика	Назив челика	Облик	Дебљина производа (mm)	Стање	C%	Si%	Mn%	P%	S%
Подносилац захтева	1.									
Додељивач броја	1.									
Cr%	Mo%	Ni%					Утврђено у	Примена	Особине	Датум
Допунске информације (од подносиоца захтева или додељивача броја)										

Табела 4 - Образац II. Додељивање редног броја врстама челика за које су основни критеријуми механичке особине [6]

Подносилац захтева:			Име:							
			Организација:							
			Адреса:							
			Контакт:							
	Број челика	Назив челика	Облик	Дебљина производа (mm)	Стање	R_e $\frac{N}{mm^2}$	R_m $\frac{N}{mm^2}$	$A_{min} A_{80}$ %	$KV_{min} RT$	$TT_{kv} max$
									L (J)	T (J)
									L °C	T °C
Подносил ац захтева	1.									
Додељивач броја	1.									
C%	Si%	Mn%	P%	S%			Утврђено у	Примена	Особине	Датум
Допунске информације (од подносиоца захтева или додељивача броја)										

Напомена:

 $R_m (N/mm^2)$ - затезна чврстоћа $R_e (N/mm^2)$ - напон течења (R_{eH} или $R_{ep0,2}$) A или A_{80} - најмање издужење после прекида у процентима KV_{min} - најмања енергија удара која је потребна да би се епрувета са V зарезом преломила по Шарпију у J L - епрувета узета уздужно T - епрувета узета попречно RT - температура околине $TT_{kv} max$ - температура испитивања у ($^{\circ}C$) са посебном енергијом прелома $KV = 27J$

Означавање челика према SRPS CR 10260, додатне ознаке

Овај стандард SRPS CR 10260 саставни је део стандарда SRPS EN 10027-1 и SRPS EN 10027-2 и дефинише додатне ознаке челика које су допуна бројчаним и словним ознакама. Додатне ознаке одвајају се од основних ознака знаком плус (+) и састоје се из два дела, додатне ознаке и додатне допунске ознаке.

Додатне ознаке подељене су у две групе: групу 1 и групу 2. Додатне ознаке из групе 2 морају се користити заједно само са додатним ознакама из групе 1 и стављају се иза њих.

Додатне ознаке су различите за различите групе челика. Примери неких од додатних ознака заједно са основним ознакама дате су у табелама 5, 6 и 7.

Додатне допунске ознаке дате су у табелама 8, 9 и 10 [6].

Табела 5 - Додатне ознаке за конструкционе челике [6]

Челици означени на основу механичких или физичких особина. Конструкциони челици							
Основне ознаке		Додатне ознаке за челик					
Словна ознака	Механичке особине	Група 1			Група 2	За производе од челика	
G= ливени челик S= конструкциони челик	Најмања вредност напона течења R_e у (N/mm^2) , за опсег најмањих дебелина	Потребна енергија удара приликом прелома		Температура испитивања	C=специјално обликовање у хладном стању D=превлака нанесена потапањем у растоп E=емајлирање F=ковање H=шупљи профил L=ниска температура M=термомеханичко обликовање N=нормализовање или нормализационо ваљање O=offshore P=потпорни зид Q=каљење и отпуштање S=бродске конструкције или конструкције за пловидбу T=цеви W=отпорност према атмосферској корозији ap= хемијски симбол утврђеног легирајућег елемента, на пример Cu, са једном бројком која представља десетоструку средњу вредност (заокружено на 0,1%) из опсега утврђеног садржаја тог елемента	Табеле 8, 9, 10	
		7J	0J	0J			°C
		R	R	R			20
		0	0	0			0
		2	2	2			-20
		3	3	3			-30
		4	4	4			-40
		5	5	5			-50
		6	6	6			-60
		А-Отврдњавање термичким таложењем М-термомеханичко ваљање N-нормализовање или нормализовано ваљање Q-каљење и отпуштање G-остале карактеристике					

Табеле
8, 9, 10

Табела 6 - Додатне ознаке за челике за механичке конструкције [6]

Челици означени на основу употребе и механичких или физичких особина. Челици за механичке конструкције				
Основне ознаке		Додатне ознаке за челик		
Словна ознака	Механичке особине	Група 1	Група 2	Допунске ознаке за производе од челика
Е= челици за механичке конструкције	Најмања вредност напона течења R_e у (N/mm^2), за опсег најмањих дебљина	G= остале карактеристике, а ако је потребно у наставку је 1 или 2 места	С= погодност за извлачење у хладном стању	Табела 10

Табела 7 - Додатне ознаке за легиране челике [6]

Челици означени на основу хемијског састава. Легирани челици (осим брзорезни) код којих је садржај бар једног од легирајућих елемената $\geq 5\%$				
Основне ознаке			Додатне ознаке	
Словна ознака	Садржај угљеника	Легирајући елементи	За челик	За производе од челика
			Група 1	Група 2
G= ливени челик ако је то потребно Х= садржај најмање једног легирајућег елемента $\geq 5\%$	ppp=100 x средњи садржај угљеника. Ако опсег садржаја угљеника није специфициран, мора да се да одговарајућа репрезентативна вредност	Хемијски симболи легирајућих елемената иза којих су бројеви раздвојени цртицом, који представљају средњи садржај елемената у % заокружено на најближи цео број		Табела 8 и табела 10

Табела 8 - Додатне допунске ознаке за специјалне захтеве [6]

Ознака	Значење
+H	Способност за каљење (прокаљивост)
+Z15	Гарантоване особине по целој дебљини; најмање сужење 15%
+Z25	Гарантоване особине по целој дебљини; најмање сужење 25%
+Z35	Гарантоване особине по целој дебљини; најмање сужење 35%

Табела 9 - Додатне допунске ознаке за врсте превлака [6]

Ознака	Значење
+A	Превлака од алуминијума нанесена топлим поступком (потапањем у растоп)
+AR	Превлака од алуминијума нанесена облагањем
+AS	Превлака од легуре алуминијум-силицијум
+AZ	Превлака од легуре Al-Zn (>50% Al)
+CE	Превлака од хром/хром оксида нанесена електролитичким поступком (ECCS)
+CU	Превлака од бакра
+IC	Неорганска превлака
+OC	Органска превлака
+S	Превлака од калаја нанесена топлим поступком (потапањем у растоп)
+SE	Превлака од калаја нанесена електролитичким поступком
+T	Превлака од легуре олово-калај нанесена топлим поступком (потапањем у растоп)
+TE	Превлака од легуре олово-калај нанесена електролитичким поступком
+Z	Превлака од Zn нанесена хладним поступком (галванизацијом)
+ZA	Превлака од легуре Zn-Al (>50% Zn) нанесена топлим поступком (потапањем у растоп)
+ZE	Превлака од Zn нанесена електролитичким поступком
+ZF	Превлака од легуре Zn-Fe нанесена топлим поступком (потапањем у растоп)
+ZN	Превлака од легуре Zn-Ni нанесена електролитичким поступком
Напомена: ове ознаке се одвајају од претходних знаком плус (+). Да би се избегло мешање са осталим ознакама, испред ових ознака може да се стави слово S, на пример: +SA.	

Табела 10 - Додатне допунске ознаке за стање после обраде [6]

Ознака	Значење
+A	Жарено ради омекшавања (смањење тврдоће)
+AC	Жарено ради глобулизације (сфероидизације) угљеника
+AR	Необрађено после ваљања (без посебних услова ваљања или термичке обраде)
+AT	Жарено ради растварања
+C	Отврдњавање хладном обрадом
+C _{nnn}	Отврдњавање хладном обрадом да би се добила најмања затезна чврстоћа од nnn у N/mm^2 ,
+CR	Ваљање у хладном стању
+DC	Услов за испоруку који је препуштен избору произвођача
+FP	Термички обрађено ради добијања феритно-перлитне структуре и тврдоће у одређеном опсегу
+HC	Ваљање у топлем стању и отврднуто у хладном
+I	Термички обрађено на константној температури (изотермички)
+LC	Равнање или вучење у хладном стању
+M	Термомеханички обликовано
+N	Нормализовано или нормализационо обликовано
+NT	Нормализовано и отпуштено
+P	Отврдњавање термичким таложењем
+Q	Каљено
+QA	Каљено на ваздуху
+QO	Каљено у уљу
+QT	Каљено и отпуштено
+QW	Каљено у води
+RA	Жарено ради рекристализације
+S	Термички обрађено ради сечења маказама (обрезивање) у хладном стању
+T	Отпуштено
+TH	Термички обрађено за добијање тврдоће у одређеном опсегу
+U	Необрађено
+WW	Прерађено у топлем стању

У данашње време у инжењерској пракси, за означавање нерђајућих челика користе се скраћенице – A2, A3, A4, A5. Ознака A2 датира из 1912. године, када је створен „Аустенитни челик Тест Серије 2“. Развојем машинских материјала касније су настали и A3, A4 и A5. У пракси се најчешће користе нерђајући челици отпорни на воду и атмосферске утицаје са ознаком A2(AISI 304, DIN 1.4301, X5CrNi 18-0, Č.4580) и киселоотпорни нерђајући челици са ознаком A4 (AISI 316, DIN 1.4401, X5CrNiMo 17-2-0, Č.4574) [7].

У табелама 11, 12, 13 приказан је упоредни преглед нерђајућих челика ознаке према SRPS EN стандардима (европским) и према SRPS (JUS) стандардима

Табела 11- Упоредни преглед ознака нерђајућих мартензитних челика и нерђајућих челика за отврдњавање термичким таложењем [6]

Ознаке према SRPS EN стандардима (европским)		Ознаке према SRPS (JUS) стандардима	Ознаке према SRPS EN стандардима (европским)		Ознаке према SRPS (JUS) стандардима
основна	бројчана		основна	бројчана	
X12Cr13	1.4006	Č41701	X2CrNi12	1.4003	—
X12CrS13	1.4005	—	X2CrTi12	1.4512	—
X20Cr13	1.4021	Č4172	X6CrNiTi12	1.4516	—
X30Cr13	1.4028	Č4173	X6Cr13	1.4000	Č4170
X29CrS1	1.4023	—	X6CrAl13	1.4002	Č49702
X39Cr13	1.4031	Č41731	X2CrTi17	1.4520	—
X46Cr13	1.4034	Č4175	X6Cr17	1.4016	Č4174
X50CrMoV15	1.4116	Č4770	X3CrTi17	1.4510	Č49701
X70CrMo15	1.4109	—	X3CrNb17	1.4511	—
X14CrMoS17	1.4104	Č4790	X6CrMo17-1	1.4113	—
X39CrMo17-1	1.4122	—	X6CrMoS17	1.4105	Č47701
X105CrMo17	1.4125	—	X2CrMoTi17-1	1.4513	—
X90CrMoV18	1.4112	Č.4772	X2CrMoTi18-2	1.4521	—
X17CrNi16-2	1.4057	Č4570	X2CrMoTiS18-2	1.4523	—
X3CrNiMo13-4	1.4313	—	X6CrNi17-1	1.4017	—
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	—	X6CrMoNb17-1	1.4526	—
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	—	X2CrNbZr17	1.4590	—
X7CrNiAl17-7	1.4568	—	X2CrAlTi18-2	1.4605	—
X8CrNiMoAl15-7-2	1.4532	—	X2CrTiNb18	1.4509	—
X5CrNiMoCuNb14-5	1.4594	—	X2CrMoTi29-4	1.4592	—

Табела 13- Упоредни преглед ознака нерђајућих аустенитних челика EN 10088-1 [6]

Ознаке према SRPS EN стандардима (европским)		Ознаке према SRPS (JUS) стандардима	Ознаке према SRPS EN стандардима (европским)		Ознаке према SRPS (JUS) стандардима
Основна	Бројчана		Основна	Бројчана	
X10CrNi18-8	1.4310	Č.4571	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	Č4573
X2CrNiN18-7	1.4318	—	X1CrNiMoN25-22-2	1.4466	—
X2CrNi18-9	1.4307	—	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	Č4574
X2CrNi19-11	1.4306	Č45701	X6CrNiMoNb17-12-2	1.4580	Č4583
X2CrNiN18-10	1.4311	Č45707	X2CrNiMo17-12-3	1.4432	—
X5CrNi18-10	1.4301	Č4580	X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	Č45709
X8CrNiS18-9	1.4305	Č4590	X3CrNiMo17-13-3	1.4436	Č45706
X6CrNiTi18-10	1.4541	Č4572	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	Č45704
X6CrNiNb18-10	1.4550	Č4582	X2CrNiMoN18-12-4	1.4434	—
X4CrNi18-12	1.4303	Č45702	X2CrNiMo18-15-4	1.4438	Č45705
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	Č45703	X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	Č47702
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	Č45708	X2CrMnNiN17-7-5	1.4371	—

5. Хемијске и механичке карактеристике нерђајућих челика

Хемијске особине

Хемијске карактеристике, су карактеристике материјала које се односе на његову структуру и његово формирање из основних елемената. Ова својства се испитују у лабораторијама и визуелно се не могу одредити. Често је нужно променити или уништити материјал да би се одредиле његове хемијске карактеристике. Појам структура односи се на унутрашњу грађу метала, одређену типом елементарне решетке као и обликом и величином металних зрна [8].

У техничкој пракси структура се може мењати:

- 1) легирањем (металима или неметалима)
- 2) термичком обрадом (нормализацијом, каљењем, отпуштањем)
- 3) прерадом на хладно (пресовањем, вучењем, ковањем)
- 4) израдом монокристала (вискера или масивних).

1) **Легирањем** се побољшавају механичке особине метала, отпорност на хабање, корозију, повишене и снижене температуре. Само неколико елемената се примењује у чистом облику, као нпр. Си за електричне проводнике. У техници се чешће примењују легуре, нпр. бакра: Си-Ni (константан) за електричне отпорнике, или Си-Pb (бронза) за лежишта. Без обзира на разлоге легирања (нпр. челика) потребно је проучити утицај легирајућих елемената на структуру јер она одређује особине (нпр. Сг и Ni код челика).

2) **Термичком обрадом** може се мењати не само облик и величина металног зрна већ и тип елементарне решетке. Тиме се знатно побољшавају механичке особине легура. У поступке термичке обраде спадају:

- Жарење (дифузионо, нормализационо, меко, потпуно, рекристализационо, за отклањање напона);
- Каљење (запреминско или потпуно, површинско);
- Отпуштање (ниско, средње, високо).

3) **Прерада на хладно** се изводи дејством ударних сила (хладно ковање) или мирног притиска (дубоко извлачење, пресовање, извлачење жице, топло и хладно ваљање плоче) при $T < T_g$ (температура рекристализације → за челик са 0,1% С износи 550 °C).

4) Израда монокристала (вискера или масивних)

Структурне грешке представљају одступање од правилне расподеле атома или групе атома и доводе до кривљења кристалне решетке. Уочене су готово код свих кристала, али најмање их имају влакнасти монокристали (вискери, пречника реда неколико μm – стаклена влакна (fiber glass), угљенична

влакна (carbon fiber) и масивни монокристали (пречника Ø100-150 mm, дебљине $s = 1$ mm). Масивни монокристали налазе примену при производњи композита (влакнасти монокристали утискују се у полимерне (полиестарске) смоле), од масивних монокристала се израђују полупроводници силицијума (Si), док највећу примену имају поликристали [8].

У табелама број 14, 15 дате су главне врсте нерђајућих челика и њихов хемијски састав и неки примери нерђајућих челика и њихов хемијски састав.

Табела 14 - Главне врсте нерђајућих челика и њихов хемијски састав [8]

Тип	Главни легирајући елементи
1. Феритни - α	Fe-Cr (12-25%) - Mo (1-4%), Ni (2%)
2. Аустенитни - γ	Fe-Ni (8-10%) - Cr (18-30%), Mn i N
3. Мартензитни	Fe-Cr (Cr<18%) - C (0.6-1.2%)
4. Дуплекс $-\alpha+\gamma$	Fe-Cr (18-30%) - Ni (3-9%)
5. Преципитационо ојачани	Fe-Cr-Ni, Al i Nb

Табела 15 - Примери нерђајућих челика и њихов хемијски састав [9]

Стандард EN (Еуропа)	No	AISI	C max	Cr	Ni	Mn max	P max	S max	Si max	Mo	Остали елемен ти
X6 Cr 17	1.4016	430	0,08	16-18	-	1	0,040	0,015	1	-	
X10 CrNiTi 18-10	1.4878	321H	0,10	17-19	9-12	2	0,045	0,030	1	-	Ti=5 x C min; 0,8 max
X6 Cr 17	1.4016	430	0,08	16-18	-	1	0,040	0,015	1	-	
X6 CrMo 17-1	1.4113	434	0,08	16-18	-	1	0,040	0,015	1	0,9-1,4	
X20 Cr 13	1.4021	420	0,16- 0,25	12-14	-	1,5	0,040	0,015	1	-	
X30 Cr 13	1.4028	420	0,26- 0,35	12-14	-	1,5	0,040	0,015	1	-	

Механичке карактеристике нерђајућих челика

Механичке особине, описују како се материјал понаша кад је изложен деловању сила. Делови машина и уређаја изложени су у експлоатационим условима различитим врстама оптерећења, а понекад и повишеним или сниженим температурама или корозионом дејству. Да би се установио "одговор" материјала на разне услове спољашњег оптерећења неопходна су лабораторијска испитивања, која кад је реч о механичким особинама треба да буду максимално прилагођена реалним условима у којима делови раде. Тестирањем материјала не добијају се само подаци потребни за пројектовање и конструкцију делова машина већ и неке карактеристике које се односе на могућност прераде полупроизвода у финалне производе. Једном речју механичке особине метала обухватају својства отпорности и својства деформације [8].

Механичка својства са применом неких врста нерђајућих челика дата су у табелама 16, 17, 18, 19, 20 :

Табела 16 - механичка својства и примена феритних нерђајућих челика [8]

Ознака челика EN	Састав “остало”	Механичка својства			Посебна отпорност и примери примене
		Rm [N/mm ²]	Rp0,2min [N/mm ²]	A5min [%]	
X6 Cr 17 (Č4174)	-	450-600	270	20	Корозионо постојани Прибор за јело (осим оштрице ножа), делови кућних апарата, делови уређаја у производњи азотне киселине и сапуна, у петрохемијској индустрији
X6 CrMo 17	1,10Mo	450-650	270	20	посебно отпоран на слану воду и органске киселине, за ауто- делове, оквири прозора, превлаке хладњака, кваке, оквири ретровизора
X8 CrTi 17 (Č4971)	0,70Ti	450-600	270	20	као X6Cr17, отпорнији на раст зрна, заварене делове кућних апарата, за сита и оквири
X8 CrNb 17	0,90Nb	450-600	270	20	делови уређаја у млекарама, пиварама, производњи боја и сапуна (за заварене делове)
X8CrMoTi 17	1,75Mo 0,65Ti	500-600	300	20	за јаче напрегнуте заварене делове апарата, у производњи јестивог сирћета, у млекарама
X12CrMoS17	0,25Mo 0,20S	700-850	450	12	за обраду одвајањем честица на аутоматима: завртње, матице, мале зупчанике, мале осовине.

Табела 17 - Механичка својства и примена аустенитних нерђајућих челика без δ -ферита у микроструктури [8]

Ознака челика	Састав “остало”	Механичка својства				Посебна отпорност и примери примене
		Rm [N/mm ²]	Rp 0,2 min [N/mm ²]	HB	A5 min [%]	
X5NiCrMo CuNb 20 18	2,25 Mo 2Cu 0,4 Nb	740	225	190	40	посебно повишена постојаност према сумпорној и фосфорној киселини; индустрија боја, вештачких влакана
X5 CrNiMoTi 25 25	2,25Mo 0,25Ti	740	225	190	30	заварљив без накнадне термичке обраде; индустрија текстила, целулозе, боја, фотоприбора и хемикалија, пластичних маса, гуме
X5NiCrMoCu Nb 22 18	3,25Mo 0,4Nb 1,25Cu	740	275	190	40	заварљив без накнадне термичке обраде индустрија боја, пластике и нафте

Табела 18 - механичка својства и примена аустенитних нерђајућих челика са <10% ферита у микроструктури [8]

Ознака челика		Састав “остало”	Механичка својства				Посебна отпорност и примери примене
			Rm [N/mm ²]	Rp 0,2 min [N/mm ²]	HB	A5 min [%]	
X12 CrNi 18 8	Č4571	-	700	215	180	50	Стандардни тип челика -предмети у домаћинству, апарати и уређаји у прехранбеној индустрији у млекарама и пиварама, ортопедији, примењив је до 300 °C
X5 CrNi 18 9	Č4580	-	700	185	180	50	Отпоран на различите органске и неорганске киселине, -индустрија масних киселина, папира, текстила, вештачких vlakana, апарата за прање. примењив до 300 °C Отпоран на ИКК и без термичке обrade након заваривања
X10 CrNiTi 18 9	Č4572	0,5 Ti	750	205	190	40	-млекарство, индустрија намирница, масних киселина, сапуна, коже, шећера, индустрија филмова. Примењив за притисне резервоаре до 450 °C
X5 CrNiNb 18 9	Č4571	0,7 Nb	740	205	190	40	Отпоран на азотну киселину отпоран према неоксидирајућим киселинама и према тачкастој корозији услед халогених медија Отпоран на ИКК и без термичке обrade
X5 CrNiMo 18 10		2,25Mo	700	205	180	45	-индустрија целулозе, боја, уља, сапуна, текстила, млекарства и пиваре
X10 CrNiMoTi 18 10	Č4571	2,25Mo 0,5Ti	750	225	190	40	Посебно отпоран на неоксидирајуће киселине, термичка обрада након заваривања непотребна. -индустрија текстила, сулфита, целулозе, масних киселина, гуме, боја, уређаја за медицину, фотографију и пластичне масе

Табела 19 - својства и примена аустенитно-феритних (дуплекс) нерђајућих челика [8]

Ознака челика основна	Ознака челика бројчана	Посебна отпорност и примери примене	
G-X8CrNiN 26 7	1.4347	Повишена својства чврстоће у односу на аустенитне врсте. Примена до 300°C.	Побољшана својства отпорности на корозију у морској води. Пумпе, бродски пропелери, хемијска индустрија
G-X 3CrNiMoN 26 6 3 G-X3CrNiMoCuN 26 6 3	1.4468 1.4515		Повећана отпорност на тачкасту корозију и корозију у зазору
G-X3 CrNiMoCuN 26 6 3 3	1.4517		Повећана отпорност на неоксидирајуће киселине нпр. сумпорна
G-X3 CrNiMoN25 7 4	1.4469		Услови повишеног притиска H ₂ S или повишене температуре у морској води
G-X40CrNi274	1.4340	Посебно за одливке сложених облика и више жилавости. За велика кућишта пумпи и кола	
G-X40CrNiMo 27 5	1.4464	У односу на 1.4340 повећана отпорност на корозију. Одливци изложени корозији и трошењу	

Табела 20 - Својства и примена мартензитних нерђајућих челика [8]

Челик	Посебна отпорност и примери примене	
X20Cr13 (Č4172)	Отпорни на воду и водену пару, на органске киселине: сирћетну, млечну, воћну	- Хируршки инструменти (клешта, пинцете) - Прибор за јело: виљушке, кашике - Машински делови: осовине, вентили, турбинске лопатице, "холандски" ножеви (за папир)
X20CrMo13	-Повишена постојаност у односу на X20Cr13 (посебно топлотна)	- као X20Cr13 али за радне температуре и до 500 ° C, за топлотно напрегнуте опруге
X22CrNi17 (Č4570)	-Отпорни на органске киселине које се јављају у индустрији намирница, сирћетне киселине и сапуна, на разређену азотну киселину, постојани на морску воду	- Осовине, вентили, делови пумпи, делови уређаја у млекарама, у индустрији папира, у производњи квасца и скроба, за делове компресора
X30Cr13 (Č4173)	Отпорни на воду и пару (само у каљеном стању)	- Опруге, завртњи (за рад у агресивној атмосфери), маказе, мерни алат
X36CrMo17 (алатни)	- У атмосфери амонијака, сирћетне киселине, па и соне киселине (PVC)	- делови калупа за прераду полимера, хируршки резни алат, зубарски алат
X42Cr13 (алатни)	- као X36CrMo17	као X36CrMo17, посебно за аминипласте
X45CrMoV15	- отпоран до 500°C	- Различити резни алати, хируршки скалпели
X90CrMoV18	-истовремено врло отпоран на хабање и корозију	-Ножеви за месо, скалпели, корозијски постојани котрљајући лежајеви, млазнице, прибор за јело отпоран на абразијске прашке за чишћење, бритве, жилети

Утицај појединих легирајућих елемената на механичка и остала својства може да се опише на следећи начин:

- Са повећањем садржаја мангана повећавају се затезна чврстоћа и тврдоћа, у мањој мери и напон течења, док се жилавост смањује.
- Са повећањем садржаја силицијума повећавају се напон течења и затезна чврстоћа, а смањује способност деформисања и жилавост.
- До садржаја од 5-6% Cr повећавају се затезна чврстоћа, напон течења и способност деформисања, а изнад тог садржаја ова својства опадају. Садржај Cr изнад 1% смањује жилавост. Повећањем садржаја Cr повећавају се отпорност према оксидацији на повишеним температурама и отпорност према корозији.
- До садржаја од 10% Ni повећавају се напон течења и затезна чврстоћа, а незнатно се смањује способност деформисања. Нарочито повољан утицај Ni има на жилавост на ниским температурама.
- Молибден, ванадијум и волфрам имају сличан утицај који се огледа у повећању напона течења, затезне чврстоће и тврдоће, уз смањење жилавости. Осим тога, ови елементи поправљају механичке особине на повишеним температурама, као и отпорност према корозији.
- Мала количина Al у челику повећава затезну чврстоћу, али смањује пластичност и жилавост. Са Cr и Si, Al повећава отпорност према оксидацији на повишеним температурама.
- Са повећањем садржаја бакра повећавају се затезна чврстоћа и напон течења, као и отпорност према атмосферској корозији и корозији у морској води, али се битно смањује жилавост.
- Ni и Ti повећавају затезну чврстоћу, али смањују жилавост. Користе се и као стабилизирајући елементи код челика отпорних према корозији у агресивним срединама.
- Олово повећава кртост струготине, па се користи код челика за аутомате.

6. Корозија нерђајућих челика

Корозија метала је разарање метала услед хемијског или електрохемијског дејства спољашње средине. Као резултат одигравања овог процеса јавља се постепено, а често и нагли губитак основне функције елемената система или система у целини. Корозија се према механизму процеса дели на *хемијску* и *електрохемијску* корозију [10].

Карактеристике хемијске корозије су следеће:

- Јавља се у неелектролитима (када радна средина није електролит);
- Директно настаје једињење које је корозиони продукт (оксиди, сулфиди и др.)
- Примери неелектролита: загрејани гасови, органске течности: нафта, горива, мазива, одмашћивачи, разређивачи боја и лакова.

Карактеристике електрохемијске корозије су следеће:

- Јавља се у електролитима
- Настајање слободних јона (електрохемијска оксидација) а затим једињење (корозиони продукт)

Према облику разарања метала постоје следећи облици корозије:

- Општа (униформна)
- Локална
- Селективна
- Интеркристална
- Напонска
- Ерозиона (ударна)
- Водонична
- Контактна

У пракси се више облика корозије може појавити заједно. Тако се на пример уз питинг корозију, под одређеним околностима појављују општа или пегаста корозија.

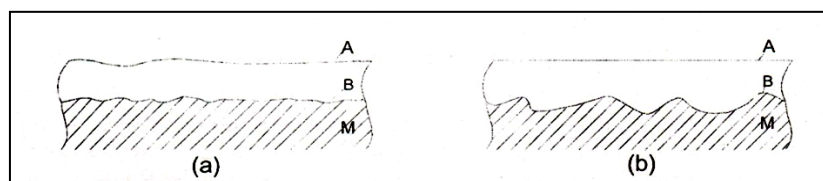
Облици корозије код нерђајућих челика

Општа корозија

Нерђајући челици се лако депасивирају у хлоридној киселини, у сулфатној киселини средњих концентрација, поготово при повишеним температурама. Депасивација у поменутим срединама обично је потпуна па изазива бржу или спорију општу корозију. Карактерише се као корозија с равномерним смањењем дебљине метала. До опште корозије долази када је читава површина материјала изложена агресивној средини под приближно једнаким условима с обзиром на унутрашње и спољашње факторе корозије.

Током одигравања овог вида корозије долази до замене анодних и катодних места, услед чега је растварање метала приближно једнако по целој површини метала. Овај облик корозије је знатно мање опасан од локалних видова корозије јер омогућава лако предвиђање века трајања конструкције. Јавља се обично на лимовима великих површина. Корозиони процес захвата читаву површину метала

Разарање може бити равномерно и неравномерно (слика 13). Јавља се код метала и легура са малим садржајем легирајућих елемената (елементи имају приближно исти потенцијал у електролиту у који су уроњени) [10].



Слика 13- а) равномерно б) неравномерно [10]

Методе праћења опште корозије:

- визуелно
- мерење губитка масе (g/m^2 дан) и
- мерење дебљине узорка (mm/god)

На пример, брзина корозије челика у морској води је 0,13 mm/god или 2,5 g/m^2 дан мала брзина: $\leq 0,15$ mm/god; велика брзина: $\geq 1,5$ mm/god.

Локална корозија

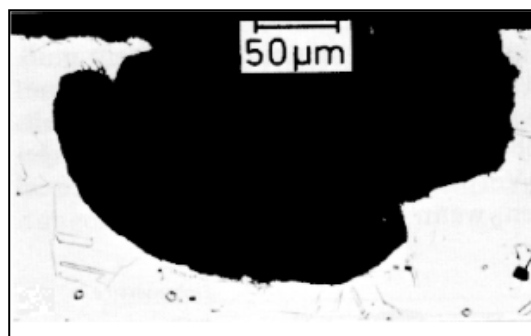
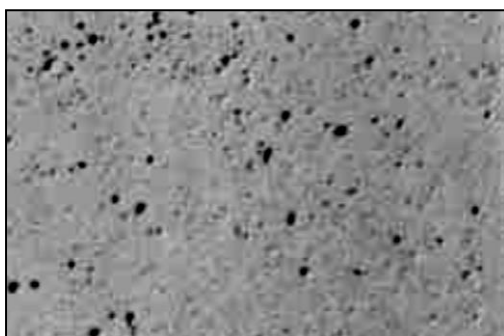
Настаје при образовању одвојених корозионих спрегова на површини метала-одвојене анодне и катодне реакције. Оксидација метала тече на једном, редукција агенса корозије на другом, а стварање продукта корозије на трећем месту. Зато продукт не штити метал од корозије. Анодна површина је знатно мања од катодне: губитак масе је мали, али је корозија опасна. Изазива је неједнака концентрација кисеоника и присуство племенитијег елемента на

површини метала, или хемијска нехомогеност легуре. Локална корозија често настаје на микроскопском нивоу и делује убрзано само на малом локалном подручју. Примери локалне корозије су влакнаста, јамичаста (питинг) и корозија у зазорима. За нерђајући челик се везује у првом реду питинг корозија [10].

Тачкаста (пегаста) корозија, питинг корозија

Тачкаста (питинг) корозија је најраширенија појава локалне корозије. Напада само неке делове изложене површине материјала. То је облик локализоване корозије који доводи до образовања малих јамица на површини метала. Настају тачкаста оштећења, шупљине које се протежу од површине у дубину метала. Зато је то врло опасан облик корозије.

Ова корозија се одиграва када постоји велика катодна и мала анодна површина, због чега је јачина напада на аноду велика. Готово увек се јавља у присуству Cl^- јона. Питинг корозију је тешко детектовати (мале јамике на површини а дубоке испод површине и могу бити покривене). Рупице које настају на површини обично су скривене слојем корозионих продуката који не штите метал од корозије. Зато питинг корозија обично остаје неоткривена све док не дође до перфорације металног дела. Рупице се лакше детектују на попречном пресеку као што показује слика 14.



Слика 14- изглед јамица на површини метала и попречном пресеку

Раширеност тачкасте корозије

- јавља се у порама племенитих превлака, на површини прекривеној честицама прашине, каменцем, продуктима корозије, алгама, металима склоним пасивирању.
- Овој корозији су склони нерђајући челици, легуре Al и легуре Cu. Код нерђајућих челика, за смањење тачкасте корозије се додају Cr, Mo и Ni.

Услови за почетак тачкасте корозије на пасивираним металу

- постојање оксидног филма на површини метала – материјал је у пасивном стању;
- присутност агресивних јона – најчешће Cl^- и SO_4^{2-} , а ређе Br^- , I^- , ClO_4^- ;

- потенцијал мора прећи (довољно само на тренутак и локално) критичну вредност *E_{pit}* – критични питинг потенцијал или потенцијал иницијације тачкасте корозије.
- Питинг је врло чест у слабо аерираном раствору NaCl и у мирној морској води, а поготово је брз у растворима соли које делују оксидативно и активирајући: FeCl₃, CuCl₂, HgCl₂ и NaClO.
- Питинг се појављује ако на малим површинама нестане пасивности. Ова корозија настаје у агресивним електролитима, јер делују корозиони спрегови са великом катодном (пасивном) и малом анодном (активном) површином.
- Питинг се спречава повишењем рН-вредности раствора соли, додатком оксиданса (нпр. нитрата и хромата), снажном аерацијом раствора (нпр. брзим мешањем), полирањем и одржавањем чистоће металних делова.

Код питинг корозије, дубина рупица је често више пута већа од њихове ширине, што је веома опасно. Зато је ради утврђивања опасности од питинг корозије, дефинисан питинг фактор:

$$\text{Питинг фактор} = \frac{\text{Дубина најдубље рупице}}{\text{Просечна дубина рупица}}$$

Вредност тог фактора креће се између 3 и 10. Пожељно је да буде што мањи. Ако је једнак 1, онда је то равномерна корозија.

Отпорност на рупичасту корозију може се проценити на основу вредности еквивалента отпорности према питинг корозији (pitting resistance equivalent number) или PREN:

- а) за феритне нерђајуће челике PREN = % Cr + 3,3% Mo
- б) за аустенитне нерђајуће челике PREN = % Cr + 3,3% Mo + 30% N
- с) за аустенитно-феритне нерђајуће челике PREN = % Cr + 3,3% Mo + 16% N

Према искуству, умерену отпорност на рупичасту корозију челик има уз PREN > 25, а велику уз PREN > 35

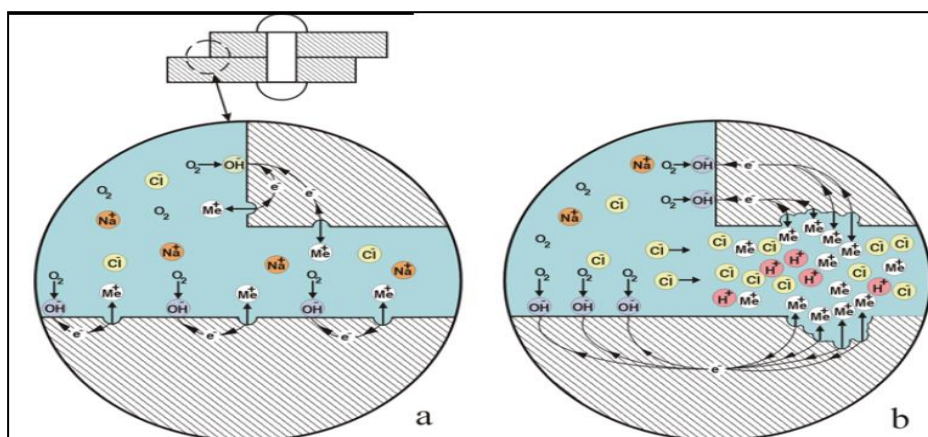
Смањење склоности према рупичастој корозији се постиже са:

- Повећањем отпорности материјала (легирањем са Cr, Mo, Ni)
- Смањењем агресивности корозионе средине
- Инхибицијом
- Катодном заштитом
- Смањењем храпавости површине (полирањем)
- Чишћењем површине
- Накнадном обрадом заварених спојева

Корозија у зазорима

- Настаје на месту спајања два дела који могу бити од истог или различитог материјала или код заварених спојева (нестручно изведених)
- То је вид локалне корозије сличан тачкастој корозији, само што анодно место није у јамици већ у зазору. У почетку, на свим деловима метала се једнако редукује кисеоник. Али, врло брзо се смањи довод кисеоника и инхибитора корозије до места у зазору, и отежа се одвођење јона метала из зазора. Зато површина метала у зазору постаје анодна у односу на површине око зазора [10].

Фазе корозије у зазорима (слика 15)



Слика 15- корозија у зазорима а) I фаза б) II фаза [10]

Примери корозије у зазорима на нерђајућем челику и алуминијуму су дати на слици 16:



Слика 16- Примери корозије у зазорима [10]

Интеркристална корозија

Интеркристална корозија је вид локалне корозије који разара метал на границама кристалних зрна (гранула, кристалита) ширећи се на тај начин у дубину. Интеркристална корозија се најчешће јавља код нерђајућих челика, легура на бази Al, Ni, Zn, Sn.

Границе зрна представљају потенцијална места за издвајање талога, интерметалних фаза и нечистоћа. Границе зрна се хемијски и физички разликују од унутрашњости зрна (најчешће су анодна места). Зато долази до селективног растварања границе зрна и уске зоне око границе зрна (слика 17).



Слика 17 – Интеркристална корозија [31]

Интеркристална корозија код нерђајућих челика (Cr-Ni) се одиграва зато што ивице кристала отпуштају карбиде Cr. Тиме ивице постају аноде, зато што имају мање Cr у односу на средину зрна. Овај тип корозије је веома опасан, зато што се тешко примећује пошто не изазива промене на површини метала. Корозија продире у дубину дуж граница зрна, чиме се смањује чврстоћа и жилавост метала. Коначна последица интеркристалне корозије је лом или чак распад материјала у зрна.

Услови настајања интеркристалне корозије:

- материјал у осетљивом стању (топлотном обрадом, врућим обликовањем, заваривањем);
- излучивање талога по границама зрна.

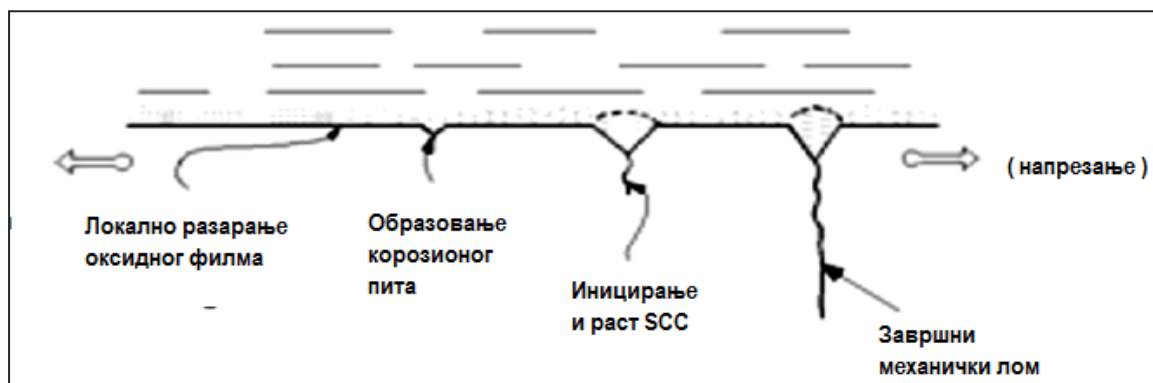
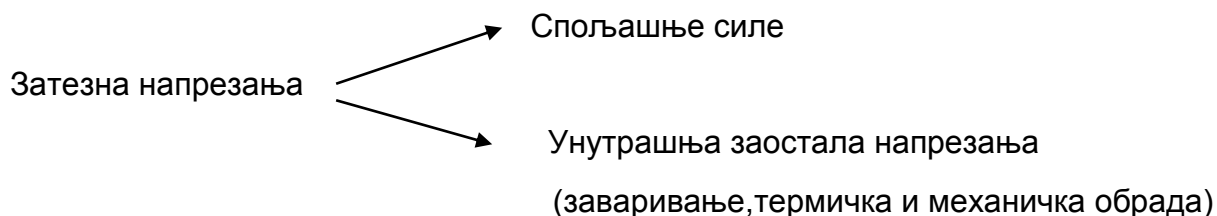
Смањење склоности ИКК постиже се:

- жарењем (1050 до 1100 °C, 10 до 40 min) при чему се карбид Cr_{23}C_6 раствара
- стабилизацијом карбидотворним металима: Ti, Nb, Ta. Тако се између зрна излучују TiC, NbC, TaC а не карбиди Cr
- снижавањем удела C испод 0,03% што онемогућује излучивање карбида.

Интеркристална корозија настаје ако су на границама зрна из нерђајућих челика излучени карбиди Cr, што се догађа најбрже између 500-700 °C ако се жарени материјал нагло не охлади у води или у уљу. Излучени карбиди садрже око 90% Cr, услед чега површина зрна садржи мање Cr, па граница зрна постане анодна према излученим карбидима и према маси метала. Све то проузрокује интеркристалну корозију у електролитима, поготову ако садржај Cr падне локално испод 12%. Постојање карбида познаје се по томе што површина постане млечна или зрнаста [10].

Напонска корозија

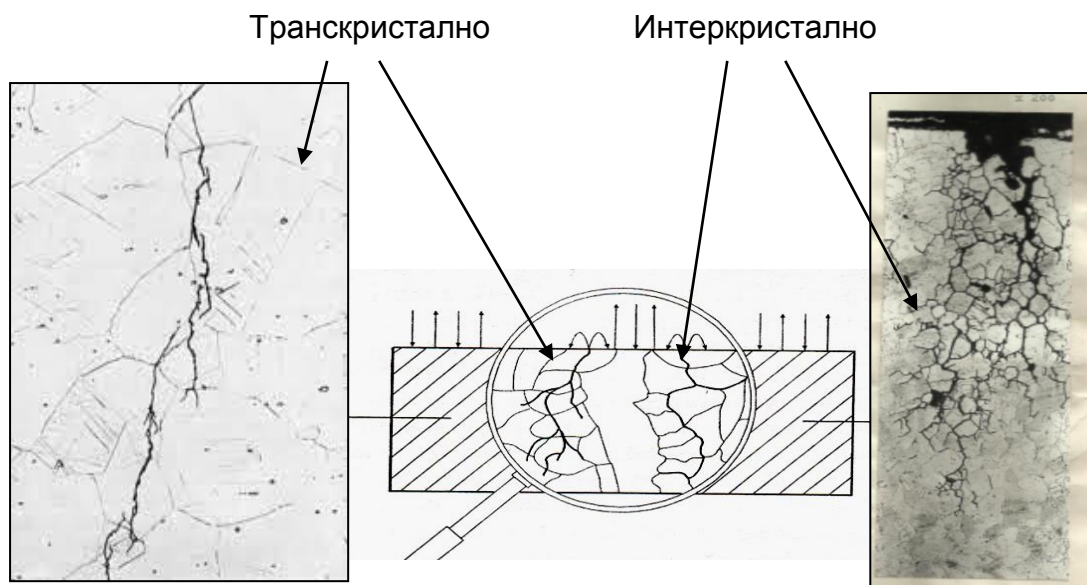
Настаје у условима истовременог деловања затезног напрезања и корозионе средине. Метал брже кородира у односу на случај да нема напрезања (слике 18, 19, 20).



Слика 18 - Фазе напредовања напонске корозије [31]



Слика 19 - Напонска корозија нерђајућег челика [31]



Слика 20-Проширење прспине при напонској корозији [31]



Слика 21– Последица напонске корозије [10]

Последица напонске корозије је лом или пуцање метала (слика 21).

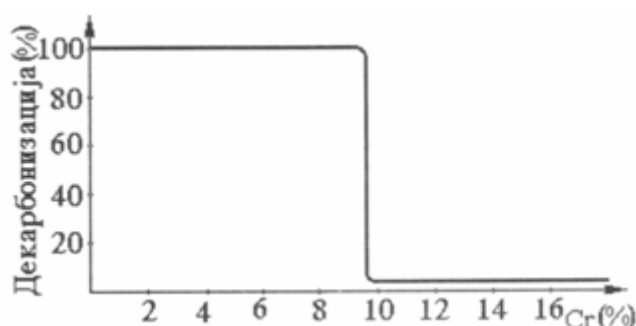
Средине које могу да проузрокују појаву напонске корозије код нерђајућих челика су раствор $\text{NaCl-H}_2\text{O}_2$; морска вода, H_2S ; HCl ; раствор $\text{NaOH-H}_2\text{S}$.

Склоност нерђајућих челика према напонској корозији може се смањити [11]:

- снижењем садржаја N испод 0,04%, односно повишењем садржаја C и Cu,
- катодном заштитом уз ниске густине електричне струје,
- деаерацијом,
- снижењем температуре хлоридних и базних раствора,
- десензибилизација за интеркристалну корозију,
- заменом аустенитних са аустенитно-феритним (дуплекс) нерђајућим челицима који су мање осетљиви на овај тип корозије.

Водонична корозија

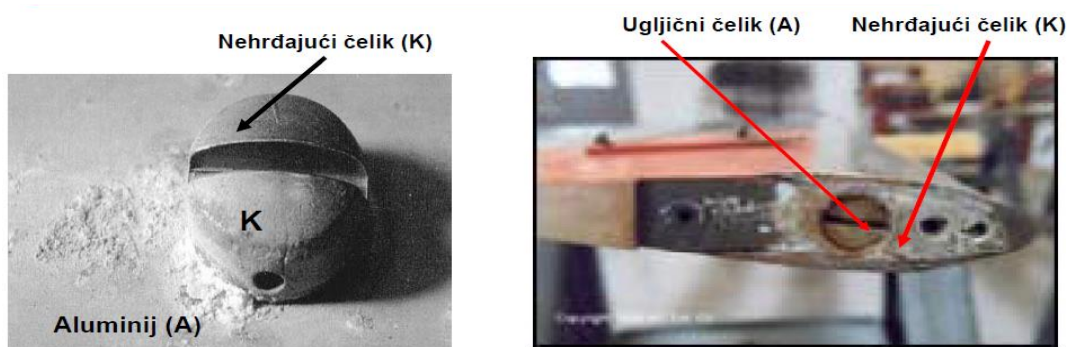
За разлику од електрохемијске корозије уз редукцију јона водоника (H^+), водоничну корозију изазива молекулски водоник (H_2). Зато се ова корозија јавља тамо где постоји повећана концентрација H_2 : постројења за хидрирање деривата нафте, за синтезу амонијака, постројења за галванизацију, за електролизу воде. Водоничну корозију узрокују атоми водоника, који због малог пречника лако улазе у унатрашњост метала. Оштећења од водоничне корозије могу бити водонични пливови (блистери), водонична кртост и декарбонизација. Дифузија атомарног H у челик се може спречити легирањем челика са Cr (слика 22):



Слика 22– Утицај концентрације Cr на постојаност челика према водоничној корозији

Контактна (галванска) корозија

Појачана корозија једног метала када је у контакту са другим металима. При контакту два метала, увек кородира метал негативнијег електродног потенцијала, док племенитији метал остаје заштићен и понаша се као катода. Пошто су нерђајући челици по правилу племенитији у спрегу са другим металима, они не кородирају, већ изазивају контактну корозију другог метала у контакту (слика 23):



Слика 23– Пример контактне корозије коју изазива нерђајући челик [10]

7. Заварљивост нерђајућих челика

Заварљивост је кључни појам у заваривачкој технологији, а односи се како на основни и додатни материјал, тако и на заваривани производ или структуру, параметре, режим и поступак заваривања. То је сложено својство и није га једноставно тачно одредити. Заварљивост је способност материјала, да се при одређеним повољним условима заваривања оствари континуирани заварени спој, који ће својствима удовољити предвиђеним условима и веку примене. На заварљивост метала утичу: хемијски састав (нарочито удео легирајућих елемената и могућих нечистоћа), димензије делова који се заварују, врста додатног материјала, припрема споја за заваривање, и друго [11].

Поједностављено, може се узети да је заварљивост својство завариваног метала које показује да се одређеним поступком заваривања може остварити хомогени спој, који ће удовољити предвиђеним условима и веку употребе завареног производа или структуре. Нема уопштене заварљивости неког метала. Она се мора утврдити за сваки поједини поступак заваривања, додатни материјал, врсту споја, предвиђену намену производа или структуре, односно за сваки случај заваривања посебно.

Хомогеност завареног споја може се нарушити, пре свега, појавом пукотина, неметалних укључака и порозности, па се заварљивост метала често оцењује на основу склоности појави пукотина.

Захтеви за добро заварљиве нерђајуће челике су:

- задовољавајућа жилавост основног метала;
- хемијски састав мора бити такав да након хлађења не долази до пораста кртости;
- што мање С јер С утиче на пораст закаљивости, тврдоће и кртости;
- само челици добијени у затвореним пећима (Сиенс-Мартинов поступак).

У пракси нема идеално заварљивих челика, па тако ни челика који се никако не могу заварити.

Значајно је да се додавањем С челику побољшавају механичка својства, али се погоршава његова заварљивост. На заварљивост угљеничних и нисколегираних челика утиче и дебљина завариваних делова. Што је већа дебљина, брже се одводи топлота у околне зоне завариваног споја, па то резултира већом брзином хлађења и могућношћу појаве пукотина. Није добро упуштати се у заваривање челика чији хемијски састав није познат.

Предности заваривања

- Упрошћавање конструкције, могућност примене нових, економски оправданих концепата конструкције;
- Замењује технологије ливења и ковања (одливке и отковке), уз одређене економске предности;
- Олакшана могућност обликовања конструкције, нпр. могућност решења конструкције као плочасте, решеткасте, кутијасте, коморне, љускасте;
- Смањење масе конструкције погодним избором и рационалном применом материјала, избором погодног завареног споја (сучеони, угаони, преклопни), начина заваривања и нарочито дозвољеног оптерећења завареног споја. У завареном споју са претежно статичким оптерећењем може бити предвиђено дозвољено оптерећење завареног споја за 30 и више процената него у основном материјалу. Заварене конструкције су за 20% лакше од закованих, а од ливених и до 50%.
- Повећање продуктивности остварено механизацијом и аутоматизацијом поступка заваривања.
- Снижавање производних трошкова (краће време израде – нпр. по дужном метру, нижи трошкови, мањи број радника и др.).
- Применљивост и могућност брзе реализације конструктивних пројеката и освајања производа.

Недостаци заваривања

- Заварени спој се образује на топло у уско омеђеном појасу завариваних делова – локално загревање.
- Поступак заваривања одиграва се поступно, у правцу зава, чиме је ток температуре веома неравномеран – настаје неравномерно температурско поље.
- Долази до промене структуре и механичких карактеристика завареног споја.
- При бржем хлађењу шава челика, са повишеним садржајем С, јавља се опасност од закаљивања (настанак кртих фаза) у зони утицаја топлоте и основном материјалу.
- Услед неравномерног загревања и хлађења настаје опасност од појаве унутрашњих напона и деформација.
- Квалитет шава и његова (способност) моћ ношења и функционална поузданост је безусловно зависна од сакривених унутрашњих грешака у шавовима. Унутрашње грешке условљавају носећи пресек шава, а имају и ефекат зареза. Уз дејство са унутрашњим напонима, ове грешке су извор латентних опасности за разарање шава.

- Опасности од електричне струје, електричног лука, гасног пламена, видљивог и невидљивог зрачења, (инфрацрвеног, ултраљубичастог, бљештаве светлости, аеросоли).
- Скупа, процесна и накнадна термичка обрада при изради одговорних конструкција од закаљивих метала и легура.
- Скуп стручни кадар–потреба за високообразованим стручњацима за заваривање, материјале, термодинамику, електрику, као и високообучених заваривача

Заварљивост појединих материјала

Завараљивост може бити:

- добра (ако се може заваривати без специјалних предрадњи и мера опреза),
- слаба (ако су потребне специјалне предрадње и мере опреза, на пример предзагревање због могућности настанка пукотина) и
- јако слаба заварљивост (ако су потребне такве предрадње и мере опреза да практично није могуће извести заваривање које би било економски прихватљиво).

Заварљивост високолегираних нерђајућих челика

Нерђајући челици садрже од 12 до 36% Cr, а могу бити додатано легирани с Ni, Mo. Постоје два основна проблема при њиховом заваривању:

- велики афинитет Cr и кисеоника узрокује стварање дебelih оксидних слојева на површини зава, који уласком у место зава значајно смањују његов квалитет. Стога технологија заваривања ових челика штити завар од приступа кисеоника;
- велики афинитет Cr према C узрокује стварање хромовог карбида на границама кристала, што смањује његову количину у тим подручјима, а тиме слаби отпорност према корозији. Због тога садржај C мора бити врло мали од 0,03 до 0,06%.

Приликом заваривања цеви од нерђајућег челика унутрашњост цеви се испуни неутралним (инертним) гасом ради заштите површине зава на страни корена [11].

Општа правила за заваривање нерђајућих челика су :

1. место завариваног споја мора бити чисто и глатко обрађено (без масноћа, влаге, премаза и других нечистоћа),
2. алати и брусне плоче не смеју да садрже карбиде већ се користе алуминијумски оксиди

3. средство за хлађење не сме садржати хлор,
4. пескарење с чистим песком,
5. феритни и мартензитни челици се обавезно предгревају,
6. одабир додатног материјала је врло важан.

Разлике између нерђајућих и нелегираних челика, важне за заваривање

Постоје значајне разлике (табела 21) између нерђајућих и нелегираних челика у коефицијенту топлотног ширења, топлотне проводљивости и електричном отпору (проводљивости), а о чему треба водити рачуна приликом конструисања склопова и заваривања [11]:

- коефицијент ширења је око 50% већи код нерђајућег челика, што значи да код загревања настају виша унутрашња напрезања и лаке деформације,
- коефицијент топлотне проводљивости је око 3 пута мањи код нерђајућег челика, што значи да топлота дуже остаје у завареном споју и што може проузроковати даље проблеме,
- електрични отпор код нерђајућег челика је преко 4 пута већи, што значи да се материјал више загрева код пролаза електричне струје, а пренесено на додатни материјал то значи да се жице и електроде могу мање струјно оптеретити за исти пречник.

Табела 21. Разлике између нерђајућих и нелегираних челика [11]

	Угљенични челик	AISI 304
Типична боја	Сиво-црна	Сребрно-сива
Линеарни коеф.топл.ширења код 20-800°C ($\times 10^{-6} \text{C}^{-1}$)	13	20
Топлотна проводљивост код 20-100°C (W/m°C)	47	16
Ел.отпор код 20°C	150	700
Магнетичност	Да	Не

Поступци за заваривање нерђајућих челика

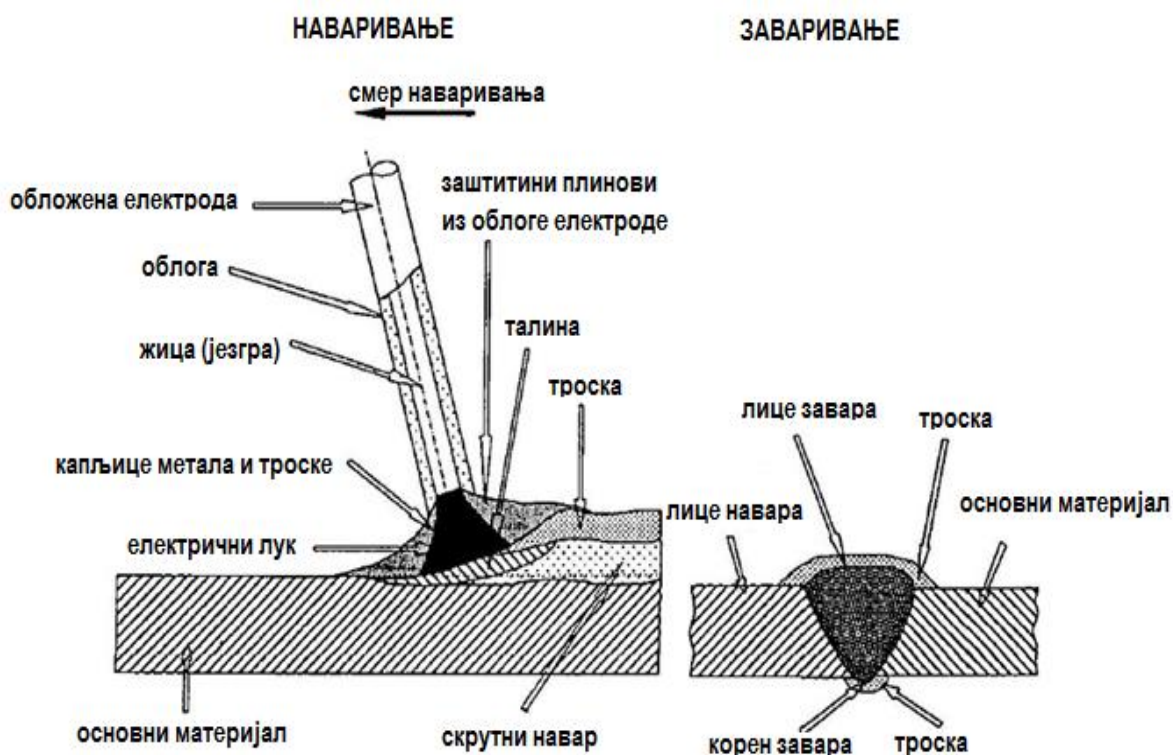
Уобичајени поступци који се користе приликом заваривања нерђајућих челика су:

- Ручно електролучно заваривање (REL).
- Нетопљивом електродом у заштити интерног гаса (TIG)
- Топљивом електродом (жицом) у заштити интерног гаса (MIG)

• Ручно електролучно заваривање (REL)

Ручно електролучно заваривање (REL) се сврстава у поступке заваривања топљењем, помоћу топлоте која се ослобађа у електричном луку. Заштита растопа од штетног деловања гасова из ваздуха (O_2 , H_2) остварује се помоћу облоге (топитељи, троска, гасови). Заварују се угљенични, ниско и високолегирани челици, легуре Ni, Cu, Al, дебљине 1 до 100 mm. Струја заваривања може бити једносмерна или наизменична, јачине 25-450 A, радног напона 15-40 V, и брзине заваривања до 120 mm/min [11].

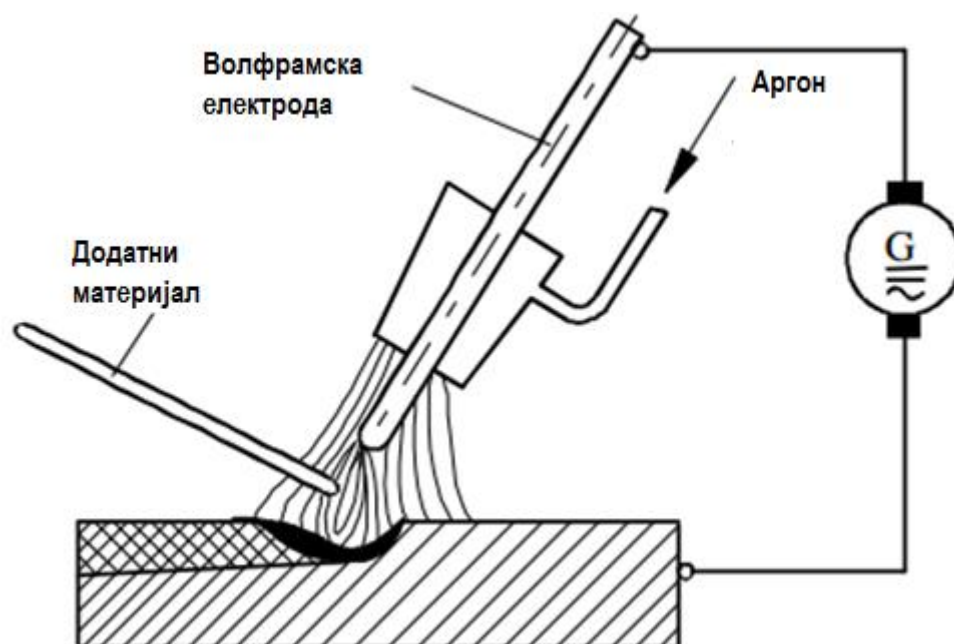
Шематски приказ REL поступка заваривања дат је на слици 24.



Слика 24-Шематски приказ REL поступка заваривања [11]

- **Аргонско заваривање TIG (WIG)**

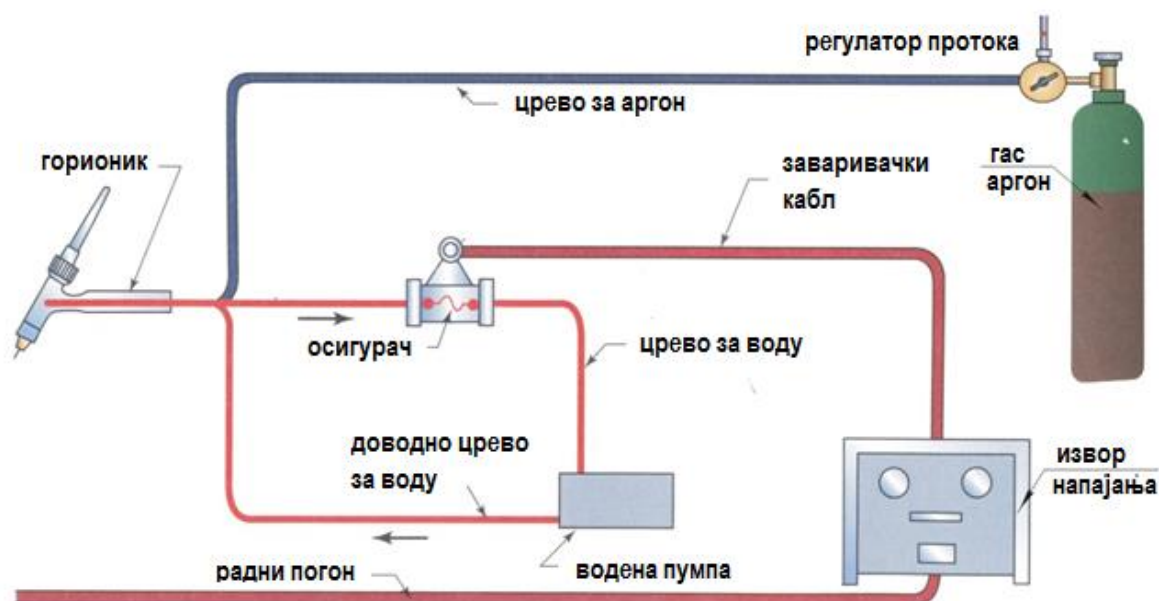
Назив TIG је скраћеница од тунгстен-инертан гас, према називу за W у англосаксонским земљама. Специфичност овог поступка јесте у томе што се електрични лук одржава између нетопљиве волфрамске електроде и основног материјала (слика 25). Рубни шавови добијају се стапањем посувраћених страница завариваних лимова, а остали шавови уз помоћ додатног материјала (шипке, $s \leq 6 \text{ mm}$). TIG се може механизовати помоћу посебних аутомата за довођење додатне жице пречника до 2,5 mm.



Слика 25– Шема TIG заваривања [11]

Аргонски се спајају сви заварљиви метали, али се због високе цене TIG-ом највише заварују високолегирани челици, нежелезни метали и њихове легуре, а нарочито Al и његове легуре. Електрични лук се код савремених уређаја успоставља помоћу високофреквентних јонизатора, односно посебног извора струје високог напона. Лук се може успоставити и додиром врха електроде и основног материјала, али се тиме прља електрода и убрзава њено трошење [11].

Приказ опреме за TIG-заваривање дат је на слици 26.



Слика 26– Шематски приказ комплетне опреме за TIG-заваривање

Табела 22 – Препоруке за избор основних параметара TIG заваривања нерђајућих челика [11]

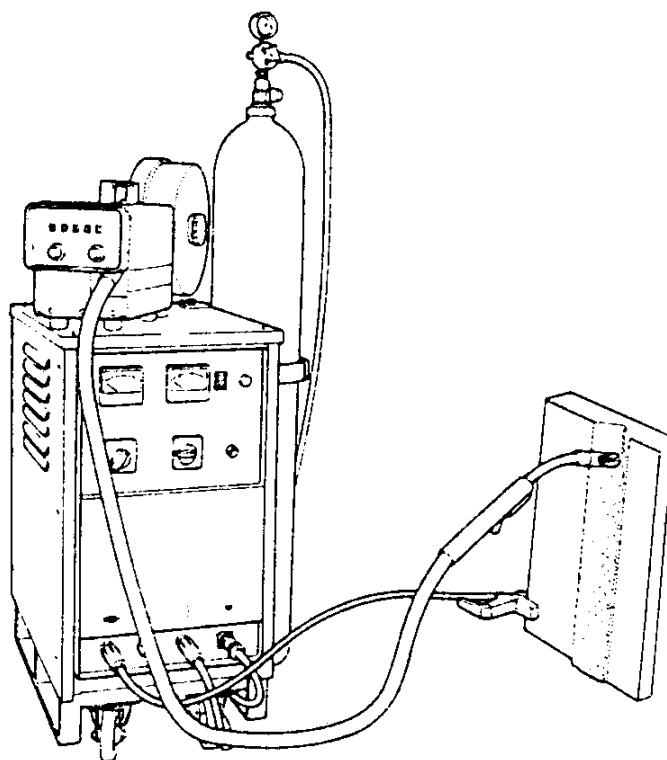
Дебљина материјала	Врста споја	Поралитет	Струја заваривања	Радни напон	Пречник електроде	Пречник додатног материјала	Проток заштитног гаса	Величина млазнице	Растојање млазнице од комада
mm	-	-	A	V	mm	mm	l/min	mm	mm
1,5÷3,2	I	E-	50÷90	12	2,4	1,6 ili 2,4	9,5	9,5	max 13
3,2÷6,5	V	E-	70÷120	12	2,4	2,4 ili 3,2	9,5	9,5	max 13
6,5÷12	X	E-	100÷150	12	2,4	2,4 ili 3,2	9,5	9,5	max 13

- **MIG - заваривање (Metal - Inertan Gas)**

MIG поступак је сличан MAG-у (код MAG - заваривања електродна жица пречника 0,8÷2,5 mm истовремено је и додатни материјал. На високој температури у луку, део гаса CO_2 се разлаже на CO и O_2 , што значи да је CO_2 активан у току процеса заваривања) с тим што се користи други заштитни гас - аргон и другачији пиштољ. Највише се примењује за заваривање легираних челика и нежелезних метала дебљине до 20 mm, помоћу жице пречника 1÷2,5 mm [11].

Важне напомене код поступка заваривања нерђајућих челика

Скоро све врсте нерђајућих челика могу се успешно заваривати у заштити инертних гасова. У примени су сви начини преноса додатног метала (краткоспојени, крупнокапљичасти, пулсирајући и пренос у млазу). Додавањем 3 до 5% кисеоника аргону, умањује се потребна јачина струје. Заваривање се изводи полуаутоматски или аутоматски једносмерном струјом обрнутог поларитета (жичана електрода везана за + пол). Неопходно је примењивати режиме заваривања који смањују удео основног метала у шаву и спајати челике и додатне метале са минималним садржајем одговарајућих примеса (P, S, Pb, Sn, Bi, O, H). Потребно је одржавати што краћи извучени - слободни део жичане електроде и одабрати оптималну брзину заваривања и потрошњу заштитних гасова ради спречавања продирања ваздуха у зону истопљеног метала.



Слика 27-Опрема за MAG/MIG заваривање [11]

Између поступака заваривања у заштити гасова топљивом електродном жицом MIG/MAG (или како се често јединствено називају GMA – gas metal arc), нема велике разлике јер су извори струје и поларитет исти а у додатним жицама разлике су незнатне. Који ће се заштитни гас употребити условљено је металуршким факторима и потребом да се контролише прштање и облик шавица.

У том смислу чист аргон се користи при заваривању нежелезних метала (углавном легура Al, Cu и његових легура) и легура Ni, мешавина $Ar-CO_2$ за угљеничне и нисколегиране челике ($Ar-5\% CO_2$ за тање пресеке и $Ar-20\% CO_2$ за дебље пресеке), а аргон са додатком $1\div5\% O_2$ за нерђајуће челике. Угљен-диоксид се самостално употребљава за заваривање угљеничних челика кратко спојеним преносом, односно при заваривању струјом веће јачине преносом у виду крупних капљица. Свим поступцима заваривања у заштити гаса сметају ваздушна струјања (ветар, промаја), јер се може одувати заштитни гас и настати порозност и оксидни укључци у металу шава. Такође је неопходно ламинарно струјање гаса [11].

Специфичности заваривања феритних нерђајућих челика:

- ограничена заварљивост због погрубљење структуре зоне утицаја топлоте и метала заваара,
- кртост.

Да се спречи повећање зрна, заваривање треба изводити на такав начин да основни материјал, који се налази непосредно уз завар, што краће време проведе на температури изнад $1150\text{ }^{\circ}C$. То се постиже избором поступка заваривања који ће имати мањи унос топлоте, а тиме и брзо хлађење.

Као додатни материјал за заваривање феритних челика користе се :

- истородни или
- аустенитни додатни материјал.

Предгревање на око $200\text{ }^{\circ}C$ може се користити при заваривању феритних челика са високим садржајем Cr и релативно високим садржајем C ($0,25\%$), а због склоности хладним пукотинама. У осталим случајевима предзагревање се не примењује. Оджаривање на температури $750 - 850\text{ }^{\circ}C$ и након тога брзо хлађење повећава истезљивост прелазне зоне и побољшава отпорност на интеркристалну корозију [12].

Специфичности заваривања аустенитних нерђајућих челика:

- добро заварљиви (уз изузетак челика који садрже сумпор или селен-челици за машинску обраду),
- топле пукотине,
- не предгревати.

Потребно је заваривати у што хладнијем стању (малим уношењем топлоте), што се постиже следећим мерама:

1. не предгревати
2. температура између пролаза треба бити што нижа, највише $100\text{ }^{\circ}C$

3. топлотни инпут треба бити што нижи (нпр. код REL заваривања дужина извлачења електроде мора бити велика, ширина гусенице $b \leq 2,5$ к пречник електроде).

Највећи проблем представља могућност сензибилизације односно преципитације хромових карбида на границама зрна у температурном опсегу од 425-850 °C (најјаче на око 650 °C) што доводи до смањења жилавости и истезљивости, па се након заваривања ови челици "гасе" топлотном обрадом на 1050-1100 °C када се карбиди растворе, а затим брзим хлађењем кроз подручје 850-450 °C се задржава структура аустенит без излученог Cr на границама зрна везаног у Cr-карбид. За побољшање хлађења понекад се препоручује и додатно хлађење водом. Висок коефицијент топлотне истезљивости, снижен коефицијент топлотне проводљивости, резултирају повећаном склоношћу ка деформацијама као последица заваривања. Склони су појави топлих пукотина у металу зава, што се јавља с једне стране као последица нечистоћа у материјалу, услед изражене склоности деформацијама односно заосталим напрезањима [12].

Специфичности заваривања аустенитно-феритних (дулекс) нерђајућих челика:

- отпорни на топле пукотине,
- жилавост и дуктилност.

За задржавање довољног удела аустенитне структуре у подручју завареног споја користе се додатни материјали предвиђени за заваривање дулекс челика, а који су "прелегирани" с неколико процената Ni у односу на додатни материјал.

Поуздано је утврђен позитиван утицај на стварање аустенитне структуре, уколико се у заштитни гас додаје N. Феритизација која је последица заваривања, у сваком случају делује штетно, јер повећани удео феритне структуре (и до 80 и више %) неминовно доводи до олакшаног стварања кртих структура у том појасу, до смањења корозијске постојаности.

Феритизирани део структуре је најкритичније подручје завареног споја од дулекс челика. Заваривање је неопходно изводити у контролисаним условима у смислу уноса топлоте, па је зато изузетно важно имати исправне параметре заваривања [12].

Специфичности заваривања мартензитних нерђајућих челика

- заваривање ових легура захтева топлотне поступке пре (предзагревање) и после поступка заваривања (попуштање),
- појава хладних пукотина.

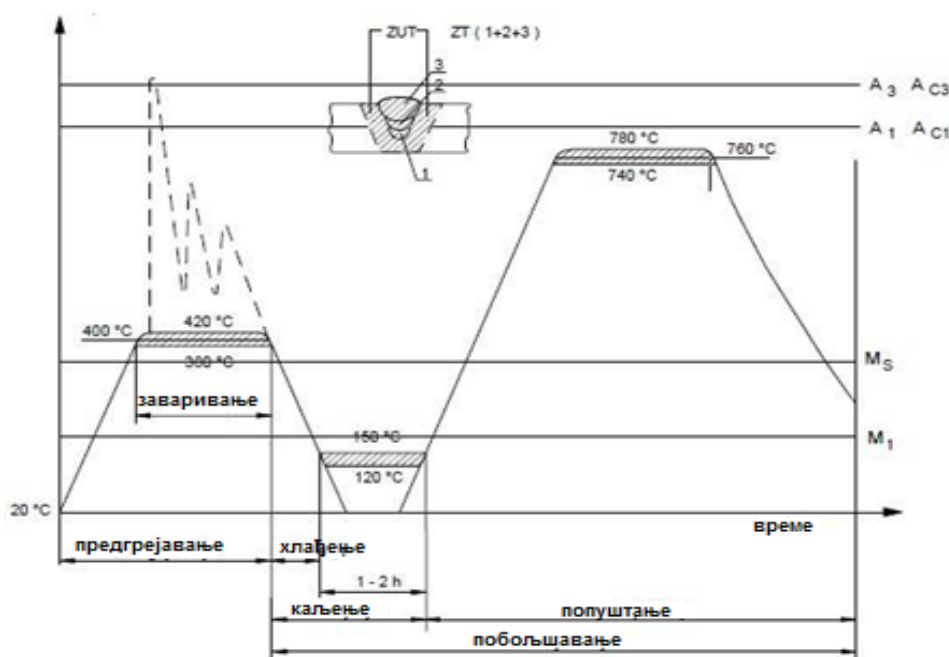
Исправне топлотне операције при заваривању мартензитних Cr челика (слика 27) су следеће [13]:

1. Пре заваривања треба обавезно предгрејавати изнад M_s (мартензит старт линије), тј. у подручју аустенит нпр. $M_s + 50^\circ \text{C}$ (смањивање вероватноће за појаву хладних пукотина).

2. Због изузетне склоности закаљивању (чак и при мирном хлађењу на ваздуху) код ових челика је обавезно одржавање температуре између пролаза изнад M_s (мартензит старт линије).

3. Након заваривања, хлађењем на мирном ваздуху долази до закаљивања ових челика. Зато се након заваривања врши лагано хлађење на температуру испод M_f (мартензит финиш линије), нпр. $M_f - 20^\circ \text{C}$ задржавање на тој температури 1-2 h да би се сав заостали аустенит трансформисао у мартензит.

4. Попуштањем тврдоће на температури испод A_{c1} постиже се побољшано стање које је стање испоруке основног материјала пре заваривања.



Слика 28- Операције при заваривању мартензитних Cr челика

За заваривање се користе додатни материјали

- исти или слични основном материјалу (да би се добила мартензитна структура након заваривања) или
- аустенитни или додатни материјали са садржајем Cr и Ni за потребан однос мешања (као резултат спајања са основним материјалом) одабраног да коначни депозит осигура прихватљиву количину аустенита који повећава жилавост и истезљивост завара.

Применом аустенитног додатног материјала смањује се количина дифузијског водоника, а тиме и појава хладних пукотина [11].

Оцена заварљивости

Под појмом заварљивост подразумева се комплексно својство везано истовремено за материјал, технологију и конструкцију, које омогућава извођење завареног споја тражених карактеристика. Које се карактеристике траже зависи од намене завареног споја. У једном случају може се захтевати равномерност механичких карактеристика, у другом корозионих карактеристика, у трећем електричних и сл. С обзиром на комплексност појма заварљивости, посебно се разматрају металуршка заварљивост у смислу погодности материјала за заваривање, технолошка заварљивост у смислу могућности заваривања одређеним поступком и конструкциона заварљивост у смислу поузданости изведеног споја, подсклопова, склопова и целе конструкције.

Због специфичних услова образовања завареног споја - брзих металуршких реакција, деловања сопствених напона и деформација - у шавовима и зони утицаја топлоте (ЗУТ) могу настати различите грешке. То су најчешће напрслине, порозност, укључци троске, непроваривање (по страницама и дебљини) и заједи. Штетан утицај наведених грешака оцењује се према концентрацији напона, а не према смањењу ефективног попречног пресека. То даље значи да се могу допустити заобљени дефекти типа гасних мехурова и укључака троске, а не допуштају се напрслине, непровари и други концентратори напона. Зато су, за процену склоности заварених спојева ка најопаснијим грешкама - напрслинама, развијене рачунске методе, технолошке пробе и лабораторијска испитивања укључујући и механику лома. При оцени глобалне заварљивости, наведене методе се међусобно допуњују, јер је појединачна процена непоуздана [11].

Оцена заварљивости високолегираних челика

Нерђајући челици се према распореду С и Fe у кристалној решетки деле на феритне, аустенитне, мартензитне и таложно ојачане.

Феритни челици садрже веома мало С, а $Cr > 12,5\%$ што је услов за корозиону отпорност. Не отврдњавају термичком обрадом (низак % С), већ ојачавају прерадом на хладно као нпр. ваљањем, дубоким извлачењем и сл. Ови се челици најчешће испоручују у облику цеви, профилисаних цеви, дебelih лимова, трака, профилних носача, или жица.

Аустенитни нерђајући челици имају површински центрирану кубну решетку за разлику од просторне код феритних челика. Као група аустенитни челици се често називају 18-8 јер садрже око 18% Cr, 8% Ni и веома мали %С. Стога не отврдњавају термичком обрадом, већ у великој мери ојачавају прерадом на хладно. За ту прераду су веома погодни јер имају велику резерву пластичности дефинисану разликом између техничке границе течења и јачине на кидање. Аустенитни челици могу да садрже и мање Ni али са додатком Mn

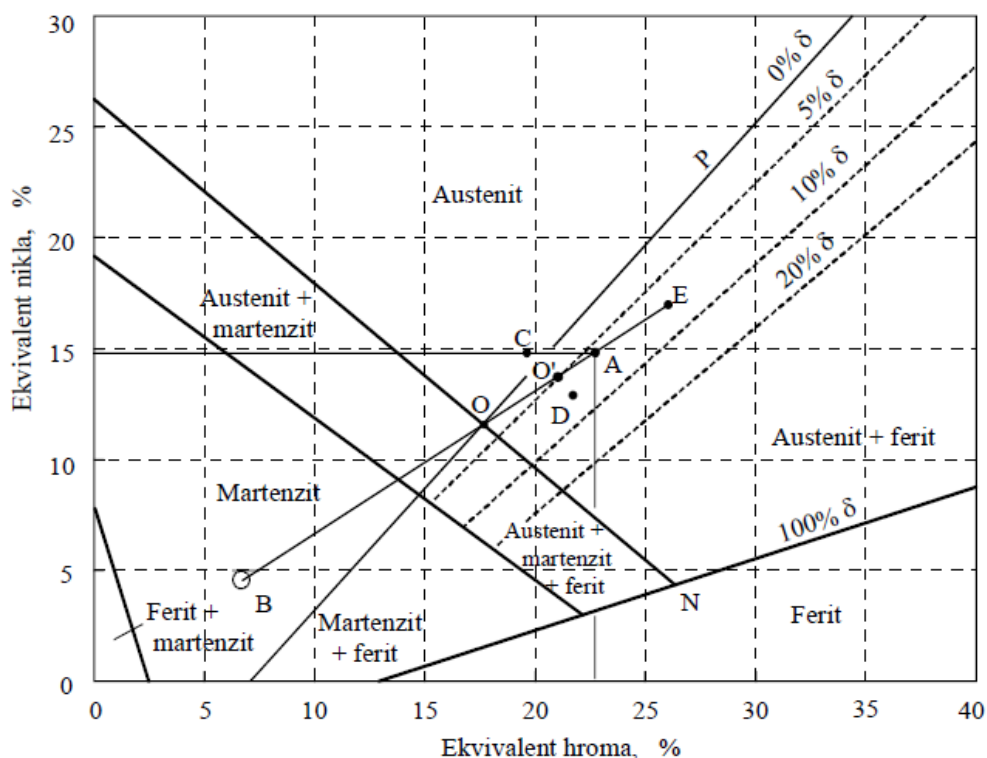
што их чини јефтинијим. Са гледишта заваривања значајно је да при хлађењу са веома високих температура уместо да се закале аустенитни челици постају меки и веома пластични. Одликују се изузетно великом способношћу обликовања деформисањем (велика истегљивост) па се често сложени облици израђују дубоким извлачењем. Аустенитни челици се примењују у хемијској индустрији, у грађевинарству за украсне архитектонске елементе, у прехранбеној индустрији, за кухињски прибор и сл.

Мартензитни нерђајући челици садрже 12÷17% Cr и 0,15 до 1% C што омогућује постизање мартензитне структуре чак и при спором хлађењу из аустенитног фазног подручја. То значи да се при термичкој обради ови челици понашају слично угљеничним и нисколегираним челицима. После термичке обраде неки мартензитни нерђајући челици достижу техничку границу течења и 1380 МПа и јачину на кидање 1930 МПа, али им отпорност према корозији, и способност пластичног обликовања далеко заостаје иза феритних и аустенитних челика. Примењују се за разне машинске делове (осовине за пумпе, вентиле, куглице за лежишта), ножеве за љуштење дрвета, ловачке ножеве, хирушки прибор, скупочени прибор за јело.

Таложно ојачани нерђајући челици су такође легуре Cr-Ni намењене углавном за зупчанике, ексцентре, делове за авионе, турбине и нарочито космичку технику. За заварене конструкције у енергетици и хемијској индустрији највише се примењују: аустенитни челици 18Cr-Ni, 20Cr-10Ni, 20Cr-Ni, ватроотпорни челици 20Cr-12Ni и челици постојани на високим температурама 25Cr-20Ni.

Аустенитни челици, па и метал шава који се добија помоћу аустенитне електроде, имају мању термичку проводност и већи коефицијент линеарног термичког ширења него угљенични челици, што ствара велике сопствене напоне и деформације. Делом и због тога склони су ка топлим напрслинама у шаву и ЗУТ-у, затим међукристалној корозији због излучивања карбида хрома на границама металних зрна, као и кртости на високим температурама због образовања σ -фазе (кртог једињења CrFe). Склоност ка појави напрслина око солидус температуре може се тумачити издвајањем танке силикатне опне мале кохезионе јачине по границама металних зрна. Ове се напрслине спречавају стварањем друге фазе, на пример феритне, по границама аустенитних зрна. Садржај δ -ферита се ограничава на мање од 10%, јер он смањује пластичност метала шава.

Иако је Шефлеров дијаграм (слика 29) првенствено намењен за избор додатног материјала хетерогених спојева, он се успешно примењује и код аустенитних Cr-Ni челика. Избор додатног материјала овде ће бити приказан на примеру челика састава: 0,09 C, 0,53 Si, 1,46 Mn, 18,2 Cr, 10,6 Ni; 0,26 Mo, 1,15 (Nb+Ti), 0,021 P и 0,012 S (%).



Слика 29- Шефлеров дијаграм

Ако се израчунају еквиваленти (Ni) и (Cr):

$$(Ni) = Ni + 30 \cdot C + 5,0 \cdot Mn = 14,7 \, \%$$

$$(Cr) = Cr + Mo + 5,1 \cdot Si + 5,0 \cdot Nb = 19,7 \, \%$$

и унесу у Шефлеров дијаграм (слика 29) добија се тачка "C" којој одговара чисто аустенитна структура. Према Шефлеру, садржај ферита у металу шава израчунава се помоћу формуле

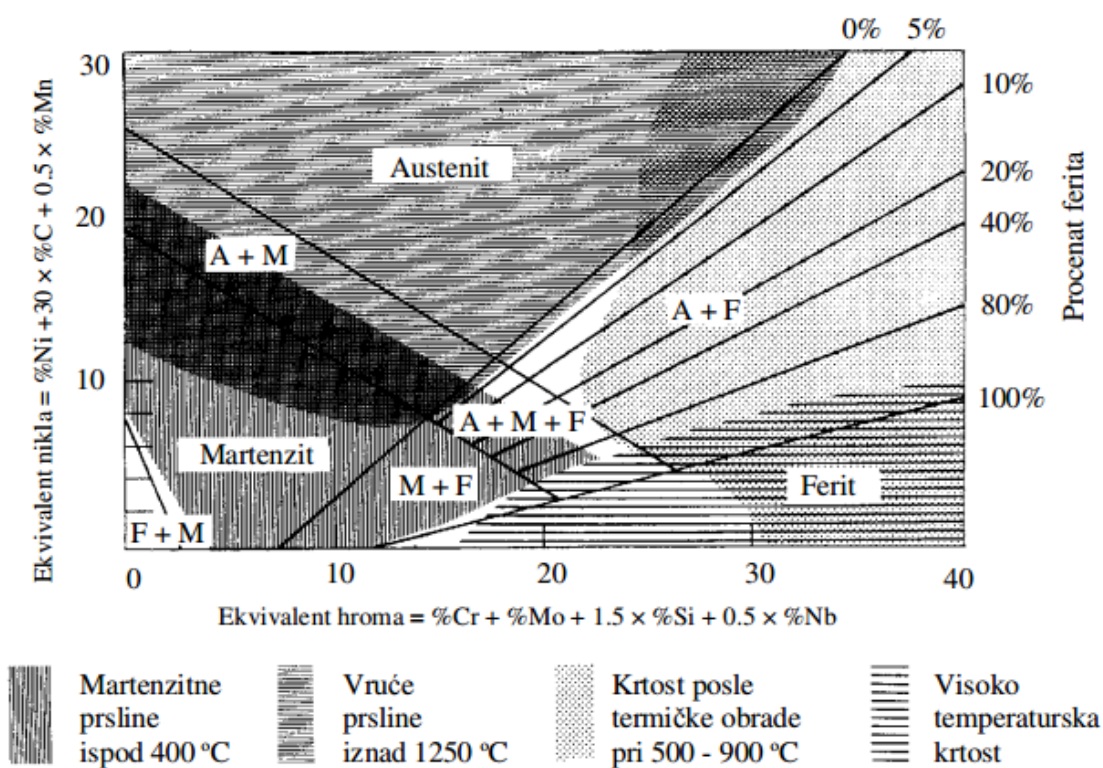
$$\delta = 3 \cdot [(Cr) - (Cr)_c], \, \%$$

где је: $(Cr)_c = 0,93(Ni) + 6,7$, или у датом примеру $(Cr)_c = 20,4$. Усвајајући садржај δ-ферита у двофазном металу шава $\delta = 6\%$ добија се $6 = 3[(Cr) - 20,4]$ и $(Cr) = 22,4$. Када се знају коефицијенти еквивалентности никла и хрома $Ni = 14,7$, $Cr = 22,4$ лако је, из одговарајућих каталога, изабрати електроду за заваривање.

Други проблем заварљивости аустенитних челика, везан за стварање карбида Cr_4C и међукристалну корозију кад у околним микрозапреминама садржај Cr падне испод 12% (доње границе корозионе отпорности), решава се помоћу стабилизатора Ti-Nb. Ti и Nb имају већи хемијски афинитет према C него Cr, па они везују угљеник и спречавају формирање карбида Cr_4C . У додатни материјал се не уводи Ti, јер се овај елемент, оксидише при заваривању и прелази у троску стварајући истовремено реакцију дифузне

дезоксидације. Зато се у облогу аустенитних електрода додаје Nb будући да је мање подложен оксидацији.

Трећи проблем који се односи на крту σ -фазу посебно је изражен код заварених спојева изложених високим температурама, на којима ова фаза и настаје (око 600°C). То су прегрејачи паре, измењивачи топлоте и слични термички уређаји. Једино решење да се настанак ове фазе спречи, јесте израда шавова са ниским садржајем феритне фазе ($2\div 4\%$), што омогућује поуздан рад заварених спојева и у области критичних температура. Потенцијалне грешке карактеристичне за поједине структурне фазе нерђајућих челика показане су на слици 30. Овакав приказ може бити од користи при процени да ли су шавови датих комбинација основног и додатног материјала склони ка типичним грешкама ове класе челика [11].



Слика 30- Локација грешки у зависности од структуре у Шефлеровом дијаграму

8. Добијање нерђајућих челика

Најчешће коришћени нерђајући челик у свакодневном животу је X_3CrNi 18-10 (DIN ознака 1.4301, 18/10). Ради се о челику патентираном 1912. године, под називом патента V2A (versuchsschmelze 2 austenit = пробни растоп аустенит број 2). Овај нерђајући челик је релативно мек, легиран никлом (Ni) и хромом (Cr), немагнетичан по микроструктури аустенитни челик [14].

За алате и сечива користе се тврђи мартензитно-феритни челици који поред Cr садрже ванадијум (V) и молибден (Mo) и за разлику од аустенитних нерђајућих челика, магнетични су. Типичне легуре овог типа су $X_{30}Cr_{13}$ и $X_{50}CrMoV$.

Сировине за добијање нерђајућег челика се прво растопе заједно у електричним пећима. Тај корак захтева од 8 до 12 сати интензивне топлоте, а овако растопљен челик се може обликовати у полу готове производе, где спадају правоугаоне плоче, полуге (округлог или квадратног облика), шипке, цеви и др.

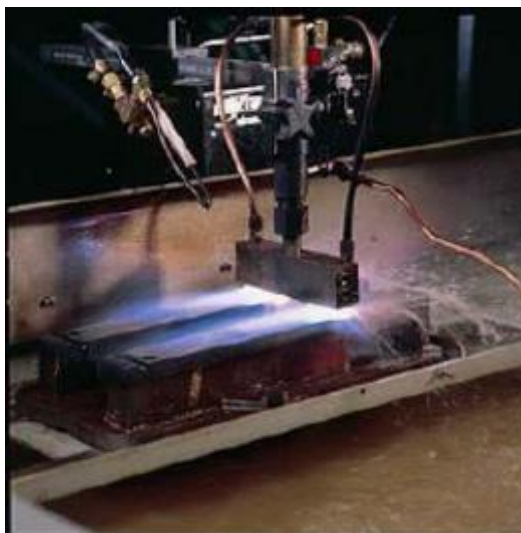
Полупроизвод затим пролази кроз операцију “формирање”, почевши од врућег ваљања у којој пролази кроз ваљке. Полуге се формирају у жице, а плоче се формирају у плоче, траке, листове и др.

Након што се производ формира у жељени облик, он мора да прође кроз корак жарења и каљења). Неке врсте челика се термички обрађују због већих снага. Међутим, таква термичка обрада захтева пажљиву контролу, пошто чак и мале измене у односу на препоручене температуре или време хлађења могу знатно утицати на механичка својства материјала.

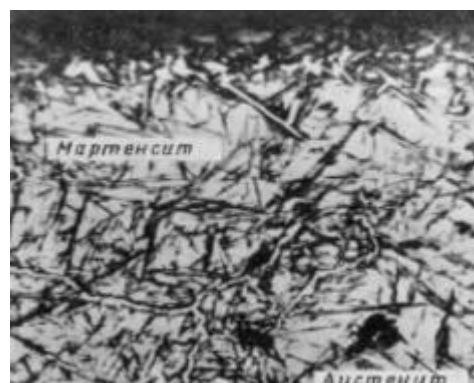
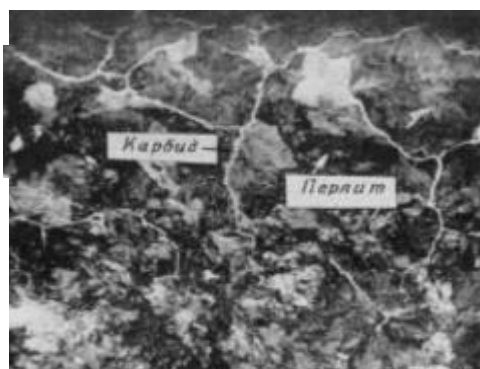
Жарење је вид термичке обраде у току које се челични делови загревају до одређених повишених температура, држе извесно време на тим температурама и затим лагано хладе.

Каљење (слика број 31) је термичка обрада којом се добија тврђи материјал, али се губи жилавост. Каљење је неопходно да се у површинским слојевима добије мартензит и да се груба зрна (површине и језгра) настала дуготрајним жарењем делова на 950 °C, трансформишу у ситнија зрна. Према траженим карактеристикама делова, начини каљења, после наугљенисавања, се деле на три групе:

- директно каљење
- једноструко каљење
- двоструко каљење.



Слика 31-Површинско каљење пламеном [14]



Слика 32-Микроскопски изглед слоја пре и после термичке обраде каљења

Сечење је операција најчешће за добијање жељеног облика или величине. Машинско сечење се врши помоћу разних метода, укључујући маказе, гилотину, ножеве, сечење помоћу тестерастих алата. Најчешће коришћен метод сечења нерђајућих челика је пламеним млазом. Још један начин за резање је познат као плазма сечење млазом у којем јонизовани гас у вези са електричним луком чини рез. Гас производи екстремно високе температуре до тачке топљења.

Завршна обрада је важан корак, поготово када се односи на санитарне апликације нерђајућег челика. Глатка површина која се најчешће добија полирањем, такође пружа бољу отпорност на корозију. Грубо завршна обрада се често користи на местима где је потребно додатно подмазивање елемената. Постоје разне врсте метода за обраду. Високо рефлектујућа завршна обрада је производ хладног ваљања са жарењем на контролисаној температури, од брушења са абразивним средствима или глачања. Светло завршна обрада се

добија тако што се пре врућег ваљања и притом хладног ваљања не врши глачање, већ само брушење абразивима (слика број 33).



Слика 33- Изглед прохромског материјала (нерђајући челик) након једне од завршних обрада [16]

Машинска обрада нерђајућих челика

- **брушење**

Површинско финална обрада извршена у фабрици, ваљање, каљење или још једном топлотно третиран материјал, потребно је изабрати како би оригинална површина одговарала касније жељеној површини, што је ближе могуће крајњем готовом производу [14].

У погледу корозионе отпорности материјала, потребно је пратити унапред, да је материјал складиштен и транспортован на одговарајући начин. Ово у основи значи:

- избегавати контакт са другим челиком (челичним четкама, жичаним сајлама) и међусобну контаминацију,
- избегавати оштећења површине и ивица, као и абразију,
- не складиштити материјал у радној области.

Постоји мноштво параметара који утичу на храпавост и појаве на произведеним површинама:

- машина за брушење са одговарајућим контактним елементима и радним параметрима (брзина сечења, брзина померања),
- употреба додатних средстава (уља и емулзија),
- квалитет абразивног средства.

Због ових граничних услова присутних код процеса брушења није могуће донети генерални закључак о међусобној вези између површине добијене обрадом и коришћеног абразивног средства. Како би се избегло неразумевање,

пре поступка обраде су договорени референтни узорци тражене површине и вредност храпавости (Ra).

Према отпорности радног комада, наведене мере надзора дате у наставку, потребно је да буду садржане током поступка брушења нерђајућих челика:

- не користити брусне алате на стандардном челику и затим на нерђајућем челику,
- увек темељно уклонити остатке брушења са свих површина,
- никада не дозволити да површина нерђајућег челика дође у контакт са горућим врелом варница,
- радна температура је потребно да буде довољно ниска како се не би формирали карбиди Cr и тако дошло до корозије унутар кристала.

Само на овај начин је осигурано да се пасивни слој у области обраде раније развије и да остале површине не буду оштећене преко корозије у пукотинима или између кристала [14].

Обрада обликовањем код нерђајућег челика

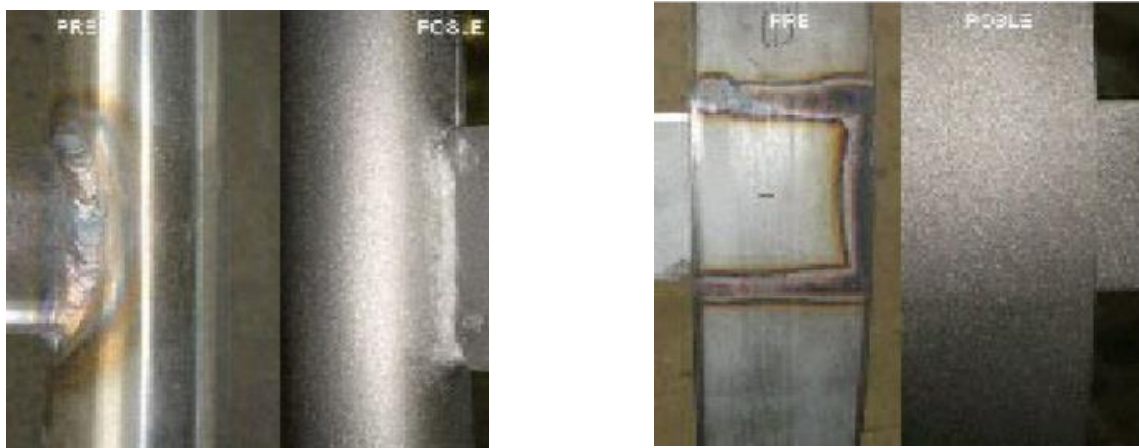
- *заваривање*

Заваривање нерђајућег челика обично се врши TIG поступком који омогућава спајање метала танких и до 0,25mm. TIG поступак се користи за производно заваривање, наваривање и репаратурно заваривање нерђајућих и ватросталних челика, као и легура Al, Cu, Ti, Ni, Cr (слика 34).



Слика 34-Заваривање нерђајућег челика TIG поступком [14]

Након заваривања материјал иде даље на обраду услед чега се постиже жељени изглед и завршна жељена обрада материјала.



Слика 35- Нерђајући челик пре и после заваривања [14]

Примена материјала од нерђајућег челика

Материјал будућности какав је нерђајући челик пружа велике могућности примене у разним сферама живота. Савремена архитектонска решења готово се не могу замислити без примене овог материјала. Вишегодишње искуство у опремању кућа, станова, стамбених зграда, угоститељских објеката, индустријских објеката, хотела, градских тргова омогућава широк дијапазон начина обраде и примене нерђајућег челика. Најчешћа примена материјала од нерђајућег челика је у хемијској и фармацеутској индустрији, где се јавља потреба за високо квалитетним материјалима који су отпорни, како на хабање и корозију тако и на чврстоћу и издржљивост (слика 36).



Слика 36- Материјали од нерђајућег челика [15]

Због свог начина добијања и израде материјали од нерђајућег челика имају добре карактеристике [14]:

- нерђајући челик (прохром) је легура челика, хрома и графита,
- носи стил и ексклузивност,
- нерђајући челик гарантује трајност облика,

- постоји у сребрној, златној и бронзаној варијанти, могућност избора мат и високог сјаја (ефекат огледала),
- није потребно редовно одржавање ради продужене трајности.



Слика 37—Ограде и зелендери од нерђајућег челика [16]

9. Производња оружја од нерђајућег челика

Производња оружја и оруђа је предуслов да се осигура независност сваке државе. Од ове технике захтева се поуздан рад у свим условима експлоатације. Стога, при стварању одбрамбене технике пажња се посвећује како конструкцији, тако и технологији производње, осигуравајући испуњење свих (понекад врло тешких) захтева конструктора. У том циљу, технолози су развили оригиналне процесе производње и прераде припремака, стварајући специјалне машине и приборе [17].

Примери оружја са деловима од нерђајућег челика су следећи:

- **Ловачки карабин CZ M70 243 win**

Ловачки карабин (слика 38) са оригиналним Маузер системом брављења. Цев је израђена од Cr-V челика, методом хладног ковања, што гарантује високу прецизност, постојану тачност и дуготрајност. Кундак ловачког карабина М70 се израђује од квалитетног бираног ораховог дрвета. Стандардна површинска заштита металних делова остварује се брунирањем, док се дрвени делови науљују и политирају [18].



Слика 38– Ловачки карабин [18]

Карактеристике:	
► Капацитет метака: 4+1	► Укупна дужина: 1140 mm.
► Тежина: 3,6 kg.	► Произвођач: Застава, Крагујевац
► Дужина цеви: 600 mm	

- **Ловачки карабин M70PSS**

Ловачки карабин M70PSS преставља склоп:

- оцевљеног механизма модела Ловачког карабина M70 Стандард, израђеног од нерђајућег челика и
- модерног кундака, израђеног од квалитетног полимера.

Нерђајући челик и полимер проткан стакленим влакнима гарантују овом оружју дугу трајност, високу прецизност и велику тачност. Одржавање овог оружја је једноставно и том перформансом намеће се корисницима који пуно времена посвећују лову или спорту [18].

- **Пиштољ Beretta 92 FS INOX**

Овај пиштољ је готово у потпуности израђен од нерђајућег челика (слика 39) [19].



Слика 39– Пиштољ Берета 92 [19]

Карактеристике:	
► Калибар : 9x19 mm / .45ACP	► Висина : 146 mm
► Капацитет оквира : 9+1 / 8+1 метак	► Ширина : 38 mm
► Дужина цеви : 127 mm	► Тежина пиштоља : 1200 / 1120 gr
► Укупна дужина : 220 mm	

- **Пиштољ Colt Spe. Combat 125 m/s**

Метална верзија пиштоља Colt класик (слика 40). Покретна навлака од нерђајућег челика на раму са Weaver шином. Овај популарни прецизни модел има „Да“ окидач и кочницу [19].



Слика 40- Пиштољ Колт [19]

Карактеристике:	
► Калибар : 4,5 mm	► Задњи нишан подесив на утицај ветра
► Гласноћа : средње-висока	► Полуаутоматик
► Капацитет оквира : 20	► Погон на CO_2
► Глатки нишан на цеви	► Тежина пиштоља : 920 gr

- **Пиштољ Hornet B2**

Пиштољ Хорнет (слика 41) је направљен од високо квалитетних материјала који му обезбеђује високу поузданост и дуг век трајања. Рукохват пиштоља се израђује из откивка, високо квалитетне алуминијумске легуре, чиме се смањује тежина пиштоља а задржана је висока отпорност. Цев пиштоља је направљена од материјала који су специјално развијени за производњу цеви ватреног оружја. Унутрашња траса цеви је тврдо хромирана, а исто тако је хромирана и спољна површина цеви, тиме је постигнута висока отпорност на хабање и отпорност на корозију. Навлака је урађена из једног моноблока откованог од високо квалитетног челика и представља један од сигурних елемената у експлоатацији пиштоља. Сви високо динамички оптерећени делови урађени су од Poldi PWP челика који је специјално направљен за динамички напрегнуте делове (ударна игла, осовина обараче и други). Погодним избором квалитетних

материјала и примењеним поузданим конструктивним решењима постигнут је век пиштоља од преко 30 000 испаљених метака [20].



Слика 41- Пиштољ Хорнет [20]

- **Нож Boker 1335**

Boker 1335 (слика 42) је преклопни, ловачки нож са сечивом од нерђајућег челика. Дршка је изузетног дизајна, профилисана, неклизајућа и веома удобна [21].

Карактеристике:
► Дужина ножа: 20 cm
► Дужина сечива: 8,6 cm
► Дебљина сечива: 2,5 cm
► Тежина ножа: 125g
► Земља порекла: Кина

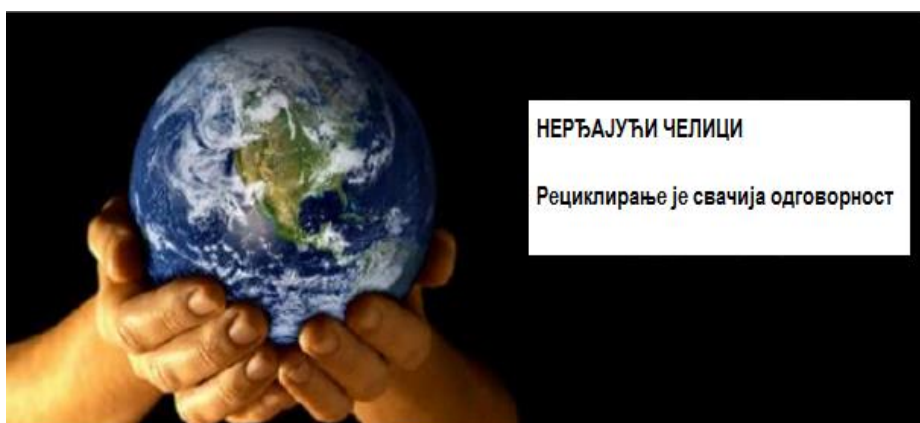


Слика 42 -Нож Бокер [21]

10. Животни циклус и рециклирање нерђајућих челика

Да би се обезбедио висок квалитет живота, материјали које користимо као потрошачи и произвођачи, треба да задовоље не само техничке стандарде и перформансе, већ и дуг век трајања, коришћења, и да еколошки не загађују средину. После њиховог потпуног искоришћења, они треба да буду 100% рециклирајући, што ће тиме окончати животни циклус, чиме ће се затим користити поново.

Нерђајући челик се може рециклирати 100%. Типичан проценат рециклираног нерђајућег челика, такозвани "остаци", који се користи за прављење нових залиха, је између 65 и 80%. Истраживања у Европи и САД кажу да када посматрамо укупне трошкове током 120 година животног циклуса, иако је цена нерђајућег челика знатно већа од алтернативних производа отпорних на корозију, јефтиније је на самом почетку дати више новца за нерђајући челик, пошто верују да је нерђајући челик најбоље дугорочно решење за критичне висококорозивне примене [22].



Слика 43– Рециклирање нерђајућег челика



11. ЗАКЉУЧАК

Појам нерђајући челици данас обухвата широк распон легура, нудећи тако велике могућности корисних својстава. Налазе примену у готово свим областима људског деловања, од индустријских елемената који раде у присуству воде, водене паре или нагризајућих супстанци, преко петрохемијских постројења и индустрије хране и пића, до грађевинских конструкција и дизајна ентеријера. Користе се за израду конструкционих елемената, осовина, лежајева, резног и другог алата, опруга, жице и вијака. Незаобилазан су материјал за израду хируршких инструмената, сечива, ножева, бријача, казана за бојлере, судопера, шерпи и лонаца, а користе се и за израду делова оружја.

Правилним одабиром материјала и облика конструкције, параметара и технике заваривања, придржавањем одређених правила у обради и руковању и пре свега накнадном обрадом заварених спојева, ризици и опасности од корозионих оштећења код нерђајућих челика могу се знатно умањити, и тако добити конструкција са високом отпорношћу на оштећења, високе чврстоће, мале масе и ниских трошкова одржавања.

Способност његовог рециклирања без стварања додатних проблема по околину је важан фактор у примени нерђајућег челика. По правилу, дизајни од нерђајућег челика треба да пренесу утисак елеганције, чврстине и модеран стил живота. Постоји генерална тежња да се генерално челик замени у већини места где се тренутно примењује, а разлог је његова велика специфична тежина. Тежња да се употребе метални материјали као што су Al, Mg, Ti и њихове легуре или композитни материјали (већином на бази угљеничних влакана) отежана је чињеницом да ниједан (за сада) познати материјал нема такав распон и флексибилност карактеристика (уз помоћ легирања, термичке обраде и пластичне прераде) као и релативно ниску цену производње као нерђајући челик. Ако је судити по тренутном стању на тржишту, сада и у ближој будућности, нерђајући челик је (и биће) супериоран материјал за најширу употребу [23].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Јовановић, М., Адамовић, Д., Лазић, В., Ратковић, Н.: Машински материјали, Машински факултет Крагујевац, 2003., децембар 2016
- [2] <https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA>, децембар 2016
- [3] http://www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php?id=31, децембар 2016
- [4] <http://www.estainlesssteel.com/historyofstainlesssteel.shtml>, децембар 2016
- [5] Ратковић, Н., Факултет инжењерских наука, Крагујевац, предавања - <http://moodle.mfkg.rs/course/view.php?id=299>
- [6] Глигорић, Р., Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Уџбеник Машински елементи, 2015.
- [7] http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/11041/mod_resource/content/0/6-MM_ho.pdf, јануар 2017
- [8] Лазић, В., Факултет инжењерских наука, Крагујевац, предавања - http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/12784/mod_resource/content/0/GLAVA_2.pdf, јануар 2017
- [9] <http://www.serto-bel.hr/inox-opcenito/index.html>, јануар 2017
- [10] Вујичић, В., Корозија и технологија заштите метала, Београд 2002
- [11] Мајсторовић А., Јовановић, М., Основи заваривања, лемљења и лепљења, Научна књига, Београд, 1986, 1988, 1991, 1995.
- [12] http://idk.org.rs/wp-content/uploads/2016/09/ZM_50_4_227.pdf
- [13] <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0354-7965/2002/0354-79650204246M.pdf>, јануар 2017
- [14] <https://www.scribd.com/doc/39385132/Prohrom-kao-tehnicki-materijal>, фебруар 2017
- [15] <http://www.migros-kg.co.rs/Asortiman/INOX.html>, фебруар 2017
- [16] <http://www.inox.co.rs/>, фебруар 2017
- [17] Петровић, М., Технологија производње наоружања, Предавања, фебруар 2017
- [18] <http://www.zastava-arms.rs/sr/civilianproduct/lova%C4%8Dki-karabin-m70pss>, фебруар 2017
- [19] <http://www.magnumserbia.rs/sr/pistoljirevolveri/pistolj-beretta-92fs-inox-9mm-para-7504>, фебруар 2017

- [20] <http://www.nbinat.rs/index.php/sr/products-3/pistols/pistolj-hornet-b2>, фебруар 2017
- [21] <http://www.lovackaoprema.co.rs/nozevi/japanski-nozevi>, фебруар 2017
- [22] <http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/5969/820/sa-nerdjajucim-celikom-dodrzive-arhitekture>, фебруар 2017
- [23] <http://documents.tips/documents/nerdjajuci-celici-i-njihova-primjena.html>, фебруар 2017
- [24] <http://www.one-eighty-degrees.com/service/microstructural-investigations/>, март 2017
- [25] <http://www.eng.cam.ac.uk/research/academic-divisions/mechanics-materials-and-design/research-groups/materials-engineering>, април 2017
- [26] <https://tubingchina.com/aust.htm>, април 2017-04-05
- [27] https://sh.wikipedia.org/wiki/Nehr%C4%91aju%C4%87i_%C4%8Delik, април 2017
- [28] <http://www.wikiwand.com/bs/Austenit>, април 2017-04-05, април 2017
- [29] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12731>, април 2017
- [30] <http://ispatguru.com/duplex-stainless-steels/>, април 2017
- [31] Ивица Блажевић - дипломски рад, Свеучилиште у Загребу, Факултет стројства и бродоградње, април 2017