

Järn- och stålframställning

Rostfria stål – Egenskaper och valda tillämpningar

Jernkontorets utbildningspaket – del 12



Helix-bron, foto Outokumpu

Förord

Jernkontorets utbildningspaket är ett läromedel i tolv delar som täcker hela produktionskedjan vid stålframställning.

Utbildningspaketet vänder sig i första hand till anställda inom järn- och stålindustrin, företagens kunder och elever vid gymnasie- och högskolor.

Läromedlet är författat av experter inom nordisk järn- och stålindustri.

Delar av paketet har reviderats.

Utbildningspaketet omfattar följande områden:

Del	Titel	Senaste utgåva
1	Historia, grundläggande metallurgi.....	2000
2	Malmbaserad processmetallurgi	2000
3	Skrotbaserad processmetallurgi	2000
4	Skänkmetallurgi och gjutning	2000
5	Underhåll och driftsekonomi	2001
6	Analytisk kemi	1996
7	Energi och ugnsteknik.....	1997
8	Bearbetning av långa produkter	2015
9	Bearbetning av platta produkter	2015
10	Oförstörande provning	2007
11	Låglegerade stål	2019
12	Rostfritt stål.....	2021

Samtliga delar finns att hämta på: www.jernkontoret.se/utbildningspaketet

Jernkontoret, 2021

Innehåll, Rostfria stål, del 12

1. Inledning	4
1.1 Hur skulle samhället ha sett ut utan rostfritt stål?	5
1.2 Rostfria produkter och deras användning.....	7
1.3 Livcykelkostnader och livscykelanalys	8
2. Rostfria ståls legeringsprinciper	9
2.1 Beteckningssystem för rostfria stål	13
Applikationsexempel 1: Papper och massa	14
3. Korrosionsformer	16
3.1 Allmän korrosion och galvanisk korrosion	16
3.2 Punktkorrosion.....	17
3.3 Spaltkorrosion.....	19
3.4 Spänningskorrosion.....	19
3.5 Korrosionsutmattning.....	20
3.1 Interkristallin korrosion.....	21
Applikationsexempel 2: Umbilicals	22
4. Mekaniska egenskaper	23
Applikationsexempel 3: Balkar	25
Applikationsexempel 4: Stolpar och räcken	26
5. Formning	27
5.1 Pressning.....	27
5.2 Deformationshårdnande	27
6. Svetsning	28
Applikationsexempel 5: Hushållsprodukter	30
7. Högtemperaturstål	31
Applikationsexempel 6: Avgassystem	33
Applikationsexempel 7: Värmeelement	34
8. Fysikaliska egenskaper	35
9. Rostfria stål och deras användningsområden	36
9.1 Ferritiska och martensitiska stål	36
9.2 Duplexa stål.....	37
9.3 Austenitiska stål.....	38
10. Flera informationskällor	39

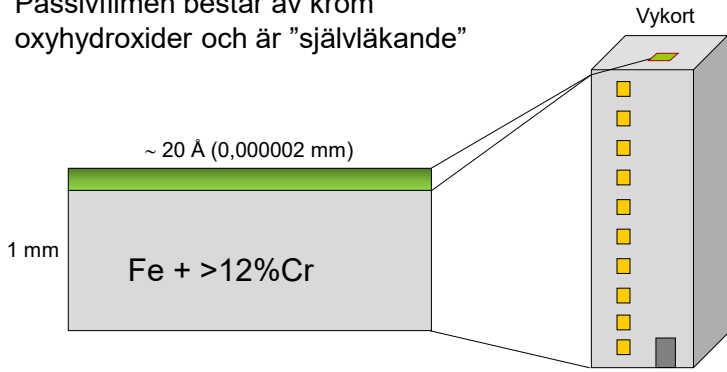
Del 12: Rostfria stål

1. Inledning

Ädla metaller motstår angrepp i aggressiva medier därför att de är obenägna att reagera kemiskt med omgivningen. Många andra metaller, däribland rostfria stål, aluminium och magnesium reagerar däremot kraftigt med syreinhållande omgivning. Den snabba och effektivt utvecklade filmen av oxider eller oxyhydroxider på ytan har en förmåga att närmast momentant ge en skyddande film som hindrar fortsatt reaktion. Snabbheten gör att materialet blir i det närmaste självläkande om skador uppstår på ytan. Materialets förmåga att utveckla filmen är i hög grad legeringsämnesberoende och det är främst krom i tillsatser över cirka 12 %, som ger de rostfria stålen deras speciellt goda motstånd mot korrosion. Utvecklingen av de rostfria stålen har i stor utsträckning handlat om att genom legeringstillsatser ytterligare öka effektiviteten hos den "passivfilm" som det skyddande ytskiktet kallas. Samtidigt måste ett stort antal bivillkor uppfyllas, som svetsbarhet och möjlighet till rationell tillverkning.

Rostfria stål skyddas av en passivfilm

- Järnbaslegeringar med >12% krom utvecklar en passivfilm
- Passivfilmen består av krom oxyhydroxider och är "självläkande"



~ 20 Å (0,000002 mm)

1 mm

Fe + >12%Cr

Vykort

Jernkontoret

Bild 12-2

1.1 Hur skulle samhället ha sett ut utan rostfritt stål?

Rostfritt stål är idag en självklarhet. Självklarheter ifrågasätts alltför sällan. Men om man skulle föreställa sig ett samhälle utan rostfritt stål, så framgår betydelsen klart. Det mest påfallande exemplet är köksutrustning; bestick, diskbänkar och kastruller. Rostfritt har här ersatt keramik, belagda och obelagda kolstål och delvis även koppar och aluminium. Vitala delar av vitvaror som diskmaskiner och tvättmaskiner består också av rostfritt stål.

Vår mat produceras i system som till stor del består av rostfritt, och t.o.m. en så traditionstyngd bransch som vintillverkning kräver rostfria kärl, för att vinet ska kunna tillverkas rationellt och med reproducerbarhet. Mjök och mejeriprodukter tillverkas så gott som uteslutande i rostfri utrustning. Bryggerinäringen är också en stor användare av rostfria stål, som krävs för högproduktiv processteknik.

Många av de rostfria produkter som nämnts har ersatt befintliga material och världen skulle sannolikt ha varit sig rimligt lik även utan rostfritt. Det är däremot mycket svårare att tänka sig en produkt som vår morgontidning utan att rostfritt stål funnits. En ekonomisk pappersmasse-tillverkning är närmast utopisk utan rostfritt stål. Samma resonemang gäller energiproduktion, exempelvis olja- och gasutvinning, värmekraftverk och kärnkraft. Förnybara energitekniker som vindkraft, vågkraft och solenergi använder också betydande mängder rostfria stål.

Konsumentprodukterna utgör ungefär 25 % av den totala konsumtionen av rostfritt. Livsmedelsindustri och bryggerier står för cirka 25 %, kemi, petrokemi, olja och gasindustri tillsammans för 20 %, medan resten av konsumtionen återfinnes inom papper och massa, transport, energiproduktion, och textilindustri samt byggnadsindustri och allmän konstruktion

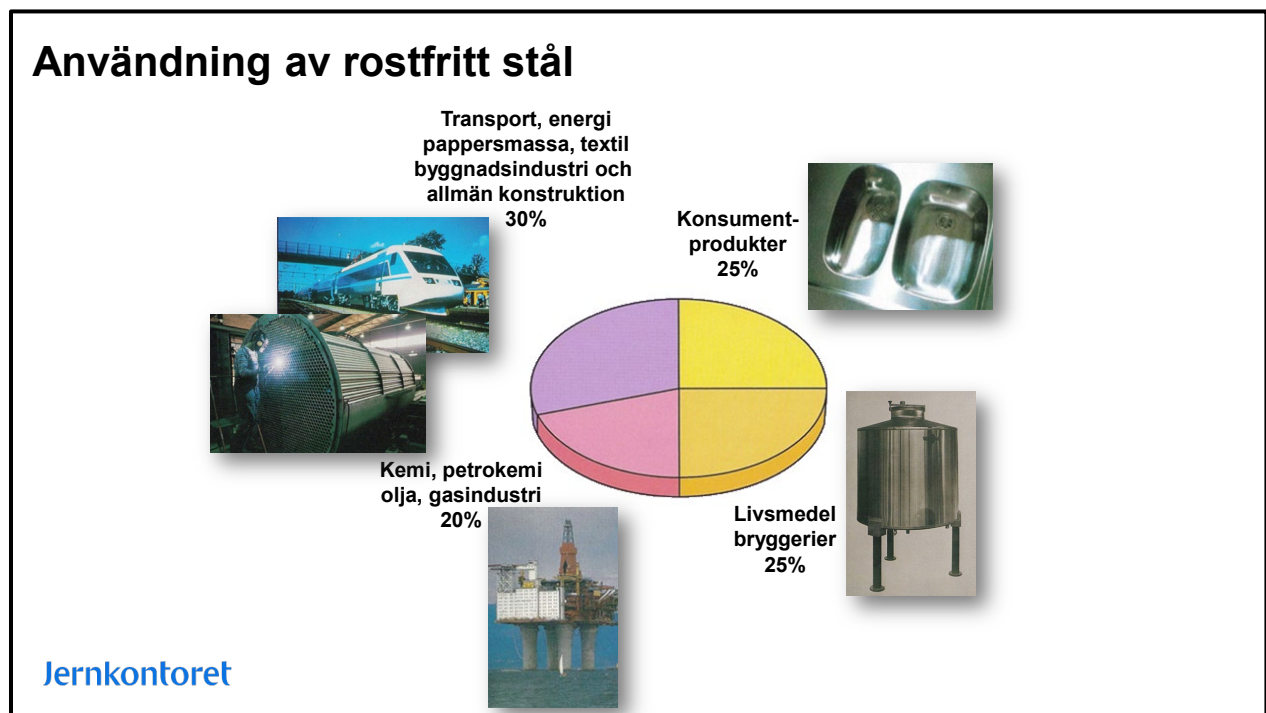


Bild 12-3

Rostfria stål i arkitektur



Lloyds building, London
Uppförd 1978-86
1,5 mm rostfritt
1.4301 (304)



Muséet för vetenskap och teknik, Paris
Diameter 30m
1,5mm högglanspolerad
1.4301

Jernkontoret

Bild 12-4

Rostfria stål inom vin- och ölframställning



Vintank i 1.4301



Bryggeriinredning

Jernkontoret

Bild 12-5

1.2 Rostfria produkter och deras användning

De rostfria stålens speciella egenskaper gör att antalet applikationer ökar, vilket i sin tur leder till att konsumtionen av rostfria stål ökar stadigt. Tillväxttakten under de senaste 30 åren har varit drygt 6 % per år. Detta är anmärkningsvärt med tanke på att den totala stålkonsumtionen har stagnerat. Nyutvecklingen av rostfria stål kommer att förstärka trenden och skapa ytterligare nya användningsområden till den mångfald som redan finns. För att bara nämna några exempel: tryckkärl, mjölkbilar, rörledningar, kemikalietankers, snabbtåg, reaktorrör, utrustning inom sjukvården, inklusive avancerade stålsorter för kirurgiska instrument och implantat.

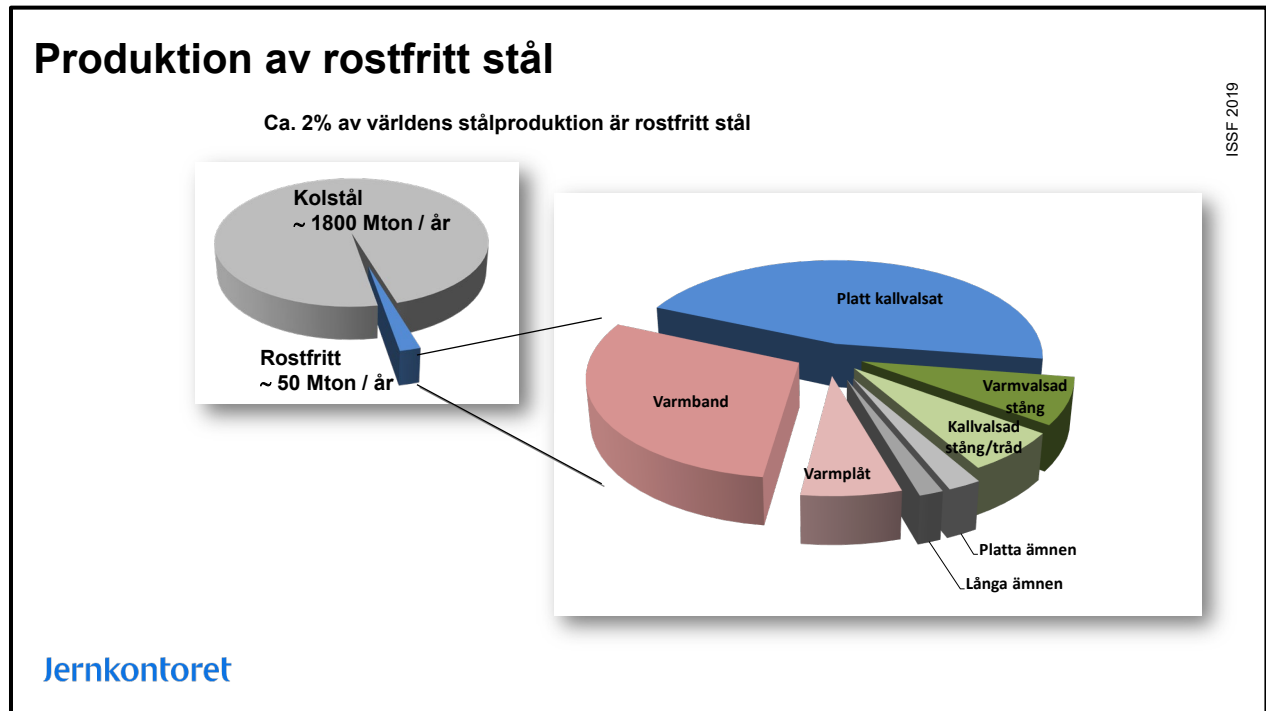
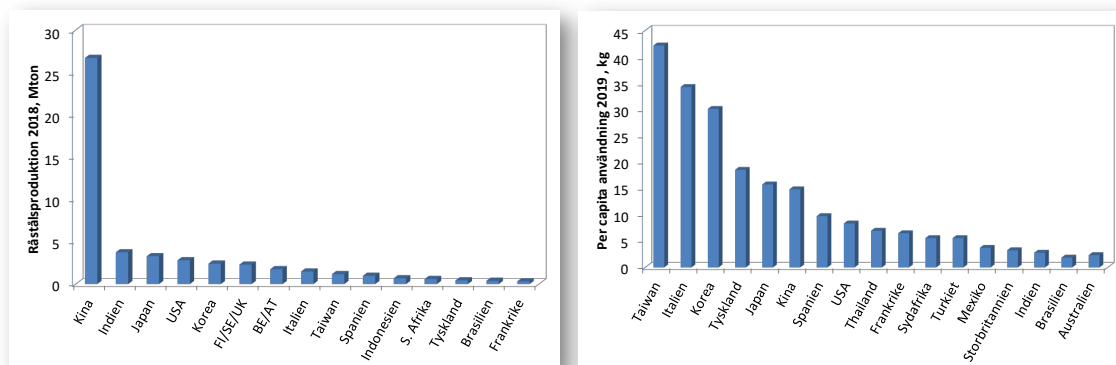


Bild 12-6

Från att rostfria stål i första hand av tradition betraktats som en resistent "yta" och inte som en lastbärande del i en konstruktion, så har nu attityden börjat förändras i och med utvecklingen av höghållfasta rostfria stål, och rostfritt utnyttjas i allt större omfattning som konstruktionsmaterial.

En intressant siffra i sammanhanget är konsumtionen per capita i olika länder. I Sverige är siffran kring 15kg per capita, i samma nivå som Japan, Tyskland och Kina som helhet, medan USA och Storbritannien ligger på hälften av denna mängd. Användningen leds av Taiwan, Italien och Korea medan bland andra Indien och Indonesien ligger på en låg nivå men med stark tillväxt.

Production and use of stainless steel



Jernkontoret

ISSF 2019

Bild 12-7

1.3 Livscykelkostnader och livscykelanalys

Miljöfrågor har stor betydelse i samband med olika produkters framställning, användning och framförallt avveckling. Det rostfria stålet har i detta avseende en stark position; hela den svenska produktionen av rostfritt stål är idag skrotbaserad, det vill säga förutsätter en mycket hög återvinningsgrad. Eftersom skrotpriset är högt så stimuleras återvinningen. Restvärdet på en skrotad anläggning kan vara avsevärt och åskådliggörs med analys av livscykelkostnader (engelska LCC eller Life Cycle Costing). Metoden ger ekonomiskt underlag för att konstruera i material som ger en totalt över anläggningars livstid bästa ekonomi. Faktorer som underhållsfrihet premieras liksom höga restvärden. Material som ger en lägsta initial kostnad vid investering men på grund av lägre prestanda sett över längre tid, avslöjas.

Tillämpningar av metoden har exempelvis visat att långa pipelines för olja och gas bör konstrueras i kolstål, medan kortare bör göras i rostfritt. En av flera bidragande faktorer är att inhibitor-kostnaden för att skydda kolstålskonstruktionen inte ökar med ökande längd. Ett annat LCC-resonemang leder till att produktionsrör av rostfria material är lönsamma att installera, på grund av underhållsfriheten, om borrhålets djup överstiger 3000 m.

Livscykelanalys (LCA) är ett kvantitativt verktyg för att utvärdera miljöbelastningar och miljöfördelar som är förknippade med hela produktens kretslopp. Det blir därmed möjligt att sammanväga en eventuellt högre miljöbelastning i produktionsfasen för ett avancerat material med möjligheten att minska vikt eller ökar livslängd i användarfasen. Speciellt det sistnämnda kan vara ett tungt argument till fördel för rostfria stål. Arbetssättet är standardiserat, bland annat i ISO 14040, *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, och det finns ett antal kommersiella programvaror för LCA, men dessa kräver expertkunskap för att utföras på ett korrekt sätt.

2. Rostfria ståls legeringsprinciper

Sedan introduktionen av rostfria stål på 20-talet har antalet rostfria stålsorter ökat radikalt. Marknaden domineras av ferritiska och austenitiska stål. De ferritiska materialen innehåller normalt 10–20 % Cr och är ett lågprisalternativ till de austenitiska materialen med typiskt mer än 18 % Cr och 8 % Ni.

Tillsatsen av nickel till ett material med 18 % Cr påverkar egenskaperna i hög grad. I låga halter påverkas egenskaperna monotont och tämligen odramatiskt. Vid en viss nivå av nickeltillsats, ca 7–9 % beroende på kromhalten, inträffar en mer drastisk förändring av egenskaperna, som beror på att materialet övergår till en kubiskt ytcentrerad atomanordning struktur, kallad austenit. Vid nickelhalter något lägre än de som krävs för en helaustenitisk struktur är materialet tvåfasigt och kan då få mycket goda kombinationer av egenskaper. Detta utnyttjas i de duplexa stålen, som består av ungefär lika delar ferrit och austenit.

Strukturerna framgår av fasdiagrammet vid 1000°C. Denna temperatur fungerar som en bra illustration eftersom man vid släckglödning, som tillämpas kommersiellt vid temperaturer kring eller något högre än 1000°C, fryser strukturen som råder vid glödningstemperaturen genom en snabb kylning. Kylningen hindrar dessutom att diffusionsstyrda reaktioner inträffar, exempelvis utskiljning av oönskade sekundärfaser som sigmafas och karbider, som påverkar egenskaperna negativt.

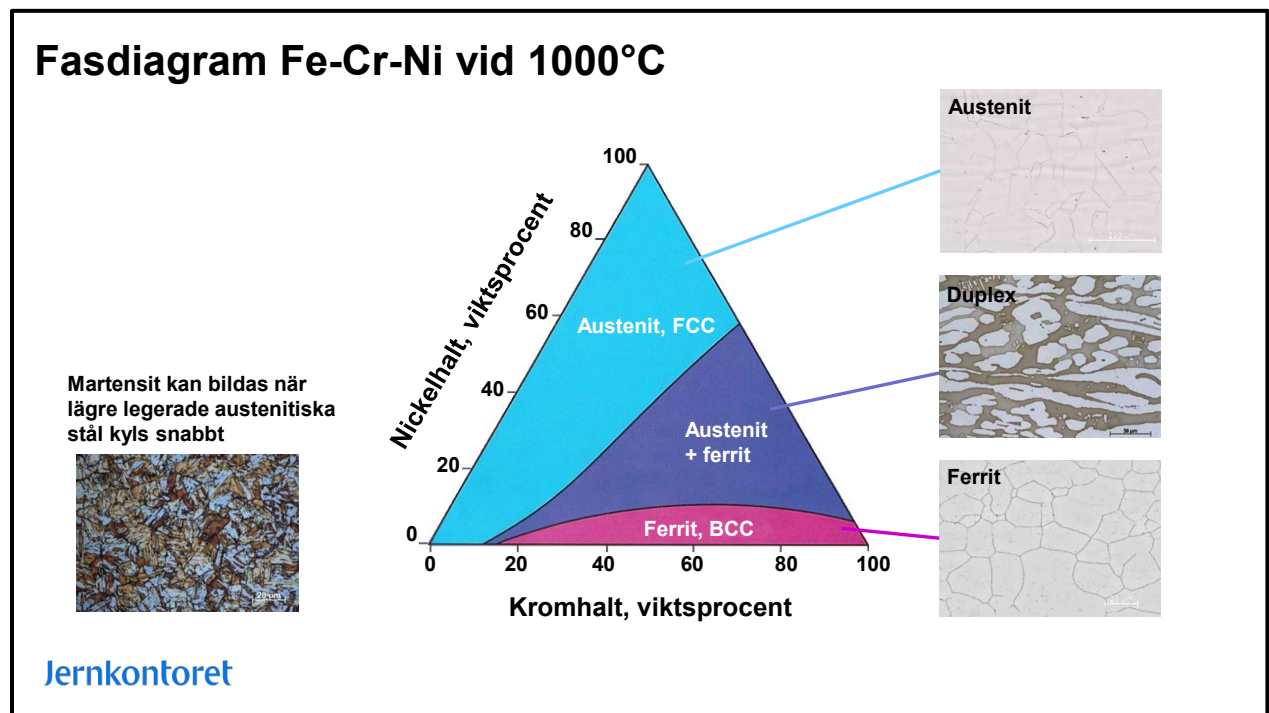
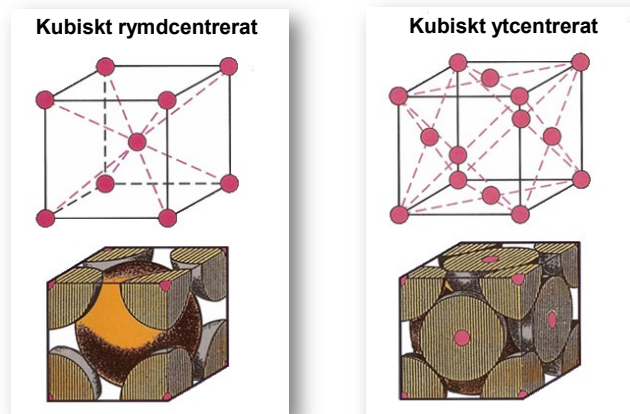


Bild 12-8

Nickeltillsatser i storleksordningen 8–10 % medför att austenitfasen, som är en högtemperaturfas i järn, blir stabil ända ned till rumstemperatur. Austenit har således samma kubiskt ytcentrerad struktur som nickel, medan ferrit har samma typ av kubiskt rymdcentrerad struktur som krom och järn (latin ferrum). Martensit bildas vid snabbsläckning av austenit legerat med kol och/eller kväve och har en BCC eller rymdcentrerad tetragonal struktur. Ferrit och martensit är ferromagnetiska.

Kristallgitter - enhetsceller



De röda punkterna symboliserar atomkärnorna och de streckade partierna i de nedre skisserna områden där elektroner roterar runt kärnan.

Jernkontoret

Bild 12-9

Många egenskaper styrs i första hand av materialets mikrostruktur: mekaniska egenskaper, formbarhet, duktilitet, deformationshårdnande, med mera, medan exempelvis korrosionsmotståndet primärt kan kopplas till halterna av krom, molybden och kväve.

Det finns ett stort antal rostfria stålsorter. Några av dem har blivit högvolumsstål, medan andra kan vara utvecklade för speciella tillämpningar. Den variabel som främst står till buds är sammansättningen, och några av de olika legeringselementens inverkan på egenskaperna framgår av tabellen. Det finns dock ett stort antal bivillkor som måste vara uppfyllda, vilket innebär att man inte kan maximera en egenskap genom att enbart se till något enstaka element och öka halten av dessa.

Av utvecklingsträdet i Bild 12-11 framgår hur olika legeringselement bidrar till olika egenskaper och dessutom hur fasstabiliteten förändras, dvs hur man styr legeringstillseterna för att få ferritiska, duplexa, superduplexa, austenitiska och superaustenitiska stål.

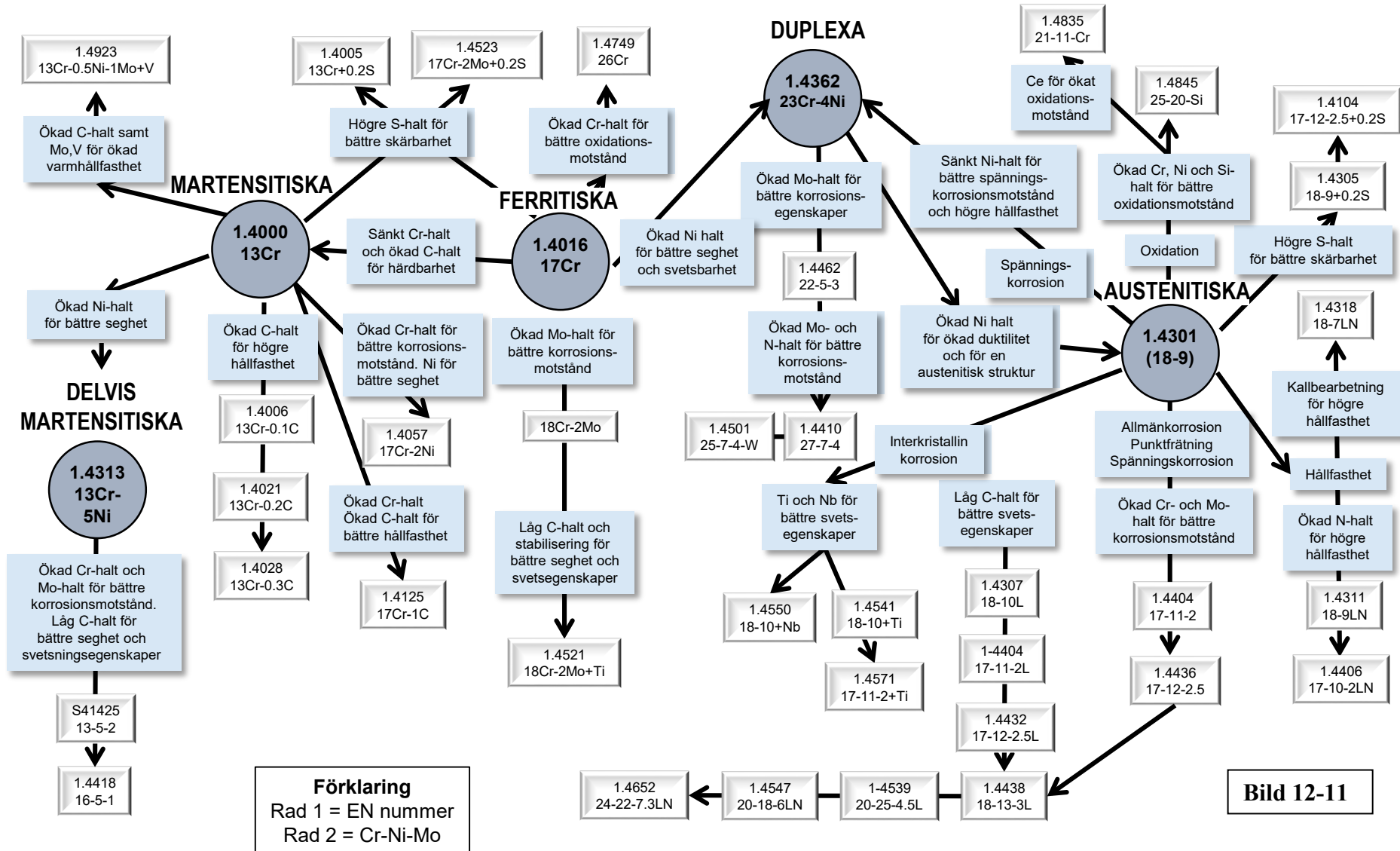
Inverkan av legeringsämnen

Ämne	Halt-intervall	Typiska halter i austenitiskt stål	Effekt
Cr	11-25	17	Bildar passivskiktet med syre
Ni	0-40	8-13	Austenitbildare, höjer duktilitet och seghet
Mn	0.5-8	1.5	Austenitbildare, ersätter Ni i vissa legeringar Höjer löslighet av N i stål
Mo	0-7	0-3	Ger ökat korrosionsmotstånd
Cu	<1.5		Ger ökat korrosionsmotstånd i svavelsyra
Ti, Nb	<0.5		Binder C och ger minska risk för korngränskorrosion
C	<0.25	<0.05	Austenitbildare, höjer hållfasthet, ökar risk för korngränskorrosion
N	<0.5	<0.2	Austenitbildare, höjer hållfastheten och korrosionsmotstånd

Jernkontoret

Bild 12-10

Struktur och egenskapsrelationer



Förklaring
Rad 1 = EN nummer
Rad 2 = Cr-Ni-Mo

Bild 12-11

2.1 Beteckningssystem för rostfria stål

Det finns flera beteckningssystem för rostfria stål. Det gamla tresiffriga systemet från American Iron and Steel Institute (AISI) används fortfarande, bland annat i standardiseringsdokument från ASTM, men utökas inte. Den har till stor del ersatts av UNS systemet som dominerar i Nordamerika. Inom Europa används EN systemet som numera har ersatt de svenska SS beteckningar. Det är viktigt att notera att det inte finns exakt korrespondens mellan de olika systemen – till exempel omfattas 1.4401 (SS2347, 2,1%Mo) och 1.4436 (SS2343, 2,7%Mo) av beteckningen 316. Det finns även ett ISO system att ange stålsammansättningar, där exempelvis 1.4539 anges som X1NiCrMoCu25-20-5 och ett UNS beteckningssystem som inkluderar komponenter från såväl EN som UNS. För duplexa stål finns det ett frekvent använt beteckningssystem, som reflekteras i både Sandviks och Outokumpus produktsortiment. Dessa stål anges av fyra siffror som representerar kromhalten och nickelhalten.

Några vanliga austenitiska och duplexa stål

EN	%C	%Cr	%Ni	%Mo	AISI/ Annan	UNS	SS
Austenitiska							
1.4301	0.04	18	9	-	304	S30400	SS2333
1.4307	0.02	18	9	-	304L	S30403	SS2352
1.4401	0.04	17	10	2.1	316	S31600	SS2347
1.4404	0.02	17	10	2.1	316L	S31603	SS2348
1.4539	0.02	20	25	4.5	"904L"	N08904	SS2562
Duplexa							
1.4362	0.02	23	4.8	0.3	"2304"	S32304	SS2327
1.4462	0.02	22	5	3	"2205"	S32205	SS2377
1.4410	0.02	25	7	4	"2507"	S32750	SS2328

Jernkontoret

Bild 12-14

Applikationsexempel 1: Papper och massa

Papperstillverkning är en stor utmaning för materialtillverkare. Krav på nollutsläpp till den yttre miljön och därmed recirkulerande processlösningar, driver upp kloridnivåerna och aggressiviteten i processmiljön. Utvecklingen av Sveriges andra stora basnäring, papper och massa, har gått hand i hand med rostfriindustrins utveckling och många stålsorter har utvecklats för specifika processteg:

Kokare. Framställning av kemisk massa kräver hög korrosionsmotsstånd i de stora tryckkärlen där massan kokas med syra (i sulfitprocessen) eller lut (i den nu dominerande sulfatprocessen). Korrosivitet är avsevärt lägre i sulfatprocessen och kolstål kan vara ett alternativ, men risken för alkalisk spänningskorrosion innebär att rostfria material ofta föredras. En lösning är compound-material, där den lastbärande kolstål har ett invändigt skikt av cirka 3 mm 1.4432 /1.4404 (AISI 316L). Duplexa stål har dock gjort stora framsteg eftersom den högre hållfastheten gör att man kan minska väggtjockleken. Detta har stor betydelse för en kokare som kan vara 50-70m hög.

Blekning: Klorblekningsprocesser med Cl_2 eller ClO_2 ger en mycket korrosiv miljö som kräver höglegerade rostfria stål. Superaustenitiska 6%-Mo stål som 1.4547 (254 SMO) eller superduplexa stål som 1.4410 (2507) används ofta, men vissa komponenter kräver nickelbaslegeringar eller titan för att få en rimlig livslängd. Nya klorfria processer som är baserade på väteperoxid eller ozon är betydligt mindre aggressiva mot rostfria stål.

Sugvalsmantlar: Vid papperstillverkningen är inte korrosionsproblemen så stora, då kloridhalter och temperaturer är måttliga. Vanligen används enklare rostfria stål som 1.4301 och 1.4401. Ett intressant materialtekniskt problem utgör sugvalsmantlarna som extraherar vätskan ur massan och därmed möjliggöra fortsatt torkning och upplindning på valsar. Sugvalsmantlarna har traditionellt centrifugalgiutits, men tillverkas idag ofta av varmvalsad rostfri plåt. Den varmvalsade plåten formas till en rund vals, svetsas och värmebehandlas. Därefter borras upp till en miljon hål i sugvalsmanteln. Materialkraven god skärbarhet i kombination med hög utmattningshållfasthet uppfylls av duplexa stål som 1.4417 och 1.4162.



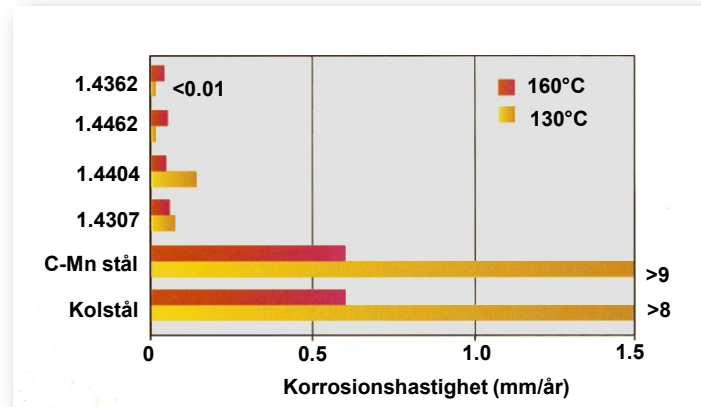
Bild 12-15



Bild 12-16

En del typiska data som kan användas som underlag vid materialval, exempelvis inom papperstillverkning, är korrosionshastigheter och utmattningsresistens.

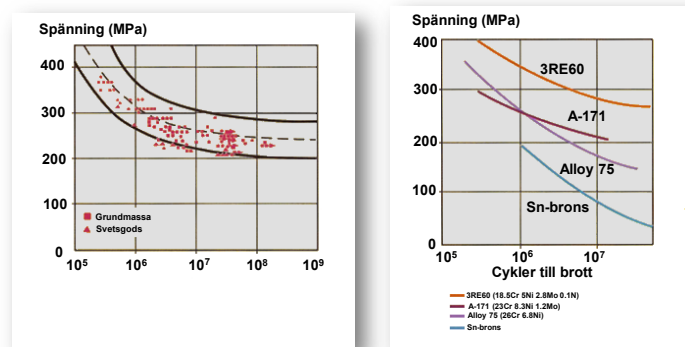
Korrosionshastighet hos olika stål - simulerad sulfatkokarmiljö



Jernkontoret

Bild 12-17

Korrosionsutmattning



Wöhlerkurvor upptagna i syntetisk vitlut för olika material avsedda för sugvalsmantlar. 1.4417 (3RE60) är ett duplexstål rostfritt

Miljö och provningsvillkor: roterande böjutmattning
pH=3.5, 20-400ppm Cl⁻, 250ppm SO₄²⁻, ~1500rpm vid RT

Jernkontoret

Bild 12-18

3. Korrosionsformer

3.1 Allmän korrosion och galvanisk korrosion

Traditionellt utnyttjas rostfria stål i miljöer där olegerade och obehandlade stål angrips av korrosion. Kolstål angrips av allmän korrosion i så milda miljöer som rent vatten. Allmän korrosion innebär att hela den exponerade ytan attackeras, i kolstålsfallet med rödrost som resultat. Motsvarande korrosionsform förekommer även på rostfria stål, men då i mer aggressiva, ofta sura miljöer, där den passiverade ytan inte längre kan upprätthållas och passivskiktet bryts ned över en större yta. Korrosionen har då ett tämligen kontrollerat förlopp och avfrätningen anges ofta som mm/år, och som funktion av temperatur i vissa specifika miljöer. Jernkontorets, numera Outokumpus och Sandviks, korrosionstabeller ger isokorrosionsdiagram, där man kan avläsa den årliga avfrätningen i ett stort antal miljöer.

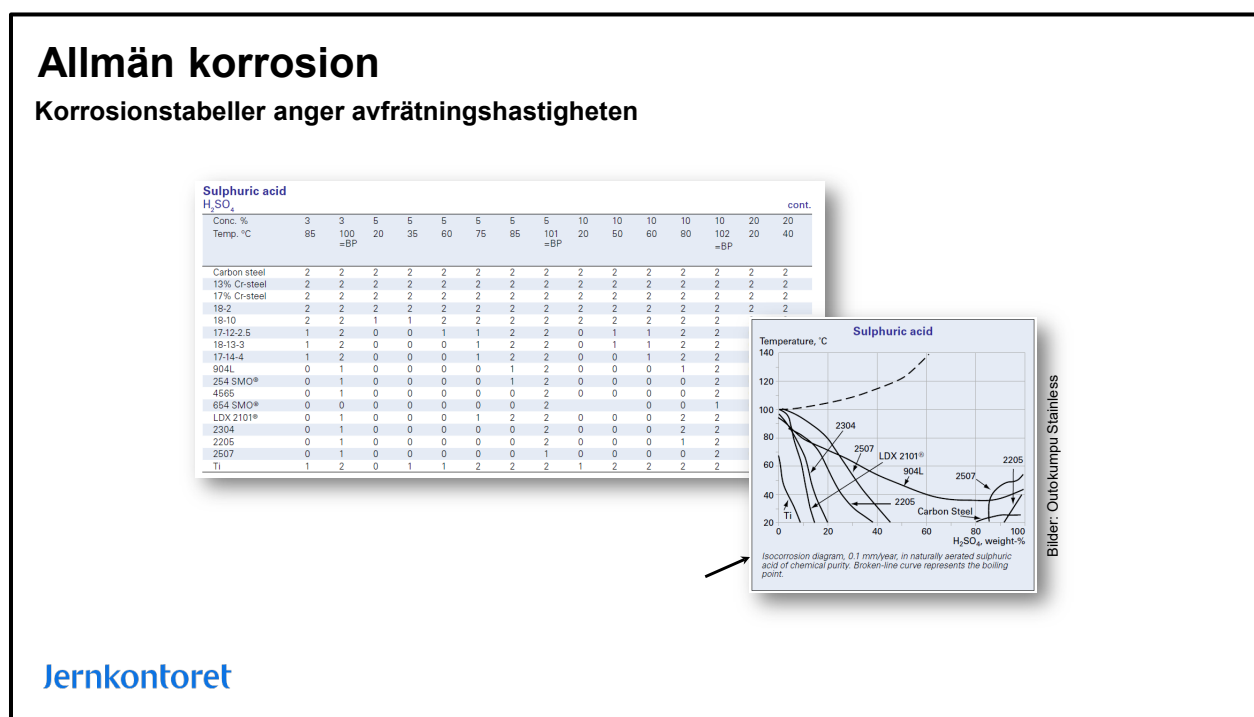


Bild 12-19

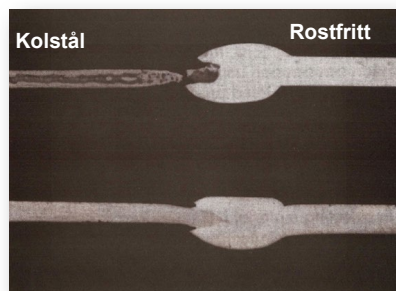
Allmätkorrosion är en förhållandevis kontrollerad process men överraskningar kan ske när korrosionen accelereras av faktorer som föroreningar och flödes hastigheter. Yttre galvaniska effekter kan ge elektriska strömmar, som medför att korrosionsförlopp accelereras eller till och med innebär att materialet korroderar i en miljö där det normalt sett är helt resistent mot korrosion. Yttre galvaniska effekter kan vara läckströmmar eller helt enkelt att ett ädlare material (på den ädla sidan i den galvaniska spänningsserien) står i kontakt med stålet i en korrosiv miljö.

Den galvaniska spänningsserien ger en indikation på hur olika material uppträder i olika miljöer, en klassisk sådan i bilden är saltvatten. Potentialen ges i förhållande till en standard-elektrod (här vätgaselektroden, SHE), men det är främst relationen mellan metallerna och inte absolutvärden, som är avgörande för materialets uppträdande.

Galvanisk korrosion

I ett svetsförband mellan ett rostfritt stål och ett kolstål

Metall	Potential (V _{SHE})
Guld	+0,42
Silver	+0,19
Rostfritt (passiv)	+0,09
Koppar	+0,02
Tenn	-0,26
Rostfritt stål (aktiv)	-0,29
Bly	-0,31
Stål	-0,46
Kadmium	-0,49
Aluminium	-0,51
Zink	-0,86
Magnesium	-1,36



Jernkontoret

Bild 12-20

Ett antal korrosionsformer av mer lokal karaktär kan uppträda på rostfria stål, **punktkorrosion** (eng. pitting corrosion), **spaltkorrosion** (crevice corrosion), **interkristallin korrosion** (intergranular corrosion), och om samtidigt en yttre eller inre spänning verkar, kan **spänningskorrosion** (Stress Corrosion Cracking, SCC) eller **korrosionsutmattning** (corrosion fatigue). Inträffa.

3.2 Punktkorrosion

Det är främst kloridinnehållande och framförallt sura kloridinnehållande miljöer som orsakar lokala angrepp hos rostfria stål. Det mest välbekanta är punktkorrosion som ger ofta litet materialavverkning, men kan resultera i snabb perforering av en komponent. Ett vardagsexempel är punktangrepp som kan dyka upp på rostfria bestick i lägre legerade ferritiska eller martensitiska rostfria stål, som passerat genom diskmaskinen ett antal tillfällen. Ofta angrips något ställe på ytan där defekter förekommer, exempelvis vid slagginneslutningar som kan ha små håligheter i gränsytan mellan matrix och slagg. Dessa håligheter kan vid exponering i förhållandevis milda miljöer, ge upphov till lokala aggressiva miljöer, speciellt om den yttre miljön innehåller klorider. När väl angreppet startat kan en mycket snabb propagering ske.

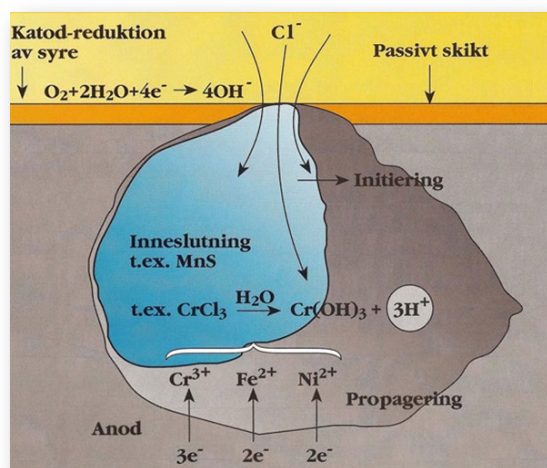
Fenomenet kan ges en elektrokemisk förklaring som går ut på att den omgivande oangripna, fortfarande passiva ytan fungerar som katod och det lokala angreppet som anod. En stor katodisk yta kan då, även om strömmarna är små per ytenhet, ge upphov till en snabb lokal anodisk upplösning av metallen i det angripna området. Då lösningen i den uppkomna gropen är förhållandevis stagnant, anrikas metalljoner som förstärker korrosionsangreppet.

Ofta görs en grov rangordning av olika rostfria sorter genom ett enkelt samband, där legeringsinnehållet viktas efter dess förmåga att förbättra punktkorrosionsmotståndet i kloridmiljöer, PRE, (Pitting Resistance Equivalent). En vanlig formel är

$$\text{PRE} = \%Cr + 3.3 * (\%Mo + 0.5 * \%W) + 16 * \%N$$

men andra faktorer förekommer; värden mellan 13 och 36 har presenterats för kväve. I bilden har en faktor 30 utnyttjats. Förutom stålets medelsammansättning påverkar ett antal andra faktorer korrosionsresultatet och dessutom föreligger synergistiska effekter, (1+1>2), bland annat mellan kväve och molybden.

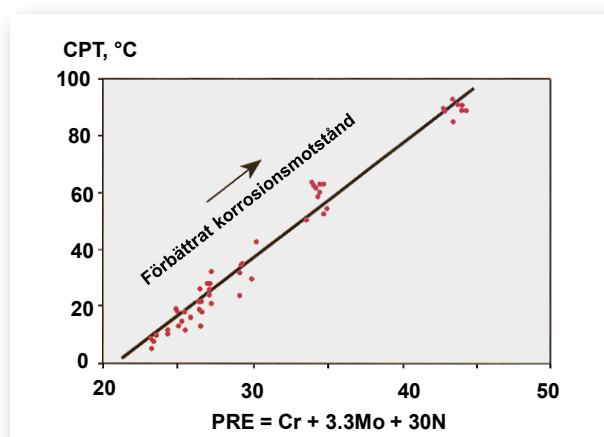
Propagering av ett punktangrepp



Jernkontoret

Bild 12-21

Korrosionsmotstånd vs. PRE för austenitiska rostfria stål



PRE = Pitting Resistance Equivalent
Flera formelvarianter finns, t.ex.
PRE = %Cr + 3.3*(%Mo + 0.5*%W) + 16*%N

CPT = Critical Pitting Temperature

Jernkontoret

Bild 12-22

3.3 Spaltkorrosion

Vid konstruktion med rostfritt stål för klorid miljöer ska trånga spalter undvikas. Anledningen är att en aggressiv miljö kan bildas i spaltområdet när vätska tränger in i spaltområdet på grund av kapillärkrafterna. Syrehalten som upprätthåller passivfilmen sjunker, metall börjar lösas upp och pH sjunker, varefter angreppet snabbt propagerar. Liksom vid punktkorrosion blir den depassiverade ytan anod i en elektrokemisk cell, vilket gör att angreppet fortsätter.

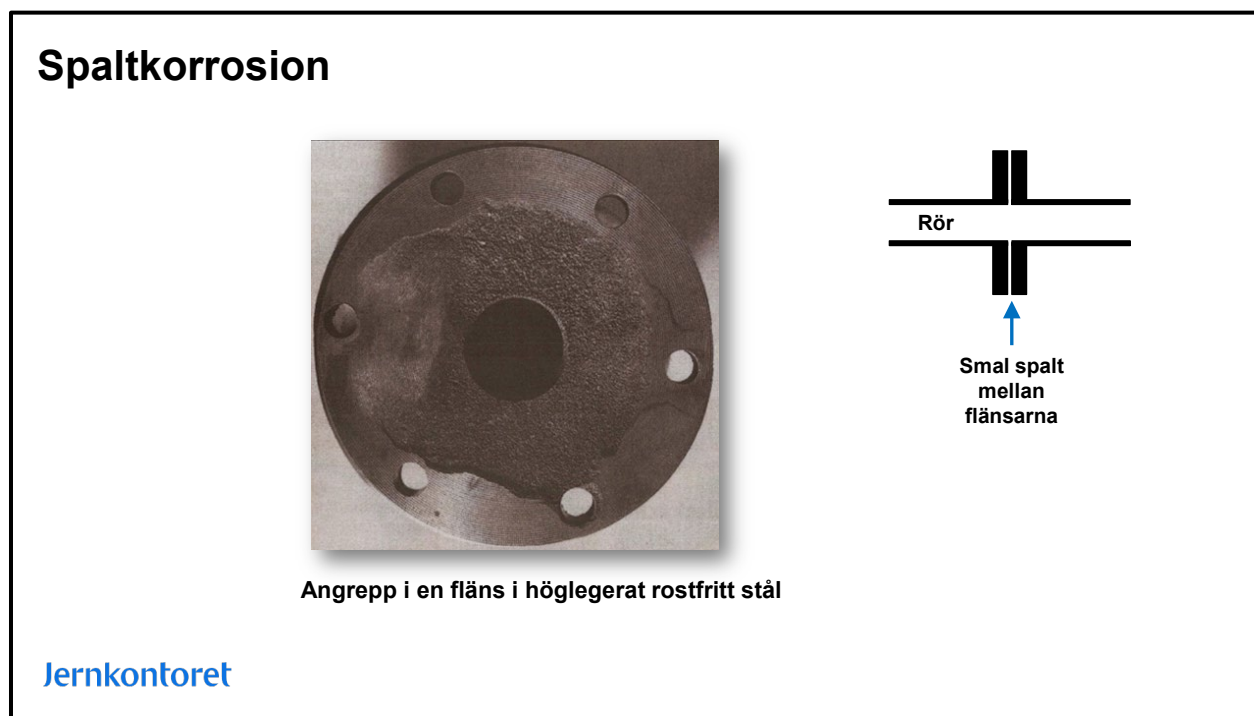


Bild 12-23

3.4 Spänningskorrosion

I situationer då den rostfria komponenten är lastbärande, eller om det förekommer inre spänningar som exempelvis uppkommer vid svetsning, kan sprickbildning inträffa i vissa miljöer, Kloridmiljöer i samband med förhöjd temperatur är liksom för de övriga korrosionsformerna den vanligast förekommande riskmiljön.

Flera mekanismer har föreslagits som förklaring på de uppträdande sprickorna. De som oftast framförs är kopplade till deformation via de glidband som uppkommer vid deformation, och som då de träffar en ytteryta bryter passivfilmen och exponera oskyddad metall för den korrosiva miljön. Om tillgången på syre är alltför begränsad kan passivfilmen inte återbildas, utan en anodisk upplösning av grundmaterialet sker. Propageringen drivs av samma elektrokemiska mekanismer som punktkorrosion och spaltkorrosion, det vill säga en sprickspets som är anodisk och sprickväggar eller ytteryta som fungerar som katod. Den elektrokemiska karaktären kan enkelt påvisas genom att förändra potentialen till ett "ofarligt område", och genom att därefter gå tillbaka till den ursprungliga potentialen kan man få sprickan att stoppa upp respektive fortsätta att löpa.

Spänningskorrosion uppträder vid högre temperaturer och därmed är kloridkoncentrationen i vätskan inte helt avgörande. Ofta bildas kondensat vid omväxlande förångning och kondensering, där mycket höga halter av klorider kan ackumuleras med sprickbildning som följd. Ett typiskt fall

är då saltvatten träffar isolerade varma rörledningar vilket, leder till just förångning av vattnet och en anrikning av kloridhalten över den tillåtna.

En liknande sprickbildning kan även inträffa i närvaro av väte, speciellt för ferritiska och martensitiska rostfria stål. Sprickbildning orsakad av väte brukar normalt ske vid lägre temperaturer än kloridspänningskorrosion och vid andra elektrokemiska betingelser. HISC (Hydrogen Induced Stress Cracking) har till exempel konstaterats vid katodiskt skydd av rostfria anläggningar när den pålagda potentialen är för negativ så att väteanrikningar och försprödning sker.

Spänningskorrosion

Spänningskorrosionsprickor från löphålet i en sodapanna
Alkalisk, klor- och svavelinnehållande miljö vid hög temperatur



Sprickor, typiskt förgrenade
har löpt 4 mm, plåttjocklek 5 mm



Högre förstoring:
sprickvägarna delvis interkristallina
och delvis transkristallina

Jernkontoret

Bild 12-24

3.5 Korrosionsutmattning

Om en cyklisk spänning överlagras en konstant last utsätts materialet för utmattning, det vill säga materialet går till brott vid en avsevärt lägre påkänning än för en statisk last. Utmattningsgränsen brukar sättas vid den last som materialet kan bära utan brott upp till en miljon cykler. Den gränsen brukar för de flesta material ligga kring halva brottgränsen och sjunka vid exponering mot aggressiva miljöer. Definition av aggressiv miljö i fallet korrosionsutmattning är synnerligen oklar, och man har till och med mätt upp olika utmattningshållfasthet i vakuum och luft. Kartläggning av utmattningshållfastheten får en allt större betydelse i och med den utökade användningen av rostfria stål som konstruktionsmaterial och därmed lastbärande funktion. Stora insatser görs för att utreda utmattningshållfastheten i havsvatten. Man kan notera att motståndet mot korrosionsutmattning ökar med ökande hållfasthet och ökande legeringsnivå. Ju högre legeringsnivå, desto mindre andel korrosivt bidrag till slutbrottet.

Om det korrosiva bidraget ökar kommer situationen att likna den vid spänningskorrosion. En metallografisk undersökning kan ge en viss fingervisning om vilken av mekanismerna som varit aktiv. En utmattningsspricka är oftast rak och oberoende av mikrostrukturen, medan en HISC-

eller SCC-spricka ofta är förgrenad och kopplad till de faser som förekommer, och i vissa fall även till korngränser.

3.1 Interkristallin korrosion

Svetsning av austenitiskt rostfritt stål sker normalt med låga svetsenergier. En orsaken är att stålet innehåller en viss mängd kol som kan, i temperaturintervallet 500–800°C, förena sig med krom och bilda karbider. Detta sker företrädesvis i materialets korngränser där korrosionsskyddet förloras lokalt intill karbiderna. Karbidbildningen tar dock en viss tid, och om en låg värmeförsel utnyttjas vid svetsningen erhålls en snabb svalning genom det kritiska temperaturintervallet. Då hinner karbiderna inte bildas, och korrosionsmotståndet i svetsen blir fullgott.

Sensibilisering



Interkristallin korrosion i ett tryckkärl efter felaktig värmebehandling som orsakat utskiljning av kromkarbider

Jernkontoret

Bild 12-25

Kinetiken för karbidbildningen är starkt kopplad till stålets kolhalt, och problemet med sensibilisering var avsevärt större med tidigare generationer av rostfria stål, då tillverkningsprocesserna ej tillät halter under ~0,05 % kol. Med den moderna AOD (Argon Oxygen Decarburization) tekniken tillverkas stål rutinmässigt med kolhalter kring 0,02 % så sensibilisering utgör inte längre något större problem vid svetsning. I vissa stålsorter tillsätts titan eller niob för att på det sättet binda upp kolet, så kallade stabiliserade stål.

I höglegerade stålsorter kan andra typer av utskiljning ske i samband med svetsning och orsaka minskat korrosionsmotstånd. Det gäller såväl intermetalliska faser som sigmafaser som nitrider.

Applikationsexempel 2: Umbilicals

En konstruktion som vore svår att föreställa sig utan att konstruktören haft tillgång till de prestanda som de duplexa och superduplexa materialen uppvisar, är umbilicals (eng. för navelsträng). Som översättningen antyder är de den kontaktlänk, som förbinder moderplattformarna med de bottenförlagda oljeutvinningsstationerna. I umbilicals finns elektriska kablar liksom hydraulikledningar samt ledningsrör för metanolinjektion i borrhålen. För att skydda konstruktionen från yttre åverkan har ett epoxilager lagts på stålet som vidhäftningsmedia, varefter röret belagts med ett 3 mm lager av hållfast termoplast (polyetylen).

Den höga hållfastheten hos de tunnväggiga sömlösa rören bidrar till att bucklingsrisken minskar. Dessutom måste ett hydrauliskt rör med den längd, som det här är frågan om, ha en mycket snabb respons. Ett rör i ett polymert material är utsiktslöst, eftersom styvheten är för låg om det inte armeras kraftigt. Om konstruktionen i stället hade gjorts i ett ordinärt austenitiskt stål skulle väggtjockleken och därmed vikten ha blivit det dubbla.

Rören kan tillverkas genom längssvetsning av band till ca 300 m långa rullar, eller genom extrusion och stegvalsning-dragning till cirka 15 m långa sömlösa rör. Dessa svetsas ihop till rorlängder på 2–10 km och utsätts för tryckprovning och röntgenundersökning av skarvsvetsarna. Slingorna svetsas därefter till 50 km långa rör som lindas upp på rullar och läggs på havsbotten från speciella fartyg.

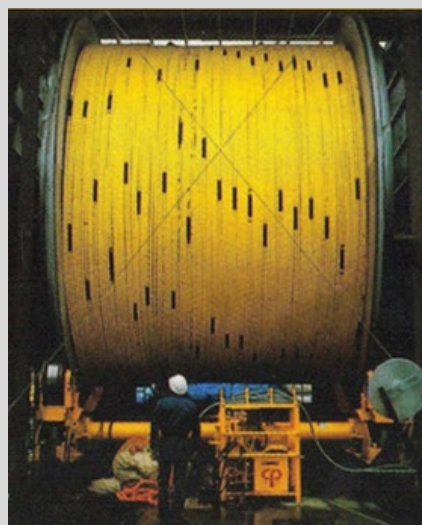


Bild 12-26

4. Mekaniska egenskaper

Rostfria stål indelas som tidigare nämnts i klasser som beskrivs av deras mikrostruktur: ferritiska, martensitiska, austenitiska och duplexa stål. Det finns även speciella varianter som höghållfasta partikelhärdade sorter, men här kommer endast de viktigaste klasserna att beröras. Egenskaperna beror även på legeringstillseterna, så att inom varje klass kan egenskapsprofilen påverkas genom ändring av sammansättningen. Sträckgränsen, $R_{p0,2}$, ligger högst för de martensitiska stål (i härdat och anlöpt tillstånd), lägre för de ferritiska och lägst för de austenitiska. De duplexa har värden mellan de enskilda fasernas egenskaper. De olika klasserna har vidare helt olika respons på kalldeformation, vilket kan åskådliggöras med spännings-töjningskurvor upptagna vid dragprovning.

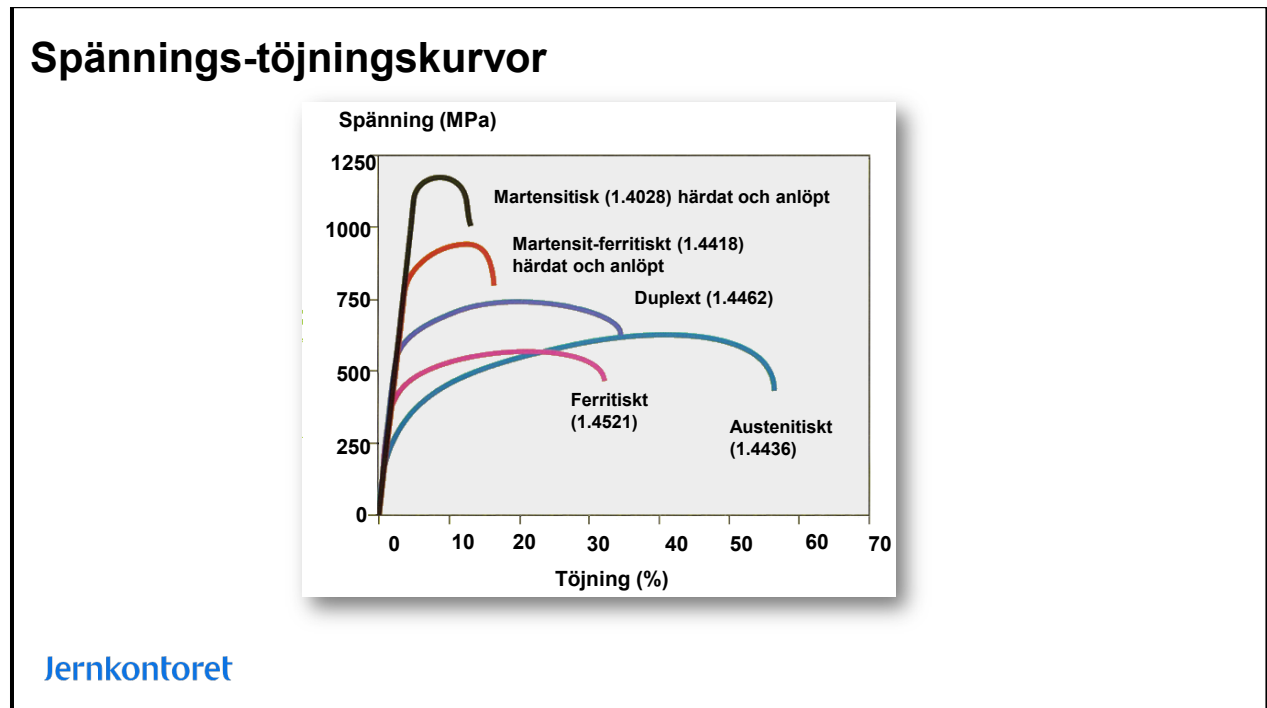


Bild 12-27

I tabellen anges typiska mekaniska egenskaper vid rumstemperatur för några olika rostfria stål. Standardavvikelsen är normalt 17-20 MPa för $R_{p0,2}$ och R_m samt 3% för brottförlängningen A_5 .

Martensitiska och ferrit-martensitiska stål utmärks av höga sträckgränser och av att hållfastheten kraftigt påverkas av den värmebehandling stålen utsätts för. Normalt används de martensitiska stålen i seghärdat, dvs härdat och anlöpt, tillstånd. De har i detta tillstånd en hög hållfasthet som ökar med kolhalten. Stål med mer än 13 % krom och en kolhalt som överstiger 0,15 % är efter härdning helt martensitiska, men med sjunkande kolhalt ökar andelen ferrit och hållfastheten sjunker. Duktiliteten hos de martensitiska stålen är relativt låg. De ferrit-martensitiska stålen har trots en relativt låg kolhalt en hög sträckgräns i seghärdat tillstånd och en god duktilitet. De har också en mycket god härdbarhet. De genomhärdar även i grova godstjocklekar och bibehåller därför sina mekaniska egenskaper i grova sektioner.

De ferritiska stålens sträckgräns är relativt låg och deformationshårdnandet måttligt. Hållfastheten ökar med kolhalten, medan kromhaltens inverkan är ringa. Däremot sjunker duktiliteten vid höga kromhalter, och en god duktilitet hos ferritiska stål fordrar mycket låga kol- och

kvävehalter. Duplexa stål har en hög sträckgräns, som ökar med ökande kol- och kvävehalter. Deras duktilitet är god, och de har ett kraftigt deformationshårdnande.

Typiska mekaniska egenskaper vid RT

	EN	AISI/UNS	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)	
Ferritiska	1.4000	410S	270	490	30	
	1.4016	430	380	520	25	
	1.4521	444	360	540	26	
	1.4749	446	280	600	20	
Martensitiskt (Martensit-ferritiskt)	1.4021	420	500	650	20	
	1.4418		700	1000	14	
Duplexa	1.4362	S32304	450	700	38	
	1.4462	S32205	510	750	35	
	1.4410	S32750	560	830	35	
	1.4501	S32760	550	750	25	
Austenitiska	1.4301	304	290	600	55	
	1.4307	304L	280	580	55	
	1.4311	304LN	320	640	55	
	1.4541	321	250	570	55	
	1.4401	316	280	570	55	
	1.4407	316L	280	570	55	
	1.4539	N08904	260	600	50	
	1.4547	S31254	340	680	50	
	(Värmebeständiga)	1.4835	S30815	370	700	50
		1.4845	310S	270	600	50

Jernkontoret

Bild 12-28

Austenitiska rostfria stål har i allmänhet en relativt låg sträckgräns och utmärks av ett kraftigt deformationshårdnande. Duktiliteten är mycket god, de har en hög brottförlängning och är mycket sega. Hållfastheten hos austenitiska stål ökar med ökande halter av kol, kväve och i viss mån även med halten av molybden. Kolets negativa effekter på korrosionsegenskaperna gör att detta elements hållfasthetshöjande egenskaper inte kan utnyttjas.

De enskilda legeringsämnenas effekter, liksom effekten av ferritandel och kornstorlek på sträckgränsen, har utvärderats med ett regressions samband för austenitiska och duplexa stål.

$$R_{p0,2} = 120 + 210 \sqrt{N + C} + 2Mn + 2Cr + 14Mo + 10Cu + (6,15 - 0,054\delta) \delta + (7 + 35(N + 0,02)) d^{1/2}$$

$$R_{p1,0} = R_{p0,2} + 40$$

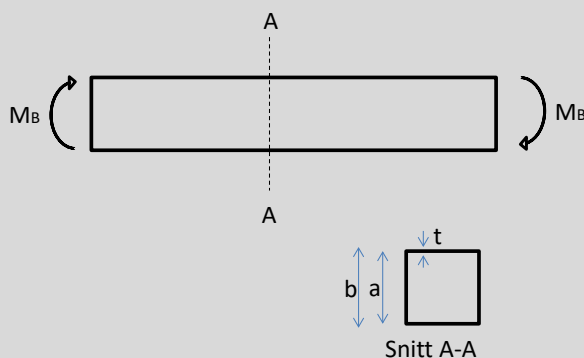
$$R_m = 470 + 600(N + C) + 14Mo + 1,5\delta + 8d^{1/2}$$

där N , Mn etc. anger halten av respektive legeringselement i vikts-%
 δ anger δ -ferrithalten i %
 d anger kornstorleken i mm
 R_x i MPa

Applikationsexempel 3: Balkar

Rostfria stål används i ökande grad för lastbärande konstruktionslement för att minska underhållskostnader jämfört med belagt och målat kolstål. En sådan utveckling förutsätter konstruktionsunderlag och designkriterier, som är anpassade till de speciella egenskaperna för rostfritt stål.

I figuren illustreras dimensionering av en balk i ett antal olika material. Balken utgörs av ett fyrkantigt rör med ett symmetriskt och kvadratisk tvärsnitt med måtten 40x40 mm och med en väggjocklek av t mm. Röret är utsatt för ett böjande moment M_B . Den nödvändiga väggjockleken hos balken beräknas (utan hänsyn till säkerhetsfaktorer) för ett kolstål, EN 1.4025, ett austenitiskt rostfritt stål 1.4404 och de duplexa sorterna 1.4362 och 1.4462. Sträckgränsen är i detta fall dimensionerande och hörnradierna antas vara noll.



$$\sigma = \frac{M_B}{W_B} = \frac{M_B}{I/e} = \frac{M_B \cdot e \cdot 12}{b^4 - a^4}$$

σ = maximal böjspänning i balken.

W_B = böjmotstånd, här 1,53 kNm

I = tröghetsmoment

e = största kantavstånd (i detta fall = $b/2$)

Maximal tillåten spänning antas vara materialets sträckgräns ($R_{p0,2}$). Nödvändig väggjocklek för de olika materialalternativen framgår av tabellen. Väggjockleken kan reduceras med upp till 54 % med motsvarande viktsbesparing, om man väljer ett höghållfast rostfritt stål i stället för ett kolstål av typen 1.0525. I normalfallet baseras beräkningarna på de garanterade (min.) hållfasthetsvärden som anges i den aktuella standarden för materialet, men typiska sträckgränser ligger högre.

Material	R_p (min) MPa	Tjocklek mm	Relativ vikt
1.0425 (kolstål)	260	3.6	1
1.4432	210	5.0	1.39
1.4362	400	2.1	0.57
1.4462	480	1.7	0.46

Bild 12-30

Applikationsexempel 4: Stolpar och räcken

Galvanisering är det traditionella sättet att få en rimlig livslängd på belysningsstolpar, vägtrummor, broräcken och andra konstruktioner av kolstål. Dessa är utsatta för väder och vind och ofta dessutom delvis eller helt utsatta för korrosion i jord. Vid sidan av det rent funktionella kriteriet för konstruktionen, det vill säga att bära last, måste även rent estetiska krav tillgodoses. Zinksiktet har en begränsad livslängd och i stadier då zinksiktet förbrukats lokalt på exempelvis belysningsstolpar, uppträder roststrimmor, som kräver kostsam och återkommande skyddsmålning. I estetiskt känsliga miljöer eller i kraftigt korrosiva miljöer är valet av ett rostfritt konstruktionsmaterial ett ekonomiskt alternativ.

Belysningsstolpar tillverkas vanligtvis av galvaniserat kolstål. I miljöer med marin atmosfär, hög luftfuktighet och hög kloridkoncentration korroderar detta material snabbt. På några orter på Kanarieöarna installerades av denna anledning 2000 stolpar utförda i 1.4404. Även ett antal av det mer höghållfasta och korrosionsbeständiga duplexa 1.4462 installerades. Stolparna kan betraktas som en konisk balk, 4–8 m höga. Godstjockleken hos stolparna av 1.4404 är 2,5 mm och för 1.4462 2,0 mm. Detta ger en viktbesparing på 20 % eller 15 kg för de 8 m höga stolparna.



Bild 12-29

5. Formning

5.1 Pressning

Dragpressning innebär att pressningen genomförs så att rondellen som utgör utgångsmaterialet, tillåts följa med stämpeln ned i dynan genom att tillhållarkraften är måttlig eller låg. Om istället tillhållarkraften är hög bibehålles den ursprungliga diametern hos rondellen, och materialet förtunnas kontinuerligt under formningsoperationen, en så kallad **sträckpressning**.

Dragpressbarheten är ungefär lika stor för ett 18-9 material (1.4301), som för ett ferritiskt material med 13 eller 17 % Cr. Däremot har det ferritiska materialet, på grund av sin tydliga sträckgräns och flytlasttöjning, nackdelen att i mindre töjda områden i pressat material ge upphov till synliga flytlinjer. Vid sträckpressning töjs plåten i plåtplanets alla riktningar under samtidig förtunning. Ett viktigt materialkrav vid en sådan operation är att materialets töjning fördelas jämnt och på det sättet förhindrar att lokala förtunnningar uppträder, vilket kan leda till bristningar. Ett stort deformationshårdnande och samtidigt en god förmåga att ta upp töjningar är således baskrav på materialegenskaper vid sträckpressning.

Även segringsfenomen, dvs sammansättningsvariationer som återstår från materialets stelning, kan ge upphov till synliga defekter vid kallformning av ferritiska stål. Austenitiska material har däremot, tack vare sin egenskap att ge kraftig kalldeformation, förmågan att sprida deformationen, varför den typen av defekter inte synliggörs på samma sätt

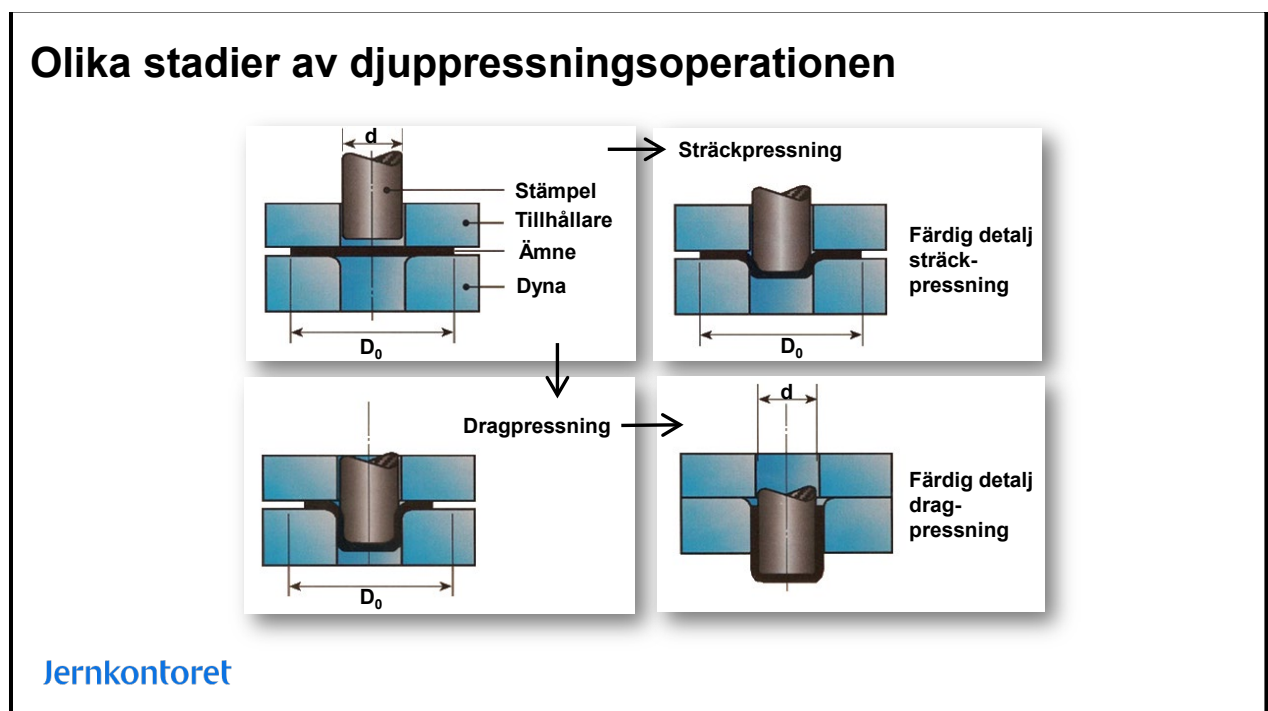


Bild 12-31

5.2 Deformationshårdnande

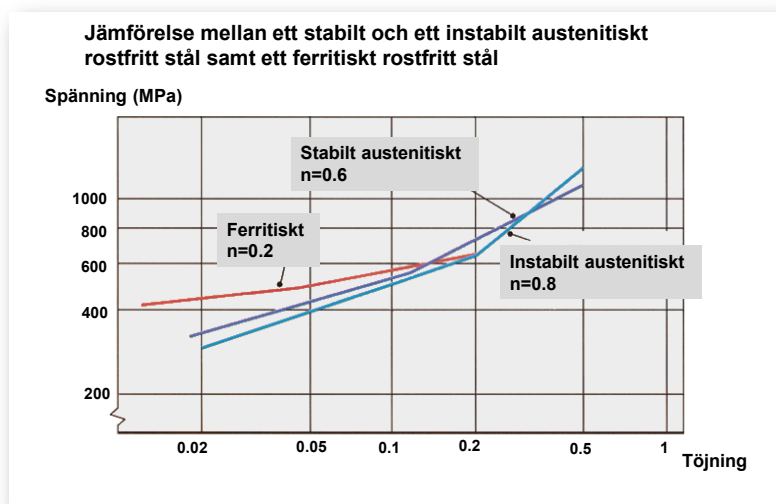
Deformationshårdnandet brukar beskrivas med en deformationshårdnandekoefficient, n , som utvärderas ur ett spännings-töjningsdiagram där sann spänning och sann töjning redovisats i ett diagram med logaritmiska axlar. Deformationshårdnandexponenten (n) definieras av

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n$$

där σ och ϵ är sann spänning respektive sann töjning

varierar mellan 0,2 (för ferritiskt rostfritt stål) och 0,6 för stabila austeniter. Högre värden (0,8) uppmäts för de instabila stålen, som bildar martensit vid kraftig deformation och får därmed en accelererad hållfasthetsökning.

Spännings-töjningskurvor

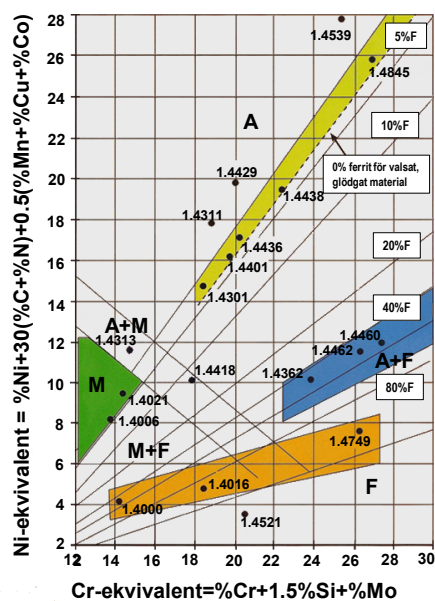


Jernkontoret

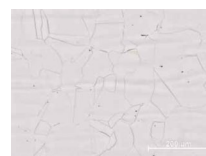
Bild 12-31

6. Svetsning

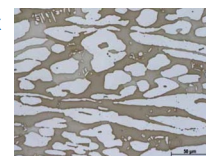
Schaeffler-Delong - diagrammet



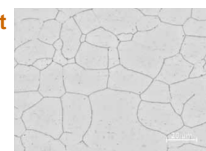
Austenit



Duplex



Ferrit



Martensit



- Austenitiska
- Duplexa
- Ferritiska
- Martensitiska

Jernkontoret

Bild 12-32

Svetsbarheten är oerhört väsentlig för de rostfria stålen. En väl genomförd svets har oftast utmärkta egenskaper, medan många andra fogningsmetoder innebär att man samtidigt skapar ogynnsamma geometrier, som kan ge upphov till spaltkorrosion. Dessutom innebär fogar även ur hållfasthetssynpunkt försvagningar genom anvisningsverkan. Svetsbarheten är således central, och stor uppmärksamhet riktas vid utveckling av rostfria stål mot att få en svets, som uppvisar lika goda egenskaper som grundmaterialet. Ofta innebär detta att överlegerade tillsatsmaterial rekommenderas, eftersom man vill undvika värmebehandling av svetsen. Något som förutom av kostnadsskäl även är oönskat av praktiska orsaker.

Vanliga austenitiska rostfria stål som 1.4301 och 1.4401 är mycket lätta att svetsa. Det innebär inte att man kan misshandla materialet hur som helst, men att man med tillgänglig teknik kan uppnå mycket goda resultat. Smältsvetsmetoderna dominerar, dvs metallbågssvetsning med belagda elektroder, MIG (Metal Inert Gas som även kallas GMAW, Gas Metal Arc Welding i USA) och TIG (Tungsten Inert Gas eller GTAW, Gas Tungsten Arc Welding i USA). Gassvetsning bör undvikas på grund av risk för uppkolning. Plasma-, laser- och elektronstrålesvetsning används också. För grövre gods utnyttjas pulverbågssvetsning.

För de austenitiska stålen rekommenderas ofta att en låg sträckenergi används för att uppnå en snabb svalning genom det temperaturintervall där utskiljning av skadliga faser sker. Ju högre legerat material desto större risk föreligger för att få utskiljning av intermetalliska faser med sänkt korrosionsmotstånd och slagseghet som resultat. Ett korrekt val av elektrod och svetsparametrar är således högst väsentligt.

De duplexa stålen har genom sitt legeringsinnehåll ett ferritiskt stelrande. Det innebär att de under svalning från 1350°C ned till ca 1100°C måste ha en svalningshastighet som inte är större än att de kan hinna omvandla ferriten till ungefär lika delar austenit och ferrit genom ett diffusionsstyrt förlopp. Diffusion tar tid, och för att uppnå målet är sammansättningen mycket delikat balanserad med främst nickel och kväve som kritiska legeringselement. Alltför höga energier ger långsamma svalningsförlopp med åtföljande risk för intermetalliska faser som resultat. Ju högre legerade duplexa stål, framförallt molybden, desto större försiktighet krävs för att undvika förhållanden som ger långsam svalning.

Även de ferritiska rostfria stålen är svetsbara, men har vissa begränsningar, eftersom de inte undergår någon omvandling i fast fas vid svalningen. Den kornförgrövning som kan uppträda i HAZ kvarstår således efter svalning till rumstemperatur och kan ge upphov till lägre seghet. Det är den främsta orsaken till att det kan ligga begränsningar i godstjocklek för svetsning av ferritiska rostfria stål.

En annan aspekt berör tendensen till varmsprickbildning i svetsar hos austenitiska rostfria stål. En allmänt accepterad mekanism för varmsprickornas uppkomst är kopplad till materialens mikrostruktur under stelning och svalning. Svavlet som finns i materialet drivs framför stelningsfronten och anrikas i smältan. Lösligheten av svavel i austenit är låg, varför det är önskvärt att svetsgodset innehåller en viss andel ferrit som får fungera som svavelrecipient, vilket förhindrar sprickor. Om materialet blir 100 % austenit ökar således sprickrisken, och som en kompensation bör fosforhalten sänkas. För att enkelt kunna göra en uppskattning av fasandelarna efter svalning, som funktion av legeringarnas sammansättning, har det empiriska så kallade Schaeffler DeLong diagrammet utvecklats. Axelvariablerna är krom- och nickel ekvivalenter.

Det enklaste sättet att undvika problem är emellertid att utnyttja de svetsrekommendationer som finns på datablad och hos materialleverantörer och tillverkare av tillsatsmaterial.

Applikationsexempel 5: Hushållsprodukter

Redan då det rostfria materialet uppfanns i början på 1900-talet sågs möjligheterna att utnyttja materialets beständighet mot "staining", fläckar (*eng. stainless steel*) inom hushållsområdet.

Bestick Jämfört med att ha bestick i olika former av kolstål, som snabbt förstörs om de inte vårdades väl, så har alternativet med underhållsfria bestick klara fördelar. Bestick i rostfritt dominerar idag marknaden, men fortfarande kan man finna kolstål i vissa kockknivar. De motiverades tidigare av att eggskärpan var överlägsen de rostfria materialens, men en aktiv legeringsutveckling har eliminerat detta argument, och en majoritet av professionella kockknivar tillverkas nu i rostfritt. Den ökade användningen av diskmaskiner och därmed tillhörande aggressiva diskmedel medför att de mest låglegerade stålsorterna ofta drabbas av punktkorrosion. De något mer höglegerade stålen klarar sig bättre och 18/8, det vill säga den vanligaste rostfrisorten alla kategorier med 18 % Cr och 8 % Ni, drabbas normalt inte av sådana problem i den tillämpningen.

Diskbänkar En av de främsta orsakerna till valet av rostfritt stål för diskbänkar är att det är enkelt att hålla ytan ren, inte korroderar, inte är porösa och har stor slag- och värmetålighet. Dessutom har studier visat att den rostfria ytan är mycket fördelaktig ur hygiensynvinkel jämfört med andra material. Rostfritt är totalt dominerande för köksbänkar med cirka 75 % av världsmarknaden och en tillverkning av totalt cirka 25 miljoner bänkar per år (200 000–300 000 ton stål). Utvecklingen inleddes i och med att man lärt sig att djuppressa rostfritt i USA i slutet av 1940-talet.

Vid tillverkning av rostfria diskbänkar ställs stora krav på såväl svetsbarhet som djuppressbarhet. Baljan djuppressas och svetsas därefter fast i bänken. Eftersom svetsen hamnar på en synlig plats krävs att materialet har hög svetsbarhet och lämnar ett utseende som är acceptabelt utan alltför stora ytbehandlingsinsatser. En korrekt utförd svets ger efter slipning och polering inga som helst spår i ytan.



Bild 12-34

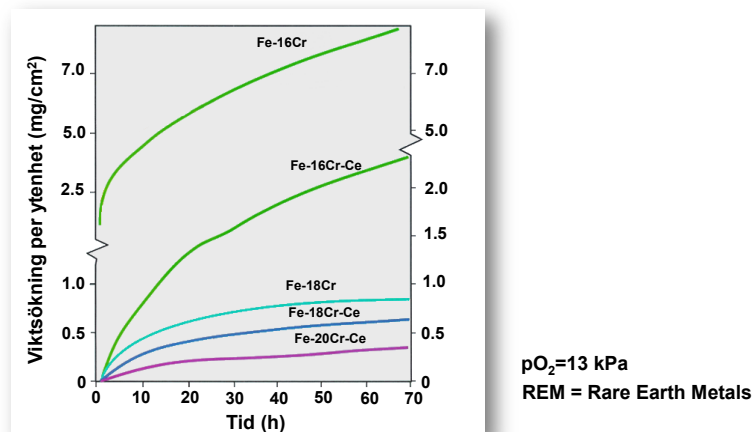
7. Högtemperaturstål

Rostfria stål för användning vid höga temperaturer legeras för att behålla ett skyddande, vidhäftande oxidskikt så högt upp i temperatur som möjligt. Oftast bildas ett kromoxidskikt och en ökning i kromhalten ökar den maximala användningstemperaturen. Si-tillsatser används för att främja bildning av ett kiseloxidskikt under kromoxiden och därmed minskar oxidationshastigheten, men kan öka oxidens tendens att flagna. För att nå högre användningstemperatur legeras ferritiska stål med aluminium för att bilda aluminiumoxid istället för kromoxid. Tillsatser av reaktiva ämnen som Y, Zr och Hf eller sällsynta jordartmetaller (REM=rare earth metals) bidrar till oxidvidhäftning och egenskaper. Tillsatser av Ti och Nb kan användas för att höja varmhållfastheten genom utskiljning av små karbider eller nitrider. Vidare minskar dessa tillsatser korn-tillväxt som kan uppträda i HAZ vid svetsning och som ger sänkt seghet. Ti och Nb binder dessutom kolet så att skadliga kromkarbidutskiljningar undertrycks. Ett bivillkor då man använder höglegerade stål är att de ska vara strukturstabila, det vill säga inte bilda korrosionsnedsättande eller spröda sekundärfaser efter långtidsexponering.

EN	Komm.	Cr	Ni	N	Si	C	Övrigt
Austenitiska							
1.4818	153MA	18.5	9.5	0.15	1,3	0,05	Ce
1.4835	253MA	21	11	0.17	1,7	0,09	Ce
1.4854	353MA	25	35	0.15	1.5	0.05	Ce
1.4845	310S	25	20		≤1,5	0,05	
Ferritiska							
1.4512	409	11.5			1.0 max	0.03	Ti
1.4509	441	18			1.0 max	0.03	Nb,Ti
1.4742		17.5		0.02	1.0	≤0.12	1 Al
1.4749	446, 4C54	26.5		0.02	0.5	≤0.20	
	Kanthal A1	22			0,3	0,02	5.8Al, Zr
	Kanthal AF	23			0,2	0,04	5,2Al, Zr, Y

Bild 12-35

Inverkan av Cr- och REM-tillsatser på oxidationsmotståndet



Jernkontoret

Bild 12-35

Förutom motståndet mot försprödning och oxidation är även kryphållfastheten avgörande, eftersom driftstemperaturerna ofta blir mycket höga. I bilden visas en jämförelse mellan ett antal olika kommersiella sorter. Här har krypbrottsstressen utnyttjats som descriptor, och vi ser att det är just vid de högre temperaturerna som 1.4854 (353 MA) framträder som de starkaste alternativen.

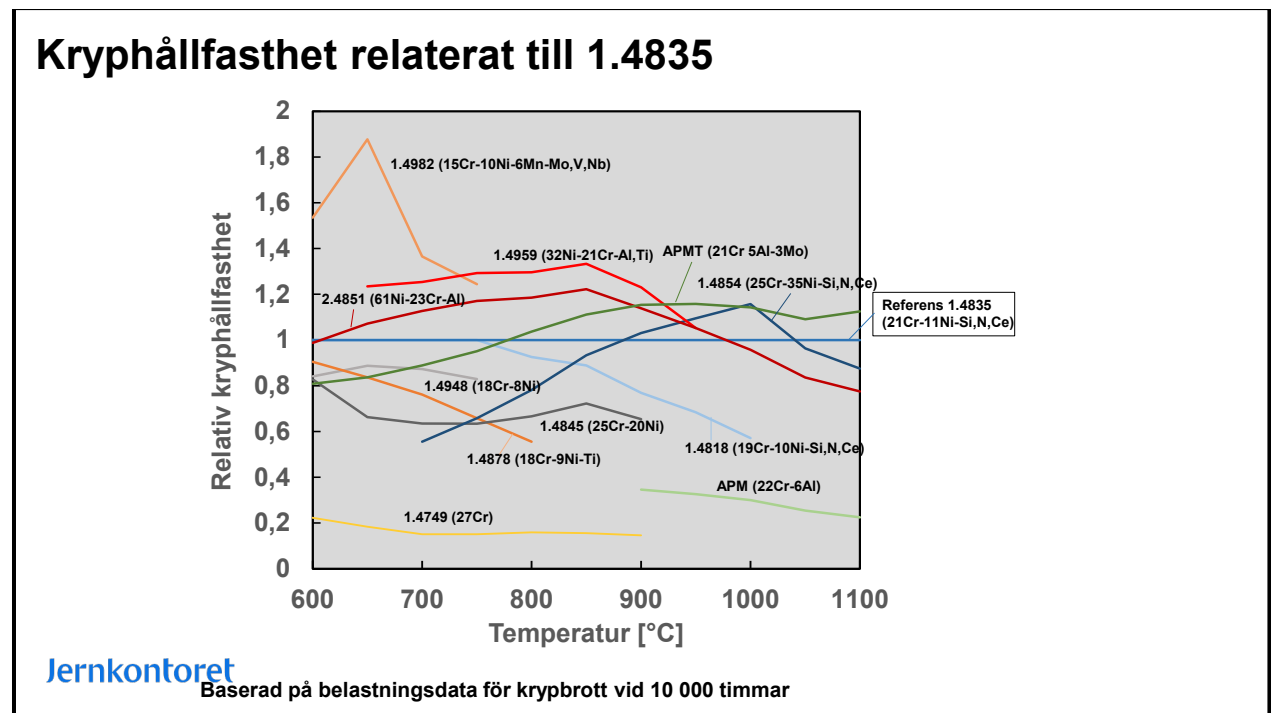


Bild 12-37

Applikationsexempel 6: Avgassystem

Lagstiftning som successivt skärpt utsläppsgränser för fordon har ökat kraven på materialen i avgassystem för såväl bensen- som dieselmotorer. Utvecklingen av effektivare motorer och katalysatorer har dessutom lett till högre drifttemperaturer för avgasrören och mer aggressiva kondensat, vilket också tvingat fram en utveckling av mer högpresterande material.

Grenröret: Från motorblocket samlas avgaserna i grenröret. Tidigare konstruktioner gjordes i gjutjärn. Tendensen är idag att ersätta de ferritiska materialen med de varmhållfasta austeniterna. Vid de aktuella temperaturerna utgör oxidation det största problemet. Ett bivillkor då man utnyttjar höglegerade stål är dock att de ska vara strukturstabila, det vill säga de ska ej sönderfalla i spröda intermetalliska faser efter långtidsexponering. Idag finns även exempel på kompondkonstruktioner, där ett ytterhölje av 1.4301 klätts invändigt med varmhållfast stål av typ 1.4835 (253 MA).

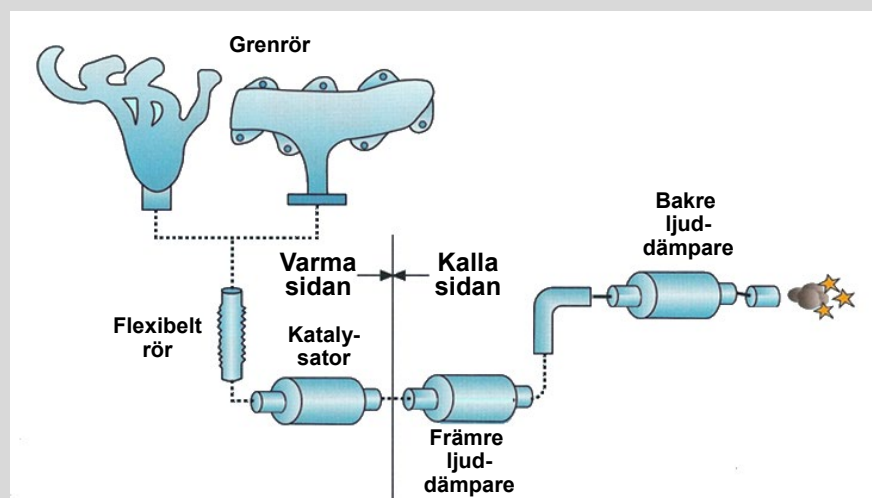


Bild 12-38

Bälgen /främre delen av avgasröret: Efter grenröret följer ett främre rör, och därefter en bälgekonstruktion som ska ta upp motorvibrationer hos motorn. Eftersom uppvärmningshastigheten är avgörande bör materialet ha en låg värmekapacitet och ett högt värmekonduktivitet. Värmekapaciteten är svår att påverka, men en tunn väggtjocklek innebär att en mindre värmemängd åtgår till att höja temperaturen, med kortare uppvärmningstid som resultat. Den höga varmhållfastheten hos 1.4835 har således fördelar, men hänsyn måste tas till den högre värmeutvidgningskoefficienten hos austenitiska stål jämfört med ferritiska.

Ljuddämpare: I den kallare delen av avgassystemet utgör inte högtemperaturkorrosion den främsta orsaken till kort livslängd, utan det är snarare våtkorrosion som styr livslängden. För rostfritt stål måste därför hänsyn tas till punktkorrosion. Även aggressiva kondensat emanerande från avgaserna själva utgör en bidragande orsak till korrosion. Kondensaten i den kalla delen kan ha pH-värden i området 2–5 och kan dessutom innehålla olika aggressiva beståndsdelar beroende. För att uppnå tillräckligt skydd mot yttre korrosion krävs att man går upp i legeringsnivåer mot 1.4301 eller motsvarande ferritiskt material.

Applikationsexempel 7: Värmeelement

Motståndsuppvärmning (Joule uppvärmning) sker när en ström passerar genom en elektrisk ledare. Uppvärmningen är proportionerlig mot ledarens elektriska resistans och kvadraten på strömmen. Material för motståndsuppvärmning behöver ha god oxidationsresistens och behålla en tunn, skyddande ytoxid i såväl luft som korrosiva miljöer (ånga, klorider, sulfider). Materialet måste tåla många uppvärmningscykler, så cyklisk oxidationsprovning används ofta som ett applikationsnära materialtest.

Vid lägre temperaturer, upp till ca 1150°C, används ofta austenitiska Fe-Ni-Cr-legeringar med en högre nickelhalt / lägre järnhalt för högre arbetstemperaturer. Ferritiska Fe-Cr-Al-legeringar används upp till ca 1400°C, men kräver mer mekaniskt stöd på grund av lägre hållfasthet och krypmotstånd. Viktsökningskurvorna vid konstant temperatur och vid korta termiska cykler visar att temperaturcyklning har relativt liten effekt på materialförluster för en Fe-Cr-Al-legering.

Applikationer omfattar hushållsprodukter som spisar, värmeplattor, hårtorkar, brödrostar och strykjärn. Motståndsuppvärmning används även för fastighetsuppvärmning och i många typer av industriugnar.

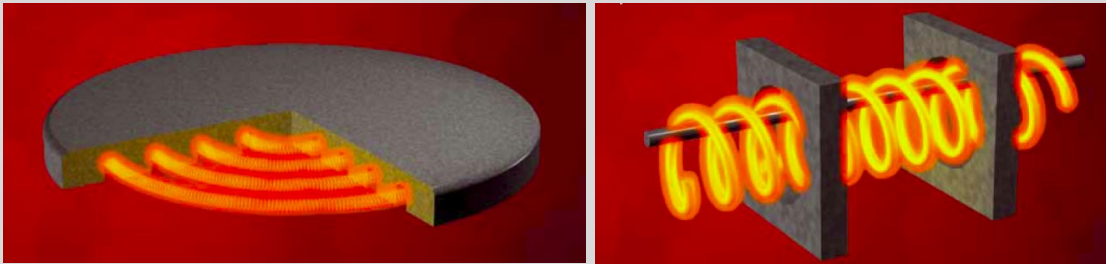


Foto:Sandvik

Bild 13-39

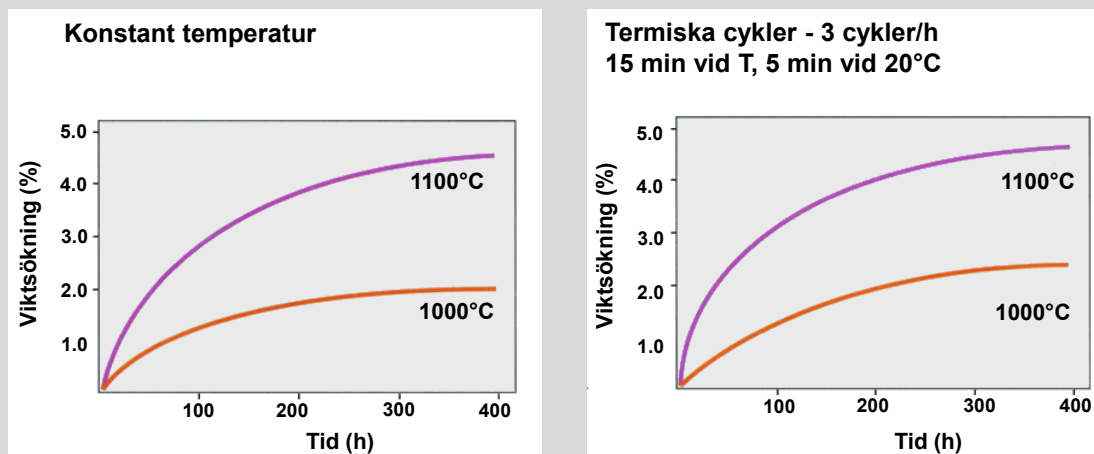


Bild 12-40

8. Fysikaliska egenskaper

Fysikaliska egenskaperna kan ha stor betydelse för funktionalitet i olika tillämpningar.

Densitet visar endast små variationer, men är något högre för de austenitiska stålsorterna än de ferritiska och tenderar att öka med legeringsnivå. E-modulen, som definiera styvhet och är viktig i konstruktionssammanhang, är något lägre för rostfria stål än kolstål, och något lägre för austenitiska stål än ferritiska/martensitiska.

Den fysikaliska egenskapen som visar störst skillnad mellan rostfria stålkategorier är värmeutvidgningskoefficienten. Typiska värden är $16 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ för austenitiska och $10 \cdot 10^{-6}$ för ferritiska stål. Det sistnämnda ligger närmare kolstål. En fog, som förbinder ett ferritiskt och ett austenitiskt material, måste därför vara anpassad för att ta upp de töjningsgradienter som uppkommer vid temperaturhöjning eller temperatursänkning.

Värmekonduktiviteten är starkt relaterad till legeringsnivåerna och kristallstrukturen; höjd legeringshalt ger lägre värmekonduktivitet och bcc-strukturer har högre värmekonduktivitet än fcc. Ett austenitiskt stål ofta lägre värmekonduktivitet än ett ferritiskt av båda dessa skäl. Med liknande resonemang kan det förklaras varför austenitiska stål får högre elektrisk resistivitet (lägre konduktivitet).

Alla rostfria stål som innehåller ferrit är ferromagnetiska, det är endast de stabila austenitiska stål utan innehåll av deltaferrit som kan användas i tillämpningar där magnetisering måste undvikas.

Fysikaliska egenskaper				
Egenskap	Martensitiska	Ferritiska	Austenitiska	Duplexa
Densitet [kg/m ³]	7600-7700	7600-7800	7900-8200	7700-7800
E-modul [N/mm ²]	220000	220000	195000	200000
Termisk längdutvidgningskoefficient [K ⁻¹] vid 293K (20°C)	10-11·10 ⁻⁶	10-11·10 ⁻⁶	15-17·10 ⁻⁶	13·10 ⁻⁶
Värmekonduktivitet [W/mK] vid 293K (20°C)	20-30	20-25	12-15	15
Värmekapacitet [J/kgK]	460	460	440	440-460
Resistivitet 10 ⁹ ·[Ωm ² /m] vid 293K (20°C)	600	600-750	850	700-850
Ferromagnetism	ja	ja	nej	ja

Bild 12-41

9. Rostfria stål och deras användningsområden

Några vanliga rostfria stålsorter finns sammanställda i nedanstående tabeller, där även typiska användningsområden finns angivna.

9.1 Ferritiska och martensitiska stål

EN	C	Cr	Ni	Mo	Övr	Annan beteckning	Typiska användningsområden
1.4000	≤0,08	12,0-13,5	≤1,0			410	Turbindetaljer, skedar, gafflar
1.4003	≤0,05	12,0-13,5	≤1,0			3Cr12	Konstruktionsmaterial, bussar, lastbilar
1.4005	0,08-0,15**	12,0-14,0	≤1,0	≤0,6	S*		Automatstål för maskinbearbetade skruvar och muttrar
1.4006	0,09-0,15	12,0-14,0	≤1,0			393 HCR	Konstruktionsdetaljer
1.4016	≤0,08	16,0-18,0	≤1,0			430	Hushållsföremål (av plåt), stötfångare, värmeväxlarrör
1.4021	0,16-0,25	12,0-14,0	≤1,0			420	Konstruktionsdetaljer, kirurgiska instrument, turbindetaljer, skruvar, muttrar,
1.4031	0,26-0,35	12,0-14,0	≤1,0			420	Eggverktyg, saxar, täljknivar, köttxor
1.4057	0,17-0,23	15,5-17,5	1,5-2,5				Konstruktionsdetaljer, skruvar, bultar
1.4104	0,10-0,17**	16,0-18,0	≤0,5	≤0,6	S*		Automatstål för maskinbearbetade skruvar och muttrar
1.4125	0,95-1,2	16,0-18,0		0,4-0,8		440C	Eggvertyg, kullager
1.4313	<0,05	12,0-14,0	3,4-4,5	0,3-0,7			Konstruktionsdetaljer, olja- och gasindustrin
1.4521	≤0,025	17,0-19,0	0,5	2,0-2,5	Ti	ELI-T 18-2	Livsmedels-, kemi- och cellulosaindustri
1.4523	≤0,03**	17,5-18,5	≤1,0	2,0-2,5	S*		Automatstål för maskinbearbetning, bättre korrosionsmotstånd
1.4418	≤0,05	15,0-17,0	4,0-6,0	0,8-1,5		248SV, S165M	Turbinskovlar, smide, propellrar, axlar, bultar
1.4749	<0,20	24,0-28,0	0,10-0,25			446, 4C54	Ugnsdelar i svavelhaltig atmosfär
1.4923	0,18-0,24	11,0-12,5	0,3-0,8	0,8-1,20	V		Konstruktionsdetaljer vid höga temp, skovlar, axlar
	<0,05	12,0-14,0	4,0-7,0	0,5-1,0		UNS S41425	Olja- och gasindustri

*Automatstål, svavellegerat (normalt S=0,20-0,30%).

** C+N

Understrykning representerar högvolymstål.

9.2 Duplexa stål

EN	C	Cr	Ni	Mo	Övr	Annan beteckning	Användningsområden
1.4162	<0,04	21,0-22,0	1,35-1,7	0,1-0,8	N, Mn, Cu	LDX 2101	Som för 1.4301 men har högre sträckgräns och bättre spänningskorrosionsmotstånd
1.4362	≤0,030	21,5-24,5	3,0-5,5		N	2304, SAF 2304	Som för 1.4404, men har högre sträckgräns och bättre spänningskorrosionsmotstånd
1.4410	≤0,030	24,0-26,0	6,0-8,0	3,0-5,0	N	2507, SAF 2507	Lämplig för marina förhållanden, rörledningar och värmväxlare för off-shore. Hög sträckgräns
1.4417	≤0,030	18,0-19,0	4,3-5,2	2,5-3,0	N	3RE60	Som 1.4462
1.4460	≤0,10	24,0-27,0	4,5-7,0	1,3-1,8			Pumpar, pumphus, ventilhus i kemisk industri
1.4462	≤0,030	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	N	2205, SAF 2205	Som 1.4362 men med högre korrosionsmotstånd
1.4501	≤0,030	24,0-26,0	6,0-8,0	3,0-4,0	N, W, Cu	F55, Zeron100,	Som 1.4410

Understrykning representerar högvolumstål.

9.3 Austenitiska stål

EN	C	Cr	Ni	Mo	Övr	Annan beteckning	Användningsområden
<u>1.4301</u>	≤0,05	17,0-19,0	8,0-11,0			304	hushåll, livsmedel, tryckkärl, byggnads-, kemi- och cellulosaindustri
1.4305*	≤0,12	17,0-19,0	8,0-10,0	≤0,6	S	303	automatstål
<u>1.4307</u>	≤0,03	17,5-19,5	8,0-10,5			304L	som 1.4301, spec vid höga krav på resistens mot korngränsfrätning.
1.4311	≤0,030	17,0-19,0	8,0-11,0		N	304LN	som 1.4307, men särskilt lämplig då högre sträckgräns erfordras
<u>1.4318</u>	≤0,030	16,5-18	6,0-8,0		N	301LN	lättnviktskonstruktioner, hårdvalsas för högre hållfasthet
<u>1.4401</u>	≤0,05	16,0-18,5	10,5-14,5	2,0-2,5		316	som 1.4436 samt för fjädrar
<u>1.4404</u>	≤0,030	16,5-18,5	11,0-14,0	2,0-2,5		316L	som 1.4401, spec vid höga krav på resistens mot korngränsfrätning.
1.4406	≤0,030	16,5-18,5	10,0-12,5	2,0-2,5	N	316LN	som 1.4435, men särskilt då högre sträckgräns erfordras
<u>1.4435</u>	≤0,030	16,5-18,5	11,5-14,5	2,5-3,0		316L	som 1.4436, spec vid höga krav på motstånd mot korngränsfrätning.
<u>1.4436</u>	≤0,05	16,0-18,5	10,5-14,5	2,5-3,0		316	kemi-, livsmedels-, byggnads-, läkemedels-, cellulo- och blekeri-industri, spec vid sura, kloridhaltiga lösningar, i vissa fall vid förhöjd temperatur. Mindre känsligt för korngränsfrätning än 1.4301
1.4539	≤0,025	19,0-21,0	24,0-26,0	4,0-5,0	Cu	904L	inom kemisk industri, cellulo- och raffinaderier med mycket svåra korrosionsförhållanden
<u>1.4541</u>	≤0,08	17,0-19,0	9,0-12,0		Ti	321	kemisk industri, spec konstruktioner vid förhöjd temperatur
1.4547	≤0,020	19,5-20,5	17,5-18,5	6,0-6,5	Cu,N	254 SMO	som 1.4539, men bättre resistens i havsvatten
1.4563	≤0,020	26,0-28,0	30,0-32,0	3,0-4,0	Cu	Sanicro 28	som 1.4547
<u>1.4571</u>	≤0,080	16,5-18,5	10,5-14,0	2,0-2,5	Ti	316Ti	som 1.4401 och speciellt vid förhöjd temperatur
1.4818	0,05	18,5	9,5	-	Ce,Si,N	153 MA	som 1.4835, men med lägreskalningsmotstånd
1.4835	≤0,10	20,0-22,0	10,0-12,0	-	Ce,Si,N	253 MA	som 1.4845 men med högre skalningstemperatur och kryphållfasthet. Katalysatorer till bilar.
<u>1.4845</u>	≤0,08	24,0-26,0	19,0-22,0			25-20, 310S	ugnsdelar, elektrisk motståndstråd

*Automatstål, svavellegerat (normalt S=0,20-0,30%). **Understrykning** representerar högvolumstål.

10. Flera informationskällor

EuroInox: <http://www.euro-inox.org/> - stängdes 2016 men rapporter finns på <https://www.edelstahl-rostfrei.de/publikationen/euro-inox-publications>

International Stainless Steel Forum (ISSF) <http://www.worldstainless.org/>

Outokumpu www.outokumpu.com

Sandvik www.sandvik.com

Den svenska järn- och stålindustrins branschorganisation

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska järn- och stålföretagen. Jernkontoret företräder järn- och stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi, miljö, hållbarhet samt transportfrågor. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

Jernkontoret

www.jernkontoret.se