

Korrosjonsbestandige ***stål***



	side
INNHold	2
FORORD	3
1 INNLEDNING	3
2 TYPER AV RUSTFRIE STÅL	4
2.1 Inndeling etter strukturtyper	4
2.2 Inndeling etter legering	5
2.3 Schaefflerdiagrammet	6
3 EGENSKAPER	8
3.1 Fysikalske egenskaper	8
3.2 Fasthetsegenskaper ved høy temperatur	8
4 KORROSJONS- OG STRUKTURPROBLEMER	10
4.1 Generelt	10
4.2 Interkrystallinsk korrosjon - karbiddannelse	10
4.3 Sigmafase - dannelse	11
4.4 Punktkorrosjon	12
4.5 Spenningskorrosjon	13
4.6 Spaltekorrosjon	14
4.7 Galvanisk korrosjon	14
4.8 Erosjonskorrosjon	16
4.9 Høytemperaturkorrosjon	16
4.10 Kornvekst	18
5 RUSTFRIE STÅL	18
5.1 Ferrittiske rustfrie stål	21
5.1.1 Varmebehandling av ferrittiske rustfrie stål	21
5.1.2 Sveising av ferrittiske rustfrie stål	21
5.2 Martensittiske rustfrie stål	21
5.2.1 Sveising av martensittiske rustfrie stål	22
5.2.2 Varmebehandling av martensittiske rustfrie stål	22
5.3 Austenittiske rustfrie stål	22
5.3.1 Sveising av austenittiske rustfrie stål	23
5.3.2 Varmebehandlning av austenittiske rustfrie stål	23
5.4 Duplex rustfrie stål	24
5.5 Utskillingsherdbare rustfrie stål	24
6 REFERANSER	25

Copyright © 2012 Henning Johansen

Sist revidert 05.06.2012

FORORD

Dette kompendium er beregnet på personer som er fortrolig med grunnleggende materiallære og som ønsker å få en grunnleggende innføring i korrosjonsbestandige stål, også kalt rustbestandige- og rustfrie stål. Det er skrevet ut i fra en serie med forelesninger holdt for bachelorstudenter i Materiallære ved Høgskolen i Gjøvik. Det er lagt stor vekt på gode illustrasjoner og kortfattet tekst.

Som mål har dette kompendium å gi en innføring i de forskjellige grupper av korrosjonsbestandige stål. Hvordan de er bygd opp ved legering og struktur, hvilke mekaniske egenskaper de forskjellige gruppene har og hvordan de egner de seg for sveising og varmebehandling.

Det er gitt en kort oversikt over de vanligste korrosjonsproblemene som bl.a. disse stålene kan bli utsatt for.

Til slutt er det gitt en oversikt med eksempler på stål i de forskjellige stålgruppene. Her er det beskrevet hvordan vi varmebehandler stålene og hvordan de er å sveise.

Forfatteren var tidligere ansatt som bl.a. seksjonsleder ved Teknologisk Institutt, avd. for materialteknologi, i Oslo og er nå førsteamanuensis i materialteknologi ved Høgskolen i Gjøvik.

1 INNLEDNING

Vanlige karbonstål korroderer (ruster) i luft og vann. Ved å legerer stål med enkelte legeringselementer nedsettes korrosjonshastigheten. Det elementet som i første rekke kan benyttes for dette er krom (Cr). Tilsetter vi 12 - 13% Cr til et stål angripes det ikke av ferskvann og luft. Vi har fått det vi kaller et RUSTFRITT STÅL.

Forklaringen på denne "rustfriheten", er at stålet overtrekkes med en tynn hinne av kromoksyd. I motsetning til den jernoksyd - hinnen (rust) en finner hos alminnelige stål, er kromoksyd - hinnen så tett og fastsittende at den beskytter stålet mot videre oksidasjon eller korrosjon. Stålet er blitt passivisert.

Uttrykket "rustfritt stål" er egentlig misvisende. Det foran nevnte 12 - 13% Cr-stålet vil f.eks. korrodere i saltvann. Vi må også være klar over at gruppen "rustfrie stål" inneholder ståltypen med vidt forskjellige motstandsevne mot korrosjon. I mange tilfeller er de alt annet enn rustfrie.

Virkingen av en Cr-tilsats over ca. 12% er som nevnt at det dannes en tett oksyd - hinne på ståloverflaten. Dette medfører også at stålet får bedre bestandighet mot atmosfærisk korrosjon ved høyere temperaturer enn et alminnelig stål. Det benyttes ofte uttrykket VARMEFASTE STÅL, om stål med høye Cr - innhold (20 - 25 %).

Mens virkingen av Cr med hensyn til korrosjon særlig er merkbar under oksyderende betingelser, vil tilsats av Ni og Mo gjøre stålene motstandsdyktige også mot reduserende syrer. Betegnelsen SYREFASTE STÅL blir derfor ofte brukt på stål tilsatt Ni og Mo.

Grensene mellom de tre gruppene: varmebestandige, syrefaste og rustfrie stål, er imidlertid temmelig uskarpe og i det følgende vil rustfrie stål bli brukt som samlebetegnelse.

2 TYPER AV RUSTFRIE STÅL

2.1 Inndeling etter strukturtyper

I de rustfrie stålene vil en finne de samme strukturtyper som er vanlige i ulegerte og lavlegerte stål.

De rustfrie stålene har imidlertid så høyt innhold av legeringselementer at strukturer som ikke er stabile ved romtemperatur hos ulegerte - og lavlegerte stål kan bli den mest stabile struktur hos rustfrie stål.

- ferritt som har kubisk romsentrert gitterstruktur er en vanlig strukturtype i ulegerte stål og er den mest stabile struktur i en type rustfrie stål
- martensitt er en ustabil avkjølingsstruktur hos ulegerte stål, men er stabil hos en annen type rustfrie stål
- austenitt har kubisk flatesentrert gitterstruktur og er bare stabil ved høyere temperaturer i ulegerte stål, men er stabil ved romtemperatur i mange rustfrie stål.

Strukturtypene har svært forskjellige kjemiske og mekaniske egenskaper, og de rustfrie stålene har meget varierende egenskaper avhengig av dette. Det er derfor naturlig å gruppere de rustfrie stålene etter hvilken struktur de har.

Hovedtypene er:

- FERRITTISKE rustfrie stål med hovedsakelig 14 - 30% Cr og relativt lavt karboninnhold (0,05 - 0,25% C). Mekaniske egenskaper er gode på grunn av krominnholdet. Korrosjonsmotstanden er moderat. Eksempler på bruk er til diskplater, kjøkkentøy, pyntelister (biler), beholdere og utstyr (kjemisk industri)
- MARTENSITTISKE rustfrie stål med hovedsakelig 13 - 17% Cr og relativt høyt karboninnhold (0,10 - 1,0% C). Mange martensittiske rustfrie stål er luftherdende og veldig harde og sprø. Korrosjonsmotstanden er liten. Eksempler på bruk er til verktøy, spisebestikk og kirurgiske instrumenter.
- AUSTENITTISKE rustfrie stål med hovedsakelig 12 - 25% Cr og 8 - 25% Ni og eventuelt noe molybden og kobber. Stålene er seige og godt formbare. Korrosjonsmotstanden er veldig god. Dette er den største gruppen av rustfrie stål med over 95% av forbruket. Disse stålene har et vidt bruksområde.

I tillegg til de nevnte hovedtypene finnes det ståltyper med kombinasjoner av de nevnte strukturene. Kombinasjonsståltypene har egenskaper som ligger i mellom de respektive hovedstrukturtypene.

- DUPLEX stål brukes som betegnelse på stål med en blandingsstruktur av austenitt og ferritt. De inneholder 18 - 27% Cr og 3 - 7% Ni. Korrosjonsbestandighet og mekaniske egenskaper ligger i området mellom de austenittiske og ferrittiske stålene.

Duplex betyr i videre forstand stål med to strukturtyper, og betegnelsen kan også bli brukt på stål med andre blandingsstrukturer.

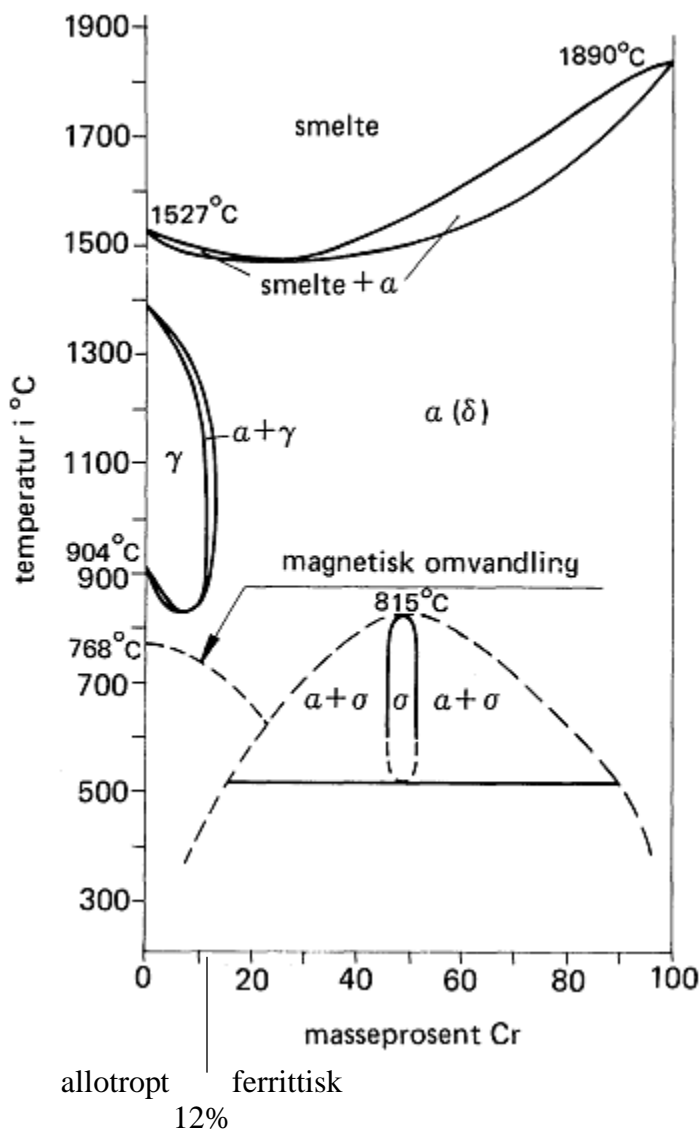
2.2 Inndeling etter legering

De rustbesfrie stålene kan også inndeles etter legering som:

- Korrosjonsbestandige krom (Cr) - stål
- Korrosjonsbestandige krom (Cr) - nikkell (Ni) - stål

Cr - stålene er ferrittiske eller martensittiske og Cr - Ni - stålene er austenittiske.

Cr har kubisk romsentrert struktur helt opp til smeltepunktet. Cr i legering med jern (Fe) vil være allotropisk opp til 12% Cr og kan omkrystalliseres ved varmebehandling i austenittområdet, γ , som vanlig C-stål. Over 12% Cr er legeringen ferrittisk, α , i hele temperaturintervallet.



I figuren er:

γ , austenitt, kubisk flatesentrert struktur

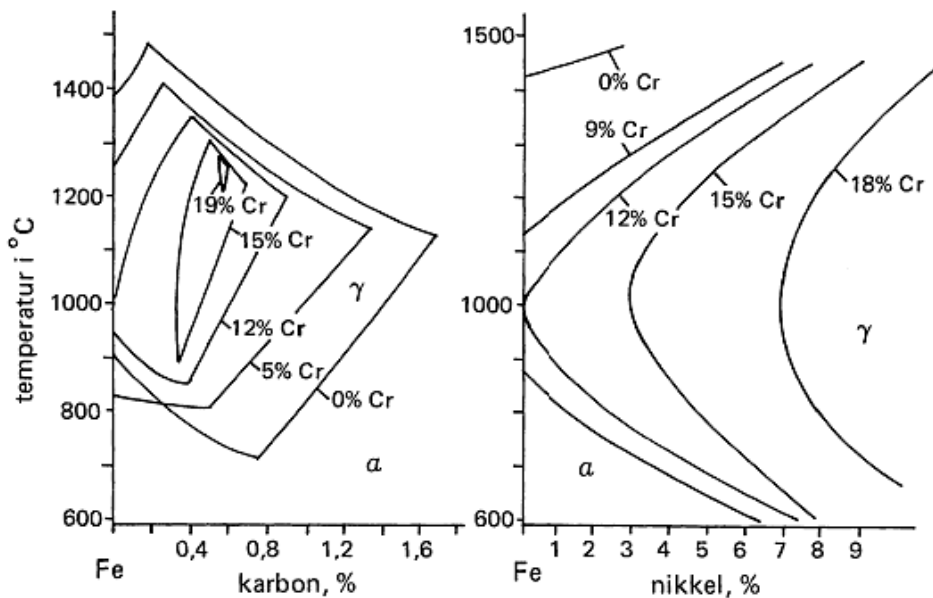
α , ferritt, kubisk romsentrert struktur
 - kan ikke forfine grov struktur ved varmebehandling. (normalisering)
 - kan ikke herdes

σ - fase, kjemisk forbindelse Fe Cr
 - hard
 - sprø
 - ødelegger rustbestandigheten
 - derfor uønsket

Figur 2.1
 Fasediagrammet for jern-krom legeringer. (2)

For praktiske anvendelser er det en stor fordel at legeringen har en $\alpha - \gamma$ omvandling, slik at den kan normsliseres og herdes. I legeringen over vil dette føre til at det går ut over korrosjonsbestandigheten.

α - γ omvandling er også påvirket av andre legeringselementer, i første rekke karbon og nikkell. Figuren på neste side ser vi at tilsetning av 0,1% C eller 1% Ni til en basislegering av Fe med 12% Cr, fører til at det dannes en γ struktur mellom ca. 900°C og 1100°C. Vi ser også at nødvendig C - og Ni - innholdstiger når Cr - innholdet i basislegeringen øker utover 12%. I praksis betyr dette at det er mulig å opprettholde en α - γ omvandling i stål med 12 - 14% Cr, forutsatt et C - innhold på 0,1 - 0,3% og ca. 1% Ni. De betegnes MARTENSITTISKE fordi strukturen blir martensittisk ved romtemperatur, også etter langsom avkjøling. Ved større Cr - innhold mister stålene α - γ omvandlingen og har ferrittisk struktur fra de vstørkner og ned til romtemperatur. De betegnes som FERRITTISKE.



Figur 2.2

γ - feltets forandring i utstrekning i jern-krom basislegeringer, avhengig av innlegering med karbon og nikkell. (2)

Figuren over viser at en legering med 18% Cr og 8% Ni er austenittisk ved ca. 1000°C. I følge diagrammet omvandles austenitt til ferritt ved avkjøling. Det store legeringsinnholdet gjør at omvandlingen skjer veldig langsomt. Dette kan undertrykkes helt ved hurtig avkjøling, slik at strukturen blir AUSTENITTISK også ved romtemperatur. Austenitten er lite følsom for høytemperatursprøhet og σ - fase sprøhet som er en stor svakhet hos de ferrittiske Cr - stål.

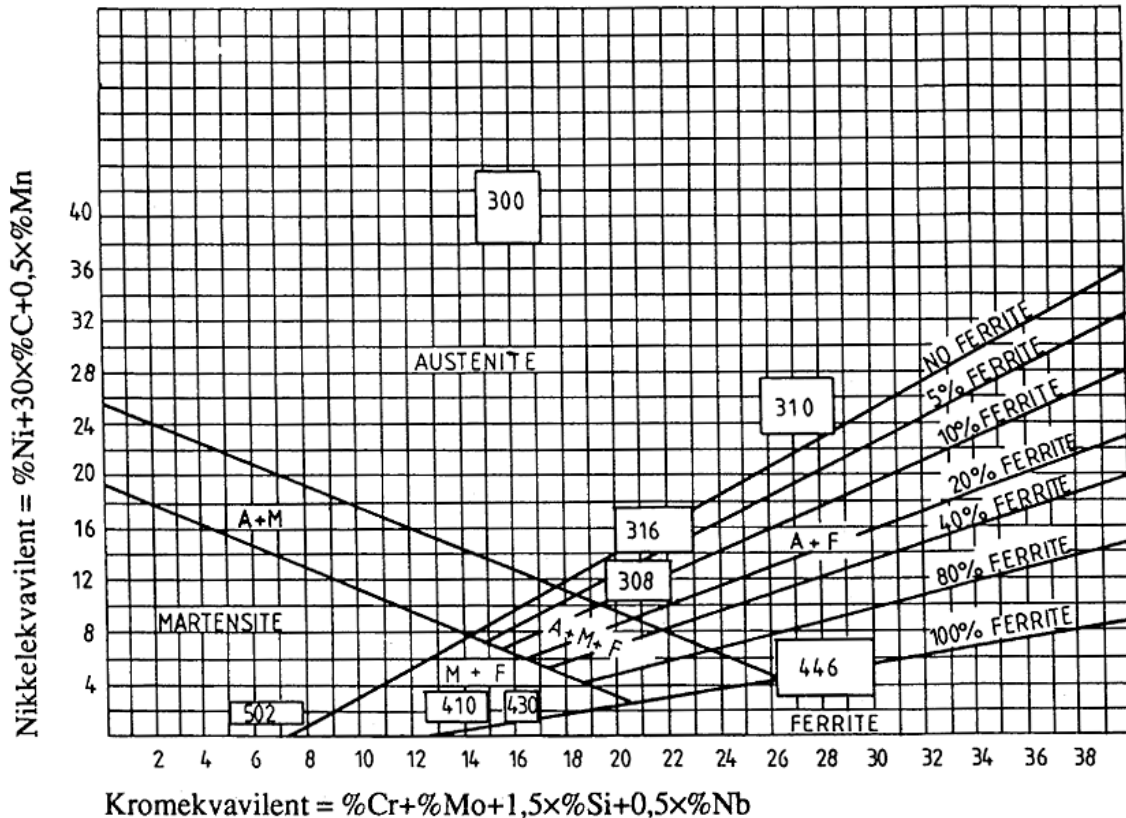
2.3 Schaefflerdiagrammet

Det vanlige er at vi bruker fasediagrammer for å bestemme strukturtypen. I rustfrie stål er det imidlertid svært mange legeringselementer og oppsett av fasediagrammer blir veldig vanskelig. Vi benytter derfor en annen type hjelpediagram for å bestemme strukturen. Dette hjelpediagrammet kalles Schaefflerdiagram. Se figuren på neste side.

Legeringselementer tilsatt stål kan klassifiseres enten som ferrittdannere eller som austenittdannere. Tendensene til å danne disse strukturene har vi så relatert til Cr for ferrittdannere og til Ni for austenittdannere. Vi regner så ut en Cr - ekvivalent for ferrittdannere og en Ni - ekvivalent for austenittdannere.

Formlene for ekvivalentene er:

- Krom - ekvivalent = $\%Cr + \%Mo + 1,5 \cdot \%Si + 0,5 \cdot \%Nb$
- Nikkel - ekvivalent = $\%Ni + 30 \cdot \%C + 0,5 \cdot \%Mn$



Figur 2.3

Schaefflerdiagram for strukturbestemmelse av rustfrie stål.

Noen rustfrie stål er angitt med AISI - betegnelse og firkant i diagrammet. (5)

Schaefflerdiagrammet er utarbeidet for bruk ved sveising. Diagrammet gjelder derfor ved den avkjølingshastighet vi har når vi sveiser. I følge dette diagrammet vil vanlige rustfrie stål som 304 og 316 inneholde noe ferritt. I praksis vil imidlertid plater og smigods av disse kvalitetene ikke inneholde ferritt.

Diagrammet bør derfor benyttes med forbehold.

3 EGENSKAPER

3.1 Fysikalske egenskaper

Tabellen under viser de fysikalske egenskapene til noen rustfrie stål sammenlignet med karbonstål.

Materiale	C-stål	Cr-stål		Cr-Ni - stål		
Analyse: Cr %	-	13	17	26	18	25
Ni %	-	-	-	5	9	20
Strukturtype		martensitt	ferritt	duplex	austenitt	austenitt
Lengdeutvidelses- koeffisient ved $20-800^{\circ}\text{C} \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	13	13	13	14	20	18
Varmeledningsevne ved $20-100^{\circ}\text{C} \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$	47	26	23	21	16	14
Elektrisk lednings- motstand ved $20^{\circ}\text{C} \text{ n}\Omega\text{m}$	150	600	600	850	700	950

Tabell 3.1
Fysikalske egenskaper for stål. (1)

Av tabellen fremgår det at de ferrittiske og martensittiske kromstål har en lengdeutvidelseskoeffisient som tilsvarer vanlig C - stål. Austenittisk Cr - Ni - stål har omtrent 50% større lengdeutvidelseskoeffisient enn vanlig stål. Det oppstår derfor store krympespenninger for dette stålet etter varmpåvirkning, noe som kan føre til kastninger og deformasjoner.

Varmeledningsevnen for de rustfrie stålene er lavere enn hos C - Mn - stål, og lavere desto høyere legeringsinnholdet er. For Cr - stålene er varmeledningsevnen omkring halvparten av bløtt stål. Cr - Ni stålene har en varmeledningsevne som bare er en tredjedel av C - stål. Den elektriske ledningsmotstanden for de rustfrie stålene er 4 - 7 ganger høyere enn for ulegert stål.

3.2 Fasthetsegenskaper ved høy temperatur

De mekaniske høytemperaturegenskapene for rustfrie stål skiller seg vesentlig fra ulegert stål. De bevarer bedre sin fasthet når de er varme, noe som fremgår av tabellen under, der flytegrensen er vist ved ulike temperaturer.

Som vi ser av tabellen, øker varmefastheten med økende legeringsinnhold.

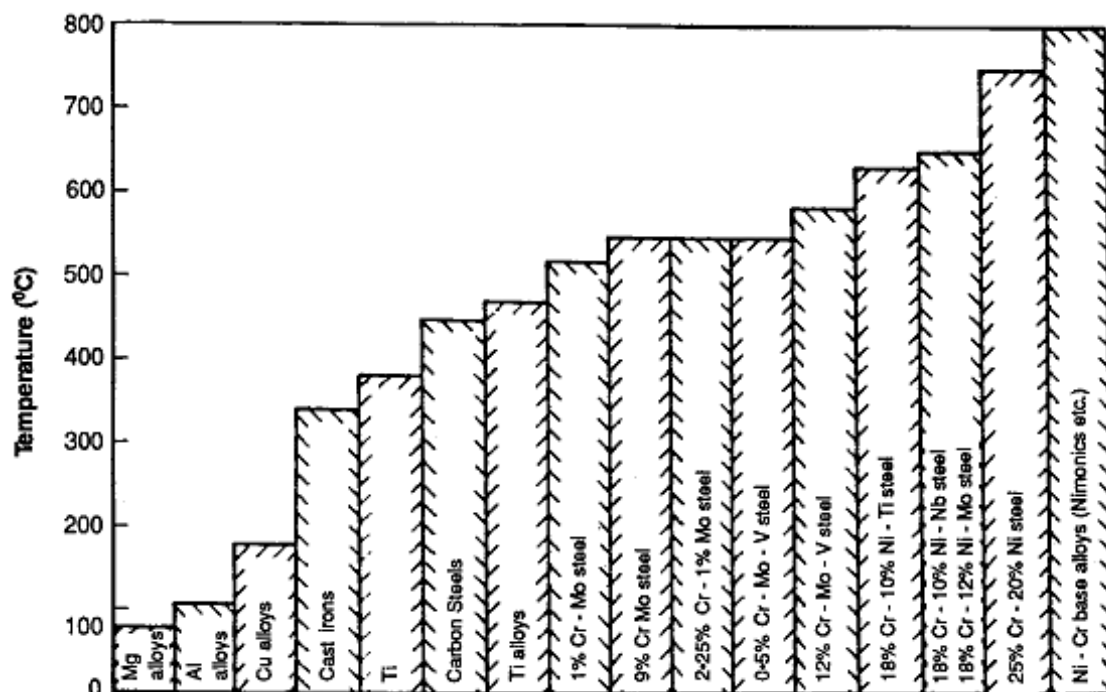
Ståltype	Flytegrenser (N/mm ²) ved Temperatur (°C)				
	20	400	500	600	700
Ulegert stål	270	120	10	-	-
13% Cr - stål	290	220	180	120	50
25% Cr, 5% Ni	490	370	350	200	80
18% Cr, 8% Ni	230	170	160	150	110
25% Cr, 20% Ni	260	210	200	190	130

Tabell 3.2

Flytegrense ($\sigma_{0,2}$ - grense) (N/mm²) for stål ved forskjellige temperaturer. (Glødede materialer).

Ved høyere temperaturer vil imidlertid siging være hovedproblemet.

Figuren under viser øvre brukstemperatur, ut i fra sigeegenskaper, for noen metallegeringer. Vi ser at de rustfrie stålene kan brukes opp til 500 - 750°C



Figur 3.1

Øvre brukstemperatur for noen metall - legeringer, basert på at de skal tåle belastning 45 - 75N/mm² i 100 000 timer før brudd. (1)

4 KORROSJONS- OG STRUKTURPROBLEMER

4.1 Generelt

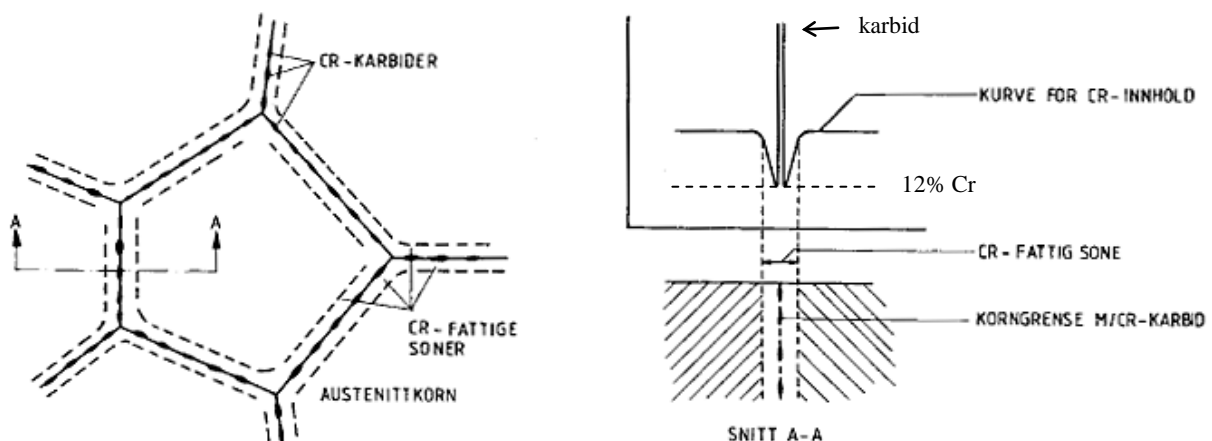
De rustfrie stålene er som navnet sier veldig korrosjonsbestandige. Dette kommer av at det høye Cr - innholdet (over ca. 12% Cr) bevirker dannelsen av en tett fastsittende passiv film på overflaten. Denne gir veldig god beskyttelse mot generell korrosjon, det vil si korrosjon jevnt fordelt over hele overflaten.

Oksyderende miljøer som luft og oksyderende syrer (f.eks. HNO_3) hjelper til med å opprettholde og å danne filmen.

Andre stoffer som klorider, sveiseslagg, reduserende syrer m.fl. kan angripe eller hindre dannelsen av denne passive filmen og derved forårsake korrosjonsangrep på rustfrie stål. Disse korrosjonsangrepene er lokale og kan gi ubehagelige overraskelser.

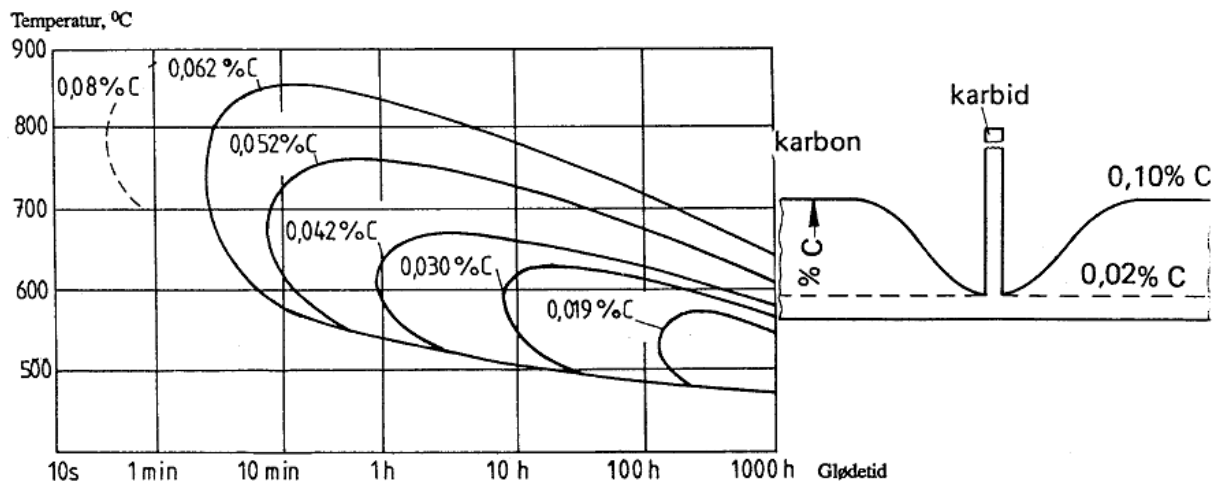
4.2 Interkrystallinsk korrosjon - karbiddannelse

Oppvarming av austenittisk rustfritt stål til mellom 450 - 900°C kan føre til utfelling av kromkarbider på korn grensene. Krom bundet til karbon på denne måten deltar ikke i korrosjonsbeskyttelsen, og når legeringen senere utsettes for en korrosiv væske opptrer korrosjon langs korn grensene i metallet.



Figur 4.1
Kromkarbidutskillelse på korn grensene. (1)

I den varmepåvirkede sonen omkring en sveis vil vi alltid ha de kritiske temperaturer for kromkarbiddannelse. Det gjelder da å begrense dette. Dette kan gjøres enten ved å senke C - innholdet så lavt, $C < 0,02\%$, at kromkarbiddannelsen tar lengre tid enn den tiden materialet oppholder seg i det kritiske temperaturintervallet, eller vi kan tilsette stoffer som kan binde seg til karbon sterkere og hurtigere enn krom.



Figur 4.2

Isotermiske omvandlingskurver som viser sammenhengen mellom glødetid og temperatur for begynnende interkrySTALLINSK korrosjonsangrep på 18/8 - stål med forskjellige karboninnhold i en spesiell korrosjonsprøve. Høyre figur viser hvordan C - innholdet varierer tett opp til en karbidutfelling. (1),(2)

En annen måte å unngå kromkarbidutskillelse på er å "stabilisere" stålene med titan (Ti) eller niob (Nb). Disse er utpregede karbiddannere og har større affinitet til C enn Cr. De stabiliserende elementer binder derfor karbon så det ikke dannes kromkarbider. Ti er mest effektivt og benyttes som regel til å stabilisere stålene. Til å stabilisere sveisemetallet brukes Nb som tilsetning til elektroder fordi Ti har for stor avbrann i buen, slik at gjenvinningen blir for liten.

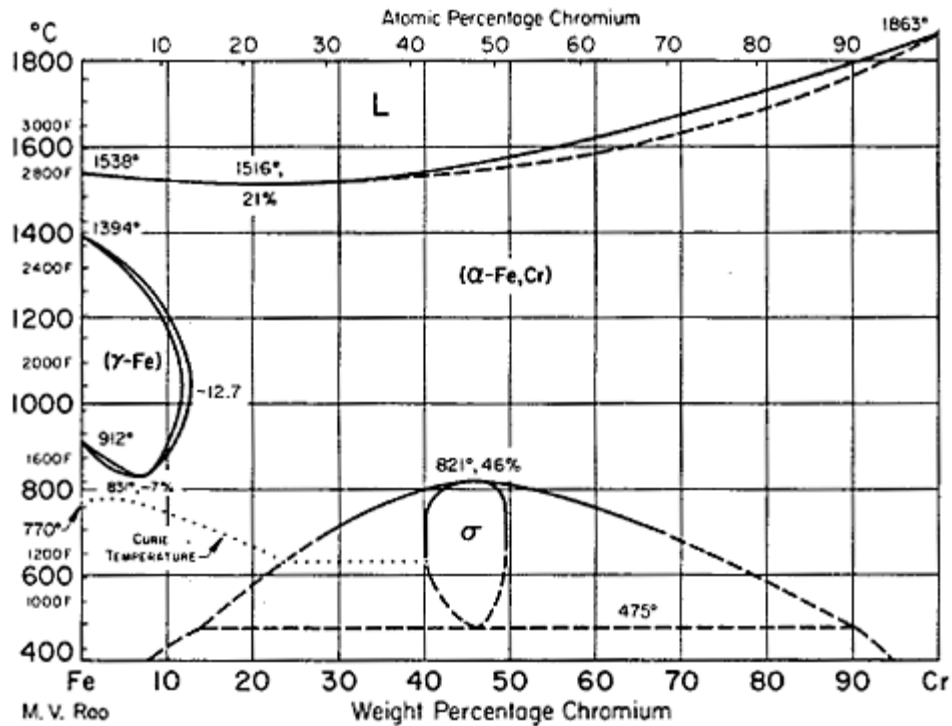
4.3 Sigmafase - dannelse

Innen likevektsystemet for jern og krom finnes en fase som kalles sigma-fase (σ - fase). Dette er en intermetallisk forbindelse med omtrent 45% krom og 55% jern, se figuren neste side. Den kan også inneholde molybden (Mo). Sigma-fasen er hard og sprø og nedsetter duktiliteten og slagseigheten i grunnmaterialet.

Har vi over 30% Cr i et stål blir mengden av denne fasen så stor at slike stål ansees ubrukelige.

Selv stål med mellom 20 - 30% Cr må forventes å danne sigma-fase ved langvarig gløding i temperaturomradet 550 - 800°C.

Cr - diffusjon for å danne sigma - fase utarmer grunnmaterialet for krom og svekker korrosjonsbestandigheten.



Figur 4.3
Fasediagram Cr - Fe. (1)

4.4 Punktkorrosjon

Et viktig korrosjonsproblem i rustfritt stål er punktkorrosjon. Punktkorrosjon arter seg som korrosjonsangrep som starter i punkter på overflaten og brer seg i dybden inn i materialet. Hvis angrepet får gå langt nok, gjennomhulles materialet.

Punktkorrosjon opptrer der det beskyttende oksydsjiktet svekkes. Den forårsakes gjerne av urenheter eller partikler. Som eksempel kan nevnes: slaggrester fra sveising, avleiringer av skitt, urenheter i materialet, dårlig beising av sveis, ufullstendig fjerning av beis, skader i overflaten m.m. Det er spesielt i halogenholdig miljø at punktkorrosjon opptrer (f.eks. havvann).

Forebyggende tiltak mot punktkorrosjon er grundig rengjøring kombinert med eventuell sliping og polering.

Etterfølgende tabell viser forskjellige rustfrie ståltypers motstandsevne mot lokale korrosjonsangrep i kloridmiljø.

Ståltype	Bestandighet mot punkt- og spaltekorrosjon		Bestandighet mot spenningskorrosjon
	start	forplantning	
17Cr	1	1	10
18Cr - 2Mo	6	5	10
25 - 5 - 1,5 Mo	7	6	9
18-9	2	4	1
17 - 12 - 2.5 Mo	6	7	3
20 - 25 - 4,5 Mo - 1,5 Cu	10	10	8

Tabell 4.1 (1)
Rustfrie ståltyper i kloridmiljø
Karakter 1 = dårligst, 10 = best

Til å bedømme rustfrie ståls motstandsevne mot punktkorrosjon kan vi regne ut den såkalte "Pitting Resistance Equivalent" (PRE).

$$\text{PRE} = \% \text{Cr} + 3,3 \cdot \% \text{Mo}$$

Er utregnet PRE mindre enn 32, kan vi få punktkorrosjon i sjøvann.

Nitrogen har også gunstig innvirkning på rustfrie ståls motstandsevne mot punktkorrosjon. Det finnes derfor PRE - formler der nitrogeninnholdet inngår.

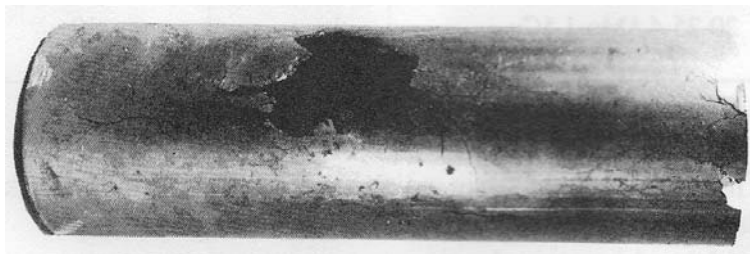
4.5 Spenningskorrosjon

Austenittisk rustfritt stål er i likhet med mange andre metalliske materialer med kubisk flatesentrert gitterstruktur følsomt for spenningskorrosjon.

Spenningskorrosjon skyldes en kombinasjon av strekkspenninger og korrosivt miljø.

Austenittiske rustfrie stål er spesielt utsatte i kloridholdig miljø over 70°C.

Sterkt alkaliske løsninger (f.eks. kokende NaOH og KOH) kan også forårsake spenningskorrosjon.



Figur 4.4
Spenningskorrosjon på dampledning i SS stål 2343 forårsaket av kloridholdige løsninger på rørets utside. (1)

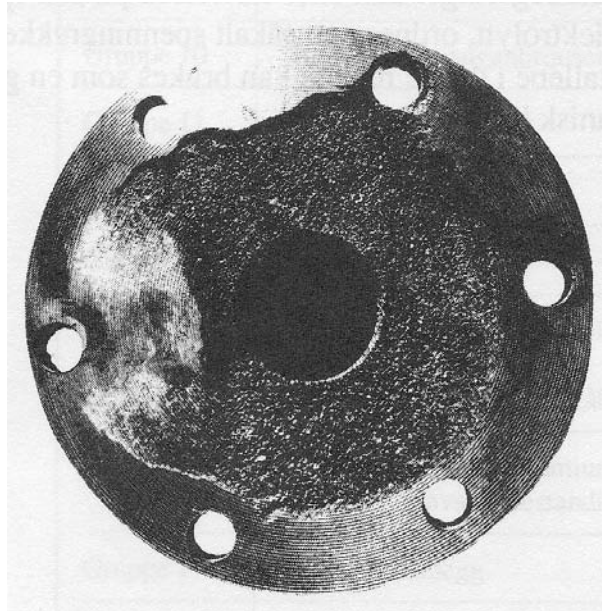
Avspenningsgløding for å eliminere spenningskorrosjon for austenittiske rustfrie stål bør utføres over 800°C. En viss effekt kan også gløding mellom 350 - 450°C ha.

4.6 Spaltekorrosjon

Denne korrosjonsformen opptrer som navnet sier i spalter. Den oksygentilførselen som er nødvendig for å opprettholde et passivt og beskyttende oksygensjikt kan bli mangelfull på slike steder. Korrosjonsangrepet kan begynne i spalten og bre seg inn i materialet i likhet med punktkorrosjon.

Tiltak mot spaltekorrosjon er å unngå spalter som f.eks. overlappforbindelser og flenseforbindelser.

Materiale med god bestandighet mot punktkorrosjon vil også være mer bestandig mot spaltekorrosjon. Spesielt er økt innhold av molybden og krom gunstig.



Figur 4.5

Spaltekorrosjon under ventilflens på havvannsførende kjøleledning. (1)

4.7 Galvanisk korrosjon

Galvanisk korrosjon oppstår når to forskjellige metaller, som er elektrisk ledende og er forbundet med hverandre, kommer i kontakt med en elektrisk ledende væske (elektrolytt).

Det uedleste av metallene vil da gå i oppløsning som ioner, og det vil oppstå en elektrisk strøm. Fenomenet benyttes i akkumulatører og tørrbatterier for produksjon av elektrisk strøm.

Når de rustfrie stålene har fått sitt passive sjikt befinner de seg i en passiv tilstand, og da er de edlere enn de fleste andre konstruksjonsmaterialer. De kan derfor bevirke en kraftig galvanisk korrosjon på uedlere metaller som sink, aluminium og konstruksjonsstål i fuktige miljøer. Særlig hvis arealet av rustfritt stål er stort i forhold til det uedlere metallet.

I enkelte korrosive løsninger vil stålets passive sjikt ødelegges. Vi får da en overgang til en ubeskyttet aktiv tilstand. Det rustfrie stålet blir på denne måten mye uedlere og kan i slike løsninger bli det uedleste metallet og derfor korrodere.

Et metall i kontakt med en elektrolytt får et visst elektrisk potensial (spenning) i forhold til elektrolytten. De edleste metallene har de høyeste potensialene, de uedleste har de laveste.

Metaller og metallegeringer kan etter størrelse på den spenning de får ved dypping i en elektrolytt, ordnes i en såkalt spenningsrekke.

Avstanden mellom de respektive metallene i denne rekken kan brukes som en grov bedømmelse av faren for galvanisk korrosjon.

Metallenes spenningsrekke i sjøvann kan brukes for å bedømme den korrosjonsfare vi har når to elektrisk ledende sammenkoblede metaller utsettes for fuktighet. Denne er satt opp i tabellen under i forenklet form.

Passiv, edel og katodisk ende	
Gruppe 1	Gull, platina
Gruppe 2	Grafitt
Gruppe 3	Titan og titanlegeringer
Gruppe 4	Sølv
Gruppe 5	Nikkellegeringer med 13 - 20% Cr (Inconel, Hastelloy)
Gruppe 6	Rustfne stål (passive)
Gruppe 7	Nikkel og nikkelbelegg (passive)
Gruppe 8	Kobber, messing (Cu-Zn-legering), silisiumbronse, tinnbronse, aluminiumbronse og kobber-nikkellegering.
Gruppe 9	Nikkel og nikkelbelegg (aktive)
Gruppe 10	Blybronse, manganbronser og Cu- Zn- Sn-bronser
Gruppe 11	Bly og tinn
Gruppe 12	Rustfrie stål (aktive)
Gruppe 13	Lodde tinn
Gruppe 14	Støpt stål med høyt nikkelinnhold
Gruppe 15	Stål, støpejern og støpt stål
Gruppe 16	Ren aluminium og aluminiumlegeringer med Mg (sjøvannsbestandige)
Gruppe 17	Kadmiumbelegg
Gruppe 18	Ren aluminium og aluminiumlegeringer med Mg, Si eller Mn (herdbare og ikke herdbare)
Gruppe 19	Sink og sinkbaserte stål
Gruppe 20	Magnesium og magnesiumbelegg
Korrosiv, uedel og anodisk ende	

Tabell 4.2
Metallenes spenningsrekke i sjøvann. (1)

Aktuelle metaller er her samlet i grupper som er ordnet etter korrosiviteten. Står de to metallene i hver sin gruppe, vil avstanden mellom gruppene gi et mål for hvor hurtig korrosjonen vil gå. Er differansen mellom gruppenumrene 3 eller mindre, vil ikke sammenkoblingen øke korrosjonshastigheten i vesentlig grad.

Metaller innen en og samme gruppe kan kobles sammen i en elektrolytt uten at korrosjonen på det uedleste metall øker.

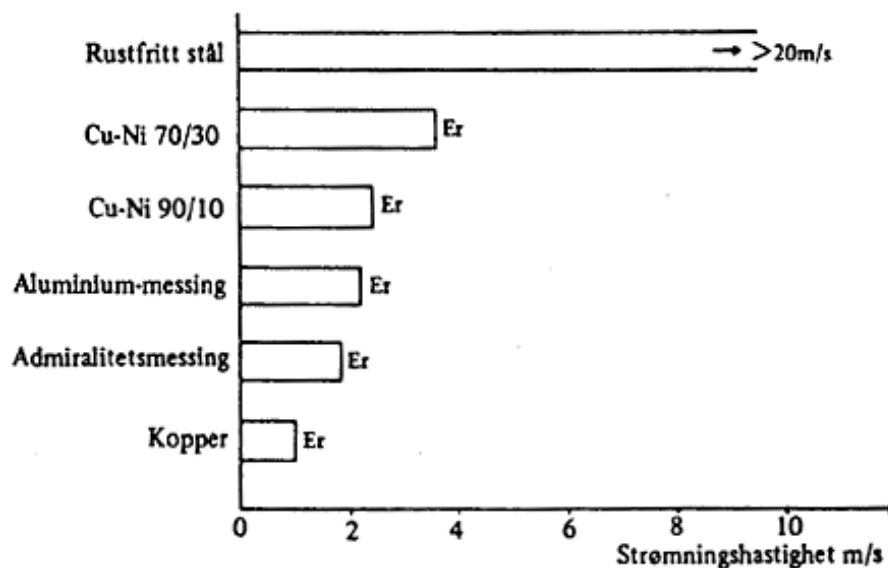
4.8 Erosjonskorrosjon

Når en væske strømmer langs en metalloverflate blir i mange tilfeller metalloverflaten utsatt for en mekanisk slitasje som fører til korrosjon. Denne type korrosjon kalles erosjonskorrosjon.

Væskestrømmen sliter bort det beskyttende belegget slik at metalloverflaten blir ren og aktiv, og vi får korrosjon i form av grøfter og groper, avhengig av strømningsretningen og lokale strømningsforhold. Sterkt utsatt for erosjonskorrosjon er rør, bend, propeller, turbinhjul og dyser.

Mest følsomme for erosjonskorrosjon er materialer beskyttet av oksidbelegg som ikke har særlig stor fasthet og som hefter dårlig til underlaget. Slike materialer er bly, aluminium, aluminiumlegeringer, kobber, kobberlegeringer og stål. Rustfrie stål, titan- og nikkellegeringer har større motstandsevne pga. faste og godt vedheftende passivfilmer.

Figuren under viser forskjellige legeringstypers motstandsevne mot erosjonskorrosjon.



Figur 4.6

Kritiske hastigheter for erosjonskorrosjon av ulike materialer i sjøvann. (1)

4.9 Høytemperaturkorrosjon

Når rustfrie stål kommer i kontakt med varme gasser, kan det skje en kjemisk reaksjon mellom gassen og legeringselementene i stålet.

Reaksjonsproduktene danner et overflatesjikt med en sammensetning som er avhengig av gassens og stålets sammensetning.

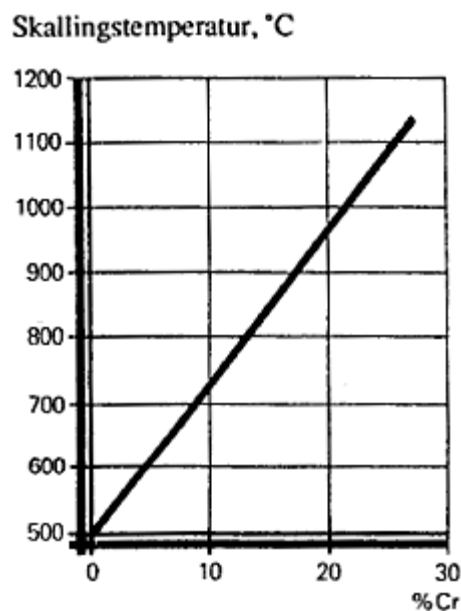
Er temperaturen under skallingstemperaturen beskytter dette overflatesjiktet mot videre angrep. Er temperaturen over skallingstemperaturen angripes stålet.

Oppvarmes stål i luft, dannes det et oksidsjikt på overflaten. Rustfrie stål har bedre oksidasjonsmotstand enn karbonstål. Oksidasjonsmotstanden øker med økende krominnhold som vist i figuren under. Etterfølgende tabell og figur viser skallingstemperaturer i luft for forskjellige rustfrie stål.

Ståltipe	Skallingstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
13Cr	830
17Cr	850
18Cr - 2Mo	1000
25 - 5 - 1,5 MO	1070
18 - 9	850
17- 12 - 2,5 MO	850
18 - 14 - 3,5 MO	850
20 - 25- 4,5 MO - 1,5 Cu	1000
25 - 20	1150

Tabell 4.3

Skallingstemperaturen i luft for rustfrie stål. (1)



Figur 4.7

Krominnholdets innvirkning på skallingstemperaturen i luft. (1)

Forbrenningsgasser fra forbrenning av olje, kull og koks inneholder alltid en viss mengde svovel. Disse svovelforurensningene gjør at den høyeste brukstemperaturen for rustfrie stål i røkgass er lavere enn i luft. Ved fullstendig forbrenning dannes svoveldioksid. Ved ufullstendig forbrenning dannes svovelvannstoff.

Svoveldioksid er mindre korrosiv enn svovelvannstoff. Forbrenningen av olje, kull og koks bør derfor for skje med luftoverskudd for å unngå korrosjon.

4.10 Kornvekst

Ferrittiske rustfrie stål blir grovkornete når de har vært oppvarmet til over 1000°C. Dette kommer av at de er ferrittiske i hele temperaturområdet, slik at de ikke gjennomgår noen kornforfinende strukturomvandling under avkjølingen. Den eneste måten som kan benyttes for kornforfining av ferrittiske rustfrie stål er kaldbearbeiding med etterfølgende gløding. Store korn medfører lavere flytegrense, redusert seighet og dårligere formbarhet.

5 RUSTFRIE STÅL

Tabellen under viser rustfrie stål etter Norsk Standard.

1 Analysekrav

1 Chemical composition

Tabell 1 Øseanalyse 1)
Table 1 Ladle analysis

Verdier i % (masse)
Values in % (mass)

Standard	Struktur Structure	C		Si	Mn	P	S	Cr		Ni		Mo		Andre grunnstoffer Other elements
		min.	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	
NS 14115	Ferrittisk	-	0,025	1,0	0,5	0,040	0,020	17,0	19,0	-	0,50	2,0	2,5	Ti min. 0,20 + 4(C+N) Ti maks. 0,80 N maks. 0,025
NS 14210	Martensittisk	0,18	0,25	1,0	1,0	0,040	0,030	12,0	14,0	-	1,0	-	-	
NS 14230	Martensittisk	0,17	0,25	1,0	1,0	0,040	0,030	16,0	18,0	1,25	2,5	-	-	
NS 14240	Martensittisk/ Austenittisk	-	0,05	1,0	1,5	0,045	0,030	15,0	17,0	4,0	6,0	0,80	1,5	
NS 14310	Ferrittisk/ Austenittisk	-	0,10	1,0	2,0	0,045	0,030	24,0	27,0	4,5	7,0	1,3	1,8	
NS 14325	Ferrittisk/ Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,030	0,020	21,0	23,0	4,5	6,5	2,5	3,5	N min. = 0,08 N maks. = 0,20
NS 14330	Austenittisk (Automatstål)	-	0,12	1,0	2,0	0,060	0,35	17,0	19,0	8,0	10,0	-	0,60	
NS 14350	Austenittisk	-	0,05	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0	19,0	8,0	11,0	-	-	
NS 14355	Austenittisk	-	0,08	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0	19,0	9,0	12,0	-	-	Ti min. = 5xC Ti maks. = 0,80
NS 14360	Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0	19,0	9,0	12,0	-	-	
NS 14450	Austenittisk	-	0,05	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0	18,5	10,5	14,0	2,5	3,0	
NS 14455	Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0	18,5	11,0	14,0	2,0	2,5	
NS 14460	Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0	18,5	11,5	14,5	2,5	3,0	
NS 14480	Austenittisk (Varmefast)	-	0,08	1,5	2,0	0,045	0,030	24,0	26,0	19,0	22,0	-	-	
NS 14485	Austenittisk	-	0,025	1,0	2,0	0,040	0,030	19,0	21,0	24,0	26,0	4,0	5,0	Cu min. = 1,2 maks. = 2,0

1) Tabellen gjelder kun for plastisk bearbeidbart stål.

1) The table applies for wrought steels only.

Tabell 5.1
Rustfrie stål etter Norsk Standard NS 14001. (6)

2 Mekaniske egenskaper ved romtemperatur

2 Mechanical properties at room temperature

Tabell 2 1)
Table 2

Standard	Leveringsstilstand Delivery condition		Godstykke Section thickness mm l.o.m. up to and including	Flytegrense Proof stress 2)		Strekfasthet Tensile strength R_m N/mm ²	Forlengelse Elongation 3)		Kontraksjon Reduction of area Z % min.	Slagseighet Impact toughness KV J min.	Hardhet Hardness 4) HB maks.
				$R_{p0.2}$ N/mm ² min.	$R_{p1.0}$ N/mm ² min.		A_5 % min.	A_{10} % min.			
NS 14115	★	02	10	340	–	440–640	25	18	–	–	(210)
NS 14210	Glødet	02	2	–	–	740 maks.	–	–	–	–	(245)
NS 14230	Annealed	02	–	–	–	–	–	–	–	–	(270)
NS 14240	Seigherdet Quenched and tempered	04	100	620	660	830–1030	15	–	40	60	(260–320)
NS 14310	Austenitt- glødet Solution treated	02	–	450	–	600–800	20	15	–	25	(260)
NS 14325		02	30	480	–	680–880	25	–	–	–	(290)
NS 14330		02	100	210	–	490–780	35	–	–	–	(220)
NS 14350		02	30	210	240	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14355		02	30	210	240	490–690	40	33	–	–	(210)
NS 14360		02	30	190	220	460–640	45	38	–	–	(190)
NS 14450		02	30	220	250	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14455		02	30	210	240	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14460		02	30	210	240	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14480		02	2	–	–	780 maks.	–	–	–	–	–
NS 14485		02	50	220	250	550–750	35	–	–	–	(220)

★ Austenittglødet/Solution treated

Tabell 5.1 forts.
Rustfrie stål etter Norsk Standard NS 14001. (6)

Den internasjonalt best kjente standarden for rustfrie stål er utarbeidet av AISI (American Iron and Steel Institute). Hovedbetegnelsen består her av tre tall.

Tilleggsbokstaver kan differensiere mer detaljert. AISI-betegnelsene er også innarbeidet i ASTM-standarder (American Society for Testing and Materials) og ASME-standarder (American Society of Mechanical Engineers). AWS (American Welding Society) benytter tilnærmet de samme betegnelsene for klassifikasjon av tilsettmateriale.

Nummerbetegnelsene etter AISI er grovt inndelt:

2xx Cr - Mn-Ni rustfrie stål

3xx Cr - Ni rustfrie stål (også Mo - legerete)

4xx Cr rustfrie stål

5xx Varmefaste legeringer med opp til 9% Cr

6xx Superlegeringer

I tabellen under er korresponderende rustfrie stålstandarder fra flere land gjengitt.

AISI (amerikansk)	Norsk Standard	Werkstoff-Nr. (tysk)	SIS (svensk)	B.S. (britisk)	Afnor (fransk)
301	-	1,4310	-	-	-
302	14320	1,4300	2330	302S25	Z12CN 18-10
302 B	-	1,4330	-	-	-
303	14330	1,4305	2346	303S21	-
304	14340	1,4301	2332	304S15	Z6CN 18-10
304	(14350)	1,4301	2333	304S16	(Z5CN 18-10)
304 L	14360	1,4306	2352	304S12	Z2CN 18-10
347	-	1,4550	2338	347S17	Z10CNNb 18-10
321	14355	1,4541	2337	321S12	Z10CNT 18-10
316	-	1,4401	2347	316S16	Z5CND 18-12
316	1440	1,4436	2343	316S16	Z5CND 18-12
316 L	-	(1,4404)	2353	316S12	Z2CND 18-12
316 L	14460	1,4435	2353	316S12	Z2CND 18-12
316 Ti	-	(1,4571)	2344	320S17	Z8CNDT 18-12
316 Ti	-	1,4573	2344	320S17	Z8CNDT 18-12
316 Nb	-	(1,4580)	2345	318S17	Z8CNDNb 18-12
318	-	-	-	-	-
316 Nb	-	1,4583	2345	318S17	S8CNDNb 18-12
316 LN	-	1,4429 (1,4406)	2375	-	-
317	-	(1,4449)	-	317S16	-
317 L	-	1,4438	-	-	-
304 LN	-	1,4311	2371	-	-
309	-	(1,4828)	-	309S24	Z15CNS 25-13
310 S	14480	(1,4845)	2361	(310S24)	(Z10CNS 25-20)
329	14310	-	2324	-	-
410	-	1,4006	2302	410S21	-

Tabell 5.2
Korresponderende stålstandarder fra flere land. (1)

5.1 Ferrittiske rustfrie stål

Ferrittiske rustfrie stål inneholder hovedsakelig 14 - 30% Cr og har relativt lavt karboninnhold (0,02 - 0,25% C). Stålene har kubisk romsentrert gitterstruktur og er ikke herdbare. Mekaniske egenskaper er gode og korrosjonsmotstanden er moderat. Stålene er magnetiske.

Etterfølgende tabell viser en oversikt over ferrittiske rustfrie stål ordnet etter AISI-nummer.

AISI type	C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mn (%) maks.	Si (%)	Andre elementer
405	0,08 maks.	11-14	-	1,00	1,00	Al 0,10 - 0,30%
409	0,08 maks.	10 -12	-	1,00	1,00	Ti 0,75% maks.
430	0,12 maks.	14 -18	-	1,00	1,00	
430F	0,12 maks.	14 -18	-	1,25	1,00	S 0,07% min.
442	0,20 maks.	18 - 23	-	1,00	1,00	
446	0,35 maks.	23 - 27	-	1,50	1,00	N 0,25% maks.

Tabell 5.3
Ferrittiske rustfrie stål. (1)

5.1.1 Varmerbehandling av ferrittiske rustfrie stål

Ferrittiske rustfrie stål kan normalt ikke herdes ved varmebehandling. Eneste aktuelle varmebehandling er derfor gløding for å fjerne deformasjonsstruktur, redusere restspenninger eller gi stålet gode korrosjonsegenskaper.

Glødetemperaturen er 750-800⁰C med relativt hurtig avkjøling. Hvis disse stålene varmes i lengre tid, eller kjøles svært langsomt i temperaturområdet 400-800⁰C kan de bli sprø. Dette skyldes dannelsen av ferritt med høyt krominnhold, "475⁰C - sprøhet".

5.1.2 Sveising av ferrittiske rustfrie stål

Ferrittiske rustfrie stål kan sveises med godt resultat om det tas hensyn til enkelte spesielle forhold.

5.2 Martensittiske rustfrie stål

Martensittiske rustfrie stål inneholder hovedsakelig 13 - 17% Cr og har et relativt høyt karboninnhold (0,10-1,0% C). Stålene er herdbare ved at det dannes martensittisk herdestruktur under relativt hurtig avkjøling fra austenittisk temperaturområde. Mange martensittiske rustfrie stål er derfor luftherdende og veldig harde og sprø. Korrosjonsmotstanden er liten. Stålene er magnetiske.

Etterfølgende tabell viser noen martensittiske rustfrie stål.

AISI type	C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mn (%) maks.	Si (%)	Andre elementer
403	0,15 maks.	11-13	-	1,00	0,50	
410	0,15 maks.	11-14	-	1,00	1,00	
414	0,15 maks.	11 -14	1,25 - 2,5	1,00	1,00	
420	0,15maks.	12 -14	-	1,00	1,00	
431	0,20 maks.	15 - 17	1,25 - 1,5	1,00	1,00	
440	0,35 - 1,20	26 - 18	-	1,00	1,00	Mo 0,75% maks.

Tabell 5.4
Martensittiske rustfrie stål. (1)

5.2.1 Sveising av martensittiske rustfrie stål

Stålene er veldig vanskelig sveisbare på grunn av sin herdbarhet. Faseomvandling fra austenitt til martensitt fører til volumøkning, hardhetsøkning, seighetstap og fare for herdesprekker.

5.2.2 Varmerbehandling av martensittiske rustfrie stål

Martensittiske rustfrie stål kan på samme måte som karbon-og lavlegerte stål herdes ved oppvarming og bråkjøling. Hardheten etter herding er hovedsakelig avhengig av karboninnholdet. En vesentlig forskjell fra karbonstål er at de martensittiske rustfrie stålene har svært høy herdbarhet og kan derfor luftherdes i tykkelser opp til ca. 300mm.

5.3 Austenittiske rustfrie stål

Austenittiske rustfrie stål inneholder hovedsaklig 12 - 25% Cr, 8 - 25% Ni og ofte noe Mo og Cu. Karboninnholdet er lavt, maksimalt 0,20%.

De har kubisk flatesentrert gitterstruktur, og er vanligvis ikke herdbare. I varme har stålene på grunn av legeringselementene god styrke. De er seige og godt formbare. Korrosjonsmotstanden er veldig god. Stålene er umagnetiske. Dette er den største gruppen av rustfrie stål med over 95% av forbruket.

For å oppnå spesielt gode korrosjonsegenskaper i sjøvann og andre kloridholdige løsninger er det utviklet spesielle austenittiske rustfrie stål som inneholder ca. 20% Cr, ca. 20% Ni, ca. 6% Mo pluss noe tilsatt nitrogen.

Eksempler er Avesta 254SM0, VDM Cronifer 1925 og V.E.W. A963. Disse stålene betegnes ofte som "super austenittiske".

I tillegg til de rent austenittiske stål finnes det ståltyper med blandet struktur.

Kombinasjonsståltypene har da naturligvis også noen av egenskapene fra hver av de respektive hovedstrukturtypene. Kombinasjonstyper kan være:

- Ferritt - austenittiske stål, f.eks. med 25% Cr og 5% Ni
- Martensitt - austenittiske stål, f.eks. med 16% Cr, 5% Ni og lavt C-innhold.

Den mest kjente rustfrie ståltype med blandingsstruktur er "Duplex - stålene" (ferritt - austenitt).

AISI type	C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mn (%) maks.	Si (%)	Andre elementer
301	0,08 - 0,20	16 - 18	6 - 8	2,00	1,00	-
302	0,08 - 0,20	17 - 19	8 - 10	2,00	1,00	-
302B	0,08 - 0,20	17 - 19	8 - 10	2,00	2,00 - 3,00	-
304	0,08 maks.	18 - 20	8 - 11	2,00	1,00	-
304L	0,03 maks.	18 - 20	8 - 11	2,00	1,00	-
305	0,12 maks.	17 - 19	10 - 13	2,00	1,00	-
308	0,08 maks.	19 - 21	10 - 12	2,00	1,00	-
309	0,20 maks.	22 - 24	12 - 15	2,00	1,00	-
309S	0,08 maks.	22 - 24	12 - 15	2,00	1,00	-
309Mo	0,12 maks.	22 - 25	12 - 14	2,00	1,00	Mo 2,0 - 3,0
310	0,25 maks.	24 - 26	19 - 22	2,00	1,50	-
310S	0,08 maks.	24 - 26	19 - 22	2,00	1,50	-
314	0,25 maks.	23 - 26	19 - 22	2,00	1,50 - 3,0	Mo 2,00 - 3,00%
316	0,10 maks.	16 - 18	10 - 14	2,00	1,00	Mo 2,00 - 3,00%
316L	0,03 maks.	16 - 18	10 - 14	2,00	1,00	Mo 2,00 - 3,00%
316Ti	0,10 maks.	16 - 18	10 - 14	2,00	1,00	Mo 2,00 - 3,00% Ti 5x C min.
316Nb	0,10 maks	16 - 18	10 - 14	2,00	1,00	Mo 2,00 - 3,00% Nb 10x C min.
317L	0,03 maks.	18 - 20	11 - 14	2,00	1,00	Mo 3,00 - 4,00%
316LN	0,03 maks.	18 - 20	11 - 14	2,00	1,00	Mo 2,00 - 3,00% N 0,10 - 0,16%
321	0,08 maks.	17 - 19	8 - 11	2,00	1,00	Ti 5 x C min.
347	0,08 maks.	17 - 19	9 - 12	2,00	1,00	Nb 10 x C min.

Tabell 5.5
Austenittiske rustfrie stål. (1)

5.3.1 Sveising av austenittiske rustfrie stål

Austenittiske rustfrie stål er regnet som veldig godt sveisbare. Strukturen er duktil og har god slagseighet. Noen typer kan være følsomme for varmesprekker og karbiddannelse med fare for interkrystallinsk korrosjon. Ved valg av tilsettmaterialer må vi ta hensyn til de to faktorene. Tilsettmaterialene skal være så lik grunnmaterialet som mulig. En generell regel er at et austenittisk rustfritt stål godt kan sveises med et austenittisk rustfritt tilsettmateriale som har høyere legeringsinnhold av de samme elementene (mindre karbon).

5.3.2 Varmebehandling av austenittiske rustfrie stål

Disse stålene har ingen forandring av strukturtype under oppvarming og de kan derfor ikke herdes ved varmebehandling. Aktuelle varmebehandlinger er gløding etterfulgt av bråkjøling og avspenningsgløding.

5.4 Duplex rustfrie stål

Duplex rustfrie stål inneholder hovedsakelig ca. 25% Cr og 5 - 9% Ni. De har lavt innhold av karbon, under 0,20% C. Moderne Duplexstål har svært lavt karboninnhold, ofte maksimum 0,03%. Stålene har en blandingstruktur av austenitt og ferritt. De har høyere fasthet enn de austenittiske stålene og har god korrosjonsmotstand. Etterfølgende tabell viser en oversikt over duplex stål angitt med amerikanske AISI, ASME og ASTM - betegnelser.

Standard	C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mn (%) maks.	Si (%) maks.	Andre elementer	Ferittinnhold (%)
AISI 329	0,08	26,0	5,0	-	-	Mo 1,5 %	60 - 70
ASME1883	<0,08	24/27	4,5/6,5	2,0	2,0	Mo 3,0 %, Cu	N 50
ASTMA669	<0,03	18,5	4,7	1,5	1,7	Mo 2,7 %	N 50
2205*	0,03	22,0	5,5	2,0	0,8	Mo 3,0 %	N 45

* Handelsbetegnelse Sandvik AB, Avesta AB.

Tabell 5.6
Duplex (austenitt - ferritt) rustfrie stål. (1)

Duplex-stålene har i likhet med de ferrittiske rustfrie stålene tendens til "475⁰C - sprørhet" og ved lengre oppholdstid mellom 600 °C og 900 °C kan det dannes sprø fremmedfaser (sigma- og chifase). Hvis de varmes opp til over 1350⁰C, er de ca. 100% ferrittiske. Under avkjølingen vil det utskilles austenitt og mengden av austenitt som dannes øker med avtagende avkjølingshastighet. Dette er det viktig å ha klart for seg når det sveises, da for høyt innhold av ferritt i en sveis reduserer duktiliteten og korrosjonsmotstanden. Det bør derfor som en generell regel:

- ikke forvarmes før sveising
- kjøles til under 150⁰C før ny sveisestreg legges.

Tilsatsmaterialet bør også ha et høyere innhold av Ni enn grunnmaterialet.

5.5 Utskillingsherdbare rustfrie stål

Som navnet sier, kan disse stålene herdes ved utskillingsherding. Det vil si ved at partikler skilles ut i strukturen etter at de først har blitt oppløst ved en høyere temperatur (innherdet), og deretter eldet ved en lavere temperatur (utherdet).

Dette er samme herdemetode som benyttes for aluminium, nikkellegeringer m.fl.

De mest vanlige utskillingsherdbare rustfrie stålene er:

- AISI 630 (17 - 4PH) med innhold 0,04% C, 16% Cr, 4,0% Ni, 3,2% Cu + Nb/Ta
- AISI 635 (Stainless W) med innhold 0,07% C, 16,5% Cr, 6,75% Ni, 0,4% Al, 0,8% Ti

Stålene kan herdes til hardheten 42 - 60 HRC.

Varmebehandlingsprosedyren er:

- Oppløsningsgløding ved 1025 - 1050⁰C
- Holdetid 30min. + 30min. pr. 25mm godstykkelse
- Bråkjøling i olje til romtemperatur
- Elding ved 480⁰C i en time

Etter denne behandling vil AISI 630 få en hardhet 42 - 44 HRC.

6 REFERANSER

- 1 Odd Solheim (1988). *Rutfrie stål*. Statens Teknologiske Institutt. ISBN 82-567-0424-1
- 2 A. Alkmar-Næss (2003). *Mettaliske Materialer*, Tapir akademisk forlag. ISBN 82-519-1786-7
- 3 Teknologibedriflenes Landsforening, TBL (1991). *Materialteknisk – bok for verkstedindustrien*. ISBN 82-9 1073-00-7
- 4 Dansk Teknologisk Institutt (1991). *Materialekendskab - Rustfrit stål, nickel og titan*. Dansk Teknologisk Institutt Forlag. ISBN 87-7756-147-3
- 5 Peckner, Donald Bernstein (1977). *Handbook of Stainless Steels*. Mc Graw-Hill Book Company. ISBN 0-07-049147-x
- 6 Norsk Standard, NS 14001. *Rustfrie stål*.