

Roestvast staal in dunne plaat en buis

Deze publicatie is binnen het project 'nieuwe materialen' ontwikkeld en geeft informatie over nieuwe(re) roestvaste staalkwaliteiten, en is gericht op de verwerkers van dunne plaatmaterialen met dikten van 0,3 t/m ca. 3 mm. Een deel van de informatie is evenwel ook van toepassing voor andere plaatdikten en andere producten uit roestvast staal. In het kader van dit project zijn tevens uitgegeven: TI.04.18 'Hoge Sterkte Staal in dunne plaat en buis', TI.04.20 'Scheidingstechnieken voor dunne plaat en buis', TI.04.21 'Aluminium in dunne plaat en buis' en TI.04.22 'Ontwerpen van dunne plaat producten en de Eindige Elementen Methode.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Wat is roestvast staal?	1
3	Roestvaste staalsoorten en standaardkwaliteiten	1
3.1	Indeling naar soorten	1
3.2	Standaardkwaliteiten roestvast staal	2
4	Corrosievastheid/weerstand tegen corrosie	2
5	Nieuwere roestvaste staalkwaliteiten	3
5.1	Ferritisch roestvast staal	4
5.2	Martensitisch roestvast staal	4
5.3	Austenitische roestvaste staalkwaliteiten	4
5.4	Duplex roestvast staal	6
6	Kiezen van een roestvaste staalkwaliteit	6
7	Productvormen en afmetingen	8
7.1	Gewalste producten en oppervlak	8
7.2	Strip en folie met nauwkeurige toleranties	9
8	Bewerken van roestvaste staalkwaliteiten	9
8.1	Het uitvoeren van bewerkingen	9
8.2	Het lassen van roestvast staal	9
8.3	Overige verbindingstechnieken voor roestvast staal	12
8.4	Vormgevende bewerkingstechnieken voor roestvaste staalkwaliteiten	13
9	Construeren in roestvaste staalkwaliteiten	15
9.1	Specifieke kenmerken van roestvast staal	15
9.2	Sterkte van roestvast staal	15
9.3	Vormgeving	16
9.4	Ontwerpen op corrosiebeheersing	16
9.5	Combinatie van roestvast staal met andere materialen	17
10	Nabewerken van roestvaste staalkwaliteiten	17
11	Normen m.b.t. roestvaste staalkwaliteiten	18
12	Internet verwijzingen	19
13	Literatuur	19
14	Voorbeelden	20

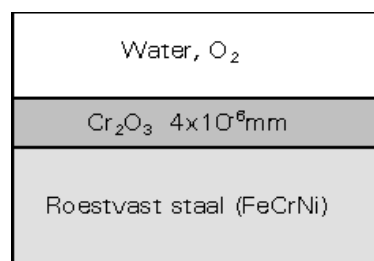
1 Inleiding

Vernieuwingen bij roestvast staal betreffen zowel de samenstelling, als de mogelijke halfproducten die leverbaar zijn. Er zijn vooral de laatste jaren meer roestvaste staalkwaliteiten op de markt gekomen met voorbehandelingen en eigenschappen aangepast aan een specifieke toepassing. Te noemen zijn o.a.: dunne platen voor decoratieve toepassingen, verbeterde dieptrekkwaliteiten, kwaliteiten voor farmaceutische apparatuur, en goed lasbare ferritische kwaliteiten o.a. voor de automobielin-dustrie. De nieuwe roestvaste staalkwaliteiten met verhoogde sterkte, zijn leverbaar in ontwerp-specifieke vormen als profielen en kokers, waardoor ze zeer geschikt zijn voor lichte sterke constructies (bouw, voertuigen, apparatenbouw). De meeste nieuwe roestvaste staalkwaliteiten zijn in principe net zo goed te bewerken als de reeds bestaande kwaliteiten. Het is van groot belang dat er schoon wordt gewerkt, met de juiste gereedschappen. Bij producten met esthetische aspecten, of voor decoratieve doeleinden, dient men te voorkomen dat oppervlakken beschadigen. Bij de verwerking van roestvast staal met hogere sterkte moet men rekening houden met de hogere weerstand tegen vervorming en de sterkere terugvering. De gebruikelijke verbindingstechnieken, waaronder het lassen, zijn goed toepasbaar mits de procedures nauwkeurig worden gevolgd.

2 Wat is roestvast staal?

Roestvast staal is min of meer bij toeval ontdekt, toen men op een schroothoop zag, dat sommige stalen onderdelen blank bleven, terwijl andere delen georoest wa-

ren. Onderzoek toonde aan, dat het blanke oppervlak verband hield met het chroomgehalte. Toevoeging van minimaal ca.11% chroom aan staal bleek roestvorming tegen te gaan. Als het met chroom gelegeerde staal in water of vochtige lucht in contact komt met zuurstof, ontstaat door het chroom een goed afsluitende chroom-oxidelaag (zie figuur 1). De dunne oxidelaag beschermt het staal tegen corrosie en is doorzichtig, waardoor het staal een metallische glans behoudt. Bij beschadiging van de laag treedt spontaan herstel op als er voldoende zuurstof is.



figuur 1 Opbouw van oxidelaag op roestvast staal in belucht water

De norm NEN-EN 10088-1 heet "Corrosievlaste staalsoorten". Het is dus beter om te spreken van corrosievlaste staal of roestvast staal, dan van roestvrij staal. De term roestvast staal (RVS) wordt gebruikt voor een groep ijzerlegeringen, die als belangrijkste legeringselement chroom bevat (vanaf 10,5 %) en maximaal 1,2% koolstof. In veel roestvaste staalkwaliteiten is naast chroom, ook nikkel een belangrijk legeringselement. Roestvast staal met ca. 18% chroom en 8% nikkel heeft grote bekendheid gekregen (als 18-8 chroomnikkelstaal).

3 Roestvaste staalsoorten en standaardkwaliteiten

3.1 Indeling naar soorten

De roestvaste staalsoorten kunnen op basis van de microstructuur worden ingedeeld in 4 groepen (tabel 1):

- ▶ *Austenitisch roestvast staal* is de meest voorkomende soort. Het staal bevat naast chroom voldoende nikkel (bijvoorbeeld 18-8 roestvast staal) om bij kamertemperatuur een austenitische structuur te stabiliseren; de corrosieweerstand is goed tot zeer goed.
- ▶ *Ferritisch roestvast staal*: het belangrijkste legeringselement is chroom (10,5 tot 30%), het percentage koolstof bedraagt in het algemeen <0,08%. De corrosieweerstand is beperkt.
- ▶ *Martensitisch roestvast staal*: naast chroom (ca. 13 tot 18%) is koolstof het belangrijkste legeringselement, waardoor deze kwaliteiten gehard of veredeld kunnen worden. De corrosieweerstand is zeer beperkt.
- ▶ *Duplex roestvast staal* bevat chroom en nikkel in een zodanige verhouding, dat een mengsel van ferriet en austeniet ontstaat. Duplex roestvast staal wordt o.a. gekenmerkt door een hoge rekgrens en een goede weerstand tegen lokale aantasting.

De samenstelling is primair verantwoordelijk voor de

tabel 1 Globale kenmerken van verschillende soorten roestvast staal (dichtheid ca. 8,0 kg/dm³)

Materiaal/structuur	Chroom	Nikkel	Structuur ¹⁾	Magnetisch	Uitzetting	Warmtegeleiding
Ferritisch	≥ 10,5%	---	α	+	10,5 x 10 ⁻⁶ / K	25 W/m.K
Martensitisch	≥ 10,5%	---	α	+	11 x 10 ⁻⁶ / K	30 W/m.K
Austenitisch	≥ 18%	≥ 8%	γ	- / + ²⁾	16 x 10 ⁻⁶ / K	15 W/m.K
Duplex	22-27%	5-7%	α + γ	+	13 x 10 ⁻⁶ / K	15 W/m.K

1) α = kubus met atoom centraal (BCC), en γ = kubus met atomen in zijvlakken (FCC), soms mengvorm.
 2) koudvervormd materiaal kan martensitisch zijn, lassen kunnen ferritische structuurdelen bevatten, in beide gevallen wordt het materiaal licht magnetisch.

weerstand tegen corrosie en bepaalt via de productie de microstructuur. De microstructuur heeft een grote invloed op de overige eigenschappen van het roestvaste staal [ref. 2].

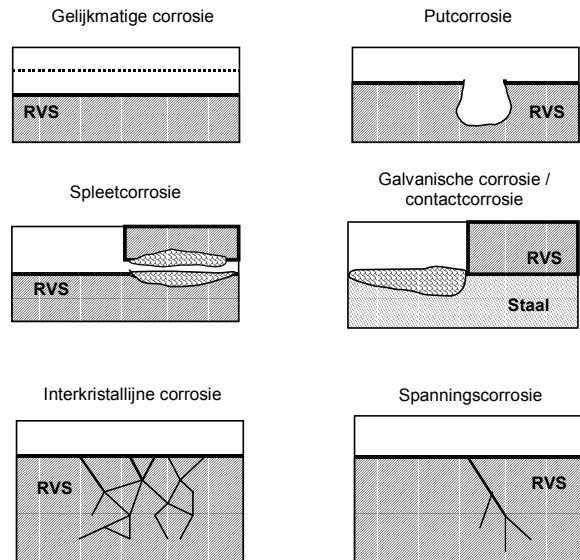
3.2 Standaardkwaliteiten roestvast staal

Standaardkwaliteiten roestvast staal zijn gegeven in tabel 2. Het meest gebruikt worden austenitische kwaliteiten, waarin vele varianten voorkomen. De Europese norm EN-10088 en de Nederlandse norm NEN-EN 10088, die op de DIN zijn gebaseerd, zijn inmiddels de standaard. De Amerikaanse normen met als aanduiding AISI (American Iron and Steel Institute) en UNS (Unified Number System) laten vaak wat ruimere specificaties toe.

4 Corrosievastheid/weerstand tegen corrosie

Roestvast staal wordt vanwege de weerstand tegen corrosie op grote schaal toegepast in de (petro)chemische industrie, de farmacie, de voeding- en genotmiddelen industrie, in huishoudelijke apparaten, in de automobiel-industrie en in de bouw. De gangbare roestvaste staalkwaliteiten voldoen goed in tal van waterige milieus en onder natte condities. Zijn de condities extremer, bijvoorbeeld door hogere temperaturen of door een hoge concentratie van bijvoorbeeld chloorionen, dan kan roestvast staal lokaal actief worden. Gelijmatige corrosie komt vrijwel niet voor. Er kunnen de volgende vormen van lokale corrosie ontstaan (zie figuur 2):

- **Putcorrosie** treedt vooral op in een omgeving waarin chloriden aanwezig zijn. Materiaal met een hogere PRE waarde heeft meer weerstand tegen putcorrosie.
- **Spleetcorrosie** ontstaat in spleten bij een tekort aan zuurstof. Chloriden versterken de aantasting.
- **Galvanische corrosie** (contact corrosie) ontstaat bij contact tussen verschillende metaalsoorten in aanwezigheid van een elektrolyt. Het minst edele metaal lost versneld op.
- **Interkristallijne corrosie** (evt. met scheuren) kan optre-



figuur 2 Schematisch overzicht (in doorsnede) van mogelijke corrosie van roestvast staal

- den nabij lassen in roestvast staal met relatief hoog koolstofgehalte (bijvoorbeeld 1.4301 en 1.4401), door dat op de korrelgrenzen chromcarbiden ontstaan. Kwaliteiten met lage koolstofgehalten (zoals 1.4306 en 1.4404), of gestabiliseerd met toevoegingen van titaan en/of niobium (bijvoorbeeld 1.4541 en 1.4571) zijn in gelaste vorm beter bestand tegen interkristallijne corrosie.
- **Spanningscorrosie** (met scheurvorming) kan ontstaan door een combinatie van: een hiervoor gevoelig roestvast staal, trekspanning (evt. ook restspanning door bijvoorbeeld lassen), en een corrosief milieu, waarin

tabel 2 Overzicht van gangbare kwaliteiten roestvast staal (gemiddelde samenstelling op ijzerbasis in gew. %, zie norm voor exacte samenstellingsgrenzen)

NEN-EN 10088	USA	C	Cr	Ni	Mo	N	Overig	PRE ¹⁾
Ferritisch								
1.4003	--	≤ 0,03	11,5	0,6				> 11,5
1.4016	AISI 430	≤ 0,08	17,0	-	-	-	-	> 17
Martensitisch								
1.4006	AISI 410	≤ 0,15	12,5	-	-	-	-	> 12,5
Austenitisch								
1.4301	AISI 304	≤ 0,08	19,0	9,2	-	-	-	> 19
1.4306	AISI 304L	≤ 0,03	19,0	10,0	-	-	-	> 19
1.4550	AISI 347	≤ 0,08	17,5	9,5	-	-	Nb	> 17,5
1.4541	AISI 321	≤ 0,08	18,0	10,5	-	-	Ti	> 18
1.4401	AISI 316	≤ 0,08	17,0	12,0	2,5	-	-	> 25
1.4404	AISI 316L	≤ 0,03	17,0	12,0	2,5	-	-	> 23
1.4571	AISI 316Ti	≤ 0,08	17,0	12,0	2,5	-	Ti	> 23
Duplex								
1.4462	UNS S31803	≤ 0,03	22,0	5,5	3,0	0,16	-	> 34

1) PRE (Pitting Resistance Equivalent) is een maat voor de corrosieweerstand (zie hoofdstuk4). De getoonde waarden zijn op basis van de ondergrenzen in de samenstelling

met name chloriden. Spanningscorrosie treedt onder "normale" omstandigheden alleen op bij temperaturen boven ca. 50 °C, echter in zwembadmilieus is ca. 30 °C al voldoende. Roestvaste staalsoorten met een hogere PRE waarde, zijn ook beter bestand tegen spanningscorrosie.

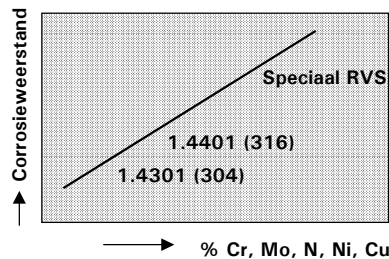
Naarmate het staal meer chroom, molybdeen en stikstof bevat, wordt de weerstand tegen corrosie, met name putvormige corrosie, hoger. De bijdrage van deze elementen aan de weerstand tegen putcorrosie in chloridehoudende milieus wordt gegeven in de PRE waarde (PRE = Pitting Resistance Equivalent):

$$PRE = \%Cr + 3,3x \%Mo + 16x\%N$$

De PRE waarde is een globale indicatie of het staal geschikt is voor een bepaalde omgeving:

- ▶ bij gebruik in de buitenlucht is in Nederland 23 of hoger gewenst,
- ▶ voor zeewater is een waarde van 40 of hoger gewenst.

Ook elementen als nikkel, koper en mangaan hebben in sommige milieus een positieve invloed, niet zozeer op de weerstand tegen putcorrosie, dan wel op de weerstand tegen algemene corrosie. In figuur 3 is dit kwalitatief aangegeven. In hoofdstuk 5 worden nieuwere roestvaste staalkwaliteiten behandeld en zijn de samenstelling en de PRE waarde gegeven.



figuur 3 Effect van elementen op de corrosieweerstand

Naarmate het staal meer stikstof bevat, wordt in het algemeen ook de sterkte, in het bijzonder de rekgrens, hoger. Molybdeen bevordert de sterkte ook, zij het in mindere mate.

5 Nieuwere roestvaste staalkwaliteiten

De laatste jaren zijn er verschillende nieuwere roestvaste staalkwaliteiten op de markt gekomen, elk met specifieke eigenschappen en geschikt voor nieuwe toepassingen. In het bijzonder voor dunne plaat producten biedt dit interessante mogelijkheden. Een aantal kwaliteiten is opgenomen in tabel 3 en wordt hierna besproken. Waar mogelijk worden toepassingen voor dunne plaat en strip besproken.

tabel 3 Overzicht van nieuwe roestvaste staalkwaliteiten (gemiddelde samenstelling op ijzerbasis in gew. %, zie norm voor exacte samenstellingsgrenzen)

NEN-EN 10088	USA	C	Cr	Ni	Mo	N	Overig	PRE ¹⁾
Ferritisch								
1.4512	AISI 409	0,03	11,5	-	-	-	Ti	11,5
1.4510	AISI 430Ti	0,04	18,0	-	-	-	Ti	18,0
1.4521	AISI 444	0,02	17,8	-	2,1	0,02	Ti	20,2
Martensitisch								
1.4021	AISI 420	0,2	13,0	-	-	0,02	-	13,3
1.4028	AISI 420	0,3	12,5	-	-	0,02	-	12,8
1.4313	UNS S41500	0,04	13,0	4,0	0,5	-	-	14,7
1.4568	AISI 631	0,09	17,0	7,0	-	-	Al 1,0	17,0
Austenitisch								
1.4310	AISI 301	0,1	17,0	7,0	-	0,03	-	17,5
1.4318	AISI 301LN	0,02	17,0	7,0	-	0,15	-	19,4
1.4373	AISI 201	0,05	17,0	5,0	-	0,15	Mn 6,5	19,4
1.4307	AISI 304L	0,02	18,0	8,5	-	0,06	-	19,0
1.4311	AISI 304LN	0,02	18,0	9,0	-	0,14	-	20,2
1.4303	AISI 305	0,02	18,0	11,0	-	0,02	-	18,3
1.4432	AISI 316L	≤ 0,02	17,0	11,0	3,0	0,05	-	27,7
1.4436	AISI 316L	≤ 0,02	17,0	11,0	3,0	0,05	-	27,7
1.4435	AISI 316L	≤ 0,02	17,0	12,6	3,0	0,06	-	27,9
1.4406	AISI 316LN	≤ 0,03	17,0	12,0	2,2	0,13	-	26,4
1.4439	AISI 317LMN	≤ 0,03	17,5	13,5	4,5	0,17	-	35,1
1.4539	AISI 904L	≤ 0,02	20,0	25,0	4,5	0,07	Cu	36,0
1.4565	UNS S34565	≤ 0,03	24,0	17,0	4,3	0,50	-	46,2
1.4547	UNS S32154	≤ 0,02	20,0	18,0	6,6,5	0,21	Cu	44,8
1.4529	UNS N08926	≤ 0,02	20,0	25,0	6,5	0,20	Cu	44,7
1.4652	UNS S32654	≤ 0,02	24,0	22,0	7,3	0,50	Mn, Cu	56,1
1.4948	AISI 304H	0,05	18,1	8,3	-	0,06	-	(19,1)
1.4818	UNS S30415	0,05	18,5	9,5	-	0,015	Si, Ce	(20,9)
1.4833	AISI 309S	0,06	22,3	12,6	-	0,08	-	(23,6)
1.4835	UNS S30815	0,09	21,0	11,0	-	0,17	Si, Ce	(23,7)
1.4841	AISI 314/310	0,2	25,0	20,5	-	-	Si 2,0	(25,0)
1.4845	AISI 310S	0,05	25,0	20,0	-	0,04	-	(25,6)
1.4854	UNS S35315	0,05	25,0	35,0	-	0,17	Si, Ce	(27,7)
Duplex								
1.4362	UNS S32304	≤ 0,02	23,0	4,0	-	0,10	-	24,6
1.4410	UNS S32750	0,02	25,0	7,0	4,0	0,27	-	42,5

1) PRE tussen haakjes minder relevant, staal is primair voor hoge temperaturen

De vernieuwingen op het gebied van roestvast staal betreffen:

- ▶ Leverbare kwaliteiten en meer op de toepassing gerichte samenstellingen.
- ▶ Plaatmaterialen met specifieke oppervlakte eigenschappen (decoratie, reinigend vermogen).
- ▶ Producten die via de productieroute uitstekende mechanische eigenschappen hebben.
- ▶ Ontwerpgerichte leverbaarheid van speciale halfproducten, waarmee verregaande integratie van staalkwaliteit, halfproduct (vorm en eigenschappen), en ontwerp mogelijk wordt.

5.1 Ferritisch roestvast staal

Uitgaande van het standaard type zijn er de laatste jaren diverse nieuwe ferritische roestvaste staalkwaliteiten op de markt gekomen, die zich uitstekend lenen voor toepassingen uit dunne plaat of strip. Een aantal daarvan is, samen met het referentiemateriaal type 1.4016 (AISI 430), opgenomen in tabel 4, het betreft onder andere:

- ▶ 1.4512 (AISI 409) combineert sterkte met een redelijke weerstand tegen corrosie in atmosferische en waterige omstandigheden. Het staal heeft dank zij het lage koolstofgehalte en de titaan toevoeging ook in gelaste vorm een goede corrosie weerstand.
- ▶ 1.4510 (AISI 430Ti) vormt een alternatief met een hogere weerstand tegen corrosie.
- ▶ 1.4521 (AISI 444) heeft naast een hogere sterkte ook een hogere weerstand tegen corrosie.

Hoewel de ferritische roestvaste staalkwaliteiten beperkingen hebben, zijn ze vanwege de prijs erg interessant om in massafabricage te worden toegepast.

Voor de verschillende roestvaste staalkwaliteiten geldt, dat dunne plaat en strip leverbaar is in diverse oppervlaktecondities, waaronder ook met een speciaal mat of geborsteld oppervlak voor decoratieve toepassingen.

5.2 Martensitisch roestvast staal

De in tabel 3 genoemde martensitische kwaliteiten 1.4021 en 1.4028 (beiden AISI 420) zijn over het algemeen in dikkere plaat of strip leverbaar en worden gekozen vanwege de uitstekende mechanische eigenschappen. Deze staalkwaliteiten kunnen in zacht gegloeide toestand als strip of op coil worden geleverd; in geharde toestand als strip. Ook is in tabel 3 genoemd de kwaliteit 1.4568 (AISI 631), ook bekend als 17-7 PH. Dit is een roestvast staal dat door middel van een warmtebehandeling uitscheidingen vormt in de martensitische structuur (precipitatie-harding). Hierdoor krijgt het staal een hoge hardheid in combinatie met een goede weerstand tegen schokken en tegen corrosie. Deze kwaliteit wordt i.h.a. geleverd in een relatief zachte oplosgegloeide toestand. Een voordeel hiervan is, dat het staal in deze toestand kan worden vormgegeven, om vervolgens door middel van een warmtebehandeling bij een relatief lage temperatuur te worden gehard. Het materiaal is bij deze warmtebehandeling stabiel, en maatvast. Deze staal-soort kan zowel in strip, als op de rol worden geleverd en wordt vaak gebruikt voor veren, ringen, scharen, enz.

Het materiaal kan tot ca. 350 °C worden gebruikt. Met name voor de olie- en gasindustrie zijn nieuwe typen goed lasbaar supermartensitisch roestvast staal beschikbaar gekomen, zoals 1.4313 (S41500). Omdat het veelal om dikkere delen als pijpleidingen gaat, worden deze materialen hier niet verder behandeld.

5.3 Austenitische roestvaste staalkwaliteiten

Austenitisch roestvast staal voor temperaturen tot ca. 350 °C

Uitgaande van het 1.4301 (AISI 304) type zijn er qua prijs en sterkte aantrekkelijke CrNi-houdende alternatieven voor specifieke toepassingen. Een aantal daarvan is, samen met het referentiemateriaal type 1.4301 (AISI 304), opgenomen in tabel 5:

- ▶ 1.4310 (AISI 301); een sterk alternatief bij minder zware eisen t.a.v. de corrosieweerstand;
- ▶ 1.4318 (AISI 301LN); alternatief met hogere sterkte, voor minder zware eisen t.a.v. corrosieweerstand;
- ▶ 1.4372 (AISI 201) ook 16-7 Mn staal; goedkoop en sterk alternatief voor voertuigconstructies;
- ▶ 1.4307 (AISI 304L); alternatief voor 1.4306, minder chroom en nikkel; betere corrosiebestendigheid na het lassen.
- ▶ 1.4311 (AISI 304LN); een alternatief voor 1.4301, met hogere sterkte;
- ▶ 1.4303 (AISI 305); verhoogd nikkelgehalte, goede vervormbaarheid (dieptrekken) en corrosieweerstand.

Uitgaande van het EN 1.4401 type (AISI 316) zijn er eveneens chroom-nikkel-molybdeen-houdende varianten voor specifieke toepassingen en/of lagere kosten beschikbaar, bijvoorbeeld:

- ▶ 1.4406 (AISI 316LN); een alternatief met hogere sterkte; en minder gevoelig voor spanningscorrosie.
- ▶ 1.4432 en 1.4436 (beiden AISI 316L); alternatieven, iets hoger Mo en N gehalte, hogere sterkte en corrosieweerstand; en minder gevoelig voor spanningscorrosie.
- ▶ 1.4435 (AISI 316L); alternatief met hoger Ni en N gehalte voor hogere sterkte en betere corrosieweerstand; o.a. voor farmaceutische toepassing, lassen met laag ferrietgehalte;
- ▶ 1.4439 (AISI 316LMN); een alternatief met bedeutend hogere corrosieweerstand en sterkte.

Superaustenitisch roestvast staal voor temperaturen tot ca. 350 °C

Deze kwaliteiten hebben ook na het lassen een vrijwel volledig austenitische structuur. Kenmerk is de zeer hoge corrosieweerstand en de hogere sterkte. De vervormbaarheid is goed, maar vereist meer kracht en gerekend moet worden met meer terugvering.

- ▶ 1.4539 (AISI 904L); hoog Cr, Ni, Mo, N en Cu gehalte voor hoge sterkte en corrosieweerstand;
- ▶ 1.4565 (UNS S34565); alternatief met hoge corrosieweerstand, niet-magnetisch, zeer hoge sterkte;
- ▶ 1.4547 (UNS S32154); hoog Cr, Ni, Mo en N gehalte, relatief hogere sterkte en corrosieweerstand, o.a. in zeewater en in zwembaden.

tabel 4 Enkele kenmerken van nieuwe(re) ferritische en martensitische roestvaste staalkwaliteiten (in principe zijn minimale sterktewaarden opgenomen, 1 N/mm² = 1 MPa)

NEN-EN 10088	0,2% rekgrens N/mm ²	Treksterkte N/mm ²	Product	Toepassingen
(1.4016)	(260 *)	(450)	Dunne plaat, strip	Huishoudelijke apparaten, decoratie, automobielen, branders
1.4512	220 *	380		Huishoudelijke apparaten, warmtewisselaars, automobielen (uitlaat), landbouw
1.4510	240 *	420		Warmtewisselaars, boilers, automobiel (uitlaat), branders
1.4521	300 *	400		
1.4313	600	820	Dik	Olie- en gasindustrie

* Minimum waarden voor warmgewalst materiaal; in de koudgewalste conditie zijn de rekgrenzen ca. 10 tot 40 % hoger

tabel 5 Enkele kenmerken van nieuwere soorten warmgewalst austenitisch roestvast staal

NEN-EN 10088	0,2 % rekgrens N/mm ²	Treksterkte N/mm ²	Toepassingen
(1.4301)	(210)	(520)	Huishoudelijke apparaten, voeding, transport, enz.
1.4310	250	600	Huishoudelijke apparaten, voeding, transport, enz.
1.4318	350	650	Voertuigen, constructies
1.4372	350	750	Voertuigen, constructies
1.4307	200	500	Voeding, chemie, tankers
1.4311	270	550	Voeding, chemie, cryogene techniek
1.4303	220	500	Dieptrekken, apparaten, automobiel
1.4406	280	580	Chemie, offshore, voeding, enz.
1.4432	220	520	Chemie, offshore, voeding, farmacie
1.4436	220	530	Chemie, offshore, voeding, farmacie
1.4435	220	520	Chemie, offshore, voeding, farmacie
1.4439	270	580	Chemie, offshore, voeding, farmacie
1.4539	220	520	Chemie, afgassen, zwavelzuur
1.4565	420	650	Chemie, gassen, zeewater, zwembad
1.4547	300	650	Chemie, gassen, zeewater, zwembad
1.4529	320	650	Chemie, gassen, zeewater, zwembad
1.4652	430	750	Chemie, rookkanalen, zeewater

- ▶ 1.4529 (UNS N08926); hoog Cr, Ni, Mo en N gehalte, hogere sterkte en corrosieweerstand, o.a. in zwembaden en in zeewater.
- ▶ 1.4652 (UNS S32654); zeer hoog Cr, Ni, Mo, N gehalte, hogere sterkte en corrosieweerstand in agressief milieu.

Omdat de superaustenitische roestvaste staalkwaliteiten moeilijker zijn te vervormen, zijn er grenzen aan de te bereiken minimale plaat- of stripdikte, en zullen deze kwaliteiten niet in hele dunne producten verkrijgbaar zijn.

Roestvast staal met verhoogde sterkte (UHS SS = Ultra High Strength Stainless Steel)

Door koudwalsen kan men band en strip van diverse roestvaste staalkwaliteiten verkrijgen met zeer hoge sterkten. Een overzicht is gegeven in tabel 6. De leverbare dikten zijn doorgaans 0,4 tot 3,0 mm, de maximaal te leveren breedte kan 1000 tot 1300 mm bedragen. De band of strip heeft nog voldoende rek over voor verdere productiestappen. Wel moeten daarbij grotere buigstralen worden toegepast (minimaal 2x de plaatdikte) en moet men rekening houden met meer terugvering. Naast de aanduidingen in de tabel zijn er kwaliteiten leverbaar, met een vloeigrens/treksterkte tot 1800 of zelfs 2000 N/mm² (bijvoorbeeld Hytens®). De vervormingsmogelijkheden hiervan zijn evenwel beperkt. Als aan de koudgewalste staaltypen wordt gelast, neemt de sterkte ter plaatse van de las en in de warmtebeïnvloede zone af tot het oorspronkelijke niveau.

Superaustenitisch roestvast staal voor temperaturen tot ca. 1000 °C

Deze kwaliteiten hebben ook na het lassen een vrijwel volledig austenitische structuur. Kenmerken zijn de zeer hoge corrosie- en oxidatieweerstand, alsmede de hogere sterkte (tabel 7 en 8). De vervormbaarheid is goed, maar vereist meer kracht (en dus vermogen van het gereedschap) en er moet rekening worden gehouden met meer terugvering.

Enkele kenmerken zijn:

- ▶ 1.4948 (AISI 304H); standaard hittevast staal met nog beperkte sterkte en oxidatieweerstand;
- ▶ 1.4818 (UNS S30415); hittevast staal met verhoogde sterkte en verbeterde oxidatieweerstand in hete gassen;
- ▶ 1.4833 (AISI 309S); hittevast staal met beperkte sterkte en goede oxidatieweerstand in hete gassen;
- ▶ 1.4835 (UNS S30815); hittevast staal met hoge sterkte en sterk verbeterde oxidatieweerstand in hete gassen;
- ▶ 1.4841 (AISI 314/310), 1.4845 (AISI 310S); standaard hittevast staal met goede sterkte en oxidatie weerstand;
- ▶ 1.4854 (UNS S35315); hittevast staal met hoge sterkte en uitstekende oxidatie weerstand in allerlei hete gassen.

Hoewel dunne strip en plaat leverbaar is vanaf ca. 0,4 mm, worden deze kwaliteiten meestal ingezet in robuuste apparaten in grotere dikten.

tabel 6 Enkele kenmerken van sterk koudvervormd roestvast staal in verschillende kwaliteiten

Aanduiding NEN-EN 10088	Treksterkte N/mm ²	ASTM	Rek ¹⁾	1.4310	1.4318	1.4301	1.4541 1.4401 1.4571	1.4372
C700	700-850	1/8 hard	~ 45 %	X		X	X	
C850	850-1000	¼ hard	~ 35 %	X	X	X	X	X
C1000	1000-1150	½ hard	~ 30 %	X	X	X		X
C1150	1150-1300	¾ hard	~ 20 %	X		X		X
C1300	1300-1500	hard	~ 12 %	X		X		X
C1500 ²⁾	1500-1800		Beperkt					X

1) Typische waarden

2) Deze en hogere sterkten zijn overeen te komen

tabel 7 Enkele kenmerken (minimum waarden bij 20 °C) van roestvast staal voor hoge temperaturen

NEN-EN 10088	0,2% rekgrens ¹⁾ N/mm ²	Treksterkte ¹⁾ N/mm ²	Toepassingen
1.4948	190	510	Ovens, chemie, verbranding
1.4818	290	600	Ovens, chemie, verbranding
1.4833	210	500	Max. temp. lucht 1000 °C
1.4835	310	650	Max. temp. lucht 1150 °C
1.4841	230	550	Max. temp. lucht 1150 °C
1.4845	210	500	Max. temp. lucht 1050 °C
1.4854	300	650	Max. temp. lucht 1175 °C

1) Minimum waarden voor warmgewalst materiaal; in de koudgewalste conditie zijn de rekgrens en treksterkte hoger. Voor warmgewalst materiaal zijn de minimaal te bereiken rekpercentages 50% of hoger

tabel 8 Enkele sterktecijfers voor kruip van hittevast roestvast staal bij hoge temperaturen. Gegeven is de spanning die leidt tot 1% rek resp. breuk na 10.000 en 100.000 uur. (- betekent dat er geen gegevens beschikbaar waren)

Materiaal	N/mm ² 1% rek 10.000 uur				N/mm ² 1% rek 100.000 uur				N/mm ² max. 10.000 uur				N/mm ² max. 100.000 uur			
	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
1.4948	-	-	-	-	74	22	-	-	-	-	-	-	89	28	-	-
1.4818	-	-	-	-	80	26	9	3	-	-	-	-	88	35	14	5
1.4833	80	25	10	4	35	12	-	-	120	36	18	8,5	65	16	7	3
1.4835	-	-	-	-	80	26	11	6	-	-	-	-	88	35	15	8
1.4841	105*	37*	12	5,7	-	-	-	-	160*	40*	18	8,5	-	-	-	-
1.4845	105	37	12	5,7	45	-	-	-	160	40	18	8,5	80	18	7	3
1.4854	-	-	-	-	52	21	10	5	-	-	-	-	80	36	18	9

* niet bij deze temperaturen gebruiken i.v.m. verbrossing

Als staal bij hogere temperaturen (vanaf ca. 350 °C) mechanisch wordt belast, kan er zeer langzaam een blijvende plastische vervorming optreden; dit fenomeen wordt kruip genoemd. Superaustenitisch roestvast staal voor hogere temperaturen heeft een goede weerstand tegen kruip bij hoge temperaturen. Voor een aantal staalkwaliteiten zijn kruipsterkten bij hoge temperaturen, voorzover beschikbaar, gegeven in tabel 8.

5.4 Duplex roestvast staal

Naast het standaard type 1.4462 zijn er de laatste jaren nieuwe kwaliteiten duplex roestvast staal op de markt gekomen, die zich uitstekend lenen voor toepassingen, waarbij de sterkte benut kan worden om dunner te construeren. Uit het oogpunt van gewicht en prijs kan dit erg aantrekkelijk zijn.

Enkele typen zijn samen met het 1.4462 gegeven in tabel 9.

- ▶ 1.4362, is een aantrekkelijk alternatief voor standaard 1.4301 (1.4401), daar waar goede weerstand tegen chloridespanningscorrosie en sterkte gewenst zijn.
- ▶ 1.4410, is een zogenaamd superduplex roestvast staal, en heeft t.a.v. het standaard duplexstaal een superieure corrosieweerstand en sterkte.

Nieuwe kwaliteiten met verhoogd mangaan en een lager nikkelgehalte zijn in ontwikkeling met name voor constructieve toepassingen.

Duplex roestvast staal is inzetbaar tot ca. 280 °C. Daarboven ontstaan er uitscheidingen in de microstructuur, waardoor het materiaal bros wordt.

6 Kiezen van een roestvaste staalkwaliteit

Primair bij de keuze van een roestvast staal is uiteraard de vereiste weerstand tegen corrosie, waardoor in de toepassing een lange levensduur (duurzaamheid) en een gering onderhoud worden gewaarborgd. Voor decoratieve toepassingen zullen er tevens eisen gesteld worden aan het uiterlijk en de reinigbaarheid, terwijl in constructieve toepassingen onder andere de sterkte van belang is.

De volgende zaken moet men bij de keuze meewegen:

- ▶ Binnen- of buitentoeassing (vocht, temperatuur, vervuiling, chemicaliën, roet, uitlaatgassen, enz).
- ▶ Esthetische/visuele delen, met eisen aan oppervlaktekwaliteit, uiterlijk, en onderhoud.
- ▶ Constructief dragende delen, met eisen aan de sterkte.
- ▶ Is inspectie mogelijk en gewenst? Is onderhoud mogelijk en gewenst c.q. noodzakelijk?
- ▶ Is er sprake van thermische belasting, zijn uitzettingsverschillen en spanningen kritisch?

tabel 9 Enkele kenmerken van nieuwere duplex roestvaste staalkwaliteiten

NEN-EN 10088	0,2% rekgrens (N/mm ²)	Treksterkte (N/mm ²)	Toepassingen o.a.
1.4362	400 *	600	Apparaten, warmtewisselaars.
1.4462	460 *	660	Warmtewisselaars, tanks, rotoren
1.4410	530 *	750	Apparaten, zeewater, rookgassen

* Het betreft warmgewalst materiaal, in de koudgewalste conditie zijn de rekgrenzen minimaal 20 N/mm² hoger. Voor warmgewalst materiaal zijn de minimaal te bereiken rekpercentages ca. 35% of hoger

- ▶ De verkrijgbaarheid (materiaaltype, productvorm, oppervlaktekwaliteit) en prijs.
- ▶ Is er ervaring met vergelijkbare producten onder vergelijkbare omstandigheden?
- ▶ Moet er aan het materiaal gelast worden?
- ▶ Moet het materiaal vervormd kunnen worden?
- ▶ Moet het materiaal verspaand kunnen worden?

Voor buitentoepassingen geeft ENV 1993-1-4:1996 de mogelijkheid een roestvast staal te kiezen op grond van de te verwachten corrosiebelasting. Echter gebleken is dat de uitkomst te optimistisch is. Daarom is voor Nederland een richtlijn opgesteld [ref. 1] waardoor een beter gefundeerde keuze gemaakt kan worden (tabel 10).

In de tabel zijn alleen de voor binnen- en buitentoepassing meest gangbare roestvaste staalkwaliteiten opgenomen. In Nederland wordt voor buitentoepassingen roestvast staal geadviseerd, waarvan de corrosieweerstand minimaal gelijk is aan de corrosieweerstand van EN 1.4401 (AISI 316-type). Met name bij esthetische-/visuele delen moet de specificatie zowel het materiaaltype als de oppervlaktekwaliteit bevatten. (De martensitische kwaliteiten, die in het algemeen een beperkte corrosieweerstand hebben en niet geschikt zijn voor langdurige toepassing in een vochtige omgeving, zijn hier buiten beschouwing gelaten).

tabel 10 Keuzematrix voor toepassing van roestvaste staalkwaliteiten in de Nederlandse situatie

Materiaalstructuur		Ferritisch			Austenitisch												Duplex					
Materiaalnummer (EN nr.)		1.4003	1.4512	1.4016	1.4301	1.4306	1.4311	1.4318	1.4541	1.4401	1.4436	1.4404	1.4406	1.4435	1.4571	1.4439	1.4529	1.4539	1.4547	1.4462	1.4362	
AISI/UNS aanduiding		-	409	430	304	304L	304LN	301LN	321	316	316	316L	316LN	316L	316Ti	317LMN	-	904L	S31254	S31803/3/205	UNS S32304	
Toepassing																						
Binnen	Constructief	Droog, ongelast	○	○	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	
		Droog, gelast	○	○	-	-	○	○	○	○	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○
		Nat, schoon, ongelast	○	○	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○
		Nat, schoon, gelast	○	○	-	-	○	○	○	○	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○
	Esthetisch	Droog, ongelast	○	○	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○
		Droog, gelast	○	○	-	-	○	+	+	○	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Nat, schoon, ongelast	○	○	○	○	○	+	+	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Nat, schoon, gelast	○	○	-	-	○	+	+	○	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Buiten	Constructief	Nat, schoon, ongelast	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	○	-
		Nat, schoon, gelast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	+	+	+	+	○	-
		Nat, vuil, ongelast	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	○	-
		Nat, vuil, gelast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	+	+	+	+	○	-
	Esthetisch	Nat, schoon, ongelast	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	○
		Nat, schoon, gelast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	+	+	+	+	+	○
		Nat, vuil, ongelast	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	○
		Nat, vuil, gelast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	+	+	+	+	+	○
Spouw	Constructief	Nat, ongelast, < 50°C	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	○	○	
		Nat, gelast, < 50°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	+	+	+	+	○	○
		Nat, ongelast, > 50°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-
		Nat, gelast, > 50°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-
Extreem o.a. Cl ⁻	Algemeen	Nat, ongelast, < 50°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-	
		Nat, gelast, < 50°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-
		Nat, ongelast, > 50°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	-
		Nat, gelast, > 50°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	-

Gebruikte symbolen: - af te raden, gelet op corrosieweerstand en lasbaarheid
○ geschikte keuze
+ uitstekend (geeft extra corrosieweerstand)

Naarmate de omstandigheden zwaarder zijn, worden kwaliteiten aanbevolen die een hoger gehalte aan legeringselementen bevatten, waardoor ze een hogere weerstand hebben tegen corrosie.

Naast duurzaamheid uit het oogpunt van corrosie, moet ook gelet worden op:

- Sterkte, bijvoorbeeld voor bevestigingsmiddelen, lateien, profielen, goten, wapening, buizen, enz.
- Esthetische aspecten, van belang voor gevelbekleding, deuren, kozijnen, trappen, leuning, enz.

Houdt bij de keuze ook rekening met vervuiling (roet, SO₂, zout water, pekkel) en de temperatuur. De nabijheid van spoorlijn of trambaan kan leiden tot contaminatie met ijzerdeeltjes. Selecteer eventueel een hoger gelegeerd roestvast staal voor plaatsen waar een agressief milieu aanwezig is en/of die moeilijk te onderhouden zijn en/of die niet door regenwater gespoeld worden. Ophoping van vuil moet worden voorkomen.

Bij binnentoepassingen kan het zwaartepunt liggen bij een van de volgende aspecten:

- Sterkte, duurzaamheid, uitstraling (trappen, liften, hang- en sluitwerk, ankers, profielen, beugels).
- Reinigbaarheid, hygiëne (huishouding, voedselbereiding, ziekenhuizen, enz.).

Gaat het vooral om sterkte in een droge omgeving, dan kan ferritisch roestvast staal een goede rol vervullen. Keukens, wasruimten, en spouwen (condens moeten als nat aangemerkt worden; meestal kan men volstaan met standaard EN 1.4301 (~ AISI 304) of EN 1.4401 (~ AISI 316). Vervuiling kan een regelmatige, vaak eenvoudige reiniging noodzakelijk maken. Voor natte toepassingen bij hogere temperaturen en chloor (bijv. zwembaden), en zeker indien hoge eisen worden gesteld aan de sterkte en de weerstand tegen spanningscorrosie (ophangingen), worden staalkwaliteiten geadviseerd die beter bestand zijn, zoals typen 1.4529, 1.4539 en 1.4547 (met minimaal 20% chroom, 18% nikkel, en 4,5% molybdeen). In voorkomende gevallen wordt aanbevolen om deskundig advies in te winnen.

7 Productvormen en afmetingen

7.1 Gewalste producten en oppervlak

Het walsen van roestvast staal tot halfproducten gebeurt in de staalfabriek. Door het walsen van plaat in één richting ontstaat een voorkeursoriëntatie van het staal, waarbij kristallen, inluitsels en andere onregelmatigheden, in de langsrichting worden vervormd. Hierdoor zullen de eigenschappen in de langsrichting en de richting dwars daarop verschillen. Dit kan gevolgen hebben voor bewerkingen die volgen, zoals buigen.

Het oppervlak

Bij roestvast staal is het oppervlak van groot belang zowel voor het uiterlijk, als voor de weerstand tegen corrosie. Een overzicht van gewalste producten en hun oppervlaktekwaliteit is gegeven in tabel 11. De verkrijgbare afmetingen zijn afhankelijk van de productiefaciliteiten en kwaliteit. Plaat wordt in koud nagewalste toestand met verschillende oppervlaktebewerkingen aangeboden. Het oppervlak van halffabrikaten kan door de leverancier worden nabewerkt (slijpen, borstelen, walsen met gepolijste rollen of een patroon). De verschillende oppervlaktecondities zijn beschreven in NEN-EN 10088-2.

Gelet op corrosie verdient het aanbeveling een zo glad mogelijk oppervlak te kiezen. Op gladde oppervlakken zal vuil minder goed hechten, terwijl het reinigen makkelijker gaat. Sommige leveranciers leveren speciale maten van zijdeglans uitvoeringen, met als kenmerk dat de oppervlakken minder vervuilen of gemakkelijker te reinigen zijn (bijvoorbeeld HyClean Superbrush®).

In plaatvorm wordt roestvast staal met een speciale oppervlaktebehandeling meestal voorzien van een beschermende folie. Er worden verschillende folies gebruikt, waaronder:

1. Transparant blauw, dikte 65 / 80 micron.
2. Zwart/wit, dikte 80/100 micron, evt. bedrukt, bestand tegen UV, geschikt voor lasersnijden.
3. Wit (met blauwe strepen in walsrichting), 90 micron, goed bestand tegen UV, geschikt voor lasersnijden, minder lijmresten op het roestvast staal.

tabel 11 Productieproces, aanduiding oppervlaktekwaliteit (EN), en indicatieve afmetingen van vlakke producten (afhankelijk van productiefaciliteiten)

Product	Proces	Symbool	Oppervlaktekwaliteit	Dikte (mm)	Breedte (mm)
Plaat, band	Warmgewalst	1U / 1C	Ruw / warmtebehandeld	2,0-15,0	Tot 2000
		1E / 1D	Warmtebehandeld/ mech. bewerkt / gebeitst		
	Koudgewalst	Diversen	Diversen (zie dunne plaat)	3,0-8,0	Tot 2000
Dunne plaat, strip, band	Koudgewalst	2H	Koudverstevigd, blank	0,3-6,0	Tot 2000
		2C	Warmtebehandeld	0,3-6,0	Tot 2000
		2E	Warmtebehandeld, mech. bewerkt	0,3-6,0	Tot 2000
		2D	Warmtebehandeld, gebeitst	0,3-6,0	Tot 2000
		2B	Warmtebehandeld, gebeitst, koud nagewalst	0,3-6,0	Tot 2000
		2R	Blank gegloeid	0,1-2,0	Tot 1250
		2Q	Gehard + ontlaten, bewerkt	0,3-6,0	Tot 2000
Dunne plaat, strip, band	Warmgewalst of koudgewalst met speciale afwerking	1G / 2G	Geslepen	0,4-2,0	Tot 1500
		1J / 2J	Geborsteld of mat gepolijst	0,4-2,0	Tot 1500
		1K / 2K	Zijdemat gepolijst	0,4-5,0	Tot 1500
		1P / 2P	Blank gepolijst	0,4-5,0	Tot 1500
		2F	Gegloeid, nagewalst (opgeruwde wals), mat	Overleg	Overleg
		1M / 2M	Patroon gewalst, glad	0,1-3,0	Tot 1350
		2W	Golfplaat	Overleg	Overleg
		2L	Geverfd	Overleg	Overleg
		1S / 2S	Oppervlak bekleed	Overleg	Overleg

Identificatie en markering

Ten behoeve van de herleidbaarheid naar certificaat/fabrikant en i.v.m. productaansprakelijkheid, behoort roestvast staal gemarkeerd te zijn, zie de normen EN 10204 en EN 10088. Dit kan met bestaande markeringsmethoden, met attentie voor de volgende punten:

- De markering mag geen schade veroorzaken en niet etsen.
- Markeerstiften, inkten, stickers, lijmen, enz. mogen geen chloriden of fluoriden bevatten.
- Slagletters/stempels kunnen spanningen en corrosie geven, en zijn esthetisch ongewenst.

Het moet duidelijk zijn waaruit een markering bestaat (materiaalaanduiding, batchnummer, enz.), en waar die op het product moet worden geplaatst. Bij plaat voor decoratieve toepassingen vindt markering bij voorkeur plaats op de achterzijde. Bij gewalste producten kan ook de walsrichting worden aangegeven. Markeringen kunnen eventueel op beschermfolie worden aangebracht, maar met de folie wordt de markering verwijderd! Dit heeft dus ten aanzien van herleidbaarheid weinig zin.

7.2 Strip en folie met nauwkeurige toleranties

Een belangrijke toepassing in allerlei apparaten is precisie strip of folie. In austenitisch roestvast staal is een ruime keuze aan strip beschikbaar. De afmetingen die verkrijgbaar zijn variëren van 0,03 mm tot 1,2 mm dikte en 3,5 mm tot 450 mm in breedte.

Voorbeelden van staalkwaliteiten zijn (zie ook tabel 3):

- ▶ 1.4818, 1.4835, 1.4854; deze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt bij brandertoepassingen;
- ▶ 1.4438 (AISI 317L), 1.4539 (AISI 904L), 1.4547, 1.4652; deze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt voor warmtewisselaars onder corrosieve condities.

Strip uit martensitisch roestvast staal wordt o.a. gebruikt voor: messen, chirurgische instrumenten, penklemmen, industriële messen en platen, klemmen, enz. Voor speciale doeleinden is zeer nauwkeurige en fijnbewerkte speciale strip leverbaar (bijvoorbeeld 'Silver Fox 100' voor scheerapparaten).

Het harden van de halfproducten kan bij hoge doorvoersnelheden plaatsvinden, de maatvastheid na afschrikken is uitstekend en de te bereiken hardheden zijn hoog.

Folies zijn verkrijgbaar zowel in austenitisch als in ferritisch roestvast staal.

Fabrikanten zijn in staat uit roestvast staal zeer dunne folie te produceren tot zelfs 0,03 mm.

Redelijk nieuw op de markt zijn lasergelaste profielen. Voordelen hiervan zijn de grote vormvrijheid en de leverbaarheid van relatief kleine hoeveelheden.

8 Bewerken van roestvaste staalkwaliteiten

8.1 Het uitvoeren van bewerkingen

Dunne plaat uit roestvast staal wordt veel verwerkt in producten waarbij aan het uiterlijk hoge eisen worden gesteld. Het is daarom van belang om producten uit roestvast staal tijdens opslag, transport, en verwerking, te beschermen tegen beschadiging en vervuiling. Richtlijnen voor transport, opslag en montage zijn gegeven in 'NEN-EN-1011-3: 2000 en'. Voor het lassen wordt verwezen naar 'Aanbevelingen voor het lassen van metalen; Deel 3: Booglassen van corrosievaste staalsoorten'.

Voorzorgsmaatregelen tot behoud van kwaliteit

Maatregelen die kunnen worden genomen zijn o.a.:

- ▶ Gebruik van kunststof of houten kratten en pallets (spijkers verzonken), kunststof latten, steunen, bekledingen, tussenlagen, noppenfolie, plakfolie, enz.
- ▶ Platen, buizen en lange producten moeten goed worden ondersteund, omdat anders vervormingen op kunnen treden.
- ▶ Het vermijden van vervuiling (contaminatie). In het algemeen kan worden gesteld, dat roestvast staal in schone ruimten moet worden verwerkt. IJzerdeeltjes, vliegroeest, roet en chloor bevattende middelen kunnen aanleiding geven tot aantasting van het oppervlak. Gebruik geen chloorhoudende viltstiften.
- ▶ Contact met andere metalen, in het bijzonder koolstofstaal, moet worden vermeden. De contaminatie die daarbij ontstaat kan later (galvanische) corrosie bevorderen. Materialen voor gereedschappen en hulpmiddelen die geschikt zijn voor roestvast staal zijn: aluminiumbrons (voor relatief kleine series), hardmetaal (voor massafabricage) en gereedschapsstaal (bijvoorbeeld 1.2379), bij voorkeur voorzien van een niet-metallische laag (nitreerlaag, titaannitridelaag, e.d.). Buig gereedschappen worden vaak gemaakt van het veredelstaal 42CrMo4 + QT, dat vervolgens wordt genitreerd.
- ▶ Bij het be- en verwerken van roestvast staal moet er tevens voor worden gezorgd, dat de gereedschappen alleen voor roestvast staal worden gebruikt en niet ook voor bijvoorbeeld ongelegeerd staal.

8.2 Het lassen van roestvast staal

De Vereniging FME-CWM heeft in de loop der jaren een groot aantal VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen uitgegeven (zie websites). Het project "Dunne Plaat Online" gaat over verbindingstechnologieën voor dunne plaat en buis en bevat een keuzematrix voor verbindingstechnieken. Te downloaden zijn onder andere:

- ▶ Verbinden van dunne plaat en buis (TI.03.13);
- ▶ Lasprocessen voor dunne plaat en buis (TI.03.14);
- ▶ Lijmprocessen voor dunne plaat en buis (TI.03.15);
- ▶ Mechanische verbindingen voor dunne plaat en buis (TI.03.16);
- ▶ Soldeerprocessen voor dunne plaat en buis (TI.03.17).

De meest toegepaste techniek voor het verbinden is het lassen. De meeste roestvaste staalkwaliteiten kunnen zonder problemen worden gelast. Het lasbaar zijn heeft altijd te maken met de metallurgische eigenschappen van het materiaal enerzijds, en het gekozen lasproces anderzijds.

De volgende normen geven aanbevelingen voor het lassen van roestvast staal: NEN-EN 1011-3:2000L en de ISO 14343:2002 (lastoevoegmaterialen). Veel informatie is te vinden in brochures van leveranciers, in handboeken als "Metals Handbook", en de voorlichtingspublicatie VM 42 (Lassen van roest- en hittevast staal).

Lasprocessen

Er zijn vele lasprocessen geschikt voor het verbinden van roestvast staal, elk met voor- en nadelen en specifieke toepassingsgebieden. Daarom is het van belang een deskundige te raadplegen.

De lasprocessen, geschikt voor het lassen van dunne plaat uit roestvast staal, zijn te verdelen in smeltlassen en druklassen (zie tabel 12).

tabel 12 Overzicht van smelt- en druklastechnieken voor het lassen van dunne plaat uit roestvast staal

Smeltlassen	Druklassen
<ul style="list-style-type: none">▶ Booglassen met beklede elektroden – Bmbe (MMA = Manual Metal Arc Welding)▶ TIG lassen (TIG = Tungsten Inert Gas Welding)▶ MAG massieve draad lassen (Metal Active Gas)▶ Laserlassen (CO₂ laser, Nd:YAG laser, Hoogvermogen Diodelaser)▶ Plasmalassen (PAW = Plasma Arc Welding)	<ul style="list-style-type: none">▶ Weerstandlassen▶ Wrijvingslassen▶ Stiflassen

Alle lasprocessen zijn opgenomen in de NEN-EN 24063. In deze norm hebben de lasprocessen een nummer dat ook op de tekening kan worden vermeld. Kenmerken van lasprocessen, die vooral in aanmerking komen voor dunne plaat en constructiedelen uit roestvast staal, zijn gegeven in tabel 13.

Voor het lassen van dunwandig roestvast staal zijn de meest gebruikte technieken: TIG lassen, MAG lassen, laserlassen en weerstandlassen.

TIG lassen (zie voorlichtingspublicatie VM 81)

Voor dunwandig RVS (<3 mm) wordt het TIG proces veel toegepast. Om oxidatie te vermijden, wordt als beschermgas argon gebruikt. Indien mogelijk, moet ook de achterzijde van het werkstuk worden beschermd met 'backinggas' (argon of stikstof-waterstof). Bij stikstofhoudend roestvast staal kan toevoeging van stikstof aan het beschermgas nodig zijn voor het behoud van de mechanische eigenschappen en de corrosieweerstand.

MAG lassen (zie voorlichtingspublicatie NIL 'MIG/MAG lassen' en VM d1)

Voor het lassen van grotere materiaaldikten (> 3 mm) is het MAG lassen een veel economischer proces dan het TIG lassen. Bij MAG lassen wordt bij voorkeur O₂ en/of CO₂ toegevoegd (maximaal 3%) aan het beschermgas, ter bevordering van de laskwaliteit. Ook 'backinggas' is gewenst (argon of stikstof-waterstof). Naast het MAG lassen met massieve draad, kunnen ook gevulde draden worden gebruikt voor het lassen van roestvast staal (hogere neersmeltsnelheid).

Laserlassen (zie praktijkbeveling PA.02.12 en voorlichtingspublicatie VM 121)

Het laserlassen is uitermate geschikt voor dunwandig roestvast staal. Bij voorkeur wordt gelast zonder lastoevoegmateriaal. Door de hoge energiedichtheid kunnen zeer smalle lassen met lage warmte-inbreng worden gerealiseerd. Dit is gunstig voor de uiteindelijke kwaliteit (kleine vervorming, optimale sterkte en corrosieweerstand) van het product. Aan de laszijde wordt als beschermgas argon of argon-helium gebruikt; ook 'backing gas' is gewenst (argon of stikstof-waterstof). Met een laser kan een dusdanig hoge kwaliteit worden bereikt, dat een nabehandeling van de las of het product vaak niet nodig is. Veel gebruikte lasers voor het lassen van roestvast staal zijn de CO₂ laser, de Nd:YAG laser en de hoogvermogen Diode Laser.

Weerstandlassen (zie voorlichtingspublicatie NIL 'Dunne plaat, weerstandlassen')

Vanwege de hoge elektrische weerstand en de lage warmtegeleiding van roestvast staal zijn lagere stroomsterkten nodig dan bij het lassen van ongelegeerd staal en is weerstandlassen op zich erg geschikt. Echter het toepassen van weerstandlassen, in het bijzonder punt-

lassen, is bij roestvast staal beperkt tot relatief droge toepassingen. Dit komt, doordat de gelaste onderdelen, in een vochtige omgeving, gevoelig kunnen zijn voor spleetcorrosie. Een ander belangrijk punt is niet beitsen: na weerstandlassen kunnen beitsresten in spleten ernstige corrosie veroorzaken. Dit laatste geldt overigens voor alle verbindingen, waarbij na het verbinden een spleet tussen de te verbinden delen aanwezig is.

Nieuwe(re) lasprocessen voor roestvast staal

- ▶ **Laserlassen met een hoogvermogen Diode Laser**
De grotere bundeldiameter (circa 0,8 x 2 mm) is bij uitstek geschikt voor het maken van afsmeltlassen, waardoor minder nauwkeurig voorbereid hoeft te worden. Veel wordt verwacht van de net op de markt zijnde Nd:YAG schijflaser met een zeer goede bundelkwaliteit, en hoge vermogens.
- ▶ **Plasmalassen** is, naast dik materiaal (tot 12 mm), ook geschikt voor heel dun materiaal (tot 0,01 mm). De ingesnoerde lasboog heeft een hogere temperatuur en grotere energiedichtheid vergeleken met TIG lassen. Hierdoor kan met hogere lassnelheden worden gelast. De laatste jaren is de kwaliteit van TIG stroombronnen zodanig verbeterd, dat met name in het lage stroomsterkte gebied het TIG lassen het plasmalassen qua mogelijkheden benadert.
- ▶ **Poederplasmalassen** (PPAW of PTA) is een variant van het plasmalassen, waarbij, in plaats van een koude lasdraad, poeder wordt gebruikt voor het opvullen van de lasnaad. Het poeder biedt een grote vrijheid voor de te kiezen samenstelling van het lasmetaal. Tevens kan de hoeveelheid poeder zeer nauwkeurig worden gedoseerd, waarmee nabewerking van de lasnaad (overdikte) kan worden beperkt.

Alle genoemde lasprocessen zijn in principe ook geschikt voor nieuwe roestvaste staalkwaliteiten.

Lasuitvoering (zie ook praktijkbeveling LM.94.05)

Voor het behoud van eigenschappen van het roestvast staal zijn de volgende punten, die in lasprocedures en lasmethodekwalificaties moeten worden opgenomen, erg belangrijk:

- ▶ Kies de juiste laskantvoorbewerking en let op goede toegankelijkheid (ontwerp).
- ▶ Reinigen: verwijderen van vet, olie, stof en markeringen voorafgaande aan het lassen.
- ▶ Gebruik bij gasbooglasprocessen altijd beschermgas aan de proceszijde en, indien mogelijk, ook aan de achterzijde van de las (backinggas), zowel tijdens het lassen als bij afkoeling. Bij buisvormige producten kan het uitstromende gas eenvoudig gecontroleerd worden op een laag zuurstofgehalte (sensor).
- ▶ Beperking van de warmte-inbreng door juiste snelheid en/of stroomsterkte. Teveel warmte kan leiden tot oxidatie, kromtrekken en verlies aan sterkte. In de praktijk betekent dit: sneller lassen, of met een lagere stroomsterkte lassen, in vergelijking tot ongelegeerd staal.

tabel 13 Toepasbaarheid van lasprocessen op (dunne) plaat en constructiedelen uit roestvast staal

Procesnummer	Proces	Materiaaldikte ¹⁾	Laspositie	Fabriek, bouwplaats
111	Bmbe	≥ 3 mm	Alle	Alle
141	TIG	0,5-3 mm (+ grondnaden)	Alle	Alle ²⁾
15	MAG	≤ 8 mm (+ grondnaden)	Alle	Alle ²⁾
5	Laser	0,2-3 mm	Afhankelijk	Fabriek
15	Plasma	Diversen	Afhankelijk	Fabriek
121	Onder poeder	≥ 3 mm	Horizontaal	Fabriek
2	Weerstand ³⁾	0,2-3 mm	Alle	Fabriek

1) Afhankelijk van type verbinding

2) Weersafhankelijk, bescherming nodig

3) Puntlassen, rolnaadlassen

- ▶ Nieuwe roestvaste staalkwaliteiten vragen (soms) om nieuwe aangepaste procedures om de goede eigenschappen (hoge sterkte, corrosieweerstand) te behouden.
- ▶ Bij de meeste lasprocessen is een nabehandeling van de las noodzakelijk, zoals verwijderen van eventuele spatten en verkleuring (zie verder).
- ▶ Maak bij het gemechaniseerd lassen altijd gebruik van een kratervulschakeling.

Lastoevoegmaterialen voor roestvaste staalkwaliteiten (zie voorlichtingspublicatie VM 42)

Bij het lassen van roestvast staal kan een lastoevoegmateriaal (elektroden/draad) noodzakelijk zijn. Dunwandig roestvast staal kan bij de meeste kwaliteiten ook zonder toevoegmateriaal worden gelast.

Omdat er in de praktijk vaak meerdere mogelijkheden zijn voor de combinatie lasproces met het lastoevoegmateriaal wordt geadviseerd de leverancier of een andere deskundige te raadplegen.

De keuze van een lastoevoegmateriaal dient gebaseerd te zijn op de volgende richtlijnen:

- ▶ Toevoegmaterialen moeten een passende corrosieweerstand geven. De samenstelling moet minimaal gelijk zijn aan het te lassen basismateriaal (vanwege de vele roestvaste staalkwaliteiten geldt dit echter niet altijd).
- ▶ De 0,2% rekgrens en treksterkte dienen minimaal gelijk te zijn aan het basismateriaal.
- ▶ Eisen en bijzonderheden van lastoevoegmaterialen zijn te vinden in de NEN-EN 1600; NEN-EN 12072 en NEN-EN 12073. In de EN aanduiding wijzen de eerste getallen op de gehalten van de belangrijkste legeringselementen chroom, nikkel en molybdeen. De letters ervoor verwijzen naar het proces (W = TIG; G = MAG; E = Elektrode). De AWS verwijst naar de Amerikaanse AISI aanduidingen.

Bij sommige lasprocessen (TIG, Plasma) is het mogelijk zonder lastoevoegmateriaal te lassen. De vuistregel is hier, dat dit alleen is toegestaan als het gaat om afdichtingslassen en niet om op sterkte belaste lassen. Verder geldt dit alleen voor de traditionele roestvaste staalsoorten en is bij nieuwe roestvaste staalsoorten voorzichtigheid geboden. Bij het lassen van ongelijksoortige verbindingen (bijv. zwart/wit) is altijd lastoevoegmateriaal noodzakelijk.

Lasbaarheid van roestvast staal (zie voorlichtingspublicatie VM 42).

Voorbeelden van mogelijke combinaties van basismateriaal en lastoevoegmaterialen zijn gegeven in tabel 14. Benadrukt wordt dat dit een zeer beperkte selectie is. Er zijn vele lastoevoegmaterialen leverbaar, elk met zijn kenmerkende eigenschappen. Sommige materialen zijn tamelijk algemeen inzetbaar, anderen zijn vaak speciaal ontwikkeld voor specifieke toepassingen.

Ferritisch roestvast staal

De lasbaarheid van deze kwaliteiten kan beperkt zijn, omdat de door laswarmte beïnvloede zone gevoelig is voor korrelgroei, met als gevolg brosheid. De warmte-inbreng moet dus beperkt blijven. Ferritisch roestvast staal kan worden gelast met lastoevoegmateriaal dat hoger gelegen is. Het gevaar van warmescheuren kan hierbij worden beperkt door schoon te werken en krimpspanningen kunnen via ontwerp en werkvolgorde worden gereduceerd. Bij sommige toepassingen gebruikt men lastoevoegmateriaal met passende samenstelling, of materiaal geschikt voor duplex roestvast staal.

Martensitisch roestvast staal

Deze staalkwaliteiten hebben een relatief hoog koolstofgehalte ter verkrijging van een hard slijtvast materiaal. Doordat het relatief bros is en een beperkte rek kan verdragen, kunnen krimpspanningen bij het lassen tot scheuren leiden. Over het algemeen wordt geadviseerd niet aan martensitische chroomstalen te lassen. Martensitische chroomstalen met een laag koolstofgehalte worden wel zwakmartensitisch genoemd. Deze staalkwaliteiten, zoals bijvoorbeeld 1.4313, zijn redelijk lasbaar, zij het dat vaak een warmtebehandeling en gecontroleerde afkoeling nodig zijn. Het materiaal wordt meestal gebruikt voor dikkere producten.

Austenitisch roestvast staal

De meest gebruikte roestvaste staalkwaliteiten kunnen probleemloos met diverse lasprocessen worden gelast. Er kan zowel met als zonder lastoevoegmateriaal worden gelast. In het algemeen zal men een lastoevoegmateriaal met bijpassende samenstelling kiezen, of iets hoger gelegen (zie tabel 14). Qua sterkte is een '308 type' altijd superieur aan de basismaterialen, ook bij hogere temperatuur. Bij die toepassingen waarbij kruip (hoge temperatuur) een rol speelt, en in een enkel corrosief milieu, geniet een '347 type' de voorkeur. Dit type is echter gevoeliger voor warmescheuren.

Het lasmetaal moet 3 tot 10% ferriet bevatten om het optreden van warmescheuren te voorkomen. De relatief lage warmtegeleiding en de grote uitzettingscoëfficiënt stellen de volgende eisen, waarmee ook de nieuwere roestvaste staalkwaliteiten zich onderscheiden van koolstofstaal:

- Lassen met lage stroomsterkte of hoge lassnelheid (lage warmte-inbreng).
- De lasnaad moet een grotere openingshoek hebben, zodat de warmte kan worden afgevoerd; een scherpe V-naad wordt afgeraden.
- Een staand deel van 1 tot 1,5 mm wordt aangeraden.
- Keuze voor een grotere vooropening, en meer en zwaardere hechtlassen.
- De inbrandingsdiepte is minder groot dan bij ongeleerd staal.

tabel 14 Voorbeelden van te gebruiken lastoevoegmaterialen voor roestvaste staalkwaliteiten. Dit is een zeer beperkte selectie! Raadpleeg leveranciers in verband met eisen en mogelijkheden

Roestvast staal	Materiaalnummer (EN nr.)	Lastoevoegmateriaal		
		Samenstelling	NEN-EN 12072/NEN-EN 1600 ¹⁾	AWS 5.9 / AWS 5.4
Ferritisch	1.4016 (AISI 430)	23%Cr-12%Ni type Evt. overeenkomstig	W/G/E 23 12 L W/G/E 17	E/ER 309 type E/ER 430 type
Austenitisch	1.4306 (AISI 304L)	19%Cr-9%Ni 23%Cr-12%Ni	W/G/E 19 9 L W/G/E 23 12 L	E/ER 308 type E/ER 309 type
	1.4404 (AISI 316L)	19%Cr-12%Ni-3%Mo	W/G/E 19 12 3 L	E/ER 316 type
	1.4541 (AISI 321)	19%Cr-9%Ni	W/G/E 19 9 L	E/ER 308 type
	1.4550 (AISI 347)	19%Cr-9%Ni-Nb	W/G/E 19 9 Nb L	E/ER 347 type
Duplex	1.4539 (AISI 904L)	20%Cr-25%Ni-5%Mo	W/G/E 20 25 5 Cu L	E/ER 385 type
	1.4462 (UNS S31803)	22%Cr-9%Ni-3%Mo	W/G/E 22 9 3 N L	E/ER 2209 type
	1.4410 (UNS S32750)	25%Cr-9%Ni-4%Mo	W/G/E 25 9 4 N L	~ E/ER 2553 type

1) NEN-EN 12072: W = TIG; G = MAG; NEN-EN 1600: E = Elektroden

Bij de roestvaste staalkwaliteiten waarbij een laag ferrietgehalte van het lasmetaal wordt vereist (in verband met bijvoorbeeld de magnetische eigenschappen) moet een lasmetaal met extra mangaantoevoeging worden toegepast. De supraustenitische roestvaste staalkwaliteiten hebben een relatief hoog gehalte aan legeringselementen (chrom, molybdeen, nikkel), waardoor ze bij het lassen gevoelig zijn voor warmescheuren. Naast schoon werken is het nodig dat het lastoevoegmateriaal een laag gehalte aan verontreinigingen heeft, en dat wordt gelast met een lage warmte-inbreng (max. 1,5 kJ/mm). De benodigde lastoevoegmaterialen zijn eveneens hooggelegeerd (qua samenstelling minimaal overeenkomstig of speciaal).

Duplex roestvast staal

De lasbaarheid van de duplex roestvaste staalkwaliteiten is over het algemeen goed. Er wordt lastoevoegmateriaal gebruikt met een iets hoger nikkelgehalte en toevoeging van stikstof. Een te lage warmte-inbreng (<0,5 kJ/mm) moet worden vermeden, evenals een te hoge tussenlagentemperatuur (maximaal toelaatbaar 250 °C). In het algemeen is toevoegmateriaal vereist. Dunwandige delen kunnen wel zonder toevoegmateriaal worden gelast, onder gasbescherming met stikstof, en bij snelle afkoeling. Super duplex roestvast staal wordt in het algemeen voor dikkere producten gebruikt en heeft een hoger gehalte aan legeringselementen. Ook het lastoevoegmateriaal voor super duplex roestvast staal is overgelegeerd met nikkel en stikstof.

Overganglassen (voorlichtingspublicatie VM 115, in voorbereiding)

Het lassen van roestvast staal aan ongelegeerd staal is goed mogelijk. Belangrijk voor de kwaliteit van deze zogenoemde zwart/wit verbindingen (austeniet-ferriet) is de uiteindelijke chemische samenstelling van het lasmetaal. Naast de beide basismaterialen en het lastoevoegmateriaal speelt daarbij lasnaadvorm en opmenging een rol. De lastoevoegmaterialen worden gekenmerkt door:

- ▶ Een hoge oplosbaarheid voor legeringselementen ter vermijding van brosheid en scheuren.
- ▶ Een laag gehalte aan verontreinigingen (P, S) ter vermijding van warmescheuren,
- ▶ Ongevoelig voor verbrossing (carbidevorming) bij verblijf op hoge temperatuur.
- ▶ Een corrosieweerstand die past bij het meest edele staal.
- ▶ Mechanische eigenschappen die minimaal gelijk zijn aan het zwakste materiaal.

Voor het lassen van koolstofstaal aan austenitisch roestvast staal zijn er de volgende opties:

- ▶ Indien de toepassingstemperatuur beperkt blijft tot ca. 300 °C:
18%Cr-8%Ni-Mn, EN W/G/E 18 8 Mn, AWS ER/E 307 (hoger gelegeerd lastoevoegmateriaal is ook mogelijk).
- ▶ Indien tijdens bedrijf, of bij de warmtebehandeling na het lassen, de temperatuur van de verbinding boven 300 °C komt, gebruikt men een nikkelbasis lastoevoegmateriaal, zoals X12CrNi2520 of bijvoorbeeld X15NiCrNb3221.

Voor het lassen van koolstofstaal aan duplex roestvast staal zijn er opties als:

- ▶ 22%Cr-9%Ni-3%Mo, EN W/G/E 22 9 3 N L, AWS ER/E 2209
- ▶ 23%Cr-12%Ni, EN W/G/E 23 12 L, AWS ER/E 309L
- ▶ 23%Cr-12%Ni-2%Mo, EN W/G/E 23 12 2 L, AWS ER/E 309MoL

Het zonder toevoegmateriaal lassen van koolstofstaal aan roestvast staal is af te raden.

Is er sprake van een corrosief milieu, dan zou men, gelet op de kans van galvanische corrosie, lasverbindingen van verschillende materialen zoveel mogelijk willen vermijden. Eventueel kan men het ongelegeerde staal, de las, alsmede een deel van het roestvast staal goed conserveren.

8.3 Overige verbindingstechnieken voor roestvast staal

Mechanisch verbinden van roestvast staal (zie Tech-Info-blad TI.03.16)

Mechanische verbindingstechnieken worden veel toegepast op dunne plaat. Alle roestvaste staalkwaliteiten zijn door middel van bijna alle mechanische technieken te verbinden. Het voorbehandelen van onderdelen is meestal beperkt en kan bestaan uit ontvetten en soms licht opschuren. Onder een voorbereiding valt ook het aanbrenge van een gat in het plaatmateriaal. Dit kan bij roestvast staal gebeuren door middel van ponsen, boren of lasersnijden. Bij de eerste twee technieken is het van belang de ontstane bramen of kleine spanen te verwijderen, omdat deze een negatieve invloed hebben op de corrosieweerstand van het roestvast staal.

Een bepaald type mechanische verbinding wordt meestal gekozen op basis van kosten, tijd, sterkte en uiterlijk. Als men kiest voor een mechanische verbinding, is het van belang het productontwerp hierop af te stemmen. Daarbij moet worden bedacht dat mechanische verbindingen alleen geschikt zijn voor relatief droge toepassingen. Bij natte toepassingen kunnen de spleten, in het bijzonder bij roestvast staal, spleetcorrosie veroorzaken.

Solderen van roestvast staal (zie Tech-Info-blad TI.03.17)

Het solderen van roestvast staal is met vele soldeermethoden en soldeersoorten goed mogelijk. Per toepassing zal moeten worden bepaald, welke methode en middelen het best gebruikt kunnen worden.

Belangrijk is een goede bevochtiging met het soldeermiddel. Hiervoor is het noodzakelijk dat het te verbinden metaaloppervlak vrij is van vet, vuil en oxiden.

Voor het hardsolderen van roestvast staal zijn soldeertypen op basis van koper-, zilver- en nikkelhoudende legeringen en edelmetalen (goud en palladium) beschikbaar. Bij voorkeur wordt het solderen van roestvast staal uitgevoerd in een reducerende gasatmosfeer of in vacuüm, teneinde het gebruik van vloeimiddelen te voorkomen. Het solderen vindt dan plaats bij hoge temperatuur (>800 °C) en in een beheerste atmosfeer: het zogenaamde hoogtemperatuursolderen. De beheerste atmosfeer vervangt bij hoge temperatuur de werking van het vloeimiddel. De kwaliteit (sterkte) van dergelijke gesoldeerde producten is vergelijkbaar met die van gelaste producten. Het solderen heeft door een lagere warmte-inbreng in het werkstuk ten opzichte van het lassen de volgende voordelen:

- ▶ minder energieverbruik;
- ▶ lagere inwendige spanningen waardoor minder kans op vervorming;
- ▶ geringere kans op het optreden van structuurveranderingen.

Ter verkrijging van voldoende sterkte worden overlapverbindingen aangeraden. Bij het handmatig solderen van roestvast staal kan plaatselijke warmte-inbreng vervorming tot gevolg hebben.

Hoogtemperatuursoldeerverbindingen in roestvast staal behoeven in het algemeen geen of een beperkte nabehandeling. Omdat het soldeermateriaal een andere chemische samenstelling heeft dan het basismateriaal, bestaat er in principe kans op galvanische corrosie (hangt van de omgevingscondities af).

Lijmen van roestvast staal (zie Tech-Info-blad TI.03.15 en voorlichtingspublicatie VM 87)

Lijmenverbindingen bezitten een aantal voordelen ten opzichte van andere verbindingstechnieken:

- ▶ ongelijksoortige materialen zijn eenvoudig te verbinden;
- ▶ lijmverbindingen isoleren de verschillende materialen van elkaar;
- ▶ De warmte-inbreng is nihil of zeer beperkt (weinig vervorming, hoge maatnauwkeurigheid).

Er zijn echter ook beperkingen zoals:

- ▶ het temperatuursgebied is beperkt tot -20 °C en +80 °C, tenzij speciale lijmen worden gekozen;
- ▶ de verbinding kan vaak alleen nog worden losgenomen na een sterke temperatuurschok.

Alle roestvaste staalkwaliteiten zijn uitstekend te lijmen. Voor een hoge sterkte en duurzaamheid is een voorbehandeling wenselijk, in ieder geval moet het oppervlak minimaal goed ontvet zijn. Over het algemeen is het oppervlak van het roestvast staal van dien aard, dat een extra oppervlaktebehandeling vooraf niet noodzakelijk is. Ook bij het lijmen wordt uit het oogpunt van sterkte de voorkeur gegeven aan overlappen.

Over het algemeen behoeft een lijmmaad bij het lijmen van roestvast staal geen nabewerking. Indien er sprake is van een vochtige agressieve omgeving en/of verhoogde temperatuur, kan de duurzaamheid van de verbinding worden verlengd door het gebruik van primers die de oppervlaktegradatie en/of het indringen van vocht op het lijmvlak tegengaan.

8.4 Vormgevende bewerkingstechnieken voor roestvaste staalkwaliteiten

De Vereniging FME-CWM heeft een groot aantal publicaties uitgegeven (zie www.DunnePlaat-Online.nl), waarin ook informatie is te vinden over vormgevende bewerkingen van roestvast staal, waaronder:

- ▶ Vormgeven van dunne metaalplaat - VM 111, VM 112 en VM 113;
- ▶ Dieptrekken - TI.96.02, TI.99.07 en VM 110;
- ▶ Rubberpersen - TI.98.06 en TI.00.10;
- ▶ Laser en waterstraalsnijden - TI.00.12;
- ▶ Laserbewerkingen - TI.98.05 en PA.02.11;
- ▶ Hoogvermogen lasers - VM121.

Roestvaste staalkwaliteiten kunnen in het algemeen dezelfde bewerkingen ondergaan als andere metalen zoals: walsen, buigen, profileren, ponsen, dieptrekken, lasersnijden, enz. Een overzicht van de diverse methoden is gegeven in tabel 15. Roestvast staal heeft een ander vervormingsgedrag dan ongelegeerd staal, omdat roestvast staal meer verstevigt, vaak een hogere sterkte heeft, en meer terugveert. Bij alle bewerkingen moet contaminatie onder andere met ijzerdeeltjes worden vermeden door het gebruik van de juiste gereedschapmaterialen (zie 8.1).

Koud vervormen (zie Tech-Info-blad TI.03.15)

Eigenschappen die de vervormbaarheid beïnvloeden zijn

de 0,2% rekgrens, de treksterkte, de taatheid en het verstevigingsgedrag. Austenitische roestvaste staalkwaliteiten hebben in gegloeide toestand, door het grote verschil tussen 0,2% rekgrens en treksterkte, een groot vervormingsbereik. Bij koud deformatie van austenitische staalsoorten kan echter ferriet/martensiet ontstaan, waardoor extra versteviging optreedt, en de verdere vervormbaarheid afneemt. Het staal wordt dan tevens licht magnetisch. Een laag nikkelgehalte, alsook toevoeging van stabilisatoren als titanium of niobium, bevorderen het ontstaan van ferriet/martensiet: 1.4541 (AISI 321) is minder makkelijk te vervormen dan 1.4301 (AISI 304). De versteviging ten gevolge van de ferriet/martensiet transformatie kan worden verminderd door een austenitisch staal te kiezen met een hoger nikkelgehalte, waardoor de austenitische structuur stabiel is.

Zwaar koud gedeformeerd (> 15%) roestvast staal zal spanningsarmgegloeid en afgeschrikt moeten worden, voordat het toegepast kan worden in een corrosieve omgeving. Onder andere kan dit nodig zijn om het risico op spanningscorrosie te minimaliseren.

Bij ferritisch roestvast staal is het verschil tussen de 0,2% rekgrens en de treksterkte kleiner, waardoor het vervormingsbereik, met name ten aanzien van strekbe- werkingen (buigen, maken van indeukingen als verstevigingsrillen e.d.), ook kleiner is. Toch wordt staal 1.4016 (AISI 430) veel gebruikt voor toepassingen, waarbij vervormd moet worden (o.a. in de automobiellndustrie).

Dieptrekken (zie Tech-Info-bladen TI.96.02, TI.99.07 en voorlichtingspublicatie VM 110)

Evenals bij andere bewerkingstechnieken zullen voor het dieptrekken van roestvast staal hogere krachten nodig zijn in vergelijking met ongelegeerd staal. Het uitgangsmateriaal zal een zo laag mogelijke versteviging moeten hebben (zachtgegloeid of licht koudgewalst). Zoals reeds vermeld, is ook de chemische samenstelling van het roestvast staal van invloed: een austenitische staalsoort met laag koolstofgehalte en een hoog nikkelgehalte verstevigt minder (geen ferriet/martensiet omzetting) en is daardoor beter te dieptrekken (onder andere grotere dieptrekverhouding mogelijk, minder kans op spanningscheuren). Bij het dieptrekken is wel enige versteviging gewenst, omdat de vervorming hierdoor gelijkmatig verloopt en bodemscheuren minder snel optreden. Naast diverse austenitische kwaliteiten zijn ook de ferritische roestvaste staalkwaliteiten te dieptrekken.

tabel 15 Geschiktheid van plaat van roestvast staal voor een aantal bewerkingmethoden

Materiaal	Buigen ¹⁾	Dieptrekken	Lassen	Ponsen	Boren	Knippen	Lasersnijden
Ferritisch roestvaste staalkwaliteiten							
1.4003	O	O / +	-	O / +	O	O / +	+
1.4016	O	O / +	-	O / +	O	O / +	+
Austenitisch roestvaste staalkwaliteiten							
1.4301	+	+	- / O	O	O	O	+
1.4306	+	+	+	O	O	O	+
1.4311	+	-	+	O	O	O	+
1.4541	+	- / O	+	O	O	O	+
1.4401	+	+	- / O	O	O	O	+
1.4404	+	+	+	O	O	O	+
1.4529	+	- / O	O	O	O	O	+
1.4547	O	- / O	O	O	O	O	+
Duplex roestvaste staalkwaliteiten							
1.4462	O	-	+	O	O	O	+

Gebruikte symbolen: - af te raden; O goed; + uitstekend.
1) = scherpe hoeken vermijden, zie paragraaf buigen.

Buigen (zie voorlichtingspublicaties VM 112, en VM 113) Buigen wordt meestal bij omgevingstemperatuur gedaan. Voor roestvast staal is meer kracht nodig dan voor ongelegeerd staal: voor austenitische staalkwaliteiten ongeveer 50% meer en voor duplex staalkwaliteiten nog meer. Vanwege de grotere terugvering moet roestvast staal iets verder worden omgezet dan ongelegeerd staal. De minimale buigstraal is afhankelijk van het staaltype en de dikte, zoals aangegeven in tabel 16.

Bij het buigen moet men met name bij koudgewalst materiaal letten op de walsrichting. Hoewel de minimale rek volgens EN 10088-2 in langs- en dwarsrichting gelijk is, kan er een verschil in sterkte zijn. Hierdoor kan de terugvering verschillend zijn.

Tevens kunnen eventueel aanwezige verontreinigingen na het uitwalsen eerder tot scheuren leiden bij buiging evenwijdig aan de walsrichting. Daarom is het aan te raden de staalproducent/leverancier te raadplegen en eerst een buigproef te doen.

Bij warme omvormtechnieken wordt geadviseerd om de specificaties te raadplegen ter vermindering van temperaturen, waarbij verbrossing of afname van corrosieweerstand kan optreden. Tevens is het belangrijk om temperatuurverschillen klein te houden door zorgvuldige bewaking van de temperatuur en regeling van de afkoelsnelheid. Het plaatselijk verwarmen wordt ontraden in verband met het gevaar van kromtrekken. Oxidatie kan nabehandelingen als schuren en beitsen noodzakelijk maken.

Verspanen (zie voorlichtingspublicatie VM 22)

Verspanen kan worden uitgevoerd door middel van boren, draaien, frezen, zagen, enz. De verspanbaarheid wordt gekenmerkt door: de slijtage van het gereedschap (de standtijd), de benodigde snijkrachten, de vorm van de spanen, de oppervlaktekwaliteit van het materiaal. In het algemeen kan men zeggen dat naarmate het gehalte aan legeringselementen hoger is, het roestvast staal moeilijker te verspanen is.

Over het algemeen kan worden gesteld dat voor het zogenaamde hoge-snelheidsverspanen (HSV) dezelfde randvoorwaarden gelden als bij het conventioneel verspanen. Voor de praktijk houdt dit concreet in, dat bij het HSV van roestvast staal rekening moet worden gehouden met een slechte warmteafvoer, moeilijke spaanvorming en het feit dat er een specifieke spaandikte moet worden aangehouden.

Vooraf austenitisch en duplex roestvast staal zijn moeilijker te verspanen dan koolstofstaal, om de volgende redenen:

- ▶ Er treedt koudversteving op tijdens het verspanen, waardoor er niet met te kleine aanzetten en snediepten kan worden gewerkt. De roestvaste staalkwaliteiten met een stabielere austenietstructuur hebben hiervan minder last. Het gereedschap moet onder het verstevende materiaal komen en men moet meelopen frezen in plaats van tegenlopend frezen (start met een dikke spaan die steeds dunner wordt). De geometrie van de gereedschappen dient daaraan te zijn aangepast en er worden hoge eisen gesteld aan de stabiliteit van machine, gereedschap en werkstuk.

- ▶ Door de lage warmtegeleiding wordt het gereedschap warmer. Dit houdt in dat de snijnelheden gewoonlijk lager liggen dan bij gewoon staal. Vaak kan bij gewoon staal de kleefneiging bij de gereedschaptip worden vermeden door een hogere snijnelheid, bij roestvast staal is het soms moeilijker om de juiste snelheid te vinden.
- ▶ De grote taaiheid van het materiaal. De spaan breekt niet makkelijk af, de kans op lintspanen is veel groter dan bij gewoon staal.

Ferritische staalkwaliteiten zijn gemakkelijker te verspanen dan de austenitische en duplex kwaliteiten.

Met moderne apparatuur en boren/beitels zijn evenwel alle bewerkingen op roestvast staal uitvoerbaar. Het kiezen van een bewerking en de volgorde dient in overleg met de constructeur te geschieden. Gebruik gereedschap dat voor roestvast staal geschikt is en dat alleen hiervoor wordt gebruikt.

Gaten, bijvoorbeeld voor bouten, kunnen worden gemaakt d.m.v. ponsen, boren of lasersnijden. Voor boutgaten wordt bij voorkeur een boor gebruikt van snelstaal, eventueel gecoat voor een langere standtijd. Na de bewerkingen moeten spanen en boorresten (koelvloeistof!) zorgvuldig worden verwijderd.

Overige technieken (knippen, snijden, ponsen, laserbewerkingen, plasmasnijden)

Voor knippen, snijden en ponsen van roestvast staal zijn hogere krachten nodig, dan voor ongelegeerd staal. Tevens moet de snijpleet worden aangepast aan de roestvaste staalkwaliteit. Voor ponsen geldt een materiaaldikte van maximaal 20 mm, onder voorwaarde dat de nominale plaatdikte maximaal gelijk is aan de nominale gatdiameter. Ponsen kan leiden tot lokale scheurtjes op afschuifvlakken en de daarmee verbonden vervormingen verlagen de weerstand tegen spleetcorrosie en vermoeiing.

Met een laser zijn op roestvast staal, in het bijzonder in dunne plaat, allerlei bewerkingen als snijden, gaten maken en textureren, uitstekend uitvoerbaar. Een voordeel is dat versteving niet optreedt; dit geldt overigens ook voor waterstraalsnijden en plasmasnijden. Met laser kunnen roestvaste staalplaten met dikten tot 15 mm worden gesneden. Ter voorkoming van oxidatie vindt lasersnijden van dunne plaat bij voorkeur plaats onder stikstof, hoewel zuurstof ook wel wordt gebruikt.

Andere scheidingstechnieken zijn waterstraalsnijden en plasmasnijden. Bij het plasmasnijden van roestvast staal mogen geen oxiderende gassen worden gebruikt. Restanten smeermiddel of deeltjes die bij de bewerking vrijkomen, kunnen aan de snijkanten corrosie veroorzaken. Dit is te voorkomen door goed te reinigen of d.m.v. beitsen en passiveren. Lasersnijden en waterstraalsnijden zijn schonere oplossingen, die de corrosieweerstand minimaal beïnvloeden.

tabel 16 Minimale buigstraal versus plaatdikte voor roestvaste staal kwaliteiten

Roestvast staal	Buigstraal/plaatdikte (minimaal) ¹⁾	Opmerking
Ferritisch	2,0	Buigen bij temperatuur ≥ 20 °C
Austenitisch	1,0	Koudgewalst staal
	2,0	Grotere dikte/constructieve toepassing
Duplex	2,5	Grotere dikte/constructieve toepassing

1) Buiglijn dient hierbij \perp op de walsrichting te staan

9 Construeren in roestvaste staalkwaliteiten

Voor uitgebreide regels voor constructieve aspecten van toepassingen wordt verwezen naar de informatiemodule voor constructeurs [ref. 1b]. Hier worden diverse aspecten kort aangestipt.

Algemene principes voor ontwerp en constructie gelden voor roestvast staal evenzeer als voor andere materialen.

9.1 Specifieke kenmerken van roestvast staal

In vergelijking tot koolstofstaal heeft roestvast staal een aantal specifieke kenmerken, die bij de constructieve toepassingen voordelen kunnen bieden:

- ▶ Met name de austenitische kwaliteiten hebben een goede taaiheid bij lage temperaturen. Gangbare constructiestaalsoorten en hoogsterke staalsoorten vertonen bij lage temperaturen een taai-bros overgang en zijn beperkt toepasbaar bij lage temperaturen ($< -40\text{ }^{\circ}\text{C}$), omdat ze onder een zekere temperatuur een bros gedrag vertonen. In het bijzonder de austenitische roestvaste staalkwaliteiten blijven ook bij zeer lage temperaturen taai (1.4301 tot zelfs $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- ▶ Door de goede vervormingsmogelijkheden met lokale versterking is de mogelijkheid tot energieabsorptie uitstekend, wat van pas kan komen in ruimtelijke constructies met name in de automobiellindustrie.
- ▶ Een goede kruipsterkte bij hoge temperaturen. Met toenemende temperatuur neemt de sterkte en in het bijzonder de kruipsterkte van gangbare constructiestaalsoorten sterk af. Diverse typen roestvast staal hebben ook bij hogere temperaturen nog een goede (kruip)sterkte, waardoor de integriteit van een constructie, bijvoorbeeld bij brand, langer gewaarborgd blijft.
- ▶ Bij hoge temperaturen kunnen extra uitscheidingen in de metaalstructuur ontstaan, waardoor verbrossing kan optreden. Roestvast staal is in het algemeen goed bestand tegen deze verbrossing. Daarnaast zijn alle roestvaste staalkwaliteiten beter of zelfs extreem bestand tegen oxidatie bij hoge temperaturen, zodat dunne platen uit roestvast staal een uitstekende brandwerendheid hebben. Met name in publieke ruimten kan dit de veiligheid bevorderen.
- ▶ Roestvaste staalkwaliteiten, in het bijzonder martenitisch roestvast staal en duplex roestvast staal, zijn zeer goed bestand tegen abrasieve slijtage in een vochtige omgeving. Hiervan kan bij allerlei objecten waarbij bewegende massa (droog stortgoed, vloeistof-vast mengsels, passanten) een rol speelt, gebruik worden gemaakt.

9.2 Sterkte van roestvast staal

Men moet onderscheid maken tussen de rekgrens en de treksterkte. Door kouddeformatie kan met name de rekgrens van austenitische staalkwaliteiten sterk worden verhoogd. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij koudvervormde producten, die onder andere worden gebruikt voor ruimtelijke constructies, bijvoorbeeld bussen of treinstellen. De sterkte die kan worden bereikt, is afhankelijk van staaltype en vervorming (tabel 17). Het rekenvoorbeeld laat zien dat aanzienlijke materiaal- en gewichtsbesparingen mogelijk zijn. Het is uiteraard afhankelijk van de constructieve detaillering en andere eisen, in welke mate de besparingen kunnen worden gerealiseerd.

Bij constructiedelen die aan een wisselende mechanische belasting zijn onderworpen, kan vermoeiing een rol spelen.

Onderzoek heeft aangetoond dat de vermoeiingsterkte van diverse roestvaste staalkwaliteiten vergelijkbaar is met die van constructiestaal, zoals S355J2G3. Bij de standaard kwaliteiten treedt door versterking extra weerstand op tegen vermoeiing.

- De speciale roestvaste staalkwaliteiten hebben meestal niet alleen een hogere rekgrens, maar ook een hogere treksterkte. Wil men een hogere sterkte in combinatie met verhoogde corrosieweerstand, dan zijn duplex roestvaste staalkwaliteiten interessant, temeer daar deze tevens uitstekend bestand zijn tegen vermoeiing (eventueel in combinatie met een corrosief milieu). Daarom is duplex roestvast staal een goede kandidaat voor buitenconstructies waar hoge eisen worden gesteld ten aanzien van:
- ▶ de sterkte bij statische en dynamische (wisselende) belastingen;
 - ▶ een groot vermogen tot het absorberen van (bots)energie;
 - ▶ eenvoudig onderhoud en een lage onderhoudsfrequentie.

Voorbeelden van toepassing van duplex roestvast staal in constructies door Rijkswaterstaat zijn de randconstructie van een viaduct (Vaanplein) en de dragende bekleding van een viaduct (Alkmaar).

Sterkte van verbindingen

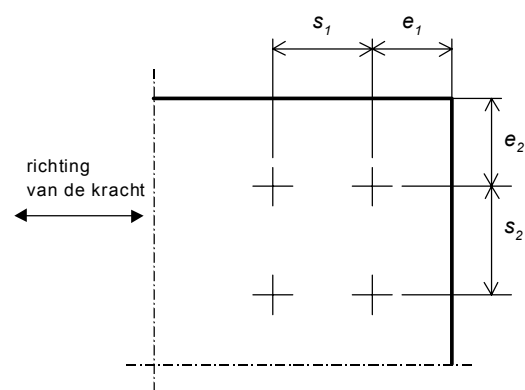
Een interessant voordeel van verbindingen in roestvast staal is, dat deze zich vanwege de hoge vervormbaarheid "zetten", waarmee een herverdeling van krachten optreedt. In dit opzicht is roestvast staal en met name de austenitische kwaliteiten veel beter dan koolstofstaal. Een hybride verbinding, waarbij de belasting verdeeld wordt over verschillende typen verbindingen, wordt uit het oogpunt van veiligheid afgeraden. Hoeklassen kunnen bijvoorbeeld door afschuiving bezwijken, voordat de boutverbinding de tolerantie van het boutgat gebruikt heeft en gaat "dragen".

Gaten, randafstanden en steek bij boutverbindingen

In principe moeten de volgende afmetingen en afstanden worden aangehouden (zie ook figuur 4):

1. $e_1 \geq 1,2 \times d_{g,nom}$
2. $e_2 \geq 1,5 \times d_{g,nom}$
3. $s_1 \geq 2,2 \times d_{g,nom}$
4. $s_2 \geq 3,0 \times d_{g,nom}$

Waarin $d_{g,nom}$ de nominale middellijn van het verbindingsmiddel is.



figuur 4 Afmetingen en afstanden bij gaten voor boutverbindingen

tabel 17 De sterkte van koudvervormd roestvast staal 1.4301(AISI 304)

Behandeling product	Kouddeformatie	$R_{0,2\%}$ N/mm ²	Gewicht
Warmgewalst	0	210	100%
Koud gedeformeerd	15%	350	60%

9.3 Vormgeving

In principe heeft roestvast staal met betrekking tot vormgeving dezelfde mogelijkheden als koolstofstaal. Zoals reeds besproken, dient men rekening te houden met een afwijkend gedrag bij omvormen (elastisch terugveren, hogere krachten nodig).

Vlakke elementen

Veelvuldig worden vlakke elementen toegepast. Er bestaan normen (DIN, EN) voor de vlakheid in relatie tot plaatdikte en oppervlak. Enkele mogelijkheden voor vlakke elementen zijn:

- ▶ Elementen met verstijvingsril(len) langs een zijde verbonden met een netwerk, andere zijde vrij en zonder verstijving of voorzien van een lip (haaks omgezette kant).
- ▶ Elementen met verstijvingsril(len) langs een zijde verbonden met een netwerk, de andere zijde vrij en voorzien van een dubbel omgezette randverstijving ("felsrand").
- ▶ Elementen met verstijvingsril(len) langs beide zijden verbonden met een netwerk.

Pas op: *Vlakke elementen kunnen bij de ontwerpbelasting en door bewerkingen een visuele verstoring vertonen. Met name bij een gladder oppervlak kan dit storend zijn. Bij matte oppervlakken en oppervlakken met een walsmotief (bijvoorbeeld ledermotief) behoeft dit niet op te vallen. Anderzijds worden platen om die reden ook wel meervoudig gedeformeerd ("vlakke piramide"), hetgeen ook meer stijfheid geeft.*

Ruimtelijke structuren

Door het beschikbaar komen van steeds meer varianten aan profielen en kokers uit diverse roestvaste staalkwaliteiten, zijn er interessante mogelijkheden voor de constructie van dragende ruimtelijke structuren.

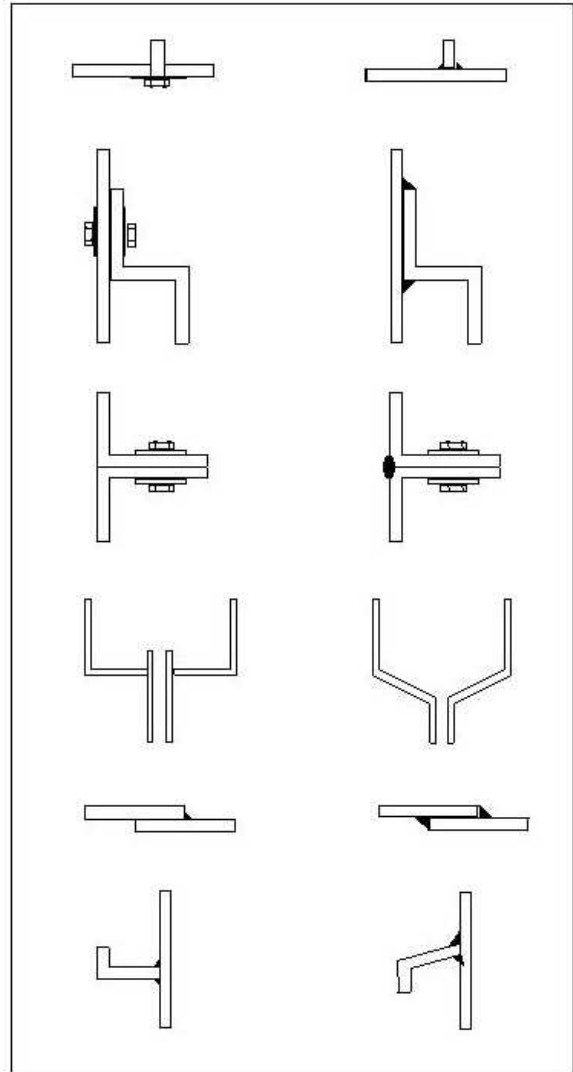
Daarbij kan men gebruikmaken van de extra sterkte door kouddeformatie, waardoor aanzienlijke gewichtsbesparingen mogelijk zijn.

Pas op: *Door het lassen kan een deel van de sterkte door kouddeformatie verminderen. Constructief kan men hiervoor compenseren via de keuze van de plaats van de las en aangepaste dimensionering.*

9.4 Ontwerpen op corrosiebeheersing

Voor optimale corrosiebeheersing is het belangrijk om in de ontwerpfase niet alleen de juiste staalsoort en oppervlaktekwaliteit te kiezen, maar tevens aandacht te schenken aan de optimale vorm, de verbindingstechniek, en mogelijkheden tot reiniging en onderhoud. De volgende richtlijnen kunnen helpen om de maximale corrosieweerstand van het roestvast staal te behouden.

1. Voorkom vervuiling door een optimale oppervlaktekwaliteit te kiezen. Een ruw oppervlak kan meer aanhechting en vervuiling vertonen. Pas een georiënteerde oppervlaktekwaliteit bij voorkeur toe in verticale richting, omdat dit de zelfreinigende werking ten goede komt. Afzonderlijke panelen in gelijke oriëntatie en afwerking monteren. Let bij de keuze van het oppervlak ook op het gebruik en de kans op beschadiging. Een spiegelend oppervlak maakt beschadigingen beter zichtbaar en moeilijker te verhelpen dan bijvoorbeeld een geborsteld oppervlak.
2. Kies een geschikte oriëntatie van hoek- en buisprofielen om de kans op vuilophoping te beperken. Een aantal voorbeelden van constructiedetails zijn gegeven in figuur 5. Houdt bij het ontwerp al rekening met de mogelijkheid van regelmatige reiniging of onderhoud. Maak eventueel gebruik van de spoelende werking van regenwater; laat regenwater zo gelijkmatig mogelijk van platte vlakken lopen om strepen te voorkomen.
3. Voorkom horizontale oppervlakken. Specificeer een kleine helling, bijvoorbeeld voor de bovenkant van verstijvingen in een horizontale lijn, om afwatering te

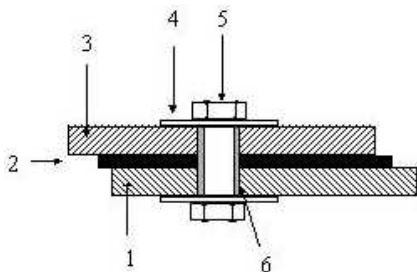


figuur 5 Voorbeelden van detaillering ter voorkoming van vuilophoping of spleten. Detail links: minder gunstig; detail rechts: beter

bevorderen, of plaats afwateringsgaatjes van voldoende grootte.

4. Maak zo veel mogelijk gebruik van vlakke plaat. Geperforeerde plaat en aangebrachte structuren of reliëf bemoeilijken de reiniging. Hetzelfde geldt voor groeven, (inspringende) randen en complexe vormen. Anderzijds valt vervuiling minder op bij toepassing van een reliëf.
5. Plaats in het ontwerp indien mogelijk de verbinding op een droog gedeelte, of daar waar het dauwpunt niet bereikt wordt, of zorg voor voldoende ventilatie. Voorkom capillaire werking van spleten door ze groot genoeg te maken. Spleten kunnen worden voorkomen met doorgaande lasverbindingen, in plaats van boutverbindingen. Enkelzijdige, niet volledig doorgelaste hoeklassen, alsmede hechtlassen en puntlassen kunnen beter niet worden toegepast in een agressieve omgeving. Doorgaande lassen, als sluitlassen, vullassen of omtreklassen zijn het beste.
6. Voorkom dat er (regen)water afkomstig vanaf onedlere staalsoorten, of chloridenbevattend cement, op het roestvast staal kan komen.
7. Om spleetcorrosie te voorkomen, moeten boutverbindingen glad zijn en zonder spleten. De onderleggingen dienen groter te zijn dan gebruikelijk is voor koolstofstaal.
8. Vochtige omgevingsomstandigheden kunnen tot galvanische corrosie leiden. Dit kan worden voorkomen door één type materiaal te gebruiken. Maak boutver-

bindingen bij voorkeur van hetzelfde type roestvast staal, andere metalen worden ontraden. Gebruik bij verschillende metalen elektrisch isolerende ringen en vulbussen. Een voorbeeld is gegeven in figuur 6. Eventueel kan de verbinding met een coating worden afgedekt. Bij de veel voorkomende lasverbinding van roestvast staal aan koolstofstaal moet vocht worden voorkomen of een coating worden toegepast (op koolstofstaal, lasverbinding en een deel van het roestvast staal).



figuur 6 Corrosie beperkende maatregelen bij een verbinding van verschillende metalen.
1) Roestvast staal; 2) isolerende laag;
3) afwijkend metaal; 4) isolerende onderlegging;
5) bout; 6) isolerende vulbus

9.5 Combinatie van roestvast staal met andere materialen

Bij combinatie van roestvast staal met andere materialen zoals steen, beton, hout en kunststof, is het noodzakelijk de uitzettingsverschillen te berekenen. In het bijzonder austenitisch roestvast staal heeft een grotere uitzettingscoëfficiënt dan de hierboven genoemde bouwmaterialen. Afhankelijk van de afmetingen en de totale uitzetting kan extra dilatatie of ontwerpaanpassing nodig zijn. Ferritisch roestvast staal en duplex roestvast staal hebben een lagere uitzettingscoëfficiënt, die meer overeenkomt met die van bijvoorbeeld beton.

10 Nabewerken van roestvaste staal-kwaliteiten

Oppervlaktegesteldheid

Bij roestvast staal is de oppervlaktegesteldheid van groot belang, enerzijds vanwege de corrosieweerstand, anderzijds, en dit geldt met name voor dunne plaat, vanwege het uiterlijk. Tijdens en na de vervaardiging van producten kunnen nabewerkingen nodig zijn:

- ▶ ter verwijdering van vuil of beschadigingen;
- ▶ voor het herstel van de corrosieweerstand.

Mechanische oppervlaktebehandelingen

Eenduidige voorschriften voor mechanische behandelingen ontbreken. Omdat sommige behandelingen nadelig zijn voor de corrosieweerstand van roestvast staal, is het belangrijk hierover goede afspraken te maken. Behandelingen voor halffabrikaten en/of producten zijn o.a.:

- ▶ *slijpen/schuren*. Dit is vaak de eerste stap bij verwijdering van ongerechtigheden en aanbrengen van structuur

in het oppervlak. Slijpen (bijv. korrel 120) kan zeer nadelig zijn voor de weerstand tegen corrosie. Naarmate de korrel fijner is (bijv. 400) wordt het nadeel kleiner.

- ▶ *stralen met abrasief* (ter verwijdering van oxidelagen, gloeihuiden, roest of vuil). Dit leidt tot inslag van scherpe deeltjes, waardoor de corrosieweerstand vermindert.
- ▶ *stralen met glasparels*. Dit geeft een mat uiterlijk. Tevens ontstaan drukspanningen ter verhoging van de weerstand tegen spanningscorrosie en vermoeiing. Het kan nadelig zijn (putcorrosie).
- ▶ *borstelen*. Dit levert een fraai uiterlijk en een lagere ruwheid dan slijpen met korrel 400. Borstelen kan net als fijn slijpen door het versmeren van deeltjes nog enigszins nadelig zijn.
- ▶ *polijsten*. Dit gebeurt met een korrel fijner dan 1000 (glanzend mat tot spiegellend oppervlak).
- ▶ *micropeenen* (stralen met speciaal geselecteerde parels). Dit geeft, met behoud van de corrosieweerstand, drukspanningen en een vermindering van de aanhechting in diverse milieus.

Chemische oppervlakte behandelingen (zie ook praktijk-aanbeveling LM.94.05)

Ondanks alle maatregelen is enige vervuiling of verkleuring bij het lassen of andere bewerkingen vaak niet te vermijden. Afhankelijk van de toepassing en het gewenste uiterlijk, kan een nabehandeling nodig zijn. Voor een maximaal herstel van de weerstand tegen corrosie is een chemische behandeling noodzakelijk. De totale nabehandeling kan bestaan uit de volgende stappen.

- ▶ *Reinigen* vooraf ter verwijdering van het eventueel aanwezige vuil, vet en olie van het oppervlak. Dit kan afhankelijk van het object en de aard van de verontreiniging door middel van borstel of spons, hoge drukreining of alkalisch ontvetten (volbadbehandeling). Soms is na het lassen eerst een mechanische reiniging gewenst (fijn slijpen, borstelen, of schuren).
- ▶ *Beitsen* ter verwijdering van verkleuringen en oxidelagen na lassen en bij contaminatie met ijzerdeeltjes. Meestal gebruikt men verdund salpeterzuur (HNO_3) en fluorwaterstofzuur (HF) als activator. Beitsen kan geschieden door dompelen of sproeien. Voor lokale behandelingen wordt wel gebruikgemaakt van beitspasta. De laszijde is meestal goed bereikbaar, de achterzijde vaak niet; soms moet een systeem geheel inwendig gebeitst worden (circulatie).
- ▶ *Passiveren* dient ter herstel van de passieve laag. Passiveren kan met salpeterzuur (sterke oxidator). Het passiveren vindt ook geleidelijk plaats bij blootstelling aan schoon water of vochtige lucht, maar dit duurt 12-24 uur en is vaak minder gecontroleerd, waardoor er kans is op tussentijdse vervuiling en verminderde kwaliteit.
- ▶ *Spoelen*. Na het beitsen en passiveren moet grondig worden nagespoeld om resten zuur en metaalcomplexen te verwijderen. Hierbij kan mechanische ondersteuning (spons, nylonborstel) worden gebruikt om oxideresten te verwijderen.

Internationale normen voor de chemische oppervlaktebehandeling van roestvast staal zijn o.a. gegeven in de DIN en ASTM-A 380-88. Een beknopt overzicht is gegeven in tabel 16.

tabel 16 Beitsen en passiveren van gelaste producten uit roestvast staal (condities afhankelijk van het staaltyp)

Actie	Middel	Vorm	Concentratie	Temp. °C	Tijd	Toepassing
Beitsen	$\text{HNO}_3 + \text{HF}$	vloeistof	15-25/1-8 vol. %	20-60°	10-120 min	lassen, oxiden
Passiveren	HNO_3	vloeistof	20-50 vol. %	20-70°	10-30 min	algemeen
Beitsen	$\text{HNO}_3 + \text{HF}$	pasta	-	20°	≤ 180 min	lassen, oxiden
Spoelen	H_2O	vloeistof	$\text{Cl}^- \leq 50 \text{ mg/l}$	≤ 20°	ca. 10 min	naspoelen

Indien mogelijk wordt de beitsbehandeling bij 20 °C uitgevoerd. De behandelingstijd is afhankelijk van het type staal, de dikte van de (las)verontreiniging, de temperatuur en de standtijd van het bad. Mogelijke behandelingen voor verschillende typen roestvast staal zijn indicatief gegeven in tabel 17.

Aanbevolen wordt om dit werk door specialisten te laten uitvoeren, en de beste condities aan de hand van proefmonsters te bepalen.

Lichte verkleuringen zijn te verwijderen door dompelbeitsen. Hierbij wordt het object in heet water verwarmd en daarna in de beitsvloeistof (20 °C) gedompeld. Eventueel kan dit worden herhaald.

Een andere mogelijkheid is het beitsen op basis van het relatief milde citroenzuur.

Bij zware oxidatie (zwarte lagen) is vooraf breken van de oxidelagen door stralen mogelijk, om het beitseffect te bevorderen.

Beitsen heeft invloed op de oppervlaktegesteldheid en het uiterlijk. Meestal ontstaat een matgrijs oppervlak. Bij het beitsen van platen met een speciale oppervlaktebehandeling (borstelen, slijpen, polijsten) voor decoratieve of vuilwerende toepassingen, moet er rekening mee worden gehouden dat er glansverlies optreedt. Bij roestvast staal dat bij hoge temperaturen gebruikt gaat worden, is het beitsen en passiveren af te raden, omdat zuurresten ernstige corrosie kunnen veroorzaken.

Vraag vooraf advies aan een specialist voor u besluit te beitsen!

Enkele andere chemische behandelingen zijn:

- ▶ Elektrolytisch polijsten (glad oppervlak, minder aanhechting, maximale corrosieweerstand).
- ▶ Elektroplating (galvanisch aanbrengen van decoratieve, hoogwaardige metaallaagjes).

Inspectie

Controle op de passiviteit van het materiaaloppervlak kan worden uitgevoerd door middel van een zogenaamde Palladiumtest. Een reagens met de volgende samenstelling wordt opgebracht:

Palladiumchloride	: 0,5 g
Zoutzuur(30% chemisch zuiver)	: 2,0 ml
Gedemineraliseerd water	: 100,0 ml

Op goed gepassiveerd roestvast staal geeft dit reagens geen verkleuring. Op een niet gepassiveerd oppervlak ontstaat een zwarte vlek.

Onderhoud

Bij toepassingen waar roestvast staal er goed uit moet blijven zien, kan onderhoud in de vorm van een eenvoudige wasbeurt nodig zijn.

Oppervlakken met een mat uiterlijk kunnen met water en een niet schurend schoonmaakmiddel probleemloos worden gereinigd, waarbij lichte mechanische ondersteuning (spons) toepasbaar is. Geborsteld en geslepen roestvast staal kan eveneens goed gereinigd worden, eventueel met lichte mechanische ondersteuning. Daarbij moet men rekening houden met de structuurrichting van het oppervlak (wrijven in dezelfde richting). Bij gepolijst roestvast staal kan lichte vervuiling met water worden verwijderd.

Het verwijderen van beschadigingen (krassen, verkleuringen) op decoratieve delen van roestvast staal vereist vakkennis. Daarbij moet vaak het gehele oppervlak of plaatdeel uniform worden behandeld, om geen verschillen in bewerkingsrichting of reflectie te krijgen. In principe kunnen deuken worden hersteld, zij het dat bij plaatdelen met een hoge reflectiegraad vervormingen zichtbaar kunnen blijven.

11 Normen m.b.t. roestvaste staalkwaliteiten

NEN-EN 10088

Corrosievaste staalsoorten (1995):

Deel 1: Lijst van corrosievaste staalsoorten.

Deel 2: Technische leveringsvoorwaarden voor plaat en band voor algemeen gebruik.

Deel 3: Technische leveringsvoorwaarden voor halfproducten, staven, draad en profielen voor algemeen gebruik.

NEN 6773

Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - Staalconstructies - Basiseisen, basisrekenregels en beproevingen voor overwegend statisch belaste dunwandige koudgevormde stalen profielen en geprofileerde platen.

NEN-ENV 1090

Het vervaardigen van staalconstructies:

Deel 1: Algemene regels en regels voor gebouwen.

EN 10204

Producten van metaal, soorten keuringsdocumenten

EN 10095

Heat resisting steels and Ni alloys.

EN 10302

Creep resisting steels and Ni/Co alloys (2002).

EN 10028-7

Stainless flat products for pressure purposes.

EN 10272

Stainless rolled bar for pressure purposes.

NEN-EN 1011-3:2000L

Aanbevelingen voor het lassen van metalen;

Deel 3: Booglassen van corrosievaste staalsoorten

tabel 17 Beitsen en passiveren van diverse typen roestvast staal (ASM Handbook)

Groep van roestvast staal	Beitsen	Reinigen/Passiveren
Martensitisch ~ 13% chroom Hoog koolstof/hoog chroom	Af te raden	20-50% HNO ₃ * Temp.: 45-55 °C, Tijd: 20-30 min. Temp.: 20-40 °C, Tijd: 30-60 min.
Ferritisch < 16% chroom	10-15% HNO ₃ + 0,5-1,5% HF Temp.: 20(-60) °C Tijd: 5-30 min. (1-2 min.)	20-50% HNO ₃ * Temp.: 45-55 °C, Tijd: 20-30 min. Temp.: 20-40 °C, Tijd: 30-60 min.
Verspaanbare kwaliteiten (automatenkwaliteit)	10-15% HNO ₃ + 0,5-1,5% HF Temp.: 20(-60) °C Tijd: 5-30 min. (1-2 min.)	20-50% HNO ₃ + 2-6% Na ₂ Cr ₂ O ₇ .2H ₂ O Temp.: 20-50 °C, Tijd: 25-40 min. 1-2% HNO ₃ + 1-5% Na ₂ Cr ₂ O ₇ .2H ₂ O Temp.: 50-60 °C, Tijd: 10 min.
Austenitisch roestvast staal 4300 en 4400 series	15-25% HNO ₃ + 1-8% HF Temp.: 20-60 °C Tijd: 5-30 min.	20-50% HNO ₃ * Temp.: 50-70 °C, Tijd: 10-30 min. Temp.: 20-40 °C, Tijd: 30-60 min.
Speciale verspaanbare typen (> 1,2 Mn, 0,4S)	Af te raden	10% HNO ₃ + 0,5-1,5% HF Temp.: 20(-60) °C Tijd: 1-2 min.

* + 2-6% Na₂Cr₂O₇.2H₂O bij glimmend oppervlak

- NEN-EN 1600: 1997
Lastoevoegmaterialen; Beklede elektroden voor booglassen met de hand van corrosievaste en hittevaste staalsoorten; Indeling.
- ISO 3581:2003
Lastoevoegmaterialen; Beklede elektroden voor het booglassen met de hand van corrosievaste en hittebestendige staalsoorten; Indeling.
- NEN-EN 12072:1999
Lastoevoegmaterialen;
Draadelektroden, draad en staaf voor booglassen van corrosie- en hittevaste staalsoorten; Indeling.
- ISO 14343:2002
Lastoevoegmaterialen;
Draadelektroden, draad en staven voor booglassen van corrosievaste en hittebestendige staalsoorten; Indeling.
- NEN-EN 12073:1999
Lastoevoegmaterialen;
Gevulde draadelektroden voor booglassen met of zonder gasbescherming van corrosie- en hittevaste staalsoorten; Indeling.
- NEN-EN 24063
Indeling van lasprocessen.
- ASTM A 380-88
Standard Practice for Cleaning and Descaling Stainless Steel Parts, Equipment and Systems.

Documenten in een voornorm beschreven ("ENVisaged"):

- ENV 1090-1
Execution of steel structures: General rules and rules for buildings.
- ENV 1090-2
Execution of steel structures: Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting.
- ENV 1090-6
Execution of steel structures: Supplementary rules for stainless steels.
- ENV 1993-1-1
Design of steel structures: General rules and rules for buildings.
- ENV 1993-1-2
Design of steel structures: Structural fire design.
- ENV 1993-1-3
Design of steel structures: Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting.
- ENV 1993-1-4
Design of steel structures: Supplementary rules for Stainless steels.

12 Internet verwijzingen

- <http://www.avestapolarit.com>
Producent/leverancier van roestvast staal.
- <http://www.dunneplaat-online.nl>
Project verbindingstechnologiën voor dunne plaat en buis.
- <http://www.euro-inox.org>
Europese branche organisatie roestvast staal.
- <http://www.fme-cwm.nl>
Werkgevers- en ondernemersorganisatie.
- <http://www.fajer.com/products>
Producent van roestvast staal
- <http://www.worldstainless.org>
Uitgeverij van vakbladen en publicaties
- <http://www.mcb.nl>
Leverancier van roestvast staal producten
- <http://www.nickelonline.org>
Informatie over toepassing van nikkelhoudend staal.
- <http://www.nidi.org>
Nickel Development Institute (info over roestvast staal).
- <http://www.stainless-steel-world.net>
Uitgeverij van vakbladen en publicaties
- <http://www.thyssenkrupp.de>
Producent van roestvast staal

- <http://www.ugine-alz.com>
Producent/leverancier van roestvast staal
- <http://www.usinor.com>
Producent/leverancier van roestvast staal

13 Literatuur

- "Roestvast staal in civiele constructies en de bouwsector"; PMP-BmS-TNO project.
 - Informatiemodule voor architecten en ontwerpers, ir. P.E. de Winter en ir. A.W. Tomà, TNO-rapport 98-CON-R1855/WRP. /*Ont/Pro/Stk/Eig/Toe/Duu*
 - Informatiemodule voor constructeurs, ir. P.E. de Winter, T. Nicolaas en ir. A.W. Tomà, TNO-rapport 98-CON-R1854/WRP. /*Con/Pro/Eig/Toe/Duu*
 - Informatiemodule voor aannemers en producenten APR-05, ir. P.L.F. Rademakers en ir. F.T.J. Keetman TNO-rapport 98MI-00925/KEE. /*Con/Pro/Stk/Eig/Cor/Vs/Duu*
 - Informatiemodule voor beheerders BEH-05, ir. P.L.F. Rademakers en ir. F.T.J. Keetman TNO-rapport 98MI-00924/RAD. /*Beh/Pro/Stk/Cor/Vs/Duu*
- Metals Handbook, deel 6.
- Bewerking van roestvast staal; A.J. Schornagel; Roestvast Staal 7/99, p. 17-27.
- Backing en nabehandeling bij het lassen van roestvast staal; Praktijkaanbeveling LM.94.04; Juni 1994; FME.
- Lassen van roest- en hittevast staal; VM 42; 1990; FME.
- Lassen van metalen met hoogvermogen lasers; Praktijkaanbeveling PA-02.12; 2002; FME-CWM.
- Hoogvermogen lasers voor het bewerken van metalen; VM 121; 2002; FME-CWM.
- Mechanische verbindingssystemen voor dunne plaat en buis; TI.03.16; 2003; FME-CWM.
- White F.E.; Superaustenitic Stainless Steels; Stainless Steel Europe; October 1992.
- Stainless Steel in Swimming Pools; Publicatie van het Nickel Development institute (NiDI); Nr. 12010; 1995.
- Arnold N., Gümpel P., Heitz T.W., Pscheidl P.; Chloridinduzierte Korrosion von nichtrostenden Stählen in Schwimmhallen-Atmosphären, Teil 1: Elektrolyt Magnesium-Chlorid (30%); Materials and Corrosion, Nr. 48 (1997), p. 679-686.
Teil 2: Einfluß von Hypochloriten; Materials and Corrosion, Nr. 49 (1998), p. 482-488.
Teil 3: Einfluß einer realen Atmosphäre; Materials and Corrosion, Nr.50 (1999), p. 140-145.
- Scheurvormende spanningscorrosie & corrosievermoeiing; Roestvast Staal 1999; blz. 13-25.
- Stichel W.; Korrosionsverhalten von verzinktem und nichtrostendem Stahl sowie von Nickelbasis Legierungen in Schwimmhallenluft; Materials and Corrosion, Nr. 50 (1999), p. 131-139.
- Die neue bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 3. August 1999; "Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen", ersetzt die Zulassung vom 25. September 1998; Deutsches Institut für Bautechnik; Sonderdruck 862; Informationsstelle Edelstahl Rostfrei.
- Stainless Steels; ASM Specialty Handbook; ASM International; 1994; ISBN 0-87170-503-6.
- F. Demmenie; Pickling austenitic and duplex stainless steels; Stainless Steel Europe; December 1994, p. 53-55.

14 Voorbeelden

Voorbeeld 1

Product: Kooiconstructie voor HSL trein (figuren 7 en 8)
Materiaal: 1.4301 (AISI 304)
Leverancier: Avesta Polarit
Behandeling: Koudgestrekt (CCS®), verhoogde sterkte.



figuur 7 Kooiconstructie HSL trein



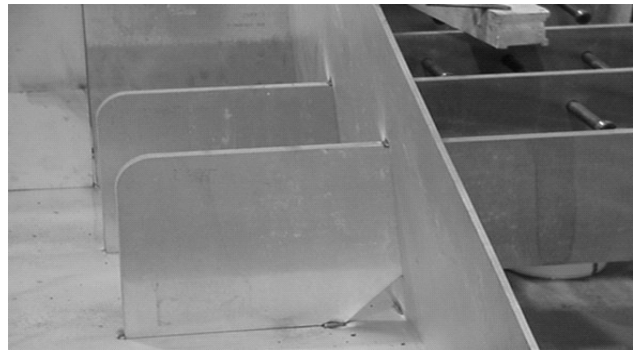
figuur 8 De HSL trein

Voorbeeld 2

Foto: Brugconstructie (foto AvestaPolarit), zie figuren 9 en 10.
Materiaal: Duplex RVS 1.4462 (Avesta 2205, UNS S31803)
Voordeel: Verhoogde sterkte (lichte en slanke constructie) en goede corrosieweerstand.



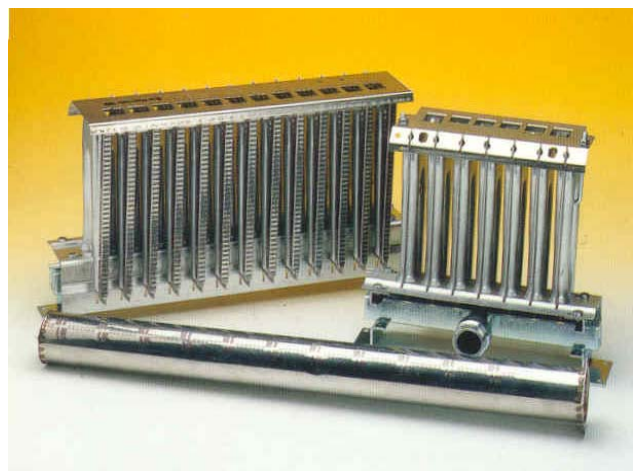
figuur 9 Brugconstructie



figuur 10 Detail van de brugconstructie

Voorbeeld 3

Product: Gasbranders (foto Uguine, zie figuur 11)
Materiaal: 1.4016 (AISI 430)/1.4510 (AISI 430Ti)
Eigenschappen: Vormvast bij hoge temperatuur, bestand tegen oxidatie.



figuur 11 Gasbranders

Voorbeeld 4

Object: Viaductleuning Vaanplein/Ridderkerk (zie figuren 12 en 13).
Uitvoering: Zwarts en Jansma, resp. Van Dam, 1998, i.o.v. Rijkswaterstaat.
Materialen: bekleding plaat 1.4404 (AISI 316L) in verband met corrosieweerstand. constructie achterzijde 1.4462 (UNS S31803), duplex RVS in verband met sterkte.



figuur 12 Overzichtsfoto van viaduct Vaanplein/Ridderkerk



figuur 13 Detail van de brugleuning



figuur 15 Het viaduct in aanbouw

Voorbeeld 5

Object: Viaduct A9 bij Alkmaar (zie figuren 14 en 15)
 Uitvoering: Zwarts en Jansma, resp. Gebr. Beentjes BV,
 i.o.v. Rijkswaterstaat.
 Materialen: Schil + steunen 1.4462 (UNS S31803),
 duplex RVS in verband met sterkte en
 corrosieweerstand.



figuur 14 Artistimpression van viaduct A9 bij Alkmaar

Auteurs

Dit Tech-Info-blad is samengesteld door P.L.F. Rademakers (RAM) op basis van informatie die beschikbaar is gesteld door Avesta Polarit en MCB. De samensteller werd ondersteund door een klankbordgroep bestaande uit: J. Bakker (Avesta Polarit), A. Gales (TNO Industrie), J. van de Put (Syntens), H.L.M. Raaijmakers (Federatie Dunne Plaat), F. Stap (NIMR), G. Vaessen (GVA) en G. van Wijngaarden (MCB).

Technische informatie

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot Avesta Polarit of MCB.

De adressen zijn:

Avesta Polarit

Postbus 52
4550 AB Sas van Gent
tel.: 0115-474700

MCB Nederland B.V.

Postbus 2
5550 AA Valkenswaard
tel. 040-2088691

Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen:

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX ZOETERMEER
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD ZOETERMEER
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41
Fax: (079) 353 13 65
E-mail: pbo@fme.nl
Internet: <http://www.fme-cwm.nl>

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

Adres: Krimkade 20,
2251 KA VOORSCHOTEN
Telefoon: (071) 560 10 70
Fax: (071) 561 14 26
E-mail: info@nil.nl
Internet: <http://www.nil.nl>

© Vereniging FME-CWM/januari 2004

Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
afdeling Technische Bedrijfskunde
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: pbo@fme.nl
internet: <http://www.fme-cwm.nl>

