

1. U V O D

1. 1. Općenito o vatro otpornim čelicima

Za metaloprerađivačku industriju vrlo je značajna primjena čelika za rad na povišenim i visokim temperaturama, koji se sve više primjenjuju u današnje vrijeme zbog sve većih zahtjeva pri eksploataciji čelika.

U grupu čelika predviđenih za rad na visokim i povišenim temperaturama ubrajaju se i vatro otporni čelici.

Navedenu grupu čelika može se sistematski prikazati na slijedeći način: [1]

- nelegirani kotlovski limovi (za rad do $\vartheta_r < 500$ °C),
- nisko legirani Mo – i Mo - Cr – čelici (za rad pri $\vartheta_r < 550$ °C),
- " Super 12 % Cr " - toplinski visoko postojani čelici (za rad pri $\vartheta_r < 600$ °C),
- toplinski visoko postojani austenitni čelici (za drugi rad pri $\vartheta_r < 750$ °C te uz viša vlačna naprezanja),
- toplinski otporne neželjezne legure (" Super " - legure), ($\vartheta_r < 1100$ °C),
- vatro otporni čelici i
- ventilski čelici.

Uvjeti eksploatacije vatro otpornih čelika su takovi da ne zahtijevaju posebno dobra mehanička svojstva od čelika, ali zato zahtijevaju dobru antikorozivnost i visoku otpornost na ogaranje.

Ukoliko je čelik kod upotrebe izložen temperaturama iznad 550 °C i agresivnoj okolini, ne mogu se tad upotrebljavati nisko legirani čelici, jer se na njima na tako visokoj temperaturi stvara debeo sloj oksida (cundera), a čvrstoća na toj temperaturi značajno opada.

Prisustvo raznih vrsta plinova koji djeluju uz povišenu temperaturu na površinu vatro otpornih čelika, uzrokuje povećanje stupnja oksidacije čelika što je nepovoljno.

Debljina nastalog sloja poželjno je da bude što je moguće manja, jer prosječnom debljinom nastajanja tog sloja po satu, mjeri se sposobnost ogaranja pojedinog čelika. Na taj način moguće je pronaći mjesto za svaki čelik u grupi vatro otpornih čelika.

Vatro otpornim čelicima smatraju se oni čelici kod kojih se kod upotrebe na temperaturama iznad 550 °C, ne stvara debeli sloj cundera i koji imaju kod tih temperatura još relativno dobra mehanička svojstva.

Smatra se da je otporan prema nastajanju sloja oksida (cundera) onaj čelik koji ne gubi na težini zbog stvaranja sloja oksida na određenoj temperaturi više od 1 g / m² h. [1]

Zahtijeva se da je proba na određenoj temperaturi u električnoj peći u atmosferi sklonoj oksidaciji 120 h, a u tom vremenu mora se i 4 puta ohladiti na običnu temperaturu (20 °C).

Ako se određena temperatura povisi za nekih 50 °C, može iznositi gubitak na težini najviše 2 g / m² · h. [1]

Za nastali oksidni sloj također je poželjno da bude što postojaniji na visokim temperaturama, uz što manje poroznosti u njemu.

Veća poroznost oksidnog sloja neće znatnije usporiti daljnju oksidaciju i nakon nastajanja oksidnog sloja, pa će takav čelik vrlo brzo izgoriti u agresivnoj okolini.

Poroznost oksidnog sloja može se smanjiti dolegiranjem vatro otpornih čelika raznim elementima.

Važno je naglasiti da nastali oksidni sloj mora dobro prianjati uz površinu, te da ne bude jako krhak što će spriječiti njegovo otpadanje sa površine metala i produžiti vijek trajanja čelika pri eksploataciji.

Glavni nosilac otpora prema stvaranju sloja oksida (cundera) jest Cr zbog kojeg se stvara u atmosferi sklonoj oksidaciji na površini čelika žilav oksidni film, koji jako dobro prianja na površini i tako sprječava daljnju difuziju kisika u unutrašnjost, čime štiti površinu čelika i ometa stvaranje debljeg sloja cundera.

Si i Al mogu do stanovite mjere čak nadomjestiti Cr. Kromovi i krom – silicij – aluminijevi čelici imaju nisku žilavost i u upotrebi nagnju ka krhkosti u temperaturnom području od 600 - 700 °C i iznad 950 °C. [2]

Da bi se spriječile te pojave pa i da bi se poboljšala mehanička svojstva dodaje se vatro otpornim čelicima Ni u takvoj količini da se dobije feritno – austenitna ili čista austenitna struktura.

Za povećanje otpora prema cunderovanju dodaje se vatro otpornim čelicima Si i Al koji djeluje slično kao Cr.

Povišenje otpornosti prema cunderovanju postiže se Ni tek kada ga se doda čeliku više od 25 %. [2]

Loša strana dodavanja Ni kao legirnog elementa je smanjena otpornosti čelika prema napadu reducirajućih plinova, koji sadrže sumpor.

Vatro otporni čelici sami po sebi pripadaju grupi više i visoko legiranih čelika. Osnovni legirni element koji se dodaje čeliku je Cr.

Što je veća prisutnost Cr u čeliku povećat će se i svojstvo vatro otpornosti.

Naravno i prisustvo drugih elemenata kao što su Ni, Al, Mo, Ti i dr. u čeliku poboljšat će vatro otpornost pa čak i mehanička svojstva. [1]

1. 2. Podjela vatro otpornih čelika

Promatrajući količinu legirnih elemenata u čeliku, vatro otporni čelici mogu se svrstati u legirane i visoko legirane čelike.

U toj grupi čelika oni pripadaju podgrupi čelika predviđenih za rad na povišenim i visokim temperaturama.

S druge strane pak promatrajući strukturu metala primjetit će se karakteristična strukturna podjela

Prema strukturnoj podjeli razlikuju se slijedeće vrste vatro otpornih čelika:

- feritni čelici s glavnim legirajućim elementima (Cr, Si i Al),
- feritno-austenitni i
- austenitni čelici s glavnim legirajućim elementima (Cr, Ni, Si, a ponekad i ponešto Al i Ti).

1. 2. 1. Feritni vatro otporni čelici

1. 2. 1. 1. Općenito o feritnim čelicima

Feritni čelici pripadaju u grupu legiranih čelika, pri čemu osnovni legirajući elementi trebaju biti feritotvorci.

U grupi feritotvoraca najznačajniji je Cr koji svojim prisustvom u većim postocima povišuje temperaturu A_3 u Fe – C sustavu.

Temperatura A_3 predstavlja transformaciju α - γ - Fe i iznosi kod običnih čelika 911°C . Dodavanjem feritotvoraca povećava se A_3 temperatura toliko da se može reći da feritni čelici ne sadrže faznu transformaciju α - γ - Fe, već isključivo α - Fe.

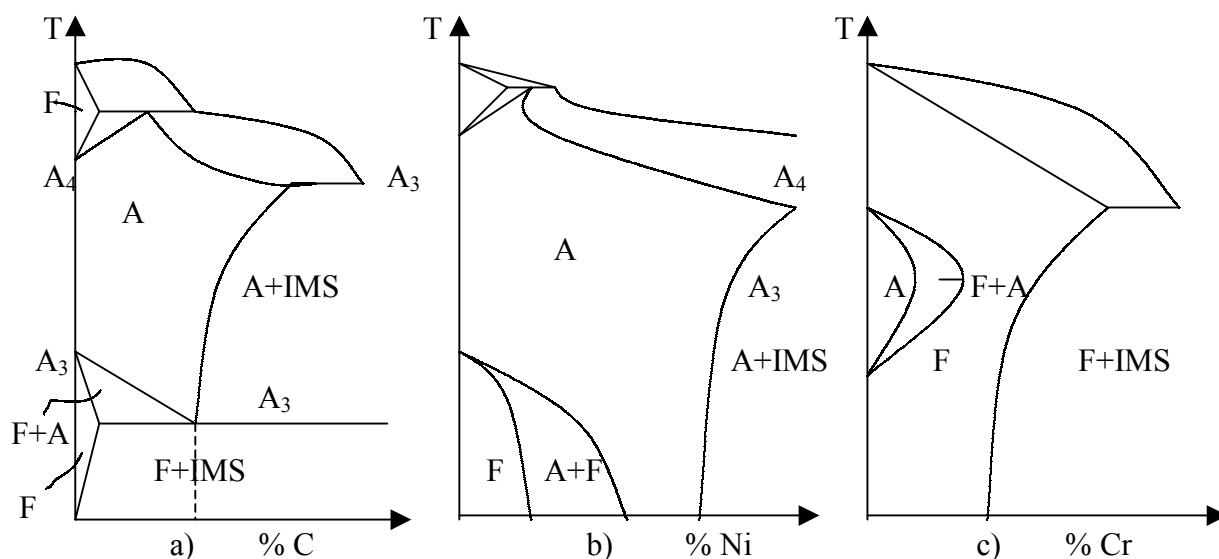
Preko određenog udjela feritotvorca osigurava se postojanje feritne strukture od sobne temperature do solidus krivulje.

Feritotvorci npr. Cr povišu temperaturu A_3 te uz neki određeni dodatak zatvaraju karakterističnu austenitnu petlju.

Utjecaj C na austenitnu petlju vidljiv je iz dijagrama sl. I 2 pri čemu se vidi da on povećava područje austenita smanjujući područje ferita.

Preko određenog udjela feritotvorca osigurava se postojanje feritne strukture od sobne temperature do solidus krivulje.

Kako je vidljivo iz dijagrama sl. I 1 feritna se struktura da postići uz vrlo niski udjel C i visoki udjel Cr, odnosno uz vrlo niski Ni ekvivalent i vrlo visoki Cr ekvivalent.

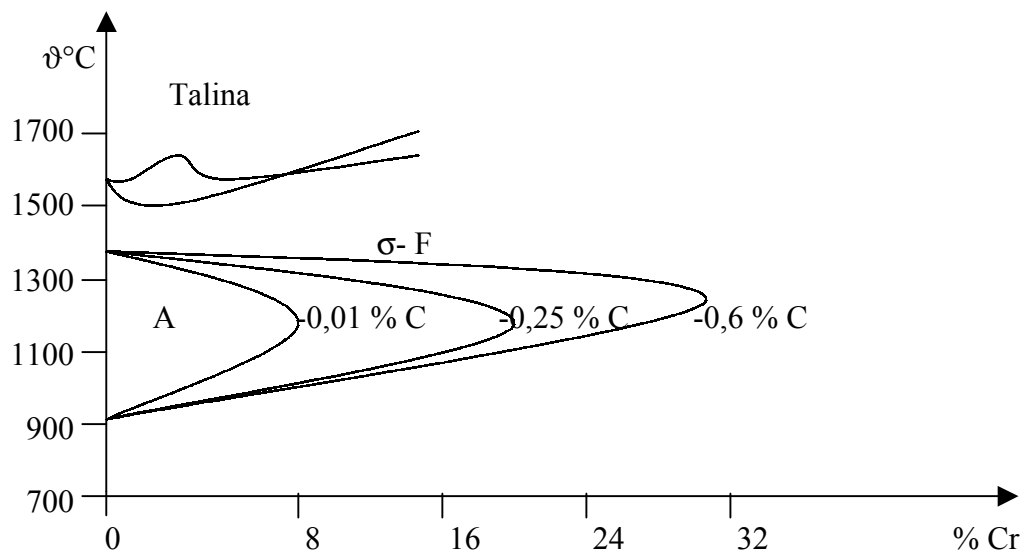


Sl. I.1. – Shematski binarni dijagram stanja Fe-C, Fe-Ni, Fe-Cr. [1]

A... austenit

F... ferit

IMS... intermetalni spoj



Sl. I.2. – Utjecaj udjela C na austenitnu petlju Cr- čelika. [1]

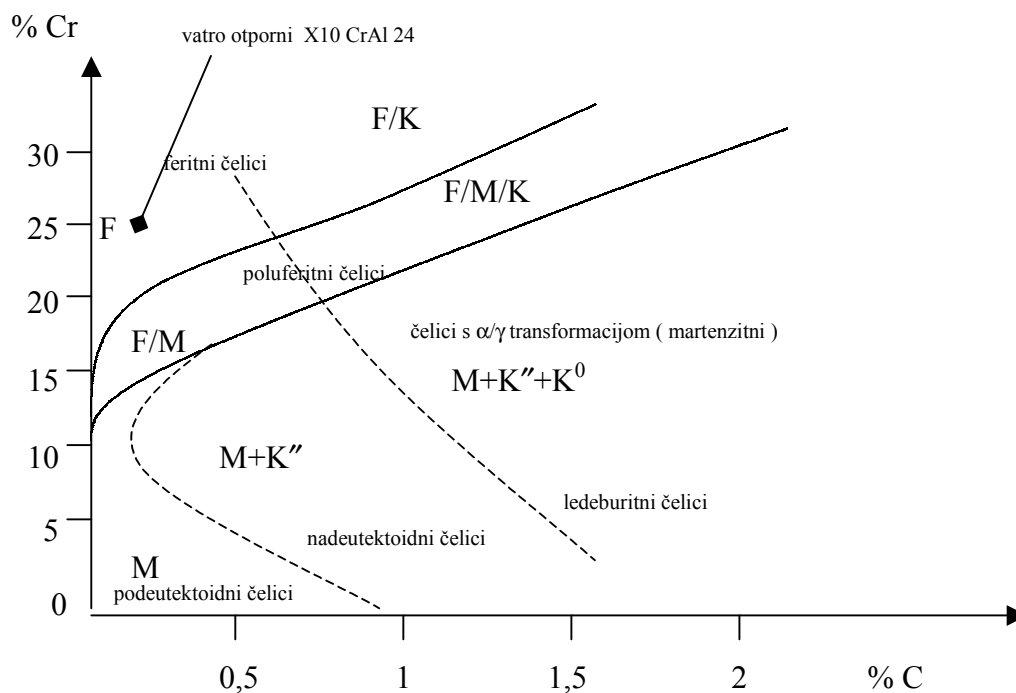
Monofazni feritni čelici nemaju sposobnost fazne transformacije što onemogućuje da im se jednom eventualno pogrubljeno zrno usitni putem toplinske obrade.

Eventualno usitnjenje pogrubljenog zrna moglo bi se provesti hladnim deformiranjem uz stupanj deformacije iznad 30 - 50 %, te rekristalizacijskim žarenjem pri temperaturi od oko 615 °C zadržavajući 15 min na toj temperaturi, te hlađenjem na zraku ili u vodi. [1]

Da bi se pronašao položaj pojedinih legirajućih čelika u Schaefflerovu dijagramu korištene su formule za izračunavanje Cr ekvivalenta i Ni ekvivalenta. [1]

$$Cr_e = \% Cr + 2 (\% Si) + 1.5 (\% Mo) + 0.5 (\% V + \% Nb + \% Ti) + \% Al \quad (1)$$

$$Ni_e = \% Ni + 30 (\% C) + 0.5 (\% Mn) + 0.6 (\% Cu) + 20 (\% N) + 0.5 (\% Co) \quad (2)$$



Sl. I.3. - *Strukturni dijagram Cr-Ni čelika.* [1]

Feritne čelike karakterizira visoka postojanost prema koroziji, a to svojstvo se postiže povišenjem sadržaja Cr i smanjenjem sadržaja C u čeliku. Tako da se danas u inozemstvu već proizvode čelici sa sadržajem Cr koji se kreće kod feritnih čelika u rasponu od 18 - 28 %, a C u rasponu od 0.025 - 0.035 %. [1]

Kod feritnih čelika posebnu pažnju treba posvetiti sljedećim pojavama: [1]

- razvoju sklonosti prema interkristalnoj koroziji grijanjem iznad 1000 °C,
- pogrubljenju zrna grijanjem iznad 900 °C,
- razvoju "σ – faze" (Fe – Cr) pri držanju na temperaturnom rasponu od 520 - 850 °C,
- pojavi krtosti 475 °C pri duljem držanju na temperaturnom rasponu od 350 - 525 °C i dr.

Posljednje pojave nastupaju tim brže što je udjel Cr u čeliku viši.

Postupci eliminacije ovih nepoželjnih pojava su:

- žarenje pri 560 - 800 °C u vremenu koje neće prijeći vrijednost $t_{\min}$ radi izbjegavanja pojave krhkosti 475 °C,
- gašenje u vodi s 870 - 950 °C, no treba uzeti u obzir da će porast zrna svakako nastati. K tome uzimajući u obzir sklonost feritnih čelika prema hladnoj lomljivosti slijedi da će se oni moći upotrebljavati isključivo za rad u nekim agresivnim medijima pri temperaturama od 20 - 350 °C. Povećanje temperature primjene za naše daljnje razmatranje postiže se dodavanjem legirnih elemenata kao što su: Al, Si i dr

Čelici ove skupine zavarljivi su no treba računati s porastom zrna u onim dijelovima zone toplinskog utjecaja koji su pri zavarivanju bili ugrijani na 950 °C i više.

Ovo se pogrubljenje zrna ne može više eliminirati nikakvim postupkom toplinske obrade. Stoga treba za zavarivanje ove grupe čelika izbjegavati one postupke koje u materijal unose što više topline (npr. Plinsko zavarivanje, TIG).

Zavaruje se u pravilu s austenitnim elektrodama, a na kraju zavarivanja preporučuje se žarenje prema gore navedenim postupcima.

Toplinskom obradom ove vrste čelika moguće je promijeniti samo veličinu kristalnih zrna tj. rekristalizacija se može provesti u određenoj mjeri .

Povišenjem temperature raste veličina zrna, a to se negativno odražava na mehanička svojstva.

1. 2. 1. 2. Feritni vatro otporni čelici

Feritno vatro otporni čelici su visoko legirani čelici sa visokim sadržajem Cr u vrijednosti oko 25 – 30 %, te s niskim sadržajem C od oko 0,01 do ponekad 0,35 %, s težnjom što niže.

Karakterizira ih vrlo sitno zrnata struktura što im daje dobra mehanička svojstva. [2]

Mehanički se dobro obrađuju obradom odvajanjem čestica i obradom metala deformiranjem na toplo.

Karakteristike feritnih vatro otpornih čelika su:

- neosjetljivost prema plinu koji sadrži S,
- deformacija u hladnom stanju je vrlo teška,
- feritni vatro otporni čelici su magnetični,
- obradivost je dobra do vrlo dobra,
- sposobnost zavarivanja je dobra, ali se preporučuje elektrolučno zavarivanje u zaštiti aktivnog plina argona MAG – postupak,
- niže trajna čvrstoća na visokim temperaturama...

Ove se čelike u normalnim uvjetima termički ne obrađuje osim u slučaju ako se to zahtjeva za hladnu preradu ili za montažu.

Feritni čelici žare se na temperaturi između 700 - 800 °C i brzim hlađenjem na zraku. Brzo hlađenje je potrebno stoga da se brzo pređe temperatura 475 °C, što može uzrokovati krhkost.

Za feritne vatro otporne čelike ne može se reći da su zakaljivi, iako je svojstvo zakaljivosti prisutno kod manjih presjeka materijala, viših temperatura i prisutnosti određenih elemenata u tragovima.

Feritni čelici postaju krhki pri dužem držanju na temperaturi od 450 - 525 °C kod hlađenja. Poslije hlađenja ti čelici imaju jako nisku žilavost.

Žilavost je utoliko niža, ukoliko je viši sadržaj Cr u čeliku. Krhkost se može kod feritnih čelika popraviti kratkim žarenjem iznad 550 °C.

Feritni čelici na bazi Cr postaju krhki i na temperaturi od oko 700 °C gdje dobiju tzv. "σ - fazu", koja se u praksi osjeća kod čelika koji imaju preko 20 % Cr.

Ta krutost može se popraviti žarenjem na temperaturi od 850 – 900 °C u trajanju od 30 min.

Iznad 900 °C kod feritnih čelika nastupa krhkost (lomljivost) zbog brzog porasta zrna i ona se više ne može popraviti.

Primjeri feritnih čelika prema DIN – u : [2]

- X10 Cr Al 24,
- X10 Cr Al 13,
- X10 Cr Al 18,
- X10 Cr Al 7,
- X10 Cr Si 13,
- X20 Cr Ni Si 25 4,
- 8 Mn Ti 4 5,
- 8 Si Ti 4 6 i dr.

1. 2. 1. 2. Karakteristike feritnih vatro otpornih čelika

U opće karakteristike feritnih vatro otpornih čelika pripadaju sljedeće karakteristike:

- kemijski sastav,
- mehanička svojstva i
- fizikalna svojstva.

1. 2. 1. 3. 1. Kemijski sastav.Tablica 1. *Prikaz kemijskog sastava za svaki navedeni primjer čelika.* [2]

Red. br.	Vrsta čelika po DIN-u	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Al %	Ti %
1	8 MnTi 4 3	0.10	0.15 – 0.40	1.0 – 1.2	-	-	-	5*C
2	6 SiTi 4 6	0.10	0.7 – 1.1	1.0	-	-	-	=
3	X10 Cr Al 7	0.12	0.5 – 1.0	1.0	6.0 – 7.0	-	0.50 – 1.0	-
4	X10 CrAl 13	0.12	0.9 – 1.4	1.0	12.0 – 14.0	-	0.70 – 1.2	-
5	X10 CrAl 18	0.12	0.7 – 1.2		17.0 – 19.0	-	0.70 – 1.2	-
6	X20 CrNiSi 25 4	0.15 – 0.25	0.8 – 1.3	2.0	24.0 – 26.0	3.5 – 5.5	-	-
7	X10CrAl 24	0.12	1.2 – 1.3	1.0	23.0 – 25.0	-	1.2 – 1.7	-

1. 2. 1. 3. 2. Fizikalna svojstva.Tablica 2. *Prikaz fizikalnih svojstava za navedene čelike.* [2]

Redni broj	Vrsta čelika po DIN-u	Spec. masa kod 20°C kg/dm ³	Spec. topli. kod 20°C kcal/kg °C	Spo. provod. topl.kod 20°C kcal/m*h*°C	Spec. otpor kod 20°C Ohm*mm ² /m
1	8 MnTi 4 3	7.8	0.12	43	0.23
2	6 SiTi 4 6	7.8	0.12	40	0.30
3	X10 CrAl 7	7.7	0.12	19.6	0.69
4	X10 CrAl 13	7.7	0.12	17.6	0.79
5	X10 crAl 18	7.6	0.12	16.2	0.93
6	X20 CrNiSi 25 4	7.7	0.12	14.4	0.80
7	X10 CrAl 24	7.6	0.12	14.4	1.10

1. 2. 1. 3. 3. Koeficijent toplinskog rastezanja.Tablica 3. *Vrijednosti koeficijenta toplinskog rastezanja između 20°C [10⁻⁴ / °C]. [2]*

Redni broj	Vrsta čelika po DIN-u	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	1000°C	1200°C
1	8 Mn Ti 4 3	13.5	13.9	14.1				
2	6 Si Ti 4 6	13.5	13.9	14.1	14.2			
3	X10 Cr Al 7	12.0				13.00		
4	X10 Cr Al 13	11.5				12.5	13.5	
5	X10 Cr Al 18	11.5				12.5	13.5	
6	X20 Cr Ni Si 25 4	13.5				14.5	15.0	15.5
7	X10 Cr Al 24	11.0				12.5	14.0	15.0

1. 2. 1. 3. 4. Mehanička svojstva.Tablica 4. *Mehanička svojstva za pojedinu vrstu čelika. [2]*

Redni broj	Vrsta čelika po DIN-u	Grani. razvla. N/mm ²	Vlač. čvrsto. N/mm ²	Lomn. razvl. (Lo=5do)%	Modul elast. E N/mm ²
1	8 MnTi 4 3	< od 205.9	343 - 441	< od 215.73	205926
2	6 SiTi 4 6	< od 196.12	372.6 – 470.7	< od 196.12	205926
3	X10 CrAl 7	< od 245	441 – 588.4	< od 196.12	205926
4	X10 CrAl 13	< od 294	490.3 – 549	< od 147.09	205926
5	X10 CrAl 18	< od 294	490.3 – 549	< od 117. 67	205926
6	X20 CrNiSi 25 4	< od 392	588.4 – 735.45	< od 254.95	205926
7	X10 CrAl 24	< od 294	490.3 - 549	< od 98.06	205926

1. 2. 2. Austenitno - feritni vatro otporni čelici

Ova grupa čelika pripada grupi legiranih čelika koji u svom sastavu posjeduju kako austenitotvorce tako i feritotvorce.

Da bi se postigla austenitno – feritna struktura potrebno je povećati sadržaj Cr, što će imati za posljedicu pojavljivanje ferita u austenitu.

Nasuprot tome sadržaj Ni poželjno je da bude nešto niži oko 8 – 10 %. Povećanjem sadržaja alfaogenih elemenata kao što su (Mo, W, Ti, Nb, Si, Al) postiže se isti efekat kao i sa povećanjem sadržaja Cr. [1]

Također sa povećanjem sadržaja gamaogenih elemenata kao što je Ni, pospješit će stvaranje austenita.

Austenitno feritnim čelicima veći sadržaj Cr poboljšava antikorozivnost prema nekim agresivnim medijima. Naročito je otporan na naponsku koroziju, poneki i na interkristalnu koroziju.

Granica elastičnosti na povišenim temperaturama je veća što otežava obradu deformiranjem na toplo.

Prilikom zavarivanja ova vrsta čelika nije osjetljiva na tople pukotine jer prisustvo ferita sprečava pojavu segregacija.

Proizvodnja austenitno – feritnih čelika veoma je teška jer su operacije kovanja i valjanja otežane. Primjerice hladno izvlačenje cijevi može biti izrazito otežano.

Feritna faza kod feritno – austenitnih čelika vrlo je bogata Cr, zbog toga će se prilikom zagrijavanja s feritnom fazom odigravati sve one pojave vezane uz feritne čelike.

To znači da će austenitno – feritni čelici zagrijavanjem na temperature između 400 – 500 °C postati čvrsti. Efekt očvršćivanja nije isti kao kod čistih feritnih čelika zbog prisutnosti austenita.

Zagrijavanje austenitno – feritnih čelika na 800 °C ima za posljedicu veliku krhkost usljed pojave " σ -faze ".

1. 2. 3. Austenitni vatro otporni čelici

1. 2. 3. 1. Općenito o austenitnim čelicima

Austenitni čelici pripadaju u grupu legiranih čelika s grupom austenitotvoraca. Najznačajniji u navedenoj grupi austenitotvoraca je " Ni ".

On svojom prisutnošću smanjuje točku A_3 do ispod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ što uzrokuje strukturu Fe - Ni legure austenitnog karaktera od niske M_s " Martenzit start " temperature do temperature " Solidusa ".

Austenitni čelici isto kao i feritni čelici nemaju alotropskih modifikacija, što znači da oni od solidus linije pa sve do temperature duboko ispod temperature okoline zadržavaju svoju austenitnu strukturu i karakterističan poligonalni manje-više izduženi oblik zrna.

Ukoliko je sadržaj C veći nego što je dozvoljeno sposobnošću rastvorivosti austenita za C pojavit će se još jedna faza a to je Cr karbid. Pojava karbida u strukturi austenita loše utječe na otpornost na interkristalnu koroziju.

Zagrijavanjem čelika na višu temperaturu austenit može primiti u svoju strukturu veliku količinu C, a da pri tome ne dođe do zakaljenja.

Veliki pad udarne žilavosti do kojeg dolazi uslijed dugotrajnog žarenja na višim temperaturama se pripisuje pojavi " σ - faze ", iako se donedavno smatralo da pojava " σ - faze " nije karakteristična za austenitne čelike.

Pojava " σ - faze " ovisi o temperaturi žarenja, vremenu držanja, kao i o količini alifagenih elemenata.

Prisustvo " σ - faze " u austenitnom čeliku je nepoželjna jer uvelike pogoršava mehanička svojstva.

Ova grupa čelika sadrži sljedeće legirajuće elemente u ovom omjeru: [1]

- 0.02 – 0.15 % C,
- 15 – 20 % Cr,
- 7 – 20 % Ni,
- uz eventualne daljnje dodatke Mo, Ti, Nb, Ta, N i dr.

Nešto viši udjel zadnje navedenih dodataka dovodi do pojave ferita u austenitu. Iz Schaefflerovog – dijagrama vidljivo je da se ova grupa čelika nalazi neposredno uz granicu monofaznog austenita i bifaznog austenitnog – feritnog polja, stoga se te čelike može promatrati kao austenitne s 5 - 10 % delta ferita.

Neki autori tvrde da se prisutnost delta ferita negativno održava na ponašanje čelika pri toploj preradi, pa preporučuju da omjer % Cr / % Ni bude manji od 1.8 što bi trebalo osigurati monofazni austenit. [1]

Drugi pak u zavarivačkoj literaturi preporučuju prisutnost 5 - 10 % delta ferita u zavaru, jer on navodno otežava pojavu tzv. toplih pukotina. [1]

Austenitne čelike karakteriziraju sljedeće fazne promjene:

- stvaranje karbidnih ili karbonitridnih faza te intermetalne " σ – faze " ukoliko se čelik dulje grije pri 650– 850 °C,
- do otapanja tih faza ako se čelik grije 1100– 1200 °C,
- do stvaranja « Delta – faze » ukoliko se čelik ugrije do oko 1300 °C i više,
- do stvaranja " Alfa ili Epsilon – Martenzita " pri dubokom hlađenju ispod M_s , odnosno pri hladnom deformiranju ispod M_f .

Izlučivanje karbidnih faza po granicama zrna, te " σ – faze " čini čelik krhkim. Uz to stvaranje karbida tipa $M_{23}C_6$ po granicama zrna osiromašuje periferiju austenitnog zrna na Cr te tako dolazi do predispozicije za nastajanje procesa korozije po tim osiromašenim granicama, odnosno predispozicije za interkristalnu koroziju.

1. 2. 3. 2. Austenitni vatro otporni čelici

S obzirom na sadržaj legirnih elemenata razlikujemo dvije vrste vatro otpornih čelika :

- Austenitni čelici na bazi Cr i Ni
- Austenitni čelici na bazi Cr, Ni i Mo

1. 2. 3. 2. 1. Austenitni čelici na bazi Cr i Ni [7]

Kod ovih čelika glavni predstavnik je 18 / 8 Cr Ni čelik sa niskim sadržajem C od 0.02 – 0.15 %. Osim Cr i Ni ovi čelici sadrže još Si, koji povećava otpornost na oksidaciju na povišenim temperaturama, S ili Se koji olakšava strojnu obradu, Ti i Nb koji smanjuje osjetljivost na interkristalnu koroziju.

Zbog svoje otpornosti prema oksidaciji na povišenim temperaturama grupa čelika sa sadržajem Cr oko 20 – 25 % i Ni oko 12 % upotrebljava se kao vatro otporni čelici.

Austenitni čelici žare se na temperaturi od 1050 - 1150 °C, a gase se u vodi. Austenitni Cr-Ni čelici nisu otporni ni prema djelovanju (SO) sumpornog oksida, ni prema (H₂S) vodikovom sulfidu.

Ni stvara eutektikum: željezni sulfid – niklov sulfid – željezo, koji se tali već pri temperaturi od 700 °C, zbog čega čelik nije više zaštićen.

1. 2. 3. 2. 2. Austenitni čelici na bazi Cr , Ni i Mo

Drugu, vrlo važnu grupu čelika čine čelici tipa 18/8 sa dodatkom 2 do 4 % Mo. Dodavanjem Mo u čelik znatno se povisuje antikorozivnost prema dušičnoj kiselini i prema kloriranim otopinama.

Radi otpornosti na interkristalnu koroziju ovi čelici sadrže Ti ili Nb. Antikorozivnost koja je poboljšana dodatkom Mo može se još više poboljšati povećanjem sadržaja Ni uz dodatak Cu.

Da ne bi došlo do pojave interkristalne korozije nakon zavarivanja ili neke obrade na toplo ovi čelici također moraju biti stabilizirani, odnosno sadržavati nizak postotak C.

Prisutnost Cu proširuje mogućnost primjene austenitnih čelika u području sumpornih i klorovodičnih otopina.

Fizikalna i mehanička svojstva čelika isključivo ovise o toplinskoj obradi kojoj je čelik prethodno bio podvrgnut.

Toplinska obrada kod ovih čelika provodi se s ciljem postizanja monofazne austenitne strukture odnosno barem takove kod koje periferije austenitnih zrna neće biti osiromašene s Cr kako bi se spriječila odnosno uklonila predispozicija za koroziju.

Čelik može sadržavati čistu austenitnu strukturu tek nakon provedene toplinske obrade gašenja, koja se sastoji od žarenja na temperaturi oko 1100 °C i hlađenja u vodi ili na zraku, što ovisi o dimenzijama obradka.

Žarenje na tako visokim temperaturama provodi se radi odstranjivanja očvršćivanja nastalog uslijed neke prethodne hladne obrade i da se rastvore karbidi koji u čeliku eventualno postoje.

Brzim hlađenjem nastoji se brzo preći temperaturno područje od 900 - 450 °C, jer se unutar tog područja stvaraju karbidi.

Vrijednost temperature žarenja ovisi o tipu čelika, a iznosi u rasponu od 1050 - 1150 °C. Jače legirane čelike i one koji sadrže više karbida žari se na višim temperaturama.

Povišenje temperature žarenja iznad dozvoljene granice propisane standardom nije dozvoljeno, jer to povećava mogućnost izlučivanja delta – ferita u čeliku koji u nekim slučajevima nije poželjan.

Austenitni vatro otporni čelici mogu se dobro hladno obrađivati (oblikovati). Karakterizira ih grubo zrnata struktura što otežava obradu odvajanjem čestica zahtijevajući posebno tvrde materijale alata, kao što je brzorezni čelik te niže brzine rezanja.

Poboljšanje obradivosti odvajanjem čestica postiže se legiranjem pojedinih čelika malim postotkom S, P i Se.

Njihovo prisustvo povećava krhkost čelika, zbog čega on postaje lakše obradiv odvajanjem čestica.

Ove čelike zbog dobre hladne obrade deformiranjem nije potrebno zagrijavati, jer usljed takve obrade ne pojavljuju se unutrašnje napetosti koje uzrokuju sklonost prema koroziji i lomljivosti konstrukcije.

Osobine austenitnih vatro otpornih čelika: [8]

- osjetljivost prema plinu koji sadrži S,
- dobra sposobnost prerade u hladnom i toplom stanju,
- austenitni čelici su nemagnetni,
- obradivost je teža,
- zavarljivost je dobra,
- visoka trajna čvrstoća i na višim temperaturama,
- koeficijent rastezanja je osjetno viši negoli kod feritnih vatro otpornih čelika.,

Austenitni čelici pokazuju pri dužem držanju na određenoj temperaturi također promjene na strukturi.

Ako C nije vezan na stabilne karbide, izlučuju se na temperaturi od 500 - 850 °C karbidi po kristalnim granicama, što prouzrokuje krtost čelika.

Osim toga može doći i kod austenitnih čelika za dužeg držanja na temperaturi od 600 - 850 °C do izlučivanja " σ - faze " što ima za posljedicu sniženje žilavosti.

Neki od najčešće primjenjivanih austenitno vatro otpornih čelika: [2]

- Č. 4579 (Prokron 20),
- Č. 4577 (Prokron 18),
- 10 Ni Cr Al Ti 32 20,
- X12 Cr Ni Ti 18 9,
- X15 Cr Ni Si 20 12,
- X15 Cr Ni Si 25 20 i dr.

1. 2. 3. 3. 1. Karakteristike austenitnih vatro otpornih čelika

Pod općim karakteristikama podrazumijeva se sljedeće:

- kemijski sastav i
- fizikalna svojstva.

1. 2. 3. 3. 1. 1. Kemijski sastav

Tablica 5. *Kemijski sastav za pojedini čelik.* [2]

Red. br.	Vrsta čelika po DIN - u	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Ti %	Al %
1.	Prokron 18							
2.	X15 CrNiSi 25 20	0.20	2.0	1.5	25.0	20.0	-	-
3.	Prokron 20	0.15	1.7	1.5	16.0	35.0	-	-
4.	10 NiCrAlTi 32 2							
5.	X12 CrNiTi 16 9	0.15	1.0	2.0	17.0-19.0	9.0-11.0	0.7	-
6.	X15 CrNiSi 20 12							

1. 2. 3. 3. 1. 2. Fizikalna svojstva.Tablica 6. *Prikaz fizikalnih svojstava za svaki pojedini čelik.* [2]

Red. br.	Vrsta čelika po DIN – u	Spec. težina kod 20°C kg / dm ²	Spec. toplina kod 20°C Kcal/kp*°C	Toplinska provodnost kod 20 °C Kcal/m*h*°C	Spec. otpor kod 20°C Ohm*mm ² /m	Koef.top. raste. između 20°C i 400°C 10 ⁻⁴ /°C
1.	Prokron 18					
2.	X15 CrNiSi 25 20	7.8	0.12	12.0	0.95	17.0
3.	X12 NiCrSi 36 16					
4.	10 CrNiAlTi 32 2					
5.	X12 CrNiTi 18 9	7.6	0.12	12.0	0.73	18.0
6.	X15 CrNiSi 20 12	7.8	0.12	12.0	0.85	17.5

1.3. Primjena vatro otpornih čelika

1.3.1. Općenito o primjeni

Zahtjevi pri eksploataciji ovih čelika vrlo su veliki. Visoka temperatura, te niz agresivnih spojeva prisutnih u struji plina uzrokovat će oštećenja na površini čelika.

Nastala oštećenja isključivo su kemijskog karaktera stvarajući kemijske spojeve, okside i nitride, koji po svojoj strukturi i mehaničkim svojstvima odskakuju od osnovnog materijala od kojeg je načinjena konstrukcija, što uzrokuje lom takvih elemenata, te smanjenje ukupnu masu osnovnog materijala s obzirom na vrijeme.

Čak i ako ne otpadne oksidni sloj koji nastaje pri kemijskoj reakciji, postoji mogućnost da nastali sloj posjeduje sam po sebi pukotine, te na taj način omogućava daljnje napredovanje oksidacije i propadanje konstrukcije.

Zbog svega toga u praksi se ne može koristiti ne legirane ili pak nisko legirane čelike, jer je njihov gubitak mase u ovakvim uvjetima eksploatacije vrlo visok.

Zato se jedino rješenje primjene čelične konstrukcije vidi kod visoko legiranih čelika na bazi kroma i nikla, gdje je u nekim slučajevima poželjno prisustvo silicija i aluminija zbog poboljšavanja mehaničkih i vatro otpornih svojstava, tj. otpornosti na ogaranje.

Navedeni uvjeti eksploatacije nalaze se u raznim granama industrije od metaloprerađivačke, kemijske, prehrambene industrije i dr .

U svakoj od tih grana industrije javljaju se metalne konstrukcije, manje ili više mehanički opterećene koje se eksploatiraju u navedenoj agresivnoj okolini.

U te metalne konstrukcije pripadaju razne vrste kotlova, parnih cjevovoda te odvoda dimnih plinova.

Na takvim i sličnim mjestima primjenjivat će se visoko legirani čelici na bazi kroma.

Ovisno o konstrukciji, bazirat će se na pojedinu vrstu vatro otpornih čelika od feritnih do austenitnih.

S obzirom na već gore navedenu strukturnu podjelu razlikuje se primjena čelika po spomenutim grupama.

1. 3. 2. Primjena feritnih vatro otpornih čelika

Feritni vatro otporni čelici naročito su otporni na oksidaciju pri visokim temperaturama sa većim sadržajem sumpornih plinova.

Antikorozivnost prema vlažnim agresivnim sredinama dosta je smanjena. Otpornost na dušičnu kiselinu je relativno dobra.

Dok je otpornost na morsku vodu zadovoljavajuća. Zbog osjetljivosti na oštre zarezze i radi otežane zavarljivosti ovi čelici nemaju veću primjenu u kotlogradnji, rezervoara i sličnih konstrukcija.

Unatoč tome ovi čelici se primjenjuju u proizvodnji raznih aparata za proizvodnju dušika i octene kiseline, ukoliko se operacije savijanja zavarivanja vrše u pregrijanom stanju te da na površini nema oštih zarezza.

S obzirom na navedene osobine, feritni čelici primjenjivat će se za izradu dijelova u raznim područjima industrije kao što su: elementi u kemijskoj industriji, proizvodnji dušične kiseline, sapuna, izradi pribora za jelo, kućanskih aparata, u industriji boja, u proizvodnji octene kiseline, industriji papira i dr.

1.3.3. Primjena austenitno – feritnih vatro otpornih čelika

Austenitno – feritni čelici pripadaju grupi čelika sa specifičnim svojstvima. Nastala svojstva dobivena su i od feritnih i od austenitnih čelika.

Osim dobrih svojstva dobivene su i neizbježne nepovoljne pojave koje se kroz primjenu nastoje izbjeći.

Zbog toga se primjena austenitno – feritnih čelika preklapa sa primjenom i feritnih i austenitnih čelika.

1.3.4. Primjena austenitnih vatro otpornih čelika

Primjena ove vrste čelika je široka i pokriva područja: kemijske, farmaceutske, fotografske, prehrambene industrije, zrakoplovstvo, mornarica, transport i arhitektura.

Ovaj čelik je vrlo podesan za izradu onih proizvoda gdje se osim dobre antikoroziivnosti zahtijevaju: dobra sposobnost deformacija, dobra mehanička svojstva na povišenim

temperaturama, mogućnost hladnog očvršćivanja i mogućnost poliranja. Austenitni čelici imaju znatno veću primjenu nego feritni čelici.

1.3.5. Primjeri najčešće primjenjivanih čelika sa područjem njihove primjene

U tablici 7. navode se primjeri primjere za pojedine čelike.

Tablica 7. Područja primjene s obzirom na pojedinu vrstu čelika. [1]

Oznaka čelika	Primjeri primjene
X10 Cr Al 7	limovi i cijevi u pećima, predgrijači zraka, ovjesi predgrijača, poklopci, zaštitne pirometerske cijevi, sanduci za cementiranje u granulatu
X10 Cr SI 13	dijelovi za gradnju peći i parnih kotlova: tračnice, nosiva i transportna užad, rešetke ložišta
X10 Cr Al 18	armature peći, žarne cijevi, lonci za žarenje
X10 Cr Al 24	limovi za pred grijače kotlovske pare, ovjesi predgrijača
X15 Cr Ni Si 25 20	dijelovi peći i toplinskih uređaja: žarne komore, lonci za žarenje, rešetke za emajliranje, grijači, predgrijači zraka, stalci u pećima. Ne podnosi reducirajuće plinove koji sadrže sumpor.
X15 Cr Ni Si 20 12	kao X15 Cr Ni Si 25 20, ali za niža mehanička naprezanja
X12 Cr Ni Si 36 16	kao X15 Cr Ni Si 25 20, ali za niža mehanička naprezanja
X10 Ni Cr Al Ti 32 20	7a limove do 6 mm, hladno oblikovljiv: dijelovi peći parnih kotlova, uređaja u rafineriji nafte