

ROESTVAST STAAL DEEL 6:

Oxidatie, sulfadatie en opkoling

In dit laatste artikel zal nader worden ingegaan op de verschijnselen, die bij hoge temperaturen optreden, zoals oxidatie, sulfadatie en opkoling. Op de aan deze verschijnselen ten grondslag liggende reactiemechanismen zal niet of nauwelijks worden ingegaan, omdat dit theoretisch nogal ver voert en niet in de laatste plaats, omdat er nogal wat leemten in de kennis aanwezig zijn. Er is veel meer getracht om praktische gegevens te verzamelen die van dienst kunnen zijn bij materiaalselectie.

Naar A. J. Schornagel - (artikel gepubliceerd in Roestvast Staal feb 2023)

Verbeter corrosieweerstand en reinigbaarheid van RVS met elektropolijsten of amorfiseren.
www.electropolish.be

OXIDATIE

Oxidatie, zoals de term luidt voor het mechanisme, waarbij oxiden ontstaan bij hoge temperaturen, is de meest voorkomende oorzaak van hoge temperatuurcorrosie van roestvast staal. Het kan optreden in zuurstof, lucht, kooldioxide of stoom, of in ingewikkelder industriële atmosferen, die aanzienlijke hoeveelheden van voornoemde gasen bevatten. De aangroei van de oxiden (d.w.z. de corrosiesnelheid) wordt bepaald door verscheidene metallurgische- en milieu variabelen en door de eigenschappen van de oxiden zelf.

Karakter van oxidatie

De hoge weerstand van roestvast staal tegen oxidatie gaat gewoonlijk gepaard met het ontstaan van chroomoxide: Cr_2O_3 . Dit oxide bestaat meestal niet volledig uit chroomoxide maar bevat kleine hoeveelheden ijzer en nikkel. Het ontstaat doorgaans op de meeste roestvast staal soorten onder licht oxiderende omstandigheden en op hoog chroomhoudende rvsstypen (zoals 310) onder wat sterkere oxiderende omstandigheden.

Dit oxide groeit zeer langzaam aan, aangezien de metaalionen door het oxide moeten diffunderen om aan het oppervlak van deze in opbouw zijnde oxidelaag, te kunnen reageren met zuurstof. Op lager chroomhoudende rvssoorten (zoals 304) kan O_4 ontstaan en dit oxide heeft onder bepaalde omstandigheden een redelijk beschermend effect, zij het in mindere mate dan Cr_2O_3 .

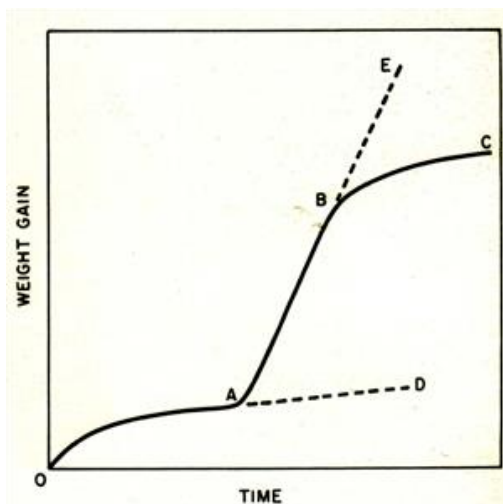
De aanvankelijke aanwezigheid van het Cr_2O_3 oxide geeft nog geen enkele garantie voor hoge weerstand tegen oxidatie na verloop van tijd. In afb. 1 is het verloop van de oxidatie als functie van de tijd weergegeven.

Onder licht oxiderende omstandigheden handhaaft de Cr_2O_3 -laag zich. De aangroei verloopt dan volgens een parabolische curve (OAD). Onder wat zwaardere oxiderende omstandigheden kan de aangroei aanvankelijk verlopen volgens de lijn OA, maar op zeker moment kan er een plotselinge sterke stijging in de aangroeisnelheid optreden en verloopt het proces volgens curve AB. Dit verschijnsel staat bekend onder de naam 'doorbraak', en het optreden ervan hangt af van de legeringssamenstelling, milieu en tijd. Deze doorbraak hangt samen met het ontstaan van een dubbel gelaagde oxidehuid, waarvan de binnenste laag bestaat uit FeCr_2O_4 en de buitenste laag uit Fe_2O_3 .

Al naargelang de legeringssamenstelling en het milieu, kan deze snelle oxidatie voortgaan, zoals wordt weergegeven door curve ABE, maar ze kan ook weer afnemen, zoals aangegeven door curve BC. Het openbarsten van de laag kan aanleiding geven tot wederom snelle stijgingen van de

oxidatiesnelheid. Bij zeer hoge temperaturen (1200°C en hoger) kan het Cr₂O₃ beginnen te verdampen.

Vanuit een praktisch standpunt gezien is de gunstigste toestand die welke wordt aangegeven door de curve OAD, te weten het ontstaan en het zich handhaven van een langzaam aangroeiende Cr₂O₃-huid op het roestvast staal.



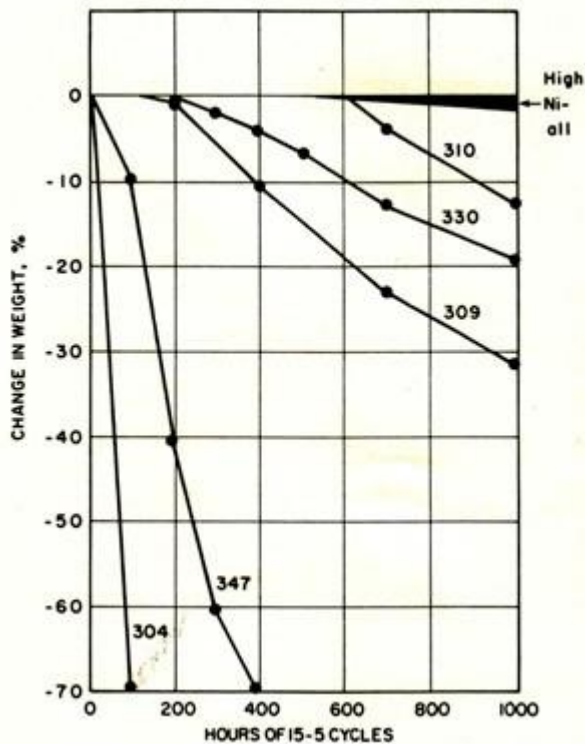
Afb. 1. Kenmerkende groeicurven voor oxiden op roestvast staal. (naar Wood).

Invloed van de legeringsamenstelling

De effecten van de verschillende legeringselementen op de oxidatieweerstand van roestvast staal zijn verzameld in tabel 1. In roestvast staal is chroom verreweg hét werkzaamste element. De vorming van het beschermende Cr₂O₃ oxide gaat gepaard met selectieve oxidatie van chroom aan het metaaloppervlak, hetgeen resulteert in verarming aan chroom aan het metaal/oxide grensvlak. Teneinde het Cr₂O₃ oxide te handhaven en te stabiliseren moet de hoeveelheid chroom in de matrix hoog genoeg zijn, zodat het ten gevolge van voornoemd mechanisme in dit gebied niet kan dalen tot onder bepaalde minimumwaarden. Voor commerciële rvsstypen zijn matrixhoeveelheden nodig in de orde van **25% Cr** om goede oxidatieweerstand te kunnen handhaven bij temperaturen in de orde van 1000°C onder cyclische exposities, zie afb. 2. Vergelijking van de oxidatieweerstand van rvs, met gelijke chroom- en siliciumgehalten maar verschillende nikkelgehalten, toont een uitgesproken gunstig effect van nikkel op de corrosieweerstand, zie tabel 2.

Element	Effect			
	Gunstig	Variabel	Geen	Ongunstig
Chroom	x			
Nikkel	x			
Aluminium	x			
Silicium	x			
Yttrium	x			
Beryllium	x			
Calcium	x			
Stikstof	x			
Thorium	x			
Cerium	x			
Titaan		x		
Niobium		x		
Molybdeen		x		
Antimoon			x	
Mangaan				x
Lood				x
Zwavel				x
Borium				x

Tabel 1. Invloed van de elementen op de oxidatieweerstand van rvs.

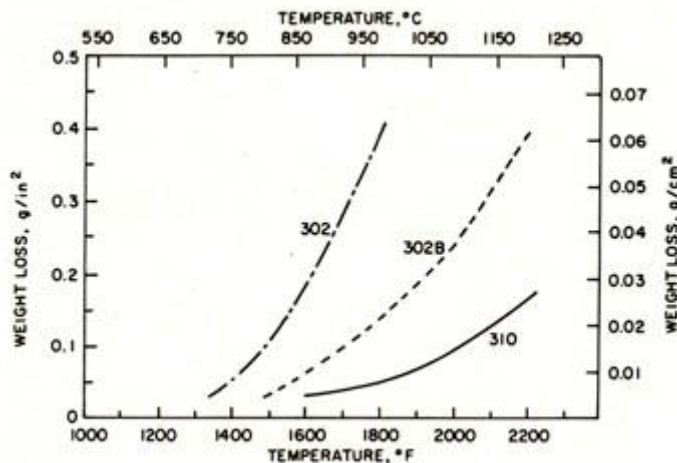


Afb. 2. Sealing weerstand van enkele Fe-Ni-Cr legeringen in lucht bij 980°C. De test bestond uit cyclische exposities van elk 15 minuten op 980°C en afkoelen gedurende 5 minuten. (naar Eiselsrein en Skinner).

RVS	Samenstelling %			Maximum continue gebruikstemp. °C
	Ni	Cr	Si	
HF	10,5	21	2	900
HN	25	21	2	1095

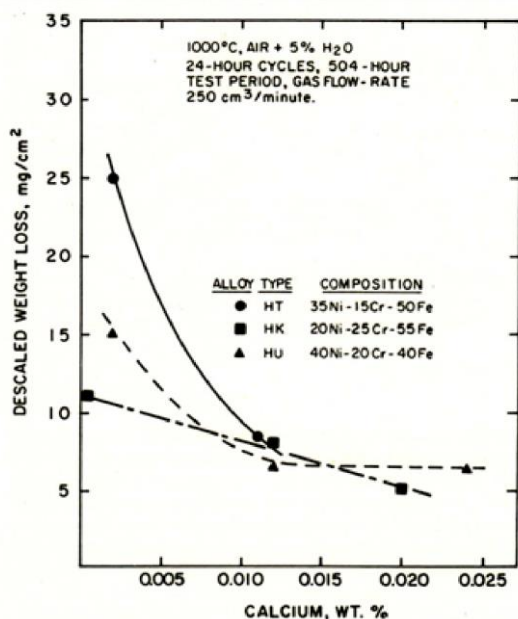
Tabel 2. Invloed van het nikkelgehalte op de aanvaarde maximum gebruikstemperatuur in lucht voor twee gegoten rvs typen.

Het gunstige effect van **silicium** blijkt eveneens uit tabel 2. Er bestaan gereede aanwijzingen, dat silicium de oxidatieweerstand van commercieel austenitisch roestvast staal verbetert, zie afb. 3. Er is geopperd dat het gunstige effect van silicium alleen optreedt als er tegelijkertijd ook mangaan aanwezig is, hetgeen in commerciële rvstypen het geval is. Toevoeging van aluminium aan roestvast staal, boven een bepaalde kritische grenswaarde, verbetert de oxidatieweerstand, hoewel in geval van cyclische exposities het effect van aluminium twijfelachtig is. Er wordt tevens opgemerkt dat aluminium de vorming van delta ferriet bevordert, alsmede uitscheiding van de brosse sigma fase, waardoor de koude vervormbaarheid afneemt. Daarom moet een zorgvuldige afweging worden gemaakt van de aan het materiaal te stellen eisen.



Afb. 3. Sealing verliezen opgetreden na 12 opeenvolgende opwarm en afkoelcycli voor verschillende rvs typen. (naar Grodner).

Laboratoriumonderzoek heeft uitgewezen, dat toevoeging van kleine hoeveelheden **cerium**, **yttrium** en **thorium** de cyclische oxidatieweerstand van roestvast staal verbetert. **Calcium** blijkt ook een gunstig effect te hebben op de oxidatieweerstand, zie afb. 4. Hierbij valt op te merken dat de gunstige invloed toeneemt met afnemend chroomgehalte.



Afb. 4. Invloed van het calciumgehalte op de cyclische oxidatieweerstand van enkele uitgekozen warmtebestendige legeringen. (naar deBarbadillo).

Onderzoek heeft uitgewezen dat **beryllium** en **stikstof** een gunstig effect hebben op de oxidatieweerstand, **zwavel**, **lood** en **borium** nadelig zijn en **antimoon** geen invloed uitoefent. Van **mangaan** wordt gemeld dat het nadelig is voor de oxidatieweerstand, omdat er bij voorkeur MnO.Cr₂O₃ ontstaat in plaats van het beschermende Cr₂O₃. **Titaan**, **niobium** en **molybdeen** blijken een wisselend effect te hebben. Hoewel toevoeging van titaan en niobium in de orde van 2% de oxidatieweerstand van gegoten roestvast staal verlaagt, kunnen de met deze elementen gestabiliseerde typen 321 en 347 bij dezelfde temperaturen worden toegepast als die, waarbij het type 304 wordt gebruikt, zoals is aangetoond in tabel 3. Hetzelfde geldt voor molybdeen op de niveaus zoals die voorkomen in de typen 316 en 317, hoewel toevoeging van veel molybdeen (meer dan 5%) leidt tot ernstige oxidatie, ten gevolge van het ontstaan van vluchtige molybdeenoxiden.

RVS	Wisselend bedrijf °C	Continu bedrijf °C
Austenitisch		
201	815	845
202	815	845
301	840	900
302	870	925
304	870	925
308	925	980
309	980	1095
310	1035	1150
316	870	925
317	870	925
321	870	925
330	1035	1150
347	870	925
Martensitisch		
406	815	1035
410	815	705
416	760	675
420	735	620
440	815	760
Ferritisch		
405	815	705
430	870	815
442	1035	980
446	1175	1095

Tabel 3. Aanvaarde maximum gebruikstemperatuur in lucht voor rvs.

Invloed van de microstructuur

De algemeen aanvaarde maximum gebruikstemperaturen in lucht voor austenitisch-, martensitisch- en ferritisch roestvast staal zijn vermeld in tabel 3, voor **gegoten** roestvast staal zijn ze vermeld in tabel 4.

RVS	Overeenkomstige kneedlegering	Geschiktheid voor wisselend bedrijf	Continu bedrijf °C
HA	—		650
HC	446	goed	1120
HD	—		1065
HE	—		1065
HF	302B		900
HH	309		1065
HI	—		1120
HK	310		1095
HL	—		1150
HN	—	goed	1095
HT	330	zeer goed	1035
HU	—	zeer goed	1095
HW	—	uitstekend	1095
HX	—	uitstekend	1150

Tabel 4. Aanvaarde maximum gebruikstemperatuur in lucht voor gegoten rvs.

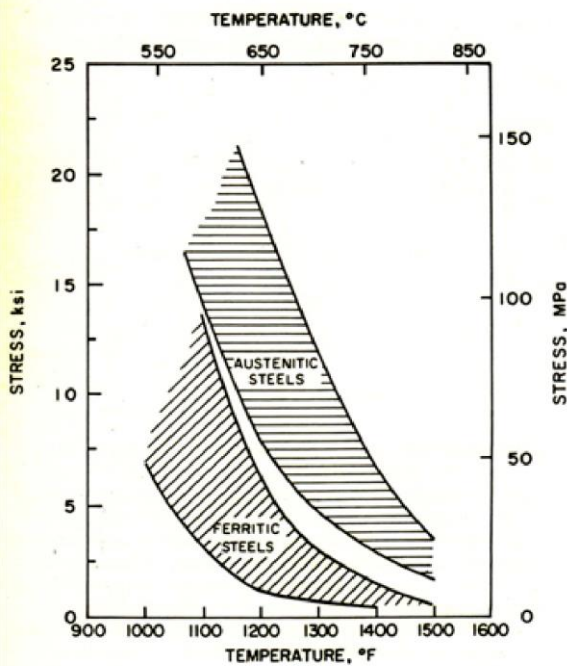
Aangezien oxidatieweerstand meer wordt overheerst door de legeringssamenstelling dan door de roosterstructuur van de legering, blijkt uit deze tabellen in hoofdzaak de invloed van de chroom- en nikkelgehalten.

In beide tabellen is een onderscheid gemaakt in continu- en cyclisch gebruik. Cyclisch gebruik gaat gepaard met uitzettings- en inkrimpingsbewegingen. Als gevolg van verschillen in de uitzettingscoëfficiënten van metaal en oxide, kan er afsplijting van de oxidelaag optreden. Met het

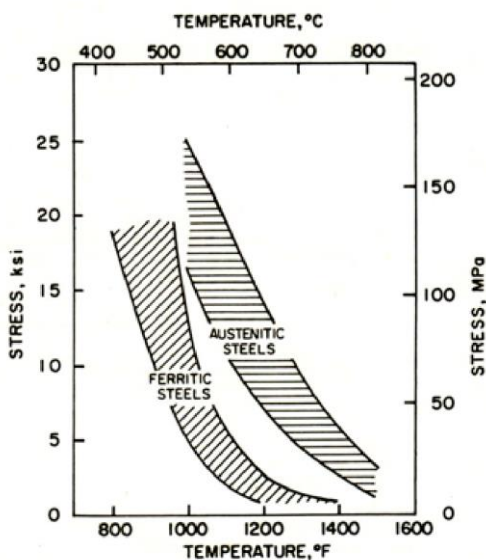
oog hierop, mag worden verwacht, .dat bij continue verhitting de temperatuur veel hoger kan liggen, hetgeen in de praktijk het geval blijkt te zijn. Ferritisch- en de meeste martensitische roestvast staal typen vertonen juist hogere gebruikstemperaturen bij wisselende verhitting en afkoeling dan bij continue verhitting.

Het is zinloos om een rvstype te kiezen met een hoge weerstand tegen oxidatie, voor een bepaalde toepassing, waarbij niet wordt voldaan aan zekere **mechanische sterkte eisen**. Over het algemeen is austenitisch roestvast staal aanzienlijk sterker dan ferritisch roestvast staal bij hoge temperaturen, zoals wordt aangegeven door een vergelijking van de breukeigenschappen en kruipsterkten, weergegeven in de afb. 5 en 6.

Verbrossing als gevolg van de bij hoge temperaturen uitscheidende sigma fase en alfa ferriet, dient eveneens in overweging te worden genomen, vooral als een goede kerfslagweerstand van het materiaal bij een opvolgende afkoeling gewenst is.



Afb. 5. Gebieden die de belasting aangeven als functie van de temperatuur, die voor ferritischen austenitisch rvsaanleiding geven tot breuk na 10 000 uur. (naar Moran, Skinneren LaQue).



Afb. 6. Gebieden die kruipsterkte (1% in 10 000 uur) weergeven voor ferritisch - en austenitisch rvs. (naar Moran, Skinneren LaQue).

Invloed van het milieu

De oxidatieweerstand van roestvast staal in lucht wordt aanzienlijk verlaagd door de aanwezigheid van waterdamp. In verband hiermee wordt aanbevolen dat de **temperatuurslimieten** in de tabellen 3 en 4 voor gebruik in vochtige lucht verlaagd worden met 38-65°C.

Aandacht voor het oxidatiegedrag van roestvast staal bij hoge temperatuur in kooldioxide houdende milieus, wordt voornamelijk opgeëist vanwege bepaalde ontwikkelingen op het gebied van kernreactoren. Ingeval van gebruik in kooldioxide-atmosferen, dienen de maximumtemperaturen in de tabel 3 voor de lager chroomhoudende typen 410, 430, 302, 321, 316 en 347 met 38-93°C te worden verlaagd, terwijl de hoog chroomhoudende typen 309, 310 en 330 kunnen worden toegepast bij temperaturen die dicht in de buurt liggen van die voor gebruik in lucht, zoals weergegeven in tabel 3.

SULFADATIE

Sulfadatie is de term, die wordt gebezigd om de aantasting te beschrijven die wordt veroorzaakt **door hete gassen die zwavelverbindingen bevatten zoals zwaveldioxide, waterstofsulfide of zwaveldamp**. De reacties kunnen het ontstaan van sulfiden zijn in oxiderende gassen zoals mengsels bestaande uit lucht en zwaveldioxide, maar ook sulfiden in reducerende gassen, zoals waterstof-waterstofsulfide mengsels. Er wordt op gewezen dat de benamingen reducerend en oxiderend, ingeval van corrosie bij hoge temperaturen van roestvast staal in gasvormige milieus, betrekking hebben op het gedrag van chroom en dat een werkelijk reducerende toestand er een is, waaronder chroomhoudende oxiden niet worden gevormd. Met andere woorden, toestanden die reducerend zijn voor andere metalen kunnen in feite oxiderend zijn voor roestvast staal. Pogingen om sulfadatie te omschrijven in termen van gas/metaal reacties worden verder bemoeilijkt door het feit dat aantasting in sommige gevallen wordt veroorzaakt door gesmolten fasen zoals laagsmeltende metaal/sulfide eutectica, zoals aangegeven in tabel 5.

Voor toepassingen waarbij roestvast staal is betrokken, zijn de interessantste sulfaderende milieus vochtige lucht/zwaveldioxide, waterstof/ waterstofsulfide, zwaveldamp, verbrandingsgassen afkomstig van zwavelhoudende brandstoffen en atmosferen voorkomend in ontzwavelingsinstallaties en in kolenvergassers.

Eutecticum	Smeltpunt °C
Ni-Ni ₃ S ₂	645
Co-Co ₄ S ₃	880
Fe-FeS	985
Al-Al _x S _x	~ 1070
Cr-CrS	~ 1350

Tabel 5. Smeltpunt van enige metaal / metaalsulfide eutectica.

Zwaveldioxide milieus

Hoewel de oxidatiesnelheid van hoog chroomhoudend rvs in droge zwaveldioxidehoudende milieus hoger is dan in lucht, worden zulke materialen toch geacht een aanvaardbare weerstand te hebben tegen droge zwaveldioxide. De hogere oxidatiesnelheid in zwaveldioxide wordt toegeschreven aan de vorming van chroomsulfiden onder de beschermende Cr₂O₃ laag. Het precieze mechanisme van deze chroomsulfidevorming vormt nog een onderwerp van discussie, maar er wordt aangenomen dat het samenhangt met de regeneratie van vrije zwavel die dan weer kan reageren met chroom en de andere legeringselementen. Toetreden van waterdamp in lucht/zwaveldioxide

atmosferen versnelt de aantasting, hoewel het mechanisme niet bekend is. Onderzoekingsresultaten, verzameld in tabel 6 aan verscheidene materialen in vochtige lucht/zwavel dioxide atmosferen bevestigen de gunstige invloed van een verhoogd chroomgehalte in roestvast staal. De gegevens van tabel 6 suggereren bovendien een gunstige invloed van de toevoeging van aluminium aan nikkelhoudende legeringen (zoals Inconel 601). Laag chroomhoudende nikkellegeringen zonder aluminium toevoeging worden ongeschikt geacht voor gebruik in oxiderende milieus die grote hoeveelheden zwavel bevatten, vanwege de mogelijke vorming van laagsmeltende Ni-Ni₃S₂ eutectica (tabel 5). De algemeen aanvaarde maximum gebruikstemperaturen voor roestvast staal in zwavel dioxide milieus zijn vermeld in tabel 7.

Materiaal	700°C		850°C		1000°C	
	Gewichts-verlies ^{a)} mg/cm ²	Maximale aantasting mm	Gewichts-verlies mg/cm ²	Maximale aantasting mm	Gewichts-verlies mg/cm ²	Maximale aantasting mm
304	0	0,015	15,51	0,127	21,01	0,381
316	0,09	0,015	7,65	0,089	7,96	0,129
309	0,29	0,015	2,33	0,038	4,52	0,152
310	0,20	0,012	2,23	0,015	4,43	0,048
HK	0,31	0,010	2,23	0,017	9,05	0,175
HP	0,15	0,007	2,90	0,033	8,98	0,177
Inconel 601 ^{b)}	0,26	0,010	2,35	0,066	1,89	0,246

a) Gewichtsverlies na verwijdering scale

b) Bevat 1,27% Al en 22% Cr

Tabel 6. Mate van aantasting van verscheidene rvs typen en legeringen in een mengsel van lucht/2% SO₂/5%H₂O als functie van de temperatuur bij een 1000 uur durende isotherme expositie.

Materiaal	Temperatuur °C
304	800
321	800
347	800
310	1050
410	700
430	800
446	1025

Tabel 7. Algemeen aanvaarde maximum bedrijfstemperatuur in SO₂ voor diverse rvs typen.

Waterstof/ waterstofdioxide milieus

Deze milieus, die optreden in katalytische reformers en in ontzwavelingsinstallaties hebben ten opzichte van roestvast staal over het algemeen een reducerend karakter en bevorderen het ontstaan van sulfide lagen. Roestvast staal, dat minder dan 20% chroom bevat (zoals 304, 410 en 430) heeft de neiging om FeS lagen te vormen terwijl hoger chroomhoudende rvs typen neigen tot de vorming van verscheidene chroom- en ijzersulfiden. Chroom en aluminium verhogen de weerstand, zoals wordt geïllustreerd door de gegevens uit tabel 8. Lager chroomhoudende nikkellegeringen zoals HT, HU, HW en HX worden doorgaans niet toegepast in waterstofsulfidehoudende atmosferen vanwege de kans op het ontstaan van het laagsmeltende Ni-Ni₃S₂ eutecticum (zie tabel 5) dat zou kunnen leiden tot catastrofale aantasting.

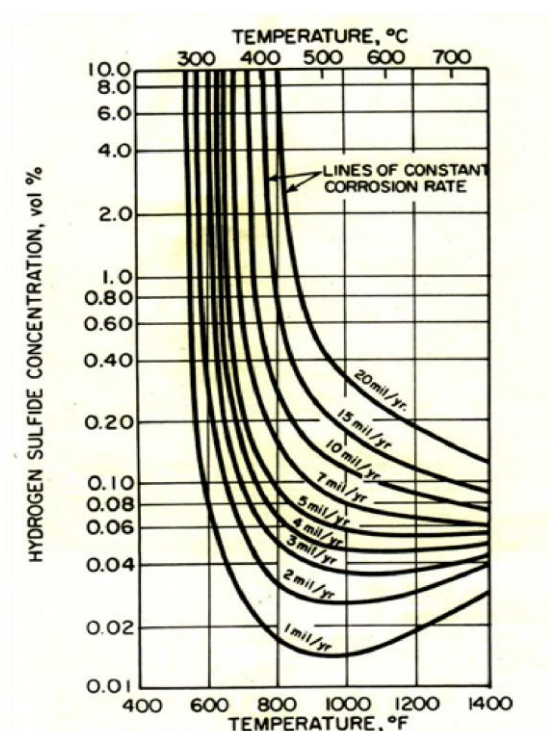
Materiaal	% Cr	% Al	Gewichtsverlies in mg/cm ² na	
			100 uur	1000 uur
304	18,3	–	37,79	126,90
310	24,0	–	32,58	97,95
Inconel 601	22,0	1,27	19,25	69,08

Tabel 8. Corrosiesnelheden van verscheidene metalen in een atmosfeer bestaande uit waterstof/ 1,5% H₂S bij 600°C.

Corrosiesnelheden als functie van de waterstofsulfide concentratie en de temperatuur voor verscheidene martensitische- en ferritische roestvast staal typen zijn weergegeven in tabel 9 en voor austenitisch roestvast staal in afb. 7. Over het algemeen is het hoog chroomhoudende type 310 een favoriet type voor toepassing bij hoge temperatuur in sulfidehoudende omgeving.

Testomstandigheden:							
Temperatuur, °C	510	515	520	530	604	752	752
H ₂ druk, kPa	1207	5826	3344	3344	3344	1276	1276
H ₂ S conc., vol. %	0,10	0,80	0,75	0,06	0,06	0,06	0,15
Tijd, uren	698	461	234	222	415	458	468
Corrosiesnelheden mm/jaar							
Materiaal	405	410	430	446	300 serie		
	1,91	–	–	–	–	0,33	4,57
	–	5,58	4,83	7,62	2,54	–	4,06
	–	0,98	0,76	1,52	–	0,41	6,10
	0,25	0,38	0,41	1,07	1,04	1,93	5,84
	0,18	0,58	0,69	1,02	0,30	0,13	1,65

Tabel 9. Corrosiesnelheden van verscheidene rvstypen in waterstof/ H₂S atmosfeer.



Afb. 7. Invloed van temperatuur en H₂S gehalte op de corrosiesnelheid van austenitisch rvs. Druk varieert van 1207-3447 kPa, expositietijd is langer dan 150 uur. (naar Backensto en Sjöberg).

Zwavedamp

Roestvast staal wordt aangetast door zwavedamp bij hoge temperaturen, waarbij de hoger chroomhoudende typen de grootste weerstand vertonen, zoals blijkt uit tabel 10. Het hoog chroomhoudende type 310 wordt zeer dikwijls toegepast onder deze omstandigheden.

Materiaal	Corrosiesnelheid in mm/jaar*
314	0,43
310	0,48
309	0,57
304	0,69
302B	0,76
316	0,79
321	1,39

* Corrosiesnelheden gebaseerd op 1295 uur durende proeven

Tabel 10. Corrosie van rvs in zwavedamp bij 570°C.

Verbrandingsgassen

De meeste vaste, vloeibare of gasvormige fossiele brandstoffen bevatten zwavel en hun verbrandingsproducten bevatten dan ook zwavelverbindingen.

Aardgas bevat relatief weinig zwavel. Het gebruik van **zware oliën**, die 0,1-0,7% zwavel kunnen bevatten, doet vragen rijzen met betrekking tot de vorming van gesmolten sulfiden en de vervormbaarheid bij hoge temperatuur van nikkelhoudende legeringen met inbegrip van austenitisch roestvast staal.

Gassen afkomstig van andere gassen en verbrandingsgassen, die ook wel worden aangeduid met de verzamelnaam **rookgassen**, omvatten een breed scala aan milieus, die hetzij oxiderend hetzij reducerend zijn.

Oxiderende rookgassen bevatten gewoonlijk zwavedioxide, kooldioxide, stikstof, waterdamp en zuurstof. Reducerende rookgassen bevatten waterstofsulfide, waterstof, waterdamp, koolmonoxide, kooldioxide en stikstof. Vanwege de complexiteit van rookgassen kan materiaalselectie bij voorkeur plaatsvinden d.m.v. expositieproeven ter plekke. Over het algemeen resulteert verhoging van het chroomgehalte van het roestvast staal in verhoogde corrosieweerstand, zoals uit tabel 11 blijkt.

Materiaal	Corrosiesnelheid in mm/jaar*		
	Cokesoven gas 815°C	Cokesoven gas 981°C	Aardgas 815°C
430	2,31	5,99	0,30
446 (26Cr)	0,76	1,02	0,10
446 (28Cr)	0,69	0,36	0,08
302B	2,64	5,72	—
309S	0,94	1,14	0,08
310S	0,97	0,64	0,08
314	0,58	2,39	0,08

* Gebaseerd op 3 maanden durende expositie

Tabel 11. Corrosiesnelheden van rvs in diverse rookgassen.

OPKOLING

Opkoling is de **opname van koolstof** door een materiaal en het kan optreden als een metaal wordt blootgesteld aan een **milieu met een hoge temperatuur en dat koolstofhoudende gassen bevat**, zoals koolmonoxide of koolwaterstoffen. In roestvast staal ontstaan er chroom- en ijzercarbiden als het koolstof de oplosbaarheidsgrens (in vaste toestand) overschrijdt. Schade als gevolg van opkoling kan worden veroorzaakt door het ontstaan van deze carbiden, die de **ductiliteit en taaiheid kunnen verlagen**. **Scheuring** kan ook worden ingeleid in het metaal onder de opgekooide laag als gevolg van hoogoplopende lokale spanningen veroorzaakt door grote volumeveranderingen die gepaard gaan met de carbidevorming. Opkoling vindt plaats bij hoge temperatuur en wordt versneld door verdere verhoging van de temperatuur.

Vaststelling van de weerstand tegen opkoling wordt veelal gedaan door opkolingsproeven m.b.v. kistcarburisatie of gascarburisatie.

Bij kistcarburisatie wordt het proefstuk omringd door een vaste koolstofhoudende substantie en blootgesteld aan hoge temperaturen gedurende perioden tot zo'n 500 uur.

Bij cyclische beproeving, wordt de koolstofhoudende omhulling steeds ververs.

Bij gascarburisatie wordt het proefstuk verhit in een oven, waarin een opkolend gasmengsel circuleert. Hiervoor kunnen verscheidene gasmengsels worden gebruikt, zoals gedroogd 98% waterstof – 2% methaan of in evenwicht verkerende waterstof/methaan/waterdamp mengsels. De mate van opkoling kan naderhand worden vastgesteld aan de hand van gewichtstoename bepaling, langs metallografische weg door de indringdiepte te meten, door chemische analyse van het bulk-metaal, door chemische analyse van dunne afgespaande metaalkrullen en door microsonde analyse.

Net als bij oxidatie en sulfadatie is het element dat de grootste bijdrage levert in de **weerstand tegen opkoling** wederom chroom. Andere gunstige elementen zijn nikkel, silicium, niobium en titaan, zoals blijkt uit tabel 12. De opkolingsweerstand van HKr dat silicium bevat, wordt door dit element gunstig beïnvloed als gevolg van de vorming van een silicaatlaag onder de carbidelaag. Bij lage partiële zuurstofdrukken ontstaat deze beschermende silicaatlaag niet. Verder wordt aangenomen dat hoge koolstof- en wolframtoevoegingen de weerstand tegen opkoling bevorderen.

Er kan nog een andere vorm van aantasting optreden in opkolende fasen, die bekend staat onder de naam '**metal dusting**'. Deze vorm van aantasting kan zowel uniform als lokaal optreden, waarbij de corrosieproducten bestaan uit een fijn poeder, dat carbiden, oxiden en grafiet bevat. Metal dusting treedt op tussen 425 en 815°C. De rvs types 310 en 316 zijn beter tegen deze vorm van aantasting bestand dan de typen 304, 321 en 347. Aangenomen wordt dat de aantasting kan worden onderdrukt door kleine hoeveelheden H₂S in het milieu toe te laten.

Legering	Nominale samenstelling	Silicium gehalte %	Toename koolstof gehalte %*
Incoloy 800	34Ni, 21Cr	0,34	0,04
330	35Ni, 15Cr	0,47	0,23
330	35Ni, 15Cr + Si	1,00	0,08
310	20Ni, 25Cr	0,38	0,02
314	20Ni, 25Cr + Si	2,25	0,03
309	12Ni, 25Cr	0,25	0,12
347	8Ni, 18Cr + Nb	0,74	0,57
321	8Ni, 18Cr + Ti	0,49	0,59
304	8Ni, 18Cr	0,39	1,40
302B	8Ni, 18Cr + Si	2,54	0,22
446	28Cr	0,34	0,07
430	16Cr	0,36	1,03

* Bulkanalysebepaling

Tabel 12. Kistcarburisatie proef (40 Cycli van 25u op 980°C. Koolstofhoudend milieu ververs na elke cyclus).

Geraadpleegde literatuur:

1. A.J . Sedriks; Corrosion of stainless steels
2. M. G. Fontana, N.O. Greene; Corrosion Engineering
3. Metals Handbook; Vol. 1. Properties selection of metals

Verbeter uw RVS oppervlak met Packo Surface Treatment

PACKO AFWERKINGEN



- **Micro-Ondulatie:** Aanbrengen van afgeronde golfstructuur. Resulteert in "luchtlaag" tussen wand en product.
- **Amorfiseren:** Soort "verglazen" van het oppervlak. Volledig gesloten structuur. Blijft metaal zelf. Schilfert niet.
- **Elektropolijsten:** Elektrochemisch selectief ijzer oplossen om hoge Cr/Ni samenstelling aan oppervlak te bekomen.
- **Ontzwarten:** Oplossen van bepaalde oppervlakte-elementen die bepaalde voeding/farma-producten zwart laten verkleuren.
- **Beitsen / Passiveren:** Bekende techniek om lasverkleuringen en roest te verwijderen.
- **Parelstralen:** Stralen van oppervlak met "inerte" media.
- **Anti-kleef afwerking:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **Bacteriewerende finish:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **Micro-ontbramen:** Onzuiverheden, schuurbramen en metaalschilfers oplossen zodat deze niet in product terecht komen en er een gladder oppervlak ontstaat.
- **Ontschilferen:** Onzuiverheden en ingedrukte metaalschilfers oplossen zodat deze niet in product terecht komen en er een meer zuiver oppervlak ontstaat.
- **Afwerking lage wrijvingscoëfficiënt:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **Corrosiewering:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **E-polidur harden:** Herschikken van oppervlaktestructuur zodat een hardere en slijtvastere laag ontstaat.
- **Revisie, Polijstwerk, Ra:** Herstellen van gebruikt materiaal.
- **Derouging:** Verwijderen en voorkomen van een specifieke corrosievorm
- **Advies en metingen:** Studies van hygiënische, reinigings-, aankleef-, corrosie-situaties in functie van oppervlak en afwerking.
- **HOE:** De meeste behandelingen zijn dompelprocessen. Opdrachtgever dient voor goede leegloop en/of vloeistofdichtheid te zorgen. We leggen geen lagen, er blijft dus geen vreemd product op het RVS achter.

A VERDER COMPANY

Packo Surface Treatment
Cardijnlaan 10, B-8600 Diksmuide
T +32 (0)51 51 92 84

surface.packo.be@verder.com surface@packo.com
www.electropolish.be