

**koninklijke**



**Metaalunie**



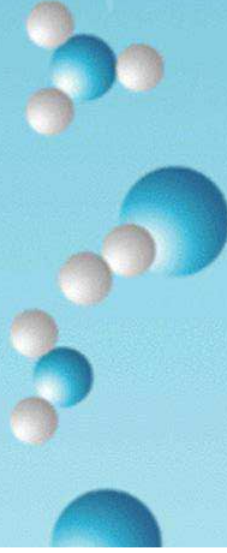
**Roestvast staal**

opgesteld door

Ko Buijs - metaalkundige

**teqnow**  
TOP TECHNOLOGIE MKB METAAL

**INNOMET**



# Wat is roestvast staal?

- Een metaallegering op ijzerbasis met chroom dat een zekere vastheid geniet tegen corrosie mits aan de voorwaarden wordt voldaan
- Is bepaald niet onderhoudsvrij maar wel onderhoudsarm want het is geen edelmetaal zoals goud of platina; het gedraagt zich edel dankzij een oxidehuid
- Er gaan jaarlijks nog steeds voor vele miljoenen verloren door foutieve keuzes, verkeerde verwerkingsmethodes en onkunde



# Stalen bout in roestvast staal is o.a. een voorbeeld van onkunde



Verkeerde keuze  
roestvast staal in een  
zwembad



## Roestvrij versus roestvast

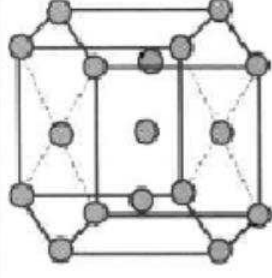
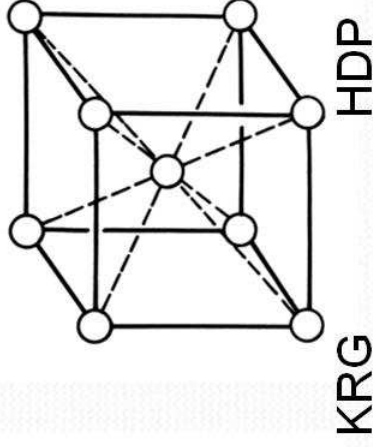
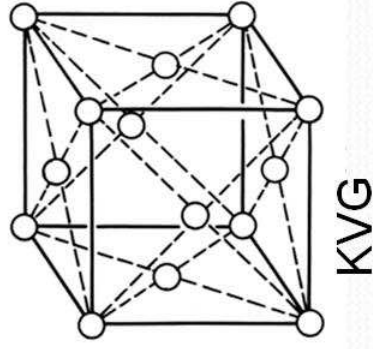
- Roestvrij staal is een onjuiste benaming omdat het begrip ‘roestvrij’ alleen voorbehouden is aan edele metalen zoals goud en platina
- Roestvast wil zeggen dat het een bepaalde vastheid geniet tegen corrosie maar dan moet men dus wel aan de voorwaarden voldoen
- In dat geval kan het gerust een mensenleven mee
- Roestvast staal is geen edelmetaal maar het gedraagt zich edel dankzij een afgesloten en taaie chroomoxidehuid

# Definitie roestvast staal

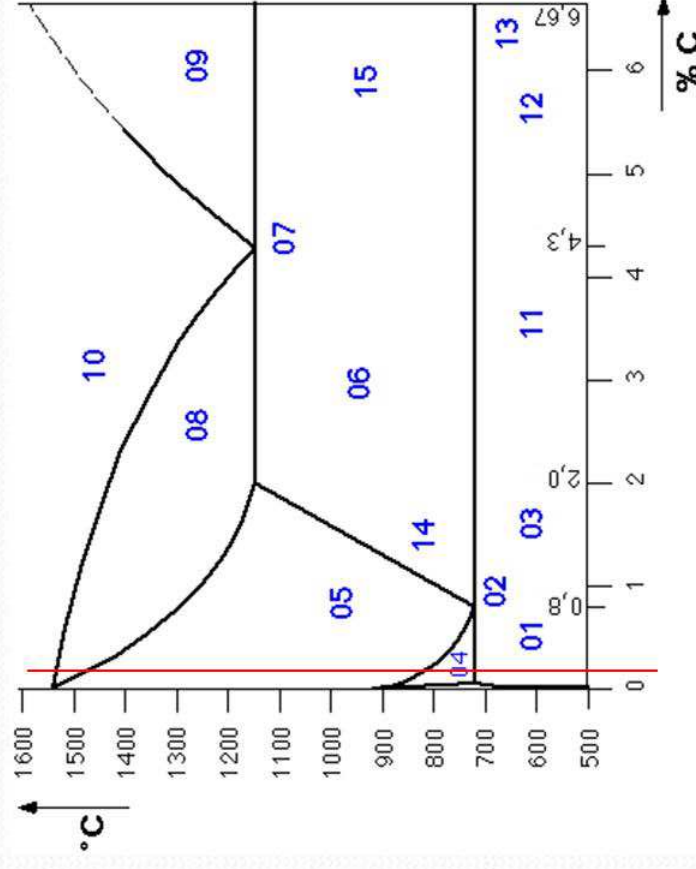
- Volgens de EN 10088 is roestvast staal een ijzerlegering waaraan minimaal 10,5% chroom is toegevoegd
- IJzer blijft in alle gevallen het hoofdelement
- Op deze wijze is er voldoende chroom om een chroomoxidehuid te vormen die het materiaal passief maakt
- In de praktijk blijkt dat men meestal uitgaat van minimaal 12% chroom en veelal nog hoger namelijk 18 tot 24%

# Inwendige atomaire opbouw

- Kubisch vlakkegecentreerd rooster (KVG) zoals bij austeniet c.q. roestvast staal
- Kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster (KRG) zoals bij ferriet c.q. koolstofstaal
- Hexagonaal dicht gepakt rooster (HDP) zoals bij martensiet



# Het ijzerkoolstof diagram



Het gebied 08 bestaat uit de smelt en austenietkristallen

Het gebied 05 bestaat uit austeniet

Het gebied 01 bestaat uit ferriet en perliet

Het gebied 04 bestaat uit ferriet en austeniet

# Bereiding van ijzer en staal

- Ijzeroxide wordt gewonnen in ijzermijnen
- In de hoogoven wordt het door reductie vrijgemaakt volgens de formule:  
$$2\text{FeO} + \text{C} + \text{e} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{CO}_2 \uparrow$$
- Ijzer wil weer terug naar de stabiele situatie dat kan chemisch (droog) volgens de chemische formule  $\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO} + \text{energie}$  of nat-chemisch volgens  $2\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{energie}$
- De ingebrachte energie wordt tijdens de corrosie weer teruggegeven



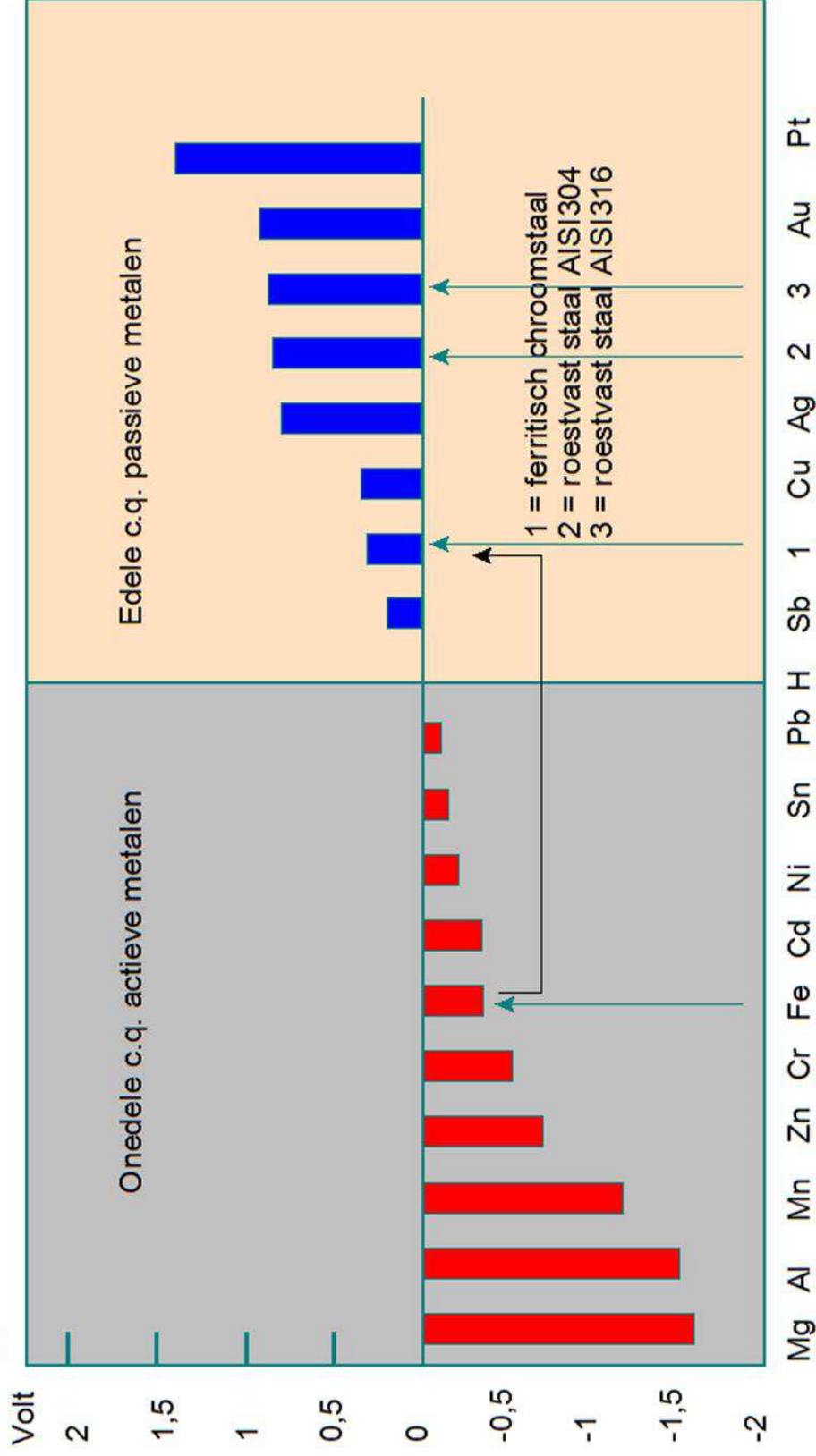




# De edelheidreeks

- Ieder metaal heeft een bepaalde elektrische potentiaal t.o.v. een referentie-elektrode
- Actieve en reactieve metalen hebben een negatieve potentiaal en passieve metalen bezitten een positieve potentiaal
- Passieve metalen zijn edelmetalen zoals o.a. goud en platina
- De diverse potentialen zijn grafisch weer te geven in de edelheidreeks die ook wel potentiaalreeks wordt genoemd

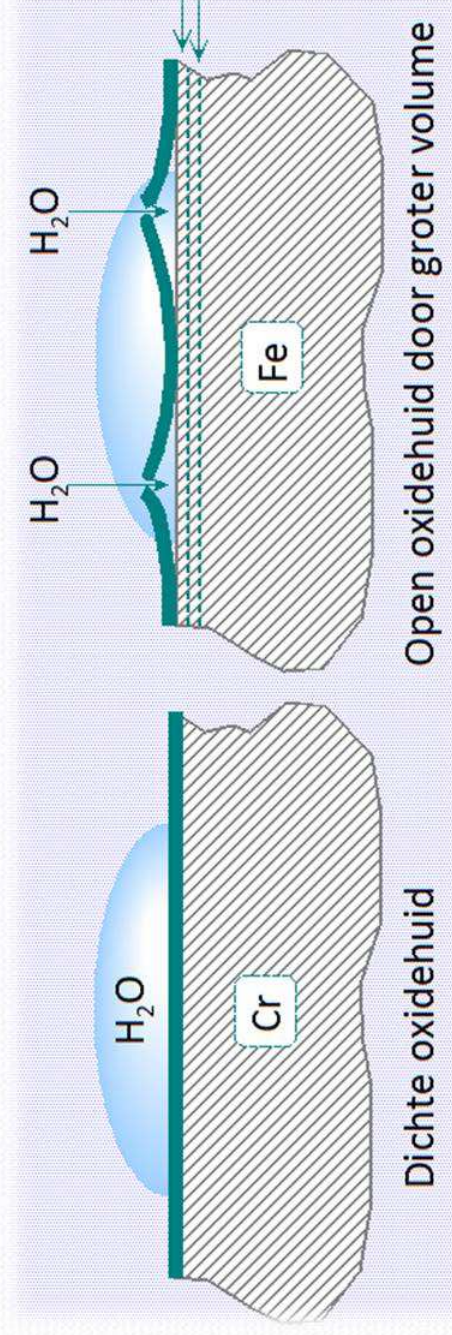
# De potentiaalreeks



Des te negatiever de potentiaal des te reactiever het metaal

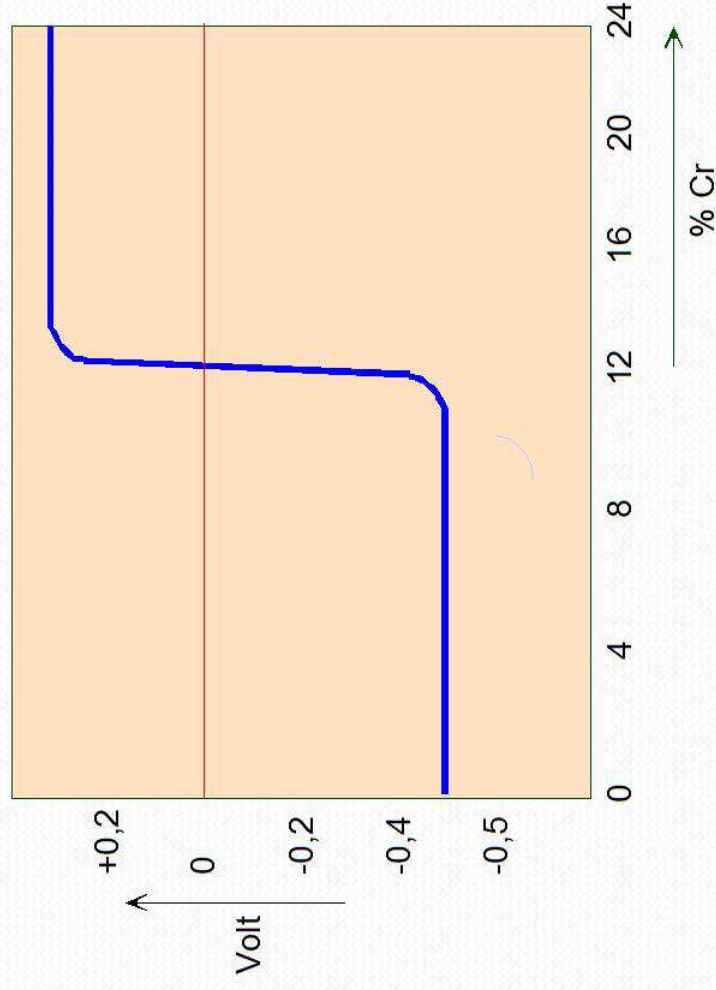
# De metalen chroom en ijzer


- Chroom is zeer onedel en reageert zelfs aan de lucht met zuurstof tot chroomoxide
- Chroomoxide heeft hetzelfde volume als het metaal zelf en ijzer reageert ook met zuurstof maar het heeft wel een elektrolyt nodig
- Ijzer(hydro)oxide heeft een groter volume dan het metaal waardoor deze zichzelf kapot drukt



# De invloed van chroom op staal

- Bij circa 12% chroom slaat het actieve gedrag om in een passief gedrag
- Het staal is daardoor roestvast geworden dankzij een afsluitende chroomoxidehuid



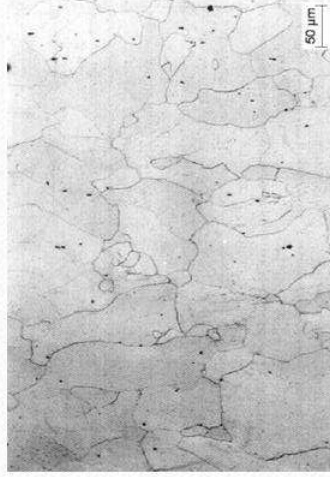
A close-up photograph of a brushed metal surface covered with numerous water droplets of various sizes. The droplets are in sharp focus, reflecting light and creating a shimmering effect. The metal surface has a fine, linear texture. The overall color palette is monochromatic, consisting of various shades of grey and silver.

Water e.d. kan niet  
meer bij het  
onderliggende  
metaal komen

**teqnow**  
TOP TECHNOLOGIE MKB METAAL

# Chroomstaalsoorten

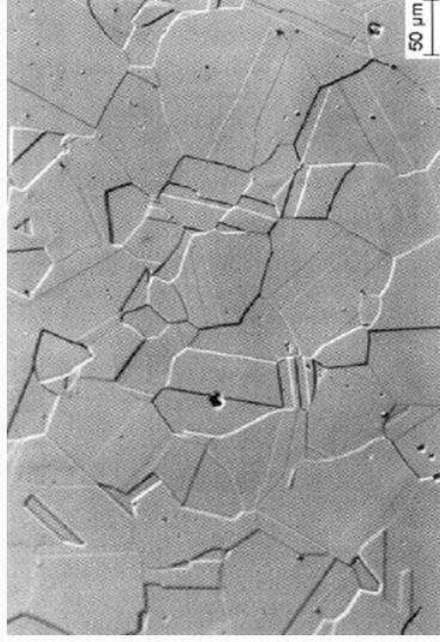
- Ferritisch chroomstaal
  - corrosiebestendige typen
  - hittebestendige typen
- Martensitisch chroomstaal
  - conventioneel martensitisch chroomstaal
  - zwak martensitisch chroomstaal
  - super martensitisch chroomstaal



Typische microstructuur van ferritisch roestvast staal

# Chroomnikkel staalsoorten

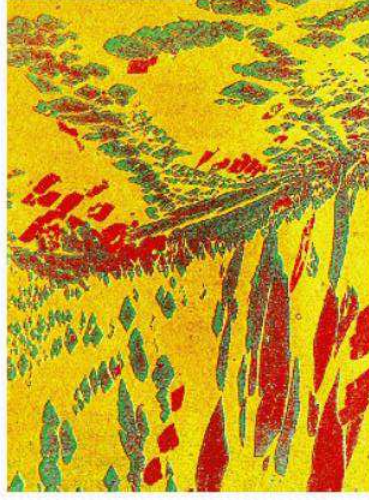
- Austenitisch chroomnikkelstaal
- Super austenitisch chroomnikkelstaal
- Austenitisch ferritisch chroomnikkelstaal
- Superduplex chroomnikkelstaal
- Precipitatiehardend chroomnikkelstaal



Typische microstructuur van austenitisch roestvast staal

# Hoe ontstaat een structuur?

- Op kiemplaatsten begint het metaal te stollen
- Door het afkoelen groeien deze plaatsten in een bepaalde richting waardoor een eigen oriëntatie per kristal ontstaat
- Als de kristallen tegen elkaar aankomen ontstaan er zogenaamde kristalgrenzen
- Verontreinigingen worden voor het stollingsfront uitgedreven (segregatie)



Duplex structuur



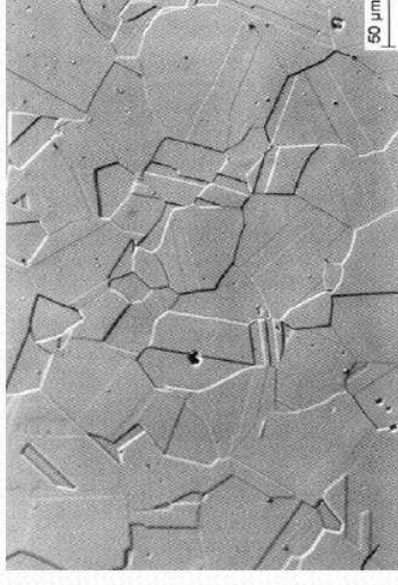
# Onderlinge verschillen tussen ferritische en austenitische typen

Werkstoffnummer AISI	1.4016 430 ferriet	1.4301 304 austeniet	1.4401 316 austeniet	1.4462 duplex austeniet ferriet	1.4571 316Ti austeniet	Fe355 ferriet
Structuur						
Fysische eigenschappen						
Soortelijke massa	7,7	7,8	7,8	7,9	7,8	7,85
Uitzettingscoëfficiënt per °Cx10 <sup>-6</sup>	10,6	17,3	16,7	13,0	16,7	12,3
Warmtegeleidingsvermogen bij 100 °C (W.mK)	21,4	13,2	12,0	20,5	12,6	36,0
Elektrische weerstand bij 20 °C (μΩ/m)	0,56	0,71	0,73	0,83	0,73	0,10
Smeltpunt °C	1490	1440	1430	1430	1420	1420
Mechanische eigenschappen						
Treksterkte N/mm <sup>2</sup>	450 -600	500-720	510-710	680-900	500-730	500
0,2% Rek grens N/mm <sup>2</sup>	270	195	206	450	210	355
Rek A5 in %	20	40	40	25	35	22

Grote verschillen tussen ferritische en austenitische typen

# Austenitisch chroomnikkel staal

- De som van chroom en nikkel is minimaal 26%
- Structuur is austenitisch
- Niet hardbaar
- Zeer goed lasbaar
- Prima vervormbaar
- Vrij ongevoelig voor korrelgroei
- Vele verschillende soorten maar AISI 304(L) en 316(L) zijn de bekendste



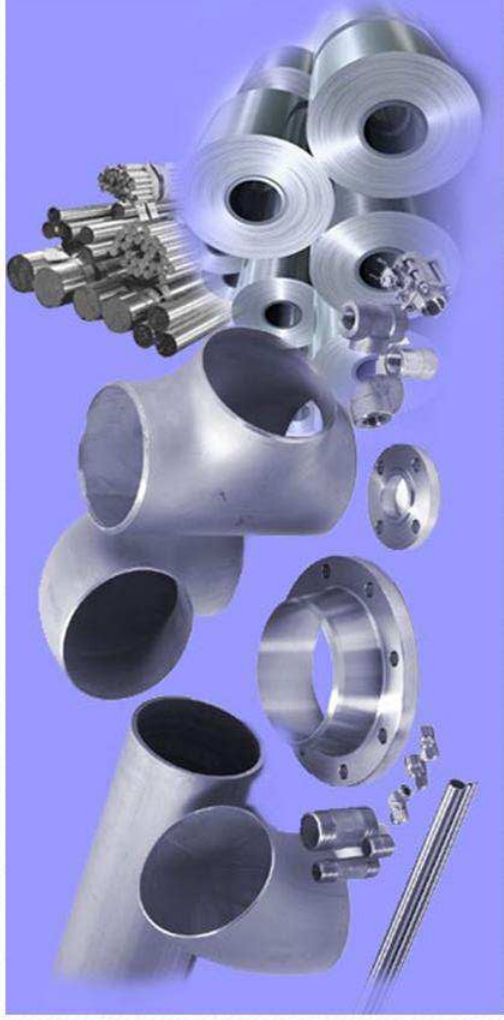
# Eigenschappen austenitisch roestvast staal

- Goede corrosiebestendigheid
- Niet magnetiseerbaar en redelijke kruipvast
- geen faseovergang en daarom niet hardbaar
- Hoge taatheid en dat ook bij cryogene temperaturen
- Relatief lage sterkte en hoge rek

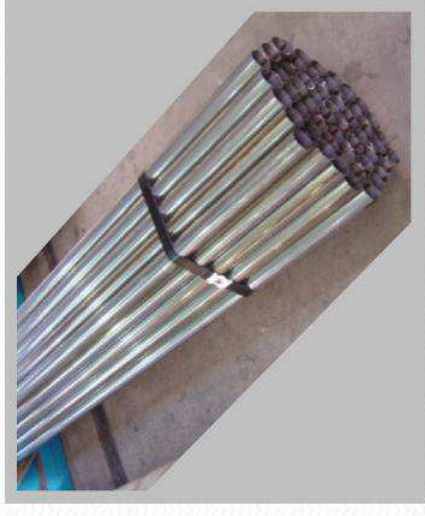
Roestvast staal soort	Samenstelling in %		Rekgrens N/mm <sup>2</sup>	Treksterkte N/mm <sup>2</sup>	Rek %			
	AISI	C				Cr	Ni	Mo
X5 CrNi 18 10	304	<0,07	18	10	--	195	500-720	40
X2 CrNi 19 11	304L	<0,03	18	10	--	180	460-680	40
X5 CrNiMo 17 12 2	316	<0,07	17	13	2,0	205	510-710	40
X2 CrNiMo 17 13 2	316L	<0,03	17	12	2,0	190	490-690	40

# Austenitisch roestvast staal

- Chroomnikkel staalsoorten (18/8) zoals de typen AISI 304, 304L, 304H, 321, 347, etc.
- Chroomnikkelmolybdeen staalsoorten zoals AISI 316, 316L, 316H, 316LN, 316Ti, etc.
- Daarnaast nog vele andere typen zoals AISI 301, 302, 303, 305, 308LSi, 309L, 310, 317, 318, 329, 332, 334, 310 e.d.



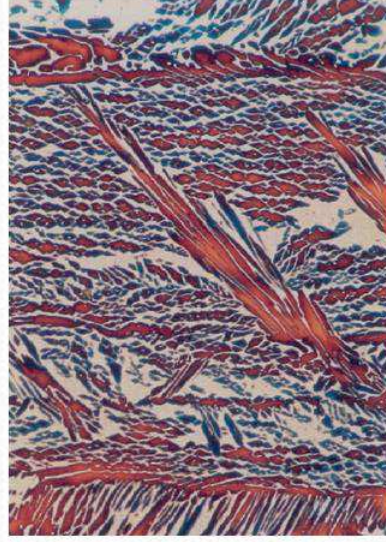
# Eigenschappen ferritisch chroomstaal (400 serie)



- Magnetiseerbaar en niet hardbaar
- Redelijk corrosievast
- Verbrost bij lage temperatuur
- Weerstaat zwavelhoudende gassen
- Vrijwel ongevoelig voor spanningscorrosie
- Niet gevoelig voor warmscheuren
- Corrosiebestendige en hittebestendige typen
- Voorbeelden zijn o.m. AISI403, 405, 409, 410, 410S, 416, 420, 422, 430, 431, 434, 440B, 443 en 446

# Duplex 1.4462

- Voordelen austeniet/ferriet structuur
  - Beduidend hogere rekgrens waardoor lichter geconstrueerd kan worden
  - Gewichtsbesparingen (financieel voordeel)
  - Veel betere bestendigheid tegen putcorrosie
  - Hoge bestendigheid tegen spanningscorrosie
  - Pitting Resistance Equivalent is circa 37
  - PREn=%Cr+3,3%Mo+16%N



# Duplex 1.4462

- Nadelen austeniet/ferriet structuur
  - Alleen bruikbaar van  $-40^{\circ}\text{C}$  tot  $+280^{\circ}\text{C}$  vanwege een mogelijke verbrossing
  - De verdeling tussen ferriet en austeniet ligt nogal kritisch
  - Relatief hoge prijs vanwege het hogere molybdeengehalte
  - Extra aandacht is nodig bij het lassen zoals het gevaar van waterstof (verbrossing ferrietfase)
  - Zeer populair in de offshore

# Soorten duplex met hun nominale chemische analyse

Type	UNS	Chemische analyse in %						
		C	Cr	Ni	Mo	Cu*	W*	N
Molybdeenvrij duplex (1.4463)	S32304	0,03	23	5,0	--	--	--	0,20
Conventioneel duplex (1.4462)	S31803	0,03	22	5,5	3,2	--	--	0,08-0,20
Superduplex	S32750	0,03	25	7,0	4,0	--	--	0,10-0,20
Superduplex (Zeron 100)	S32760	0,05	25	7,0	4,0	+	+	0,20-0,30
Leanduplex**)	S32101	0,03	21,5	1,5	0,3	--	--	0,22
Hyperduplex 2707 HD***)	S32707	0,03	27	6,5	5,0	--	--	0,40

- \*) Superduplex wordt soms aangevuld met de elementen wolfram en koper met als doel om de mechanische waarden te verbeteren
- \*\*\*) Leanduplex bevat ook nog 5% mangaan
- \*\*\*) PReN Hyperduplex is maar liefst 49 (vgl. AISI 316 = 24)



# Austenitisch roestvast staal 304

- Equivalent voor EN 1.4301 en UNS S30400
- Universeel 18/8 chroomnikkelstaal
- Relatief hoog koolstofgehalte ( $< 0.07\%$ ) waardoor beter mechanisch gedrag
- Goede lasbaarheid en vervormbaarheid
- Kans op interkristallijne corrosie bij grotere wanddiktes vanwege het lassen
- Toepassingen in voedingsector, leidingen, machinebouw, procesindustrie en chemie



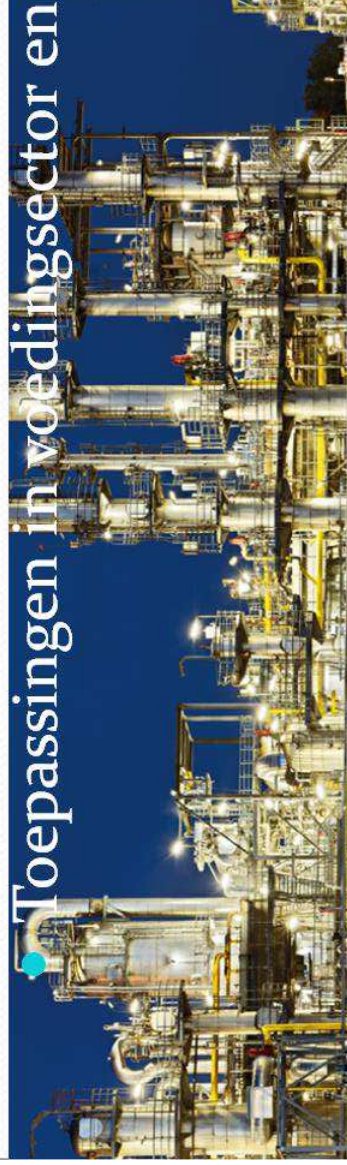
# Austenitisch roestvast staal 304L

- Equivalent voor EN 1.4306 en UNS S30403
- Universeel 18/8 chroomnikkelstaal
- Relatief laag koolstofgehalte ( $< 0,03\%$ )
- Goede lasbaarheid en vervormbaarheid
- Kans op interkristallijne corrosie bij grotere wanddiktes is te verwaarlozen
- Toepassingen in voedingsector, leidingen, machinebouw, procesindustrie en chemie maar ook dikwandige apparaten

# Austenitisch roestvast staal 316

- Molybdeenhoudend chroomnikkelstaal
- Meer zuurbestendig dan AISI 304(L)
- Equivalent voor EN 1.4401 en UNS S31600
- Relatief hoog koolstofgehalte ( $< 0.07\%$ ) waardoor beter mechanisch gedrag
- Goede lasbaarheid en vervormbaarheid
- Kans op interkristallijne corrosie bij grotere wanddiktes vanwege thermische belasting

• Toepassingen in voedingsector en chemie

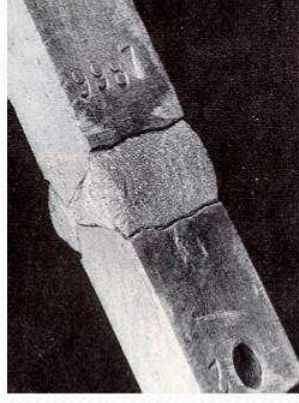


# Austenitisch roestvast staal 316L

- Equivalent voor EN 1.4404 en UNS S31603
- Relatief laag koolstofgehalte ( $< 0,03\%$ )
- Goed lasbaar en prima vervormbaar
- Kans op interkristallijne corrosie bij grotere wanddiktes is te verwaarlozen
- Gloeien na het verwerken is niet nodig
- Toepassingen in voedingsector en chemie maar ook dikwandige apparaten

# Titaan gestabiliseerde typen

- AISI 321 lijkt op 304 maar met enig titaan
- AISI 316Ti lijkt op 316 met enig titaan
- Titaangehalte is maximaal 0,8%
- Titaan moet koolstof binden waardoor geen interkristallijne corrosie kan ontstaan
- Wel mogelijke nadelen zoals kans op putcorrosie, slechte polijstbaarheid en 'knife-line attack'
- Ook past men soms niobium toe i.p.v. titaan zoals AISI 347 (EN 1.4550)



# Het lassen van roestvast staal

- De kwaliteit van een constructie is direct afhankelijk van:
  - de kwaliteit van de geleverde materialen
  - de kwaliteit van de toegepaste verbindingstechnieken
- Keuze lasmethode dient optimaal te zijn
- Bedreigingen zijn gebrekkige vak kennis, materiaal fouten en slechte specificaties
- Lassen is op zich een complexe activiteit



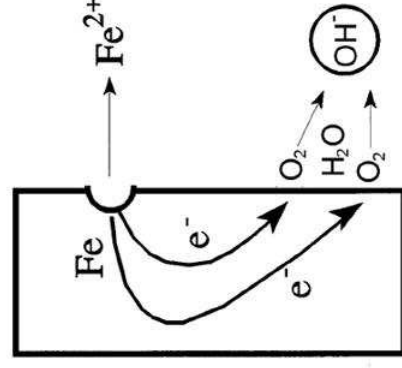
# Corrosie van roestvast staal

- Een definitie voor corrosie is een ongewenste aantasting van een metaal t.g.v. chemische of elektrochemische reacties aan het metaaloppervlak door componenten die in de omgeving aanwezig zijn
- Men noemt een materiaal corrosievast of roestvast als in waterige milieus geen of slechts een zeer beperkte aantasting optreedt



# Twee corrosie hoofdreacties

- De anodische reactie is de oxidatie van metaalatomen tot metaalionen die daarbij in oplossing gaan waardoor er elektronen worden geproduceerd die in het metaal achterblijven zoals  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- De kathodische reactie is de reductie van een component uit het milieu waarbij elektronen aan het metaal worden onttrokken zoals een zuur ( $\text{H}^+$  ionen) aan het metaaloppervlak volgens de formules  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$  en ook bijvoorbeeld  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$

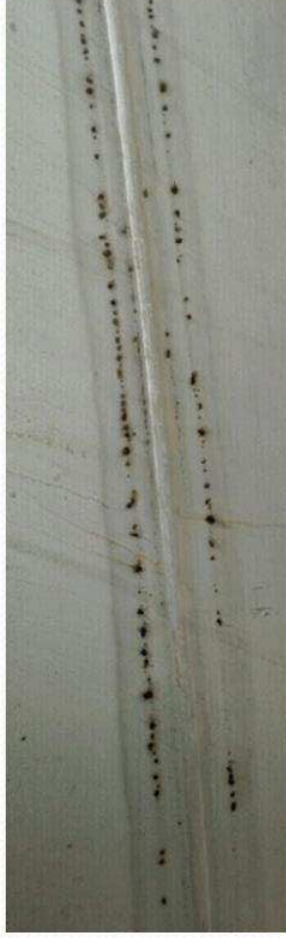




# Diverse corrosiemechanismen

die ook van toepassing zijn op roestvast staal

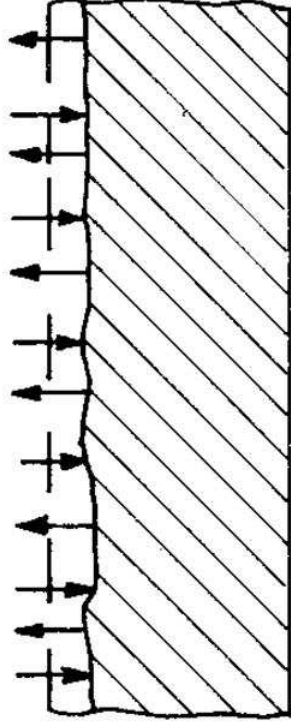
- Algemene corrosie
- Interkristallijne corrosie
- Knife-line attack
- Spanningscorrosie c.q. transkristallijne corrosie
- Putvormige corrosie
- Spleetcorrosie
- Lasbederf c.q. weld decay
- Besmettingscorrosie c.q. contaminatie
- Microbiële corrosie
- Galvanische corrosie
- Hoge temperatuur corrosie



# Algemene aantasting

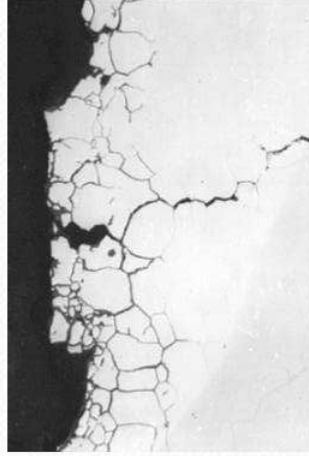
## c.q. oppervlaktecorrosie

- Komt bij roestvast staal niet veel voor
- Is vrij ongevaarlijk omdat de aantasting gelijkmatig verloopt en bovendien is deze veelal zichtbaar
- Corrosiesnelheid wordt uitgedrukt in gewichtsafname per oppervlakte- en/of tijdseenheid
- Men kan aan de hand van de corrosiesnelheid vrij gemakkelijk bepalen wat voor een diktetoeslag men moet geven om een bepaalde levensduur te behalen



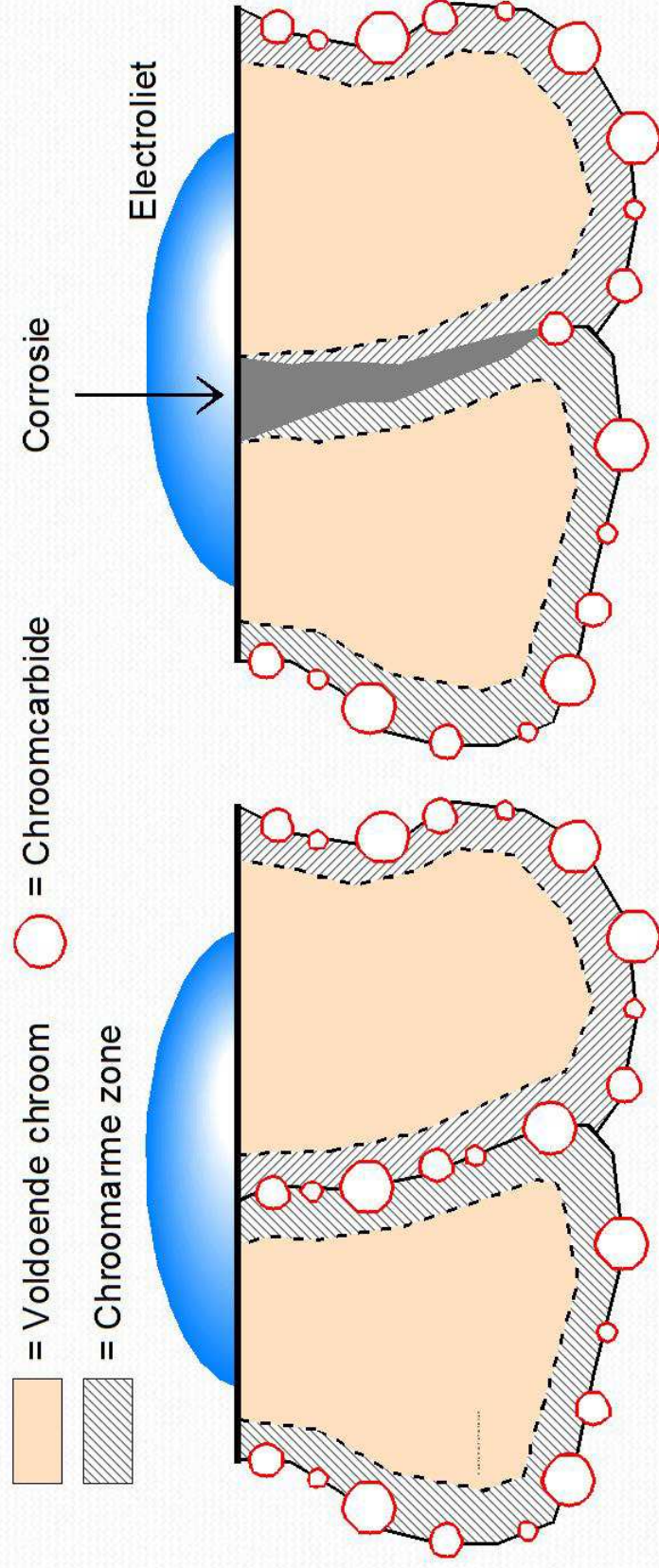
# Interkristallijne corrosie

- Wordt veroorzaakt door chroomcarbiden
- Komt praktisch niet voor bij AISI 304L en 316L maar wel bij 304 en 316 bij zwaardere wanddiktes
- Formule is  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  en dat betekent een versnelde lokale chroomverarming
- In dit gebied het kan dan plaatselijk onder de 12% chroom komen waardoor activatie ontstaat
- Het treedt op na een thermische belasting en in het sensitieve gebied
- Remedie is om dit gebied te mijden door af te schrikken in water of geforceerde lucht

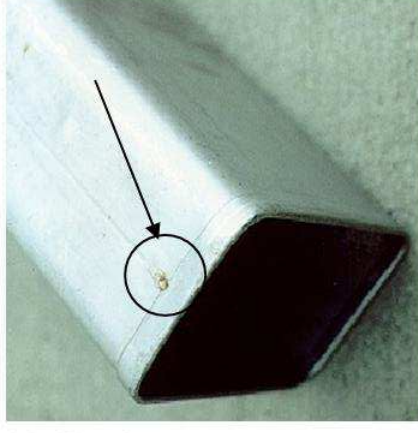
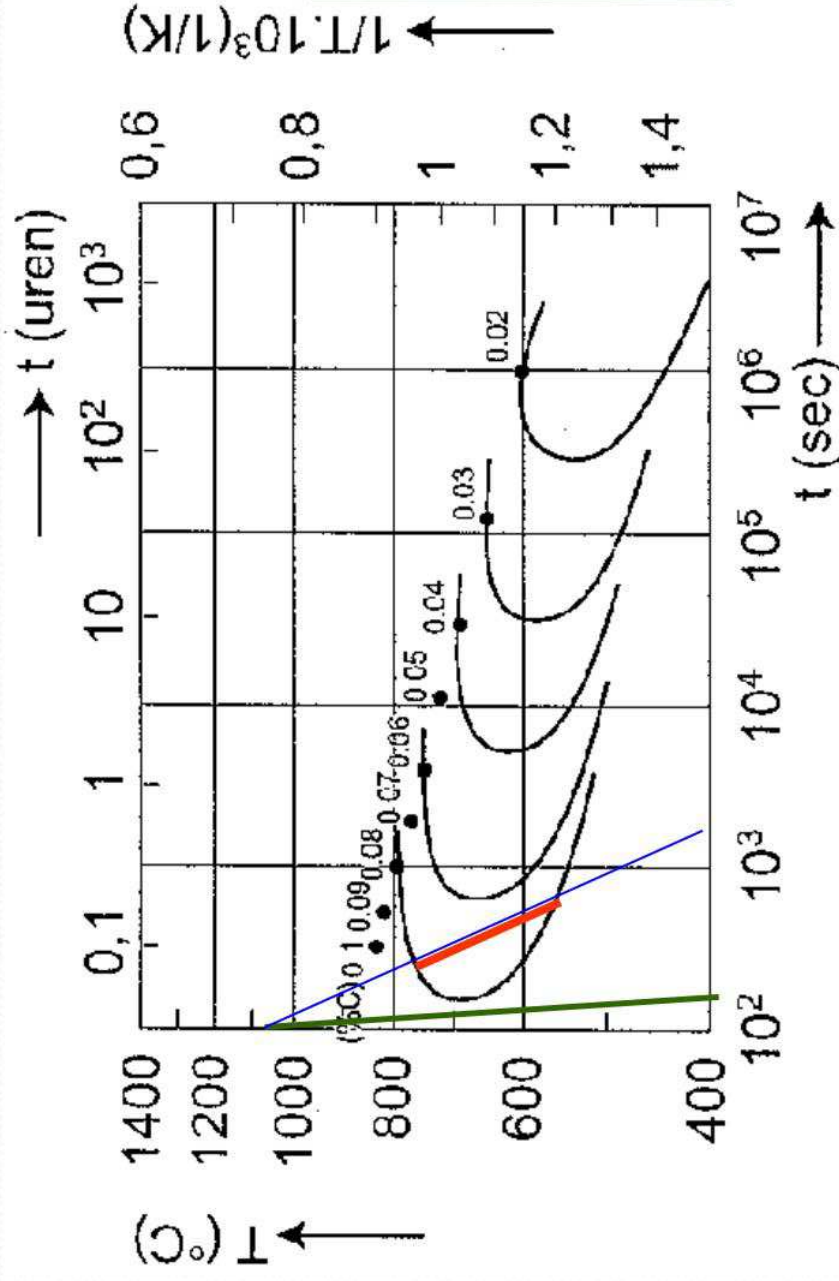


Corrosie door chroomverarming op de korrelgrenzen

# Schematische voorstelling van de chromverarming op de korrelgrenzen



# Sensitivering curven

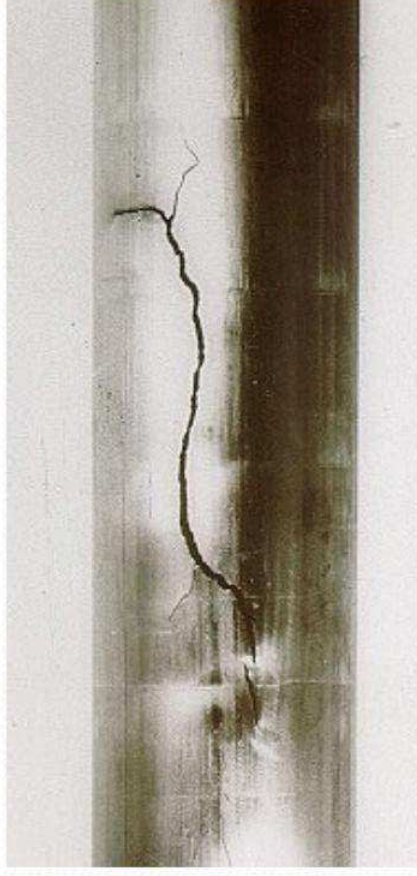


Thermische spot

Bij 304L en 316L is de 'neus' dermate naar rechts opgeschoven dat in feite geen chromcarbiden meer kunnen ontstaan.

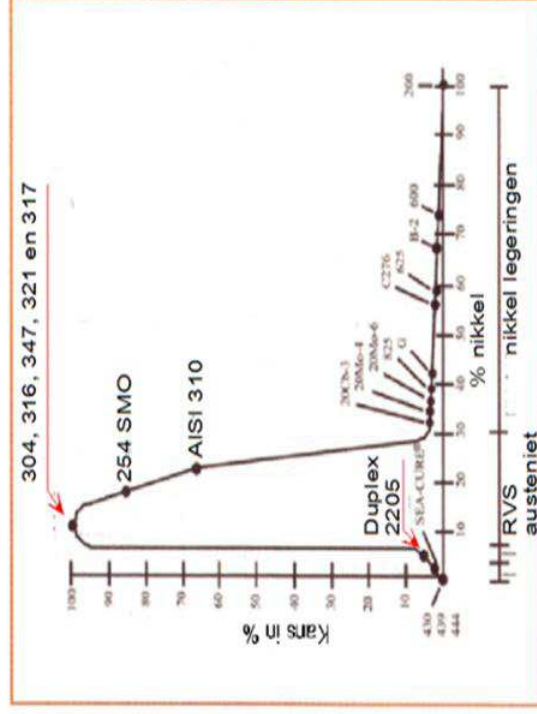
# Spanningscorrosie

- Austenitisch roestvast staal is gevoelig voor deze vorm van corrosie die op kan treden boven 40°C en bij de aanwezigheid van mechanische spanningen en chloorionen
- Het gevolg zijn transkristallijne scheuren die zeer gevaarlijk kunnen uitwerken omdat het onverwachts en zonder indicatie kan breken

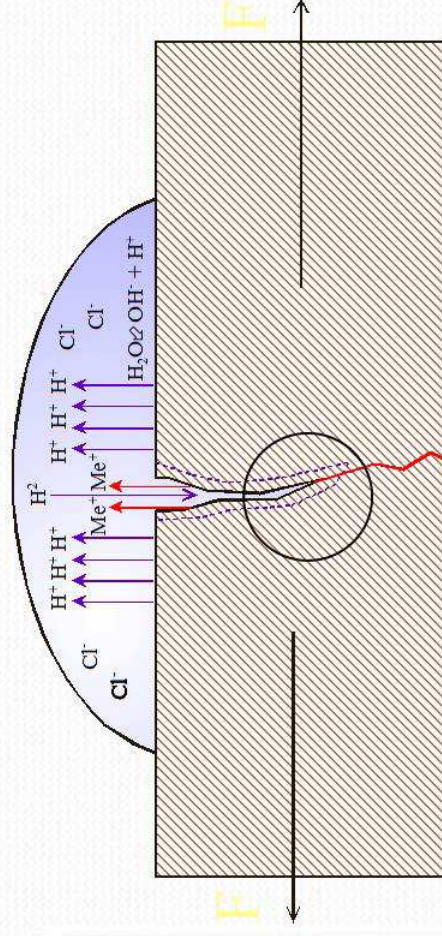


# Spanningscorrosie

- Het gevormde waterstofgas dringt ook in spleten en kerven waardoor het vanaf circa 40°C kan diffunderen in het materiaal.
- Dit leidt tot waterstofbroosheid en in de kerf heeft men een piekspanning waardoor scheurvorming spontaan kan ontstaan



Risico op chloride-geïnduceerde spanningscorrosie als functie van het nikkelgehalte.



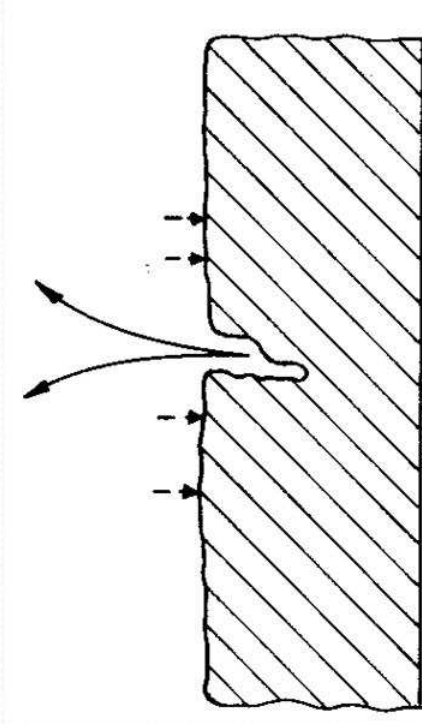
Het plafond in een zwembad kwam onverwachts naar beneden als gevolg van deze gevreesde spanningscorrosie in AISI 316 draadeinden





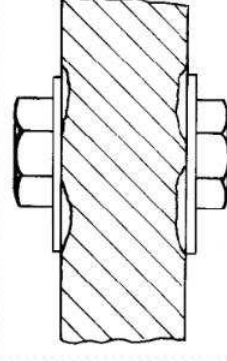
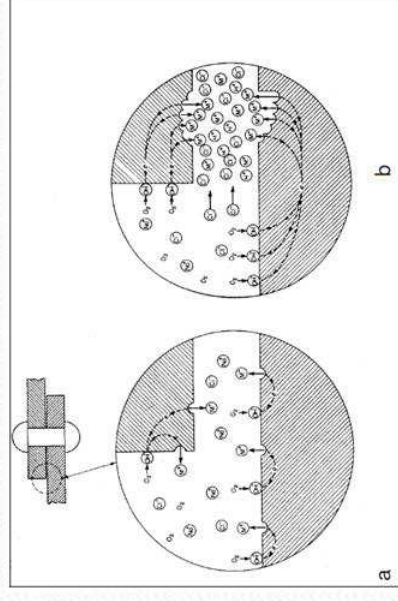
# Putvormige corrosie c.q. pitting

- Begint op een plaatselijk defect van de oxidehuid
- Putjes die dan ontstaan worden snel dieper
- Vooral in chloridenhoudende milieus
- Kan ook onder vuilafzettingen en slakresten ontstaan ('under deposit attack')
- Ook door beluchtingverschil op het oppervlak
- CPT Critical Pitting Temperature



# Spleetcorrosie

- Treedt op in nauwe spleten onder water door gebrek aan zuurstof
- $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^+ + \text{e}$
- $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$
- In een spleet raakt de zuurstof  $\text{O}_2$  op
- $\text{Me}^+$  trekt chloorionen aan
- $\text{Me}^+\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MeOH} + \text{HCl}$  (zoutzuur)
- Zuurgraad wordt laag met corrosie tot gevolg
- Het corrosieproduct is metaalhydroxide



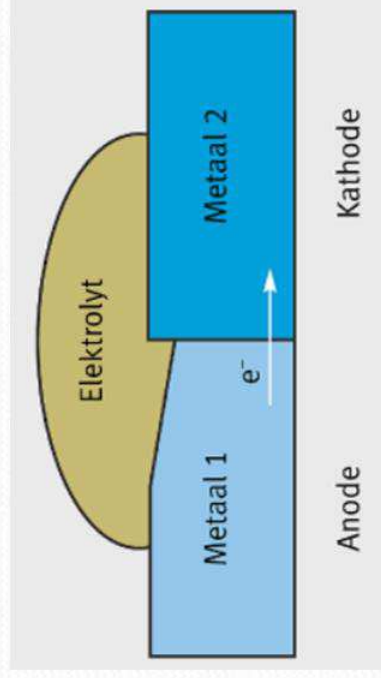
# Besmettingscorrosie c.q. contaminatie

- Treedt op door vervuiling met vooral koolstofstaal
- Is een vorm van galvanische corrosie
- Kan voorkomen worden door strikte scheiding met het koolstofstaal; ook oppassen met het slijpen van staal



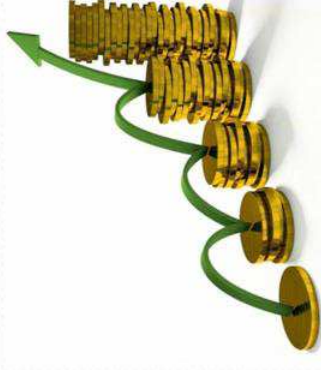
# Galvanische corrosie

- Ontstaat als twee verschillende metalen die elektrisch met elkaar verbonden zijn in contact staan met een elektrolyt
- Een goed voorbeeld is de zinkanode op een stalen scheepshuid dat overigens een gewenste vorm van galvanische corrosie is
- Het geeft a.h.w. een 'batterij-effect'
- Oplossing is het isoleren van de metalen t.o.v. van elkaar



# Prijs indicaties indexering

- Stel de prijs van AISI 304 op 100
- Dan ligt de prijs voor AISI 316 op 120-135
- Voor AISI 316ti is deze 125-140
- En voor duplex (EN 1.4462) ligt deze op 150-190
- Prijzen stijgen naarmate de legeringselementen qua percentage stijgen maar veelal dalen daardoor weer de onderhoudskosten en neemt de levensduur toe



Dank voor uw aandacht

