

Lassen van roestvast staal, Duplex, Super Duplex en Ni-basis legeringen

LGW - Lasgroep West,
13 maart 2025

Fred Neessen
voorheen Lincoln Smitweld
Nijmegen
23 April 2026

RVS, Duplex en Nikkel.25.1.NF

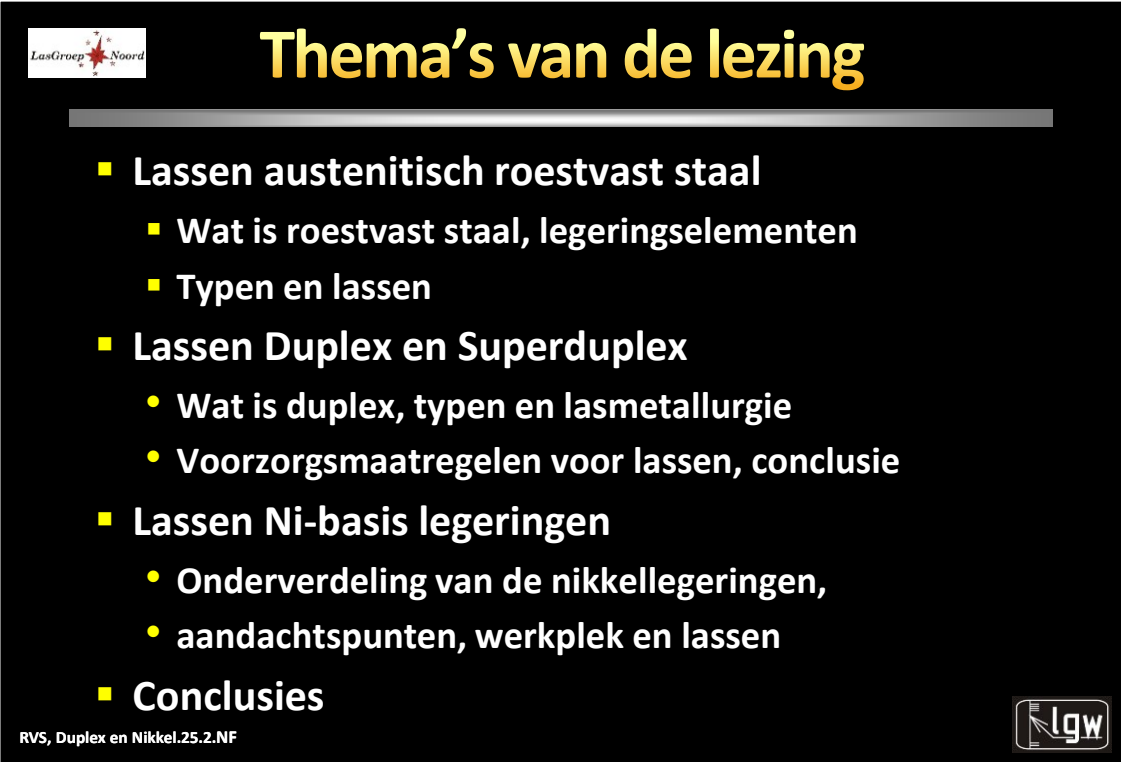
Statoil picture with permission



Thema's van de lezing

- Lassen austenitisch roestvast staal
 - Wat is roestvast staal, legeringselementen
 - Typen en lassen
- Lassen Duplex en Superduplex
 - Wat is duplex, typen en lasmetallurgie
 - Voorzorgsmaatregelen voor lassen, conclusie
- Lassen Ni-basis legeringen
 - Onderverdeling van de nikkellegeringen,
 - aandachtspunten, werkplek en lassen
- Conclusies

RVS, Duplex en Nikkel.25.2.NF



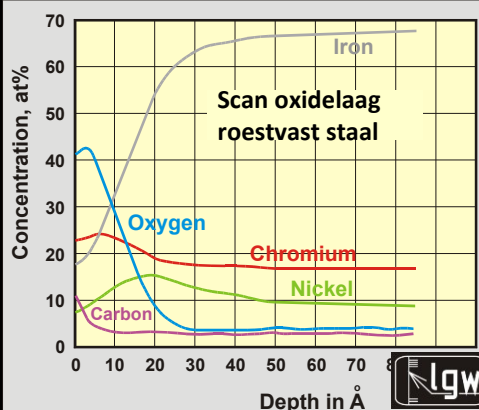
Wat is Roestvast staal ?

- Corrosievast staal bevat minimaal 12% vrij chroom (Cr)
 - C, Ni, Mo, Ti, Nb en andere elementen

Chroom oxidelaag

IJzer & Chroom

- Dunne laag
- Transparant
- Ondoordringbaar
- Vastzittend (adherent)

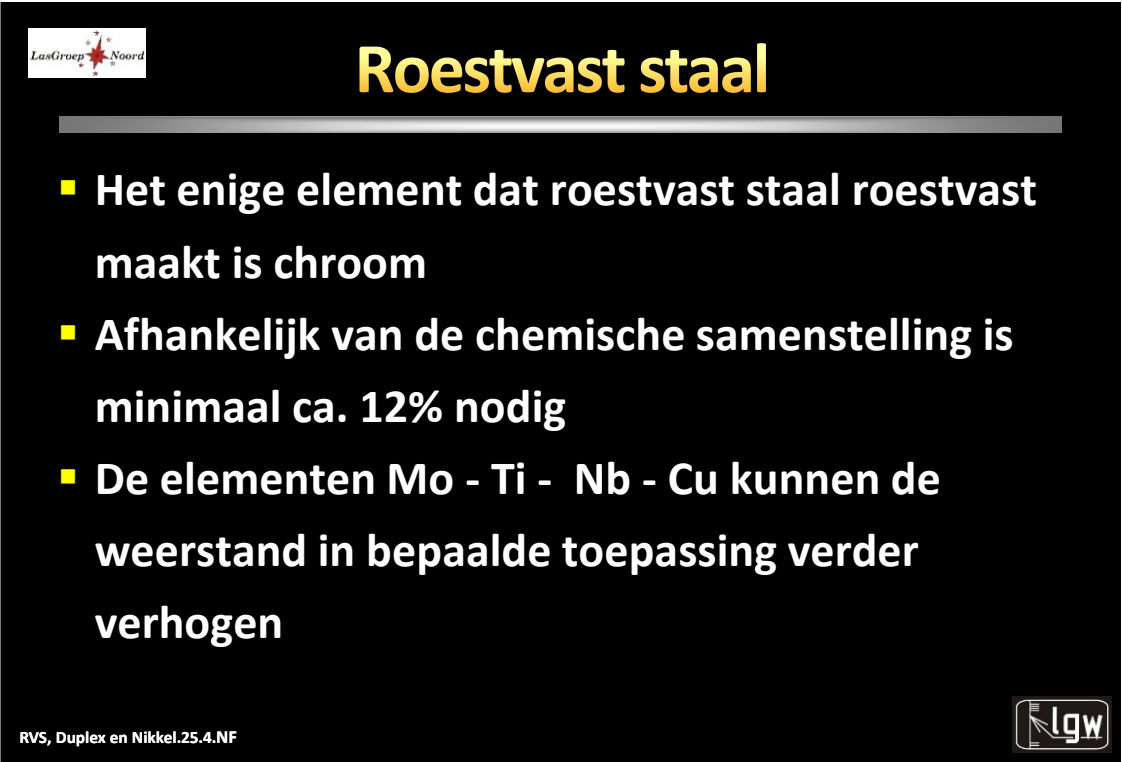


RVS, Duplex en Nikkel.25.3.NF

Roestvast staal

- Het enige element dat roestvast staal roestvast maakt is chroom
- Afhankelijk van de chemische samenstelling is minimaal ca. 12% nodig
- De elementen Mo - Ti - Nb - Cu kunnen de weerstand in bepaalde toepassing verder verhogen

RVS, Duplex en Nikkel.25.4.NF





Roestvast staal

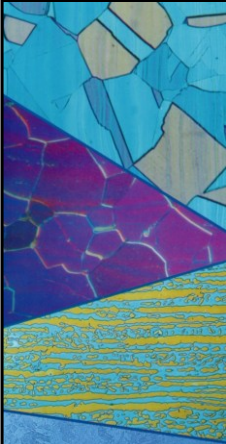
- **In passieve toestand gebruiken** (met oxidefilm)
- **In actieve toestand is het niet corrosievast** (zonder oxidefilm)

RVS, Duplex en Nikkel.25.5.NF





Roestvast staal
staalsoorten



RVS, Duplex en Nikkel.25.6.NF

Wat is Roestvast staal ?

ijzerlegering met:

- **Chroom** 12 - 30 %
- **Nikkel** 0 - 20 %
- **Molybdeen** 0 - 5 %
- Soms met, Ti - Nb (Cb) - Cu - Si - Al

RVS, Duplex en Nikkel.25.6.NF





Invloed van legeringselementen in austenitisch roestvast staal

- **Chroom** (17 tot ca. 25%) verbetert zowel de natchemische corrosieweerstand (passief metaal) als de oxidatieweerstand bij hoge temperaturen
- **Nikkel** (> 8%): stabiliseert austeniet tot kamertemperatuur en lager
- **Koolstof** (0,02 tot 0,08%): zorgt voor sterkte en geeft precipitaties "L"- kwaliteit ≤ 0,03%
- **Molybdeen** (tot ~8%) verhoogt de natchemische weerstand tegen chloriden en verhoogt de kruipweerstand
- **Mangaan** (1 - 2%, zelden tot 7%): zorgt voor sterkte, zelfs bij hoge temperaturen. Belangrijk om warmscheuren te voorkomen

RVS, Duplex en Nikkel.25.7.NF





Invloed van legeringselementen in austenitisch roestvast staal

- **Stikstof** (tot 0,15%) stabiliseert austeniet. Geeft sterkte en geeft precipitaten. Verbetert de weerstand tegen putcorrosie
- **Aluminium en silicium** (enkele %): speciaal in legeringen op nikkelbasis voor oxidatieweerstand bij hoge temperaturen
- **Titanium, Niobium** zijn stabilisatoren
- **Titanium, Aluminum, Niobium** precipitatie-elementen die de kruipweerstand verhogen

RVS, Duplex en Nikkel.25.8.NF



Foto: Lincoln Smitweld



Insluitels van aluminiumoxiden en titaniumcarbiden

AISI 316Ti (1.4571) Na slijpen (korrel 400) en elektrolytisch polijsten

LasGroep Noord

Soorten roestvast staal

RVS type	Hoofd elementen	Microstructuur
1. Ferritisch	Fe-Cr	$\alpha \Rightarrow \text{Cr} - (17 \times \text{C}) > 12.5$
2. Martensitisch	Fe-Cr-C	$\text{M} \Rightarrow \text{Cr} - (17 \times \text{C}) < 12.5$
3. Austenitisch	Fe-Cr-Ni	γ
4. Duplex en super duplex	Fe-Cr-Ni	$\alpha + \gamma$
5. Precipitatie hardend	Fe-Cr-Ni + (Cu, Al, Ti, Nb, Mo)	Martensitische matrix met gecontroleerde hoeveelheid α en γ
6. Super ferriet	Fe-Cr-Ni-Mo-N	α
7. Super austeniet	Hogere legeringsversies van 3	

Mechanische eigenschappen afhankelijk van de samenstelling

RVS, Duplex en Nikkel.25.9.NF

Lgw

LasGroep Noord

Austenitisch CrNi-staal

> 25% Chroom en Nikkel

< 0,10% Koolstof

Niet hardbaar

Niet magnetisch

Geen Korrelgroei

Goed lasbaar

Foto: Lincoln Smitweld



Microstructuur van een austenitisch roestvast staal - licht optische microscoop, kleurenets

RVS, Duplex en Nikkel.25.10.NF

Lgw

LasGroep Noord

Basiseigenschappen austenitisch roestvast staal

Positieve eigenschappen

Algemene corrosiebestendigheid

Taatheid

A-magnetisch

Negatieve eigenschappen

Lage mechanische sterkte

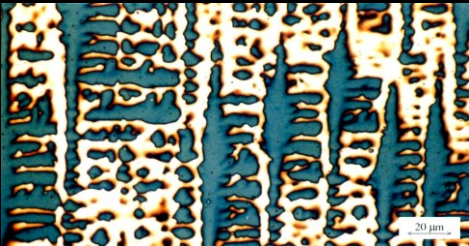
Lage slijtagebestendigheid

Lage vermoeiingssterkte

Gevoelig voor put-, spannings- en spleetcorrosie

Gevoelig voor koudlas ("vreten")

Foto: Lincoln Smitweld



Volledig austenitische lasmetaal structuur, FN = 0, Arosta 4439

RVS, Duplex en Nikkel.25.11.NF

Lgw

LasGroep Noord

De "300" familie

302
Algemeen
18 - 8
(0,15% C)

304
Verlaagd C
18 - 8
(0,08% C)

304L
C verder
verlaagd
18 - 8
(0,03% C)

304LN
N toegevoegd
volaustenitisch

321
Ti toegevoegd om Cr carbide precipitatie te voorkomen

347
Nb toegevoegd om Cr carbide precipitatie te voorkomen

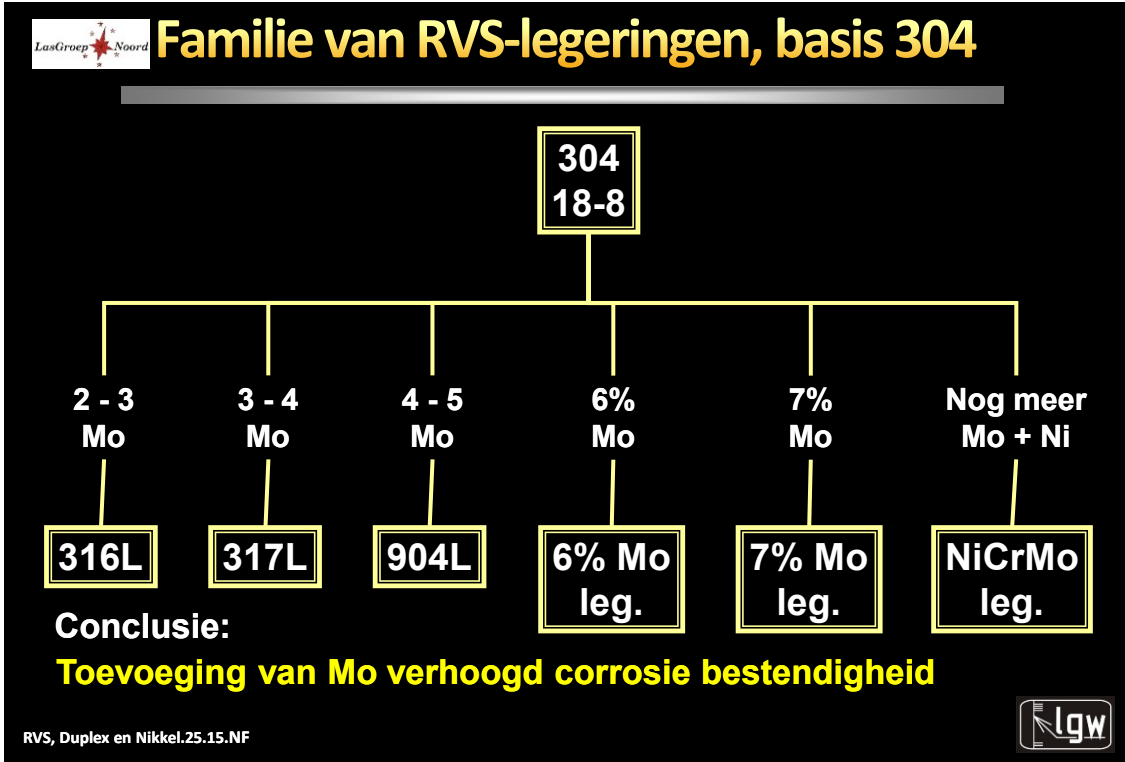
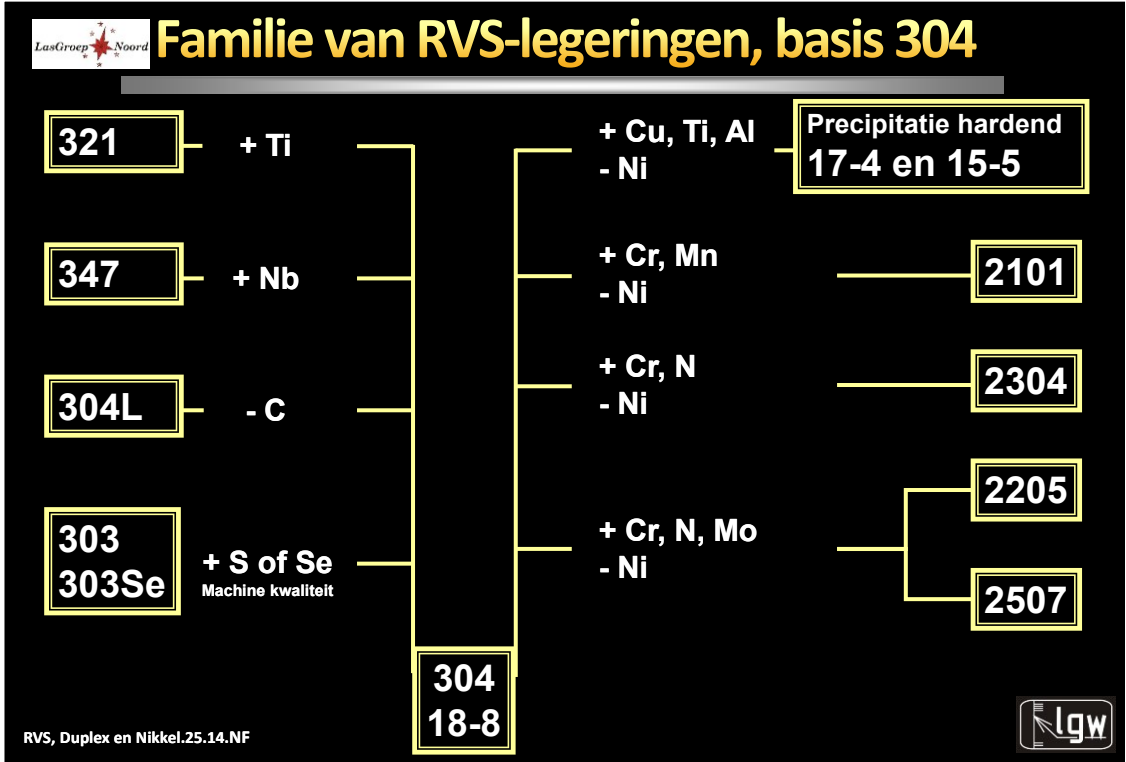
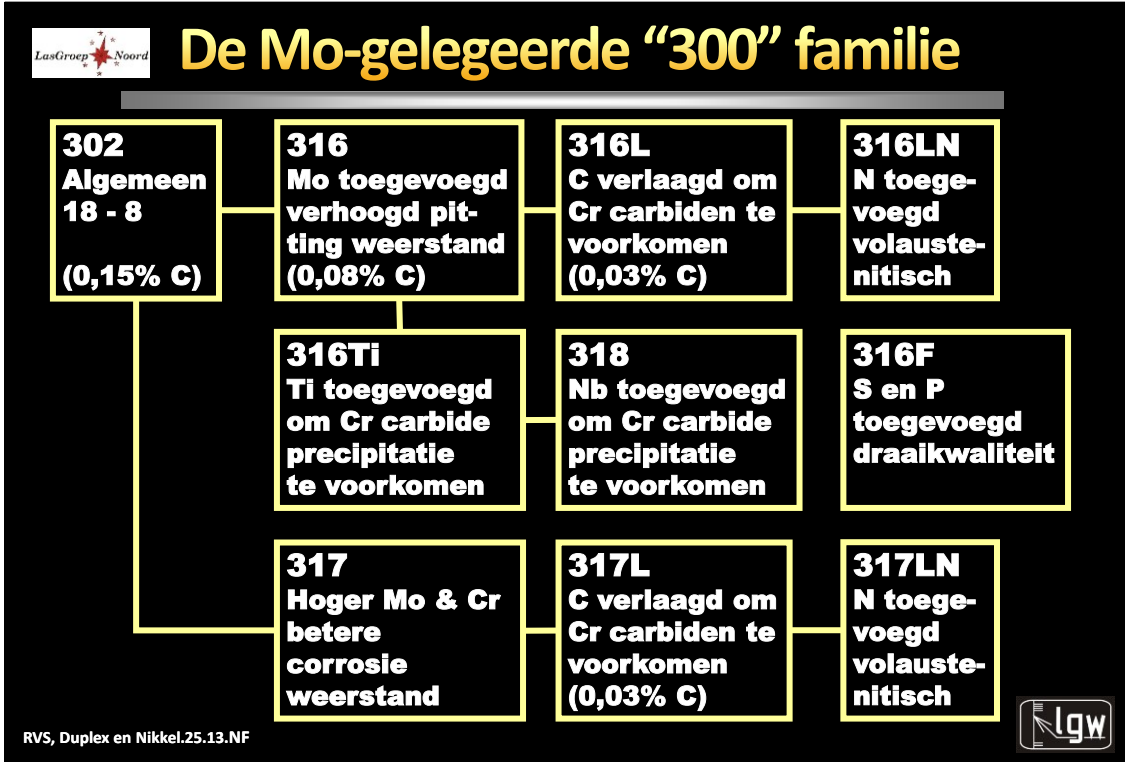
308
Hoger Cr (& Ni) betere corrosie weerstand

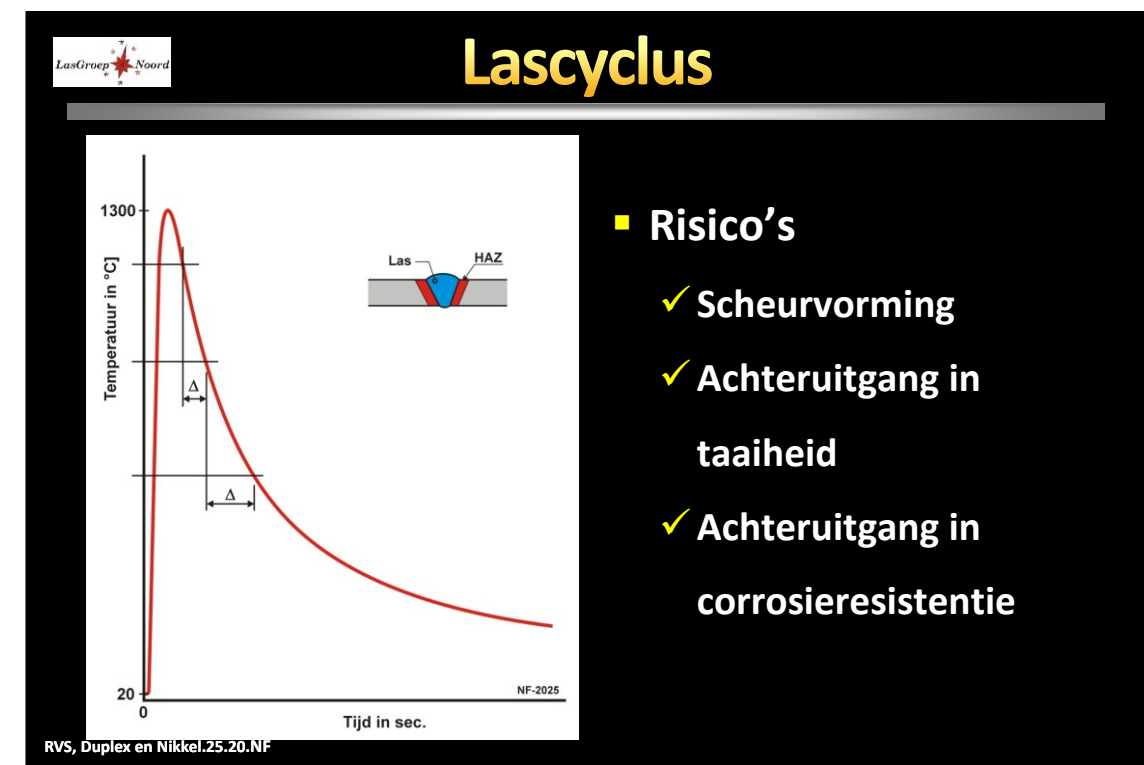
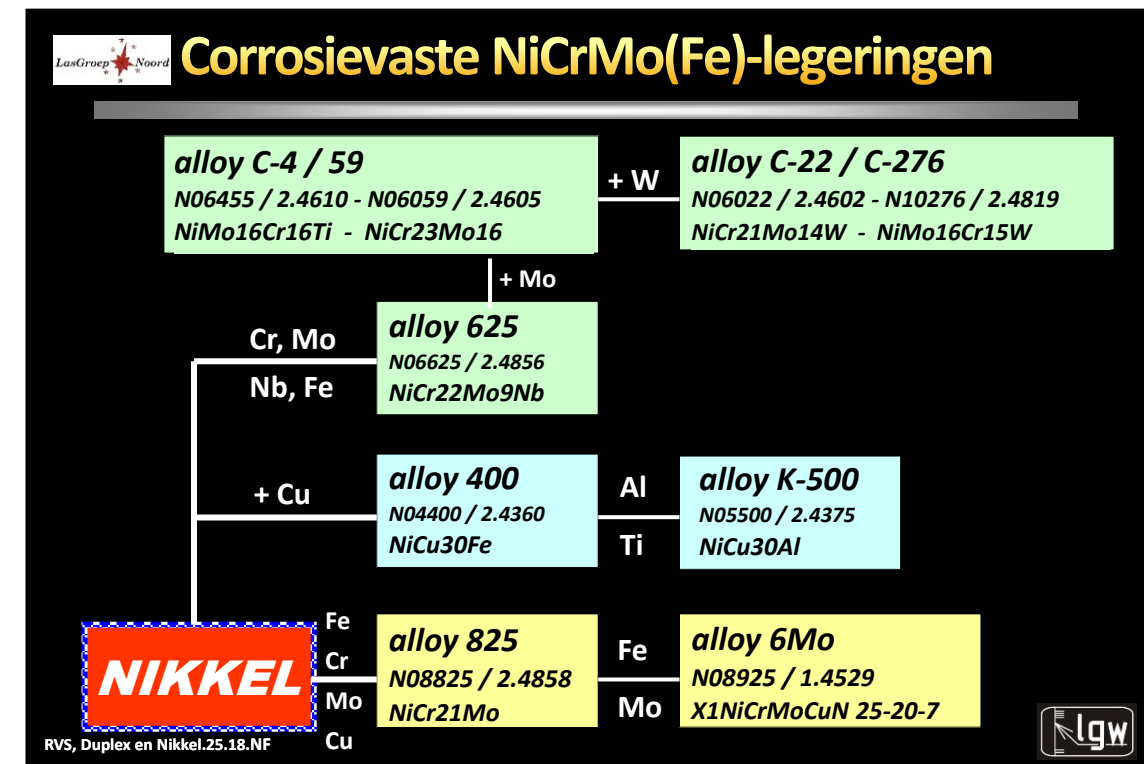
309
Hoger Cr (& Ni) betere corrosie weerstand

310
Hoger Cr (& Ni) betere corrosie weerstand

RVS, Duplex en Nikkel.25.12.NF

Lgw







Lassen van austenitisch CrNi-staal

- Lassen met ‘matching’ lastoevoegmateriaal
 - Waardoor een lasmetaal ontstaat met een aan de plaat identieke uitzettingscoëfficiënt
 - Met als gevolg geen scheuren in de oxidehuid en geen excessieve oxidatie
- Bij reparaties na een bepaalde bedrijfstijd is het mogelijk ductieler lastoevoegmateriaal met afwijkende analyse toe te passen
- Zelden voorwarmen
- Lassen met lage warmte-inbreng (1-1,5 kJ/mm)

RVS, Duplex en Nikkel.25.21.NF





Uitzettings- warmtegeleiding coëfficiënt van austenitisch en ferritisch RVS

Staaltype	Gemiddelde uitzettingscoëfficiënt x 10 ⁻⁶ (mm.m.°C)		Warmte-geleiding coëff. (Joule/m.s.K)
	20 – 200°C	20 – 500°C	
Austenitisch	16	18	15
Ferritisch	10	11	30
CMn-staal	12	13	52

RVS, Duplex en Nikkel.25.22.NF





Enkele fysische eigenschappen van corrosievast CrNi-staal en Cr-staal in vergelijking met ongelegeerd CMn-staal

Fysische eigenschap	Corrosievast CrNi-staal	Corrosievast Cr-staal	Ongelegeerd CMn-staal
Soortelijke massa (kg/dm ³)	7,9 – 8,0	7,6 – 7,7	7,85
Soortelijke warmte (J/kg°K)	500	500	500
Elektrische soortelijke weerstand (ηOhm.cm)	72	60 - 70	15

RVS, Duplex en Nikkel.25.23.NF





Elektrische weerstand, gevolgen:

- Elektrode wordt sneller heet => grotere peuklengte of beperkt stroomvoerend draadeinde
- Lager stroombelastbaar
 - => 20 - 25% lagere stroomsterkte kiezen
 - => hierdoor een minder goede staal/slakscheiding zichtbaar
 - => groter gevaar voor slakinsluitingen
 - => groter gevaar voor bindingsfouten
- Geringere inbrandingsdiepte
- In 5G (pijplassen) is meer slijpen noodzakelijk, vooral om bindingsfouten te voorkomen

RVS, Duplex en Nikkel.25.24.NF



LasGroep Noord

Mogelijke structuurveranderingen in de WBZ en in lasmetaal

Ontlaatzone	Oplossingsgloeizone	Hoge temp.-zone	Smeltzone	Lasnaad
Uitscheiding van carbiden, Nitriden en intermetallische fasen Verval van martensiet en δ-ferriet Herstel rekristallisatie	Oplossen van uitscheidingen Martensiet en δ-ferriet Rekristallisatie	Oplossen van slecht oplosbare uitscheidingen Grofkorrelige martensiet Hoge temperatuur δ-ferriet Korrelgroei	Sprong in concentratie Gerichte stolling	Segregaties Verval van martensiet en δ-ferriet Uitscheiding van carbiden, Nitriden en intermetallische fasen

Smeltzone

600 - 1000°C

1000 - 1150°C

1150 - 1350°C

Ontlaatzone

Oplossingsgloeizone

Hoge temperatuurzone

Lasnaad

NF-2025

lgw

RVS, Duplex en Nikkel.25.25.NF

LasGroep Noord

Kenmerken van verschillende lasprocessen

Proces	Neersmelt-snelheid	Op-menging	Equipment	Op montage
SMAW	+	20%	+++	+++
GTAW	+(+)	0 – 100%	+	+
GMAW	++	25%	+	+
FCAW	++	25%	+	+
SAW	+++	35%	+	+

lgw

RVS, Duplex en Nikkel.25.26.NF

LasGroep Noord

Lassen (vervolg)

Opblaasbare ballon voor toepassing backinggas

Opblaasbare ballon voor toepassing backinggas

- Naadvoorbewerking:
 - openingshoek : 70 - 80°
 - vooropening : 2 - 3 mm
 - staande kant : 1,2 - 2,5 mm
- Zorgvuldig “backen”
 - Goed spoelen
- Starten in naad
 - Arc strikes vermijden
- Kraters uitslijpen
- Lassen niet aanslijpen

lgw

RVS, Duplex en Nikkel.25.27.NF

LasGroep Noord

Lassen (vervolg)

- Hoog frequent starten
- W + 1,5% Lanthaan elektrode
- Beschermgas Ar + (N₂) ??
- Na lassen beitsen (en passiveren)
- Puls lassen heeft voorkeur (is a must) ?

lgw

RVS, Duplex en Nikkel.25.28.NF

Foto: Lincoln Smitweld

LasGroep Noord

Overzicht keuze beschermgas vs lasproces voor roestvast staal		
Lasproces	Beschermgas en plasmagas	Backing gas
MIG [131]	98% + 2% O ₂ 97% + 3% CO ₂ 95% + 3% CO ₂ + 2% H ₂ ⁽¹⁾ 83% + 15% He + 2% CO ₂ 69% + 30% He + 1% O ₂ 90% + 7,5% Ar + 2,5% CO ₂	Idem TIG
TIG [141]	Ar Ar + H ₂ (tot 20%) ⁽¹⁾ Ar + He (tot 70%) Ar + He + H ₂ ⁽¹⁾ Ar + N ₂ ⁽²⁾	Ar N ₂ ⁽²⁾ N ₂ + 10% H ₂ ⁽¹⁾
FCAW [136]	Geen 97% Ar + 3% CO ₂ 80% Ar + 20% CO ₂	Geen Idem TIG
Plasma [15]	Idem TIG	Idem TIG
Laser [52]	He Ar	Idem TIG

(1) Niet voor het lassen van ferritische, martensitische of duplex roestvaste stalen

(2) Voor het lassen van stikstofhoudende austenitische en duplex roestvaste stalen kan stikstof toegevoegd worden in het beschermgas

RVS, Duplex en

Lgw

LasGroep Noord

Prof. Westendorp

Ontstaan van warscheuren in een staafelement

Spanningen in een hoeklas

Segregatiezone in een hoeklas (verontreinigingen)

Combinatie van lasspanningen + segregatie (Schematisch)

Helßrlsse.28.NF

Lassen van Duplex en Superduplex

Foto: Lincoln Smitweld

LasGroep Noord

Fred Neessen

voorheen Lincoln Smitweld

LGW - Lasgroep West, 13 maart 2025

LBN – Lasgroep Noord, 23 april 2026

Foto: Lincoln Smitweld

RVS, Duplex en Nikkel.25.31.NF

Lgw

Duplex Roestvast Staal

Structuur: Ferriet + Austeniet

- > 22% Chroom
- ± 5% Nikkel
- < 0.03% koolstof
- Niet hardbaar
- Ferromagnetisch
- Goed lasbaar, mits

0% Ni Ferritisch

5% Ni Duplex

Foto: Lincoln Smitweld

> 8% Ni Austeniet

RVS, Duplex en Nikkel.25.32.NF

Lgw



Duplex Roestvast Staal

- Cr: 18 - 30%
- Ni: 1 - 9%
- Intermediair tussen austenitisch en ferritisch roestvast staal ($\alpha + \gamma$ fase ca. 50 - 50)
- Combineert een aantal kenmerken van beide
- Betere corrosie-weerstand dan de conventionele ferritische en een hogere sterkte dan de austenitische

RVS, Duplex en Nikkel.25.33.NF



Voordelen van DSS in het kort

- Duplex $\Rightarrow$ 2 fasen $\Rightarrow$ Ferriet + Austeniet
- Applicaties:
 - Economische redenen
 - Laag nikkelgehalte, goedkoper
 - Hoge sterkte / goede ductiliteit
 - Uitstekende weerstand tegen chloride spanningscorrosie

RVS, Duplex en Nikkel.25.34.NF



Duplex, Superduplex en Hyperduplex “What’s in the name”

- Heeft allemaal te maken met de “Pitting Resistance Equivalent” (PRE of PRE_N) van een legering
 - geeft de weerstand tegen putcorrosie weer
 - te berekenen met de formule $PRE_N = Cr + 3,3Mo + 16N$
 - hoewel er variaties op deze formule bestaan
- Legeringen met een PRE van meer dan 40 worden als superduplex beschouwd:
 - 2507 SD heeft een PRE_N van 42,5
- Een materiaal wordt “hyperduplex” genoemd als het PRE_N 48 of hoger is:
 - 2707 HD heeft een PRE van 48 en
 - 3207 HD heeft een PRE van 50

RVS, Duplex en Nikkel.25.35.NF



Typische samenstelling van duplexstaalsoorten

22%Cr standaard en 25%Cr superduplex Roestvast staal (gesmeed materiaal)

Lege- ring	UNS	Cr	Ni	Mo	N	PRE_N	PRE_W	CPT °C	Min YS MPa	Commercieel merk
316L	S31603	17	12	2.5	-	23	23	15	170	
Lean duplex	S32304	23	4	0.1	0.1	25	25	15	400	SAF 2304 (Sandvik/ Avesta) UR35N (CLI)
Stan- daard duplex	S31803	22	5	2.8	0.14	34	34	30	450	UR45N (CLI) SAF 2205 (Sandvik/ Avesta)
	S32205	23	5	3.2	0.18	36	36		470	2205 (Avesta) UR45N+ (CLI)
Super- duplex	S32750	25	7	3.8	0,26	42	42	Cu	W	SAF 2507 (Sandvik/ Avesta)
	S32760	25	7	3.5	0,26	41	42	0.7	0.7	Zeron 100 (Weir)
	S32550	25	5.5	3.5	0,22	40	40	1.8	-	Ferralium 255 (Meighs)
	S32974	25	7	3	0,26	40	42	0.3	2	DP3 (Sumitomo)

CPT van 60°C en min. Re van 550 MPa

RVS, Duplex en Nikkel.25.36.NF



LasGroep Noord

Chemische samenstelling duplex roestvast staal typen

Type	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Ni	Mo	overig	PRE
2101 D	0,04	1,0	6,0	0,040	0,030	21,5	1,5	0,5	N=0,2	29
2304 D	0,03	1,0	2,0	0,035	0,015	23	4,5	0,5	N=0,2	31
2205 D	0,03	1,0	2,0	0,030	0,020	22	5,5	3,3	N=0,2	39
2507 SD	0,03	0,8	1,2	0,035	0,015	25	7	4	N=0,3	42,5
2707 HD	0,03	0,5	1,5	0,035	0,010	27	6,5	4,8	N=0,4	48
3207 HD	0,03	0,8	1,5	0,035	0,010	32	7	3,5	N=0,5	50

RVS, Duplex en Nikkel.25.37.NF

lgw

LasGroep Noord

Lasmetailurgie

Pitting: $PRE_N = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N$

Foto's: Lincoln Smitweld

Roestvast staal:
Spanningscorrosie-scheuren;
Effect van vervormen en lassen

As polished 100x

Electrolytic etched 200X

Het gaat allemaal over

■ Corrosiebestendigheid

en

■ taaiheid

RVS, Duplex en Nikkel.25.38.NF

lgw

LasGroep Noord

Algemene voorwaarden voor lassen Super Duplex roestvast staal

■ Voorwarmen is niet nodig

■ Interpass temp. max. 150°C (of 100°C)

■ Heat Input : grondlaag 1,5 – 2,0 kJ/mm
: “cold pass” ca. 1 kJ/mm

■ Vermijd te hoge warmte-inbreng voor de
vullagen om precipitaten te voorkomen

■ Indien mogelijk de sluitlaag aan de corrosie-zijde

RVS, Duplex en Nikkel.25.39.NF

lgw

LasGroep Noord

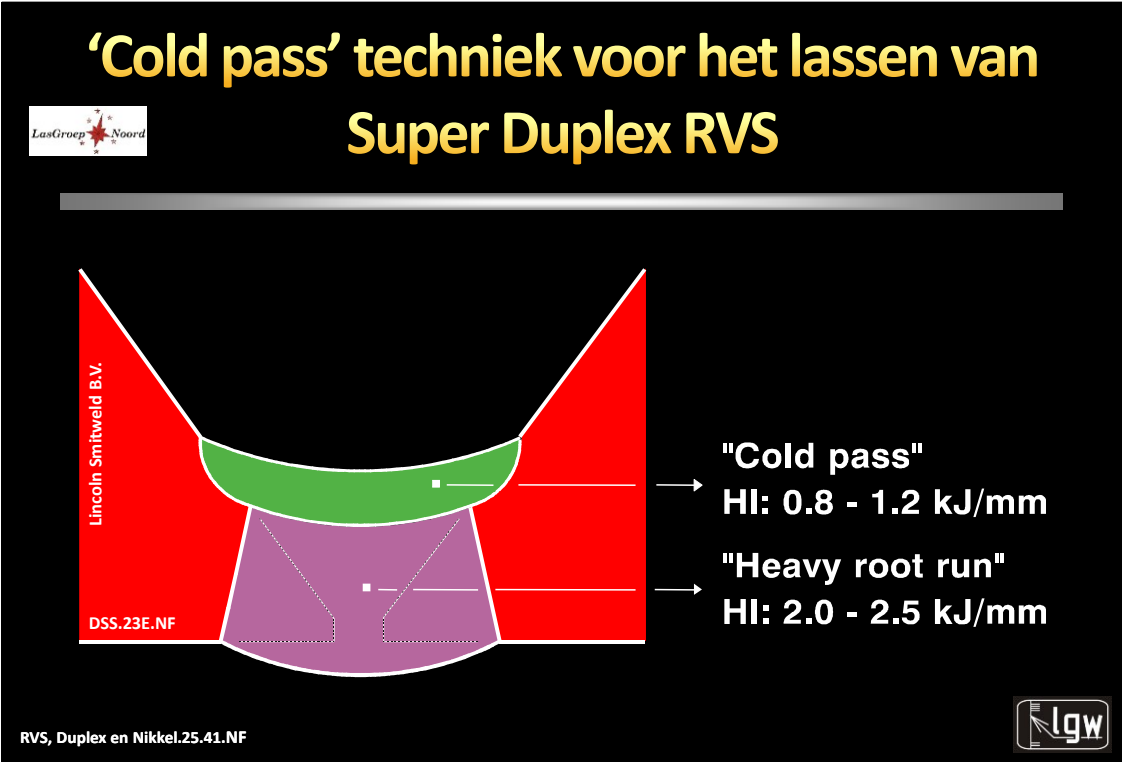
Transformatie zones bij lassen grondlaag

RVS, Duplex en Nikkel.25.40.NF

lgw

Copyright Fred Neessen

10

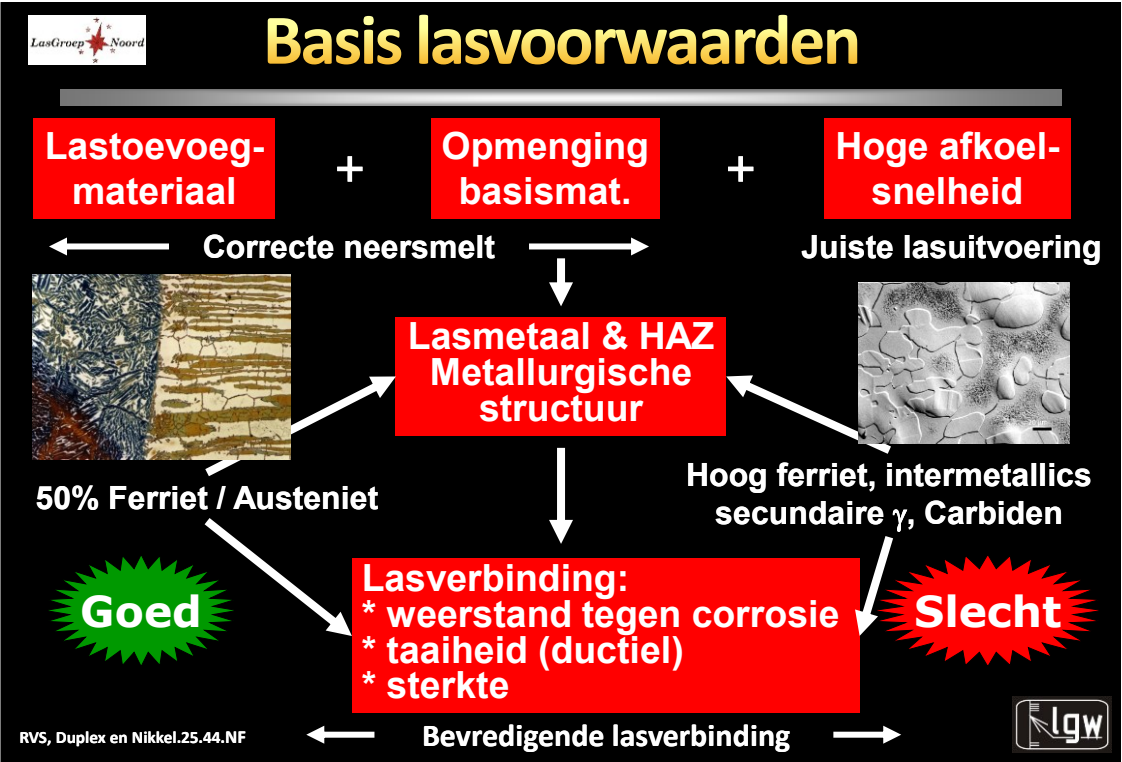


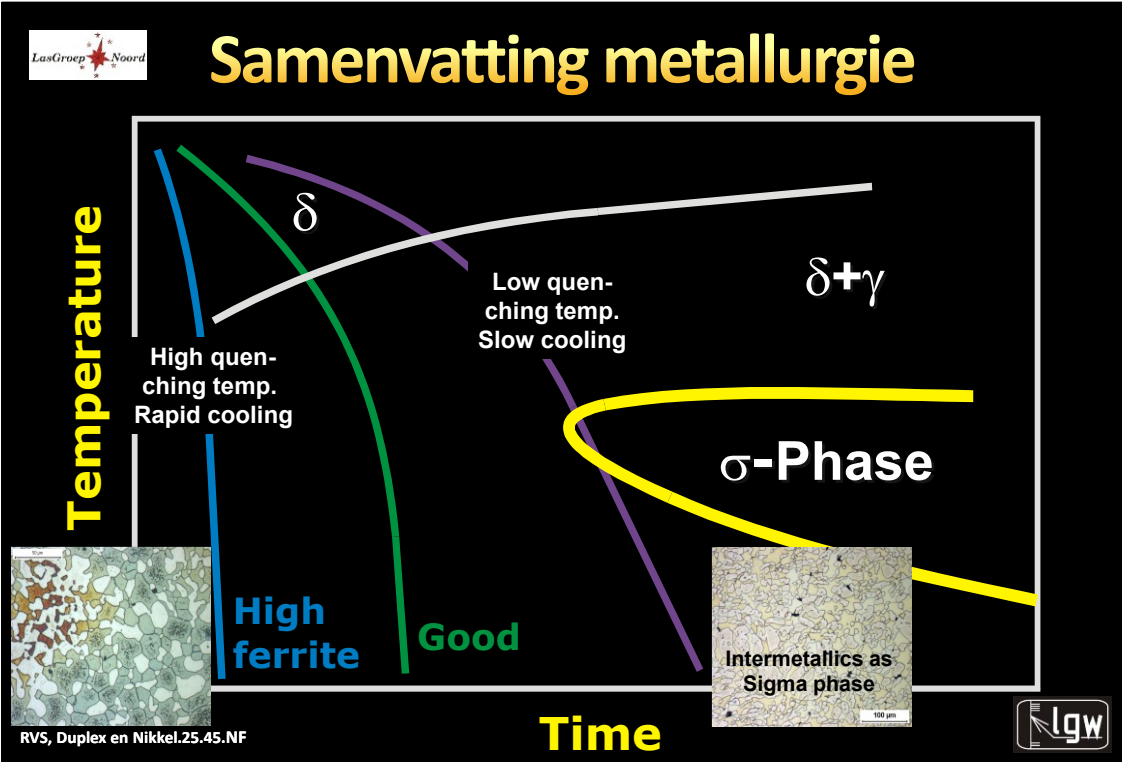
Alles bij elkaar samengevat

Controle Duplex lasprocedure:

- Controle grondlaag / naadvorm
- Controle van uittrek lengte (warmte-inbreng)
- Controle van interpass temperatuur
- Beschermgas en 'backing gas'
- Lassen van Duplex RVS is niet moeilijk
- Het is alleen **anders!**

RVS, Duplex en Nikkel.25.43.NF





LasGroep Noord

Lasmethoden

SMAW

GMAW

FCAW

Foto: Fred Neessen

RVS, Duplex en Nikkel.25.45.NF

lgw

- Alle conventionele lasmethoden zoals bijvoorbeeld:
- SMAW, GMAW, GTAW, SAW, FCAW, PAW & LAW
- Te stellen eisen, lasbaarheid in positie en productiviteit zijn meestal bepalend voor de keuze van de lasmethode

Overzicht beschermgas vs lasproces voor Duplex RVS		
Proces	Duplex typen	Beschermgas
MIG [131]	2101, 2304, 2205	1. Ar + 30% He + 1-3% CO ₂ 2. Ar + 1-2% O ₂ of Ar + 2-3% CO ₂
	2507	1. Ar + 30% He + 1-3% CO ₂ 2. Ar 3. Ar + 30% He + 1-2% N ₂ + 1-2% CO ₂
TIG [141]	2101, 2304 2205, 2507	1. Ar + 10-30% He + 2% N ₂ 2. Ar
FCAW [136]	2101, 2304 2205, 2507	1. Ar 15-25% CO ₂ 2. 100% CO ₂
Plasma [15]	2101, 2304 2205, 2507	1. Ar 2. Ar + 20-30% He + 1-2% N ₂
Laser [52]	2101, 2304 2205, 2507	1. Ar

RVS, Duplex en Nikkel.25.47.NF

lgw

LasGroep Noord

Plan de lasnaad opbouw

Vullagen: voor de hoogst mogelijke productiviteit

- In het algemeen, lassen wordt uitgevoerd met de hoogst mogelijke warmte-inbreng die overeenstemt met behoud van eigenschappen en lasbaarheid
- Visuele inspectie bij elke lasrups
- Slakresten en oxides t.g.v. het lassen verwijderen voordat de volgende laag gelast wordt
- Mogelijke lasproces combinaties:
 - Tig grondlaag + SMAW, MIG of SAW vullagen
 - SMAW grondlaag + SAW of FCAW vullagen
 - GMAW STT grondlaag + SMAW, FCAW of SAW vullagen

RVS, Duplex en Nikkel.25.48.NF

lgw

LasGroep Noord

Plan de lasnaad opbouw

De sluitlaag

- In eerste instantie om de las een goede corrosie-weerstand te geven maar ook voor een structurele integriteit
- Oneffenheden als kerven, overmatige overdikte, holtes, etc. hebben allemaal een negatieve invloed op de corrosiebestendigheid
- Esthetische overwegingen zijn vaak ook belangrijk

Foto: Lincoln Smitweld



RVS, Duplex en Nikkel.25.49.NF

lgw

LasGroep Noord

Interpass temperatuur

- Legering 2101, 2304 en 2205 is max. 150°C
- Legering 2507 is veel gevoeliger en dient beneden de 100°C te worden gelast
- Thermische geleidbaarheid is hetzelfde als van austeniet en lager dan van koolstofstaal. Dit betekent dat het langer duurt om de juiste interpass temperatuur te bereiken
- Interpass temperatuur moet worden gemeten
- Vermijd temperatuur krijtjes

RVS, Duplex en Nikkel.25.50.NF

lgw

LasGroep Noord

‘Check list’ voor enkelzijdig lassen van Duplex roestvast staal pijpen

1

Handhaaf backing gas tot 12 mm lasdikte om onacceptabele oxide / verkleuring te voorkomen, en voor het behoud van de essentiële oppervlakte put-corrosie weerstand

2

Continu of tussen koeling met geforceerde lucht is aanvaardbaar voor het sneller afkoelen van de lasnaad tot onder de gespecificeerde maximale Ti

3

Ti	50	70	100	150°C
wand.	≤ 3	~ 5	~ 8 mm	> 15

RVS, Duplex en Nikkel.25.51.NF

lgw

LasGroep Noord

Warmte-inbreng

Algemene aanbevelingen

- Alloy 2304max. 2,0 kJ/mm
- Alloy 2205max. 2,5 kJ/mm
- Alloy 2101 en 2507max. 1,5 kJ/mm

Duplex mag niet gelast worden met een te lage warmte-inbreng

- Kan leiden tot hoge afkoelsnelheden, met als gevolg een ferrietgehalte van meer dan 70%
- Minimale warmte-inbreng is 0,5 kJ/mm

RVS, Duplex en Nikkel.25.52.NF

lgw

LasGroep Noord

Controle warmte-inbreng

■ De interpass temperatuur moet worden beperkt tot max. 150°C

■ Voor alle duplex kwaliteiten geldt:

★ $t \Rightarrow 3 - 5\text{ mm}$

HI: 0.5 – 1,5 kJ/mm

★ $t \Rightarrow > 5\text{ mm}$

HI: < 2,5 kJ/mm

RVS, Duplex en Nikkel.25.53.NF

Lgw

LasGroep Noord

Conclusies

■ Superduplex roestvast staal is goed lasbaar

■ Goed vakmanschap van RVS fabricage methoden

■ Selecteer het juiste lasproces en toevoegmateriaal

■ Training en begeleiding van lassers is belangrijk

■ Engineers & supervisors moeten ook worden opgeleid

■ Een consistente controle van lasprocedures is van essentieel belang

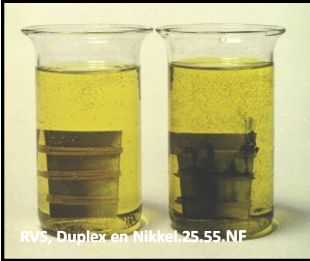
■ Controleer Codes op realistische eisen

RVS, Duplex en Nikkel.25.54.NF

Lgw



Lassen van nikkelbasis legeringen



LasGroep Noord

Fred Neessen

voorheen Lincoln Smitweld

LGW - Lasgroep West, 13 maart 2025

LGN – Lasgroep Noord, 23 april 2026

RVS, Duplex en Nikkel.25.55.NF

Lgw

Nikkel-legeringen als functie van het Ni-gehalte

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

200, 201

Nimonic alloys

600, X750 B

C-276

601, 625

C-22

718, X

825, G3/G30, 925

20Cb3

800, 801, 802

25-6Mo

310

254SMO

309, 317

304, 316, 321

1010, 1020

Commercieel zuiver nikkel

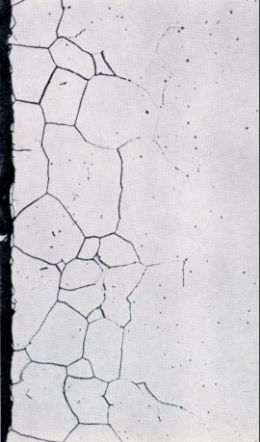
Ni-Cr-Fe

Fe-Ni-Cr

Fe-Cr-Ni (austenitisch roestvast staal)

CMn-staalsoorten

Foto: Lincoln Smitweld



Nikkel; met vernietigde korrel-grenzen bij het oppervlak

RVS, Duplex en Nikkel.25.56.NF

NF-2025

Lgw

Copyright Fred Neessen

14

Onderverdeling van Ni en Ni-legeringen						
1	2	3	4		5	
Lasbare gesmede, gewalste Ni en Ni-leg.	Precipitatie Hardende Ni-leg.	Nikkel met legerings-elementen in vaste oplossing	Hittevaste FeNiCr en NiCrFe-legeringen		Corrosievaste FeCrNiMo-NiCrMo en NiCrMoFe-leg.	
Nikkel 200	Monel K500	Hastelloy B	Alloy 800(H)	X10 NiCrAlTi32.20	-	1.4465 X1 CrNiMoN25.25.2
Nikkel 201	Monel 502	Hastelloy C	Alloy 801	X5 FeNi32Cr20Ti	Alloy 904L	1.4539 X2 NiCrMoCu25.20.5
Nikkel 205		Hastelloy C276	Alloy 802	GX40 NiCrSi 35.25	-	1.4529 X2 NiCrMoCu25.20.6
Nikkel 400		Inconel 600	-	GX40 NiCrNb 35.25	Alloy 28	1.4563 X1 NiCrMoCu 31.27
		Inconel 601	-	GX40 NiCr 25.20	Alloy 825	2.4858 NiCr21Mo
		Inconel 625	-	GX10 NiCrNb 32.20	Alloy 825HMo	2.4641 NiCr21Mo6Cu
Deze legeringen vertonen een uitstekende weerstand tegen corrosie bij lage en hoge temp.			-	X12 NiCrSi 36.16	Alloy C-4	2.4610 NiMo16Cr16Ti
			Alloy 600(H)	NiCr15Fe	Alloy C-22	2.4602 NiCr21Mo14W
			Alloy 601(H)	NiCr23Fe	Alloy C-276	2.4819 NiMo16Cr15W
			Nimonic 75	NiCr20Ti	Alloy B-2	2.4617 NiMo28
			Nimonic 80A	NiCr20TiAl	Alloy 625	2.4856 NiCr22N

Nikkel & Nikkelleg.02.57.NF



De verschillen tussen RVS, Monel, Inconel, Incoloy en Hastelloy					
De vergelijking is gemaakt tussen de hoogst haalbare waarden per materiaalsoort					
Materiaalsoort	RVS	Monel	Inconel	Incoloy	Hastelloy
Belangrijkste legeringselementen	Fe Cr	Ni Cu	Ni Cr	Ni Cr Fe	Ni Cr Mo
Bedrijfstemperatuur met behoud van corrosiebestendigheid	kamer-temp.	max. 500°C	max. 800°C	max. 1150°C	max. 1200°C
Corrosiebestendigheid (RVS = 1)	1	1,2	1,5	1,3	1,7
Treksterkte Rm (MPa)	400 - 1300	470 - 1000	550 - 1250	450 - 1050	600 - 700
Prijsindex (RVS = 1)	1	25	27	13	33

RVS, Duplex en Nikkel.25.58.NF

lgw

Fysische eigenschappen nikkel (leg.)

- Warmte geleidingsvermogen:
 - ongeveer gelijk aan ongelegeerd staal en
 - 3x zo groot dan van RVS
- Lineaire uitzetting:
 - ongeveer gelijk aan ongelegeerd staal
- Oplosbaarheid van gasen in gesmolten toestand (zuurstof en waterstof) is enorm groot ⇒ **aanleiding voor poreusheid**

RVS.92.89.NF

lgw

Aandachtspunten bij het lassen van Nikkel en Ni-legeringen

- Indien oxidehuid (600°C hogere smelt-temperatuur) niet voldoende verwijderd is dan kans op **onvoldoende hechting + insluitels**
- Absolute reinheid van werkstuk en toevoegmat.
- Verontreinigingen ⇒ **scheurgevoeligheid**
- Vloeibaar lasmetaal is (dik)stroperig
- Geringe inbranding

RVS, Duplex en Nikkel.25.60.NF

lgw

Overzicht van commerciële Ni-legeringen en belangrijkste lasbaarheids problemen				
Familie	Legerings systeem		Voorb. commerciële leg.	Lasbaarheid
Corrosie- bestendig	Solid Solution strengthened	Ni NiCu NiMo NiCrMo NiCrMoW NiCrMoCu NiMoCr	Nickel 200 400, K-500 B-2, B-3 G-35, 59 C-276, C-22, 686 C-2000 Hybrid-BC1	WM porosity WM por., Sol. crack WM & HAZ corrosie WM & HAZ corrosie WM & HAZ corrosie WM & HAZ corrosie WM & HAZ corrosie
		NiFeCr NiCrFe NiCrFeMo NiCrMoNb NiCrCoMo NiCrWMo NiCoCrSi	800H, RA330, HR-120 600, 690 Hasteloy X 625, 625SQ 617 230 HR-160	Liq. cracking Duc. Dip cracking Liq. cracking Solidificat. cracking Liq. cracking Sol. + Liq. cracking Solidificat. cracking
	Precipitatie-hardend	Ni ₂ (Mo,Cr) γ' γ''	242, 244 Waspaloy, René 41, 282 718, 718 Plus	Solidificat. cracking Strain-age crack. Solidifi. + Liq. crack
	Nikkelaluminiden	Ni ₃ Al	IC-25, IC-218	Solidifi. + Liq. crack
	Verstevinging door Oxide-dispersie	Y ₂ O ₃	MA754, MA6000 	Oxide agglomeration/flotation



Lasbaarheid Ni en hoog Ni-houdende legeringen

- Lasbaarheid, goed uitvoerbaar, doch let op:
 - Type te lassen legering
 - Spanningstoestand waarin de legering verkeerd
 - Mate van spanning tijdens respectievelijk na het lassen
 - Mate van “zuiverheid” waarmee gewerkt wordt
 - Keuze van lastoevoegmateriaal
 - Lasnaadvorm
 - Correcte warmtehuishouding
 - Correcte behandeling c.q. voorbehandeling van het lastoevoegmateriaal

RVS, Duplex en Nikkel.25.62.NF





Gescheiden houden van de plekken waar koolstofstaal wordt verwerkt

Roestvast staal Ongelegeerd staal



V voorkom trek

Bron: Der Praktiker

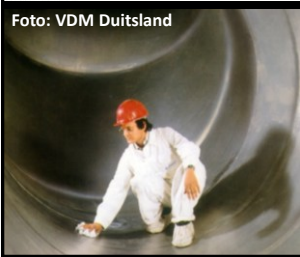


Foto: VDM Duitsland

Algemene richtlijnen Werkplek

- Zorg voor de grootst mogelijke zuiverheid
- Maak gebruik van beschermingswanden
- Draag schone werkkleding
- Gebruik schone handschoenen

Bron: Nikkel Instituut





Foto: VDM Duitsland

RVS, Duplex en Nikkel.25.63.NF





Algemene richtlijnen Gereedschappen

- Alleen toepassen voor nikkel, nikkellegeringen en andere hooggelegeerde materialen
- Borstels, tangen, hamers, etc. moeten van niet roestend materiaal zijn
- Voorkom dat er ijzerdeeltjes in het oppervlak worden gedrukt (knipschaar, pers, wals, etc.)
- Dit is alleen maar te voorkomen indien het basismateriaal continue afgedekt is door bijvoorbeeld folie of karton

RVS, Duplex en Nikkel.25.64.NF



Copyright Fred Neessen

16



Werkplaatsinstructies lassen nikkelbasislegeringen

Bron: Smitlas



Bron: Smitlas
RVS, Duplex en Nikkel.25.65.NF

Naadvoorbewerking:

- Bij voorkeur mechanisch: draaien, frezen, schaven
- Plasma snijden mag, doch de naadkanten moeten dan nabewerkt worden
- Slijpen is alleen toegestaan indien dit heel voorzichtig gebeurt zodat geen oververhitting ontstaat

Starten van lassen:

- Op de naadkanten
- Op startplaatjes welke van hetzelfde basismateriaal zijn
- Start nooit en te nimmer op opperv. van het te lassen materiaal
 - De startplaats kan achteraf aanleiding tot corrosie geven

Foto: Fred Neessen





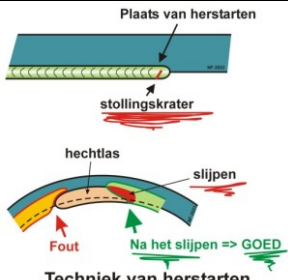
Werkplaatsinstructies lassen nikkelbasislegeringen

- Hechtlassen weghalen (frezen, slijpen)
 - indien deze in de lasnaad opgenomen moeten worden, dan vooraf zorgvuldig aanfrezen
- Kraters proberen te voorkomen (kratervulling toepassen)
 - in ieder geval altijd weghalen door frezen of heel voorzichtig te slijpen
- Zorg voor goede bescherming van het smeltbad
 - Na iedere laag de slak en de oxidehuid grondig verwijderen;
- Warmte-inbreng ongeveer 10 kJ/cm [(Ampère x Volt x 60) / voortloopsnelheid]
 - is niet te veel zwaaien, maar een hoge voortloopsnelheid aanhouden
- Interpass temperatuur maximaal 150°C, liever nog lager (max. 100°C)

RVS, Duplex en Nikkel.25.66.NF



Bron: Smitweld



Werkplaatsinstructies lassen nikkelbasislegeringen

Lassen:

- Materiaal moet vrij zijn van verontreinigingen, vet en allerlei markeringen
- Gebruik het juiste lastoevoegmateriaal
- TIG - lassen, bijvoorbeeld voor het maken van de hechtlassen
 - ook hierbij backinggas gebruiken [Argon 4.8 of formeer 95/5]
 - lastoorts moet voorzien zijn van een gaslens
 - lastoevoegmateriaal brandschoon maken met aceton
 - tijdens het lassen het lastoevoegmateriaal niet uit de inerte omgeving trekken (oxidatie)
 - bij hergebruik van het lastoevoegmateriaal eerst de verbrande (geoxideerd) punt afknippen

Foto: Fred Neessen





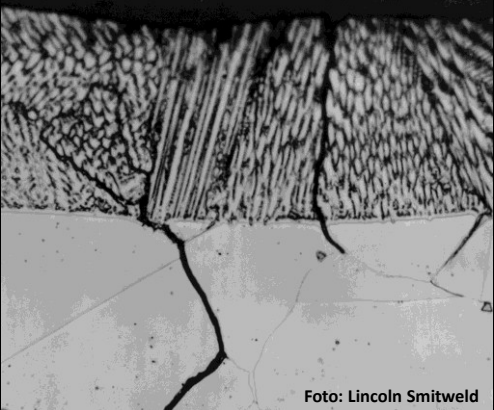
RVS, Duplex en Nikkel.25.67.NF



Verbrossende elementen kunnen aanwezig zijn in:

- Vet
- olie
- verf
- Markeerverf, inkt en krijt
- Snij, smeer, koelvloeistoffen
- Werkplaatsvuil enz.

Foto: Lincoln Smitweld



RVS, Duplex en Nikkel.25.68.NF



Algemene richtlijnen
Reinigen

- Slijpen – stralen – ontvetten – oplossen
- Aan beide zijden van de lasnaad (30 - 50 mm) alsmede het lastoevoegmateriaal (TIG-draad) met aceton
- Ten strengste verboden zijn:
 - “ T R I “ (Trichloorethyleen)
 - “ P E R “ (Perchloorethyleen)
 - “ T E T R A “ (Tetrachloorethyleen)
- Soms voorwarmen ter voorkoming van condens

Foto: VDM Duitsland



RVS, Duplex en Nikkel.25.69.NF



Algemene richtlijnen
Lassen

- Materiaal moet dus vrij zijn van verontreinigingen, vet en allerlei markeringen
- Gebruik het juiste lastoevoegmateriaal
- Bij twijfel altijd aan de lasdeskundige vragen en niet op eigen houtje gaan uitvoeren of proberen
- Warmte-inbreng ongeveer 10 kJ/cm

$$\frac{\text{Ampere} \times \text{Volt} \times 60}{\text{Voortloopsnelheid (cm/min)}}$$

Niet te veel zwaaien, maar een hoge voortloop-snelheid aanhouden
- Interpass temperatuur max. 150°C
Liever nog lager (100°C)

Foto: Lincoln Smitweld



RVS, Duplex en Nikkel.25.70.NF



Algemene richtlijnen
Vermijden warmscheuren

- Vooraf **GOED** schoonmaken
- Kleinst mogelijke elektrode diameter
- Volledig basische elektrode
- Elektroden droog houden
- Interpass $\leq 100^\circ\text{C}$
- Warmte-inbreng 1 kJ per mm dikte met een maximum van 10 kJ/cm
- Hoogte / breedte smeltbad ~ 1 (max. 1,5)
- Lassen in snoeren

RVS, Duplex en Nikkel.25.71.NF



Algemene richtlijnen
Lassen

- Kraters proberen te voorkomen
In ieder geval altijd weghalen door frezen of heel voorzichtig te slijpen
- Na iedere laag de slak en de oxidehuid grondig verwijderen
- Zorg voor een goede bescherming van het smeltbad
- Hechtlassen weghalen (frezen, slijpen)
Indien deze in de lasnaad opgenomen moeten worden, deze dan vooraf zorgvuldig aanfrezen

RVS, Duplex en Nikkel.25.72.NF



LasGroep Noord

Effect van gascomponenten in
ISO 114175: Z – ArHeHC 30/2/0,05

Ar + 30% He + 2% H₂ + 0,05% CO₂

T

basisgas

* hogere voortloopsnelheid,

* In positie lassen

* boogstabilisatie

* Oppervlakte spanning

Voorwarm effect zorgt voor uitstekende bevochtigingseigenschappen

RVS, Duplex en Nikkel.25.73.NF

LasGroep Noord

Beperk de warmte-inbreng

De dikvloeibaarheid van het smeltbad en de geringe inbrandingsdiepte niet oplossen door de stroomsterkte te verhogen

oververhitting lasbad

afbrand desoxidanten

kans op porositeit

V = 50 : 1

Overgang Alloy 800HP naar lasnaad

Foto's: Lincoln Smitweld

V = 3,4 : 1

Macro verbinding Alloy 800HP

RVS, Duplex en Nikkel.25.74.NF

Welk lastoevoegmateriaal voor welke Ni-bais legering	
AWS Class.	Belangrijke toepassingen
E/ERNi1	Lassen van alloy 200 en 201 en Ongelijksoortige staalsoorten en Ni-legeringen
E/ERNiCu-7	Lassen alloy 400, 405 en K-500
ERNiCr-3	Lassen alloy 600 en 601 Lassen van alloy 800, 800H en 800HT voor tot 859°C Ongelijksoortige staalsoorten en Ni-legeringen
E/ERNiCrFe-7/7A	Lassen hoog Cr-houdende legeringen zoals alloy 690
E/ERNiCrMo-2	Lassen van alloy HX
E/ERNiCrMo-3	Lassen van 625 en 9% Ni-staal voor cryogene toepassing Ongelijksoortige staalsoorten en Ni-legeringen
E/ERNiCrMo-4	Lassen C-276 en legeringen met hoge weerstand tegen pitting
E/ERNiCrCoMo-1	Lassen alloy 617 Lassen van alloy 800HT voor bedrijfstemp. van 760 – 1150°C
ERNiFeCr-1	Lassen van alloy 825
E/ERNi-C1	Lassen/repareren van vooral dunwandig gietijzer en P-brons
	Lassen/repareren van vooral dikwandig gietijzer en P-brons

LasGroep Noord

Rookgas ontzwavelings installatie
FGD Absorber Tower
(Flue Gas Desulfurization)

Schoon gas

Rook-gas

UNS Nr.

Roestvast staal leg. 317 LNM S31726

Superaustenitisch roestvast staal S34565

Roestvast staal leg. 904L N08904

6%-Mo roestvast staal leg. 926 N08926

Nikkel legering C-276 N10276

Nikkel legering 625 N06625

RVS, Duplex en Nikkel.25.7

NF-2025

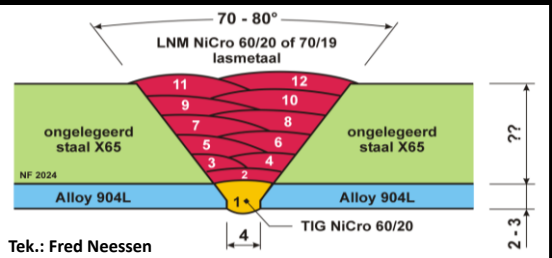
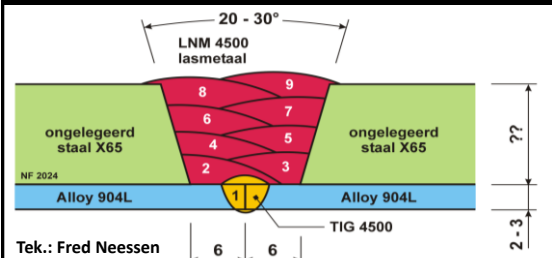
Copyright Fred Neessen

19

LasGroep Noord

Verbinding in een alloy 904L-clad in een pijp van ongelegeerd staal X65

Twee mogelijkheden



De beste oplossing voor het verbinden van pijp met inwendige alloy 904L-clad

- Een alternatief en goedkoper
- Bij een andere combinatie van mat. mogelijk niet of moeilijk uitvoerbaar
- Dan afhankelijk van de vakbekwaamheid van de TIG-lasser

RVS, Duplex en Nikkel.25.77.NF

lgw

LasGroep Noord

Conclusies – Voor het lassen

- Een iets grotere vooropening en openingshoek dan voor standaard roestvast staal
- Reinig de naad grondig
- Slechts RVS borstels mogen worden gebruikt
- Normaal gesproken niet voorwarmen
- Plasma gesneden laskanten altijd slijpen om de oxidelaag te verwijderen
- Gebruik de beklede elektroden en gevulde draad direct uit SRP, als geleverd te gebruiken
- SAW poeders voor gebruik overdrogen

RVS, Duplex en Nikkel.25.78.NF

lgw

LasGroep Noord

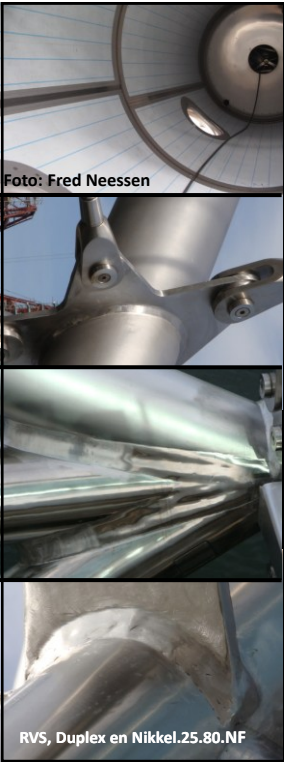
Conclusies – Tijdens het lassen

- Gebruik de juiste warmte-inbreng van: ? ? ? ? ?
- Vermijd het starten van de boog buiten de lasnaad
- Gebruik het juiste backing gas
- Houd de lastoorts onder een hoek van 90°
- Trek geen té lange boog bij het lassen
- Voorkom overmatig zwaaien
- Interpass temperatuur 100 – 150°C
- Voorkom snelle afkoeling en lage warmte-inbreng
- TIG of GMAW-STT wordt sterk aanbevolen voor het eenzijdig aanbrengen van de grondlaag (doorlassing)
- Gebruik geen koper backing strip bij duplex vanwege het risico van een te snelle afkoeling

RVS, Duplex en Nikkel.25.79.NF

lgw

Foto: Fred Neessen



Conclusies – Na het lassen

- Verwijder d.m.v. een grondige reiniging alle slakresten en oxide op en rond de lasnaad
- Borstel handmatig om elk risico op micro-scheuren te voorkomen
- Een warmtebehandeling na het lassen is niet (altijd) nodig
- Beitsen wordt aanbevolen

RVS, Duplex en Nikkel.25.80.NF

lgw

Copyright Fred Neessen

20

LasGroep Noord

Samenvatting lassen RVS & Nikkel

- Draai de knop om vooral eer U begint !!!!!
- Keuze veelal op historie gebaseerd
- Bij de voorbereiding reeds afvragen:
 - om welk eisenpakket gaat het
 - beschikbare lasprocessen
 - hoeveel lassers beheersen welke lasprocessen
- Kies eerst dan het meest economische en betrouwbare lasproces
- Het is niet moeilijk, alleen maar **A N D E R S**

RVS, Duplex en Nikkel.25.81.NF

LasGroep Noord

Referenties

- Nickel development institute (NiDi)
- Nidi.org
- Haynesintl.com
- ASM Handbook Vol 3
- Onderzoeken en micro foto's van Lincoln Smitweld B.V.
- Eigen notities

RVS, Duplex en Nikkel.25.82.NF

LasGroep Noord

The End

smit-las+++++

Bedankt voor uw aandacht

RVS, Duplex en Nikkel.25.83.NF

Gedeformeerde austeniet

Foto: Lincoln Smitweld



Invloed van delta-ferriet in austenitisch lasmetaal

Ferriet is 'ongewenst'	Laag ferrietgehalte 'gewenst'	Hoog ferrietgehalte 'vereist'
Reden: * een niet magnetisch lasmetaal FN = 0 * speciale corrosie-FN <0,5 * gebruik bij zeer lage temperaturen FN <0,5 * gebruik bij hoge temperaturen FN <0,5	Reden: * hoge weerstand tegen warm-scheuren, zelfs bij dikke componenten FN = 5 - 15 * inzetbaar tussen -100 en +400°C	Reden: * grotere weerstand tegen spanningscorrosie FN = 30...75 (25...60) * hogere vastheid FN = 30...75 (25...60) * opmenging bij lassen ongelijksoortige verbindingen FN = 15...25
Overschrijding: * magnetiseerbaar * selectieve aantasting * verlies van taaiheid * fase uitscheidingen	Over- of onderschrijding: * gevaar voor warm-scheuren FN <5 * verlies aan taaiheid FN >15 * fase uitscheidingen FN >15 * selectieve aantasting FN >15	Over- of onderschrijding: * verminderde weerstand tegen spanningscorrosie FN <30 (<25) * lagere taaiheid FN >75 (>60) * lagere sterkte-eigenschappen FN <30 (<25) * gevaar voor warm-scheuren door opmenging FN <15

NF-2025

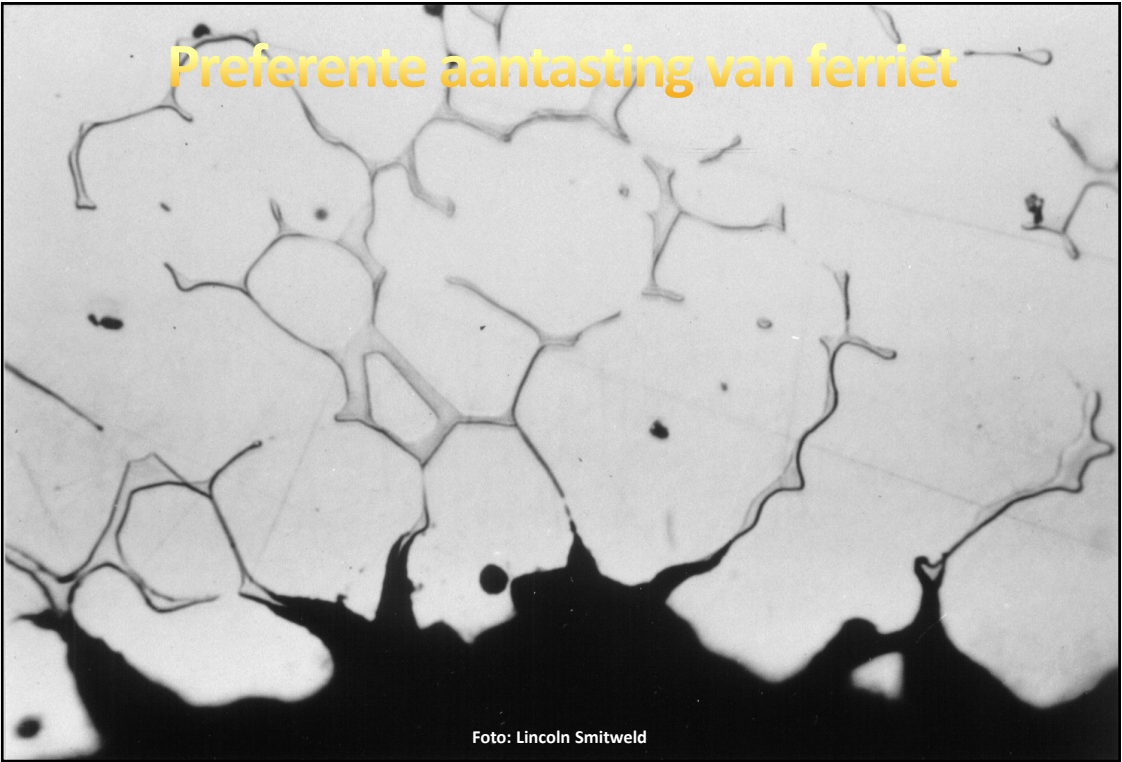
MagneGage

Foto's: Lincoln Smitweld
Preferente aantasting van ferriet in roestvast staal lasmetaal (x 500)

Ferriet uit vervormd austeniet

RVS, Duplex

lgw



Geschatte limiet van verdunning per element (gew. %) om scheurvorming tijdens stolling te voorkomen bij ongelijksoortige lasverbindingen met Ni-basis LTVM

Lasmetaal	Verdunning van de elementen			
	Fe	Ni	Cr	Cu
Ni	30%	-	30%	Onbeperkt
Ni-Cu	25% SMAW 15% GMAW	Onbeperkt	8%	Onbeperkt
Ni-Cr-Fe ⁽¹⁾	25%	Onbeperkt	30%	15%

⁽¹⁾ Silicium moet beperkt blijven tot minder dan 0,75%

Bron: Nickel Development Institute

RVS, Duplex en Nikkel.25.89.NF



Typische samenstelling van enkel austenitische roestvast staallegeringen

ASTM No. (type)	Chemische samenstelling (gew.%)							Microstructuur
	C (max)	Si (max)	Mn (max)	Cr	Ni	Mo	anders	
304	0,08	0,75	2,0	18 - 20	8 - 11	-	-	A + 2 - 8% F
304L	0,035	0,75	2,0	18 - 20	8 - 11	-	-	A + 2 - 8% F
304H	0,04-0,1	0,75	2,0	18 - 20	8 - 11	-	-	A + 2 - 8% F
304N	0,08	0,75	2,0	18 - 20	8 - 11	-	0,1/0,16N	A + 2 - 8% F
316	0,08	0,75	2,0	16 - 18	11 - 14	2 - 3	-	A + 3 - 10% F
321	0,08	0,75	2,0	17 - 19	9 - 12	-	Ti: 5xC	A + 4 - 12% F
347	0,08	0,75	2,0	17 - 20	9 - 13	-	Nb: 10xC	A + 4 - 12% F
310	0,15	0,75	2,0	24 - 26	19 - 22	-	-	100% A
309	0,08	1,0	2,0	22 - 24	12 - 15	-	-	A + 8 - 15% F
308L *	0,03	1,0	2,0	19 - 21	10 - 12	-	(* = LTVM)	A + 4 - 12% F

RVS, Duplex en Nikkel.25.90.NF

Nominale samenstellingen van corrosievaste nikkellegeringen

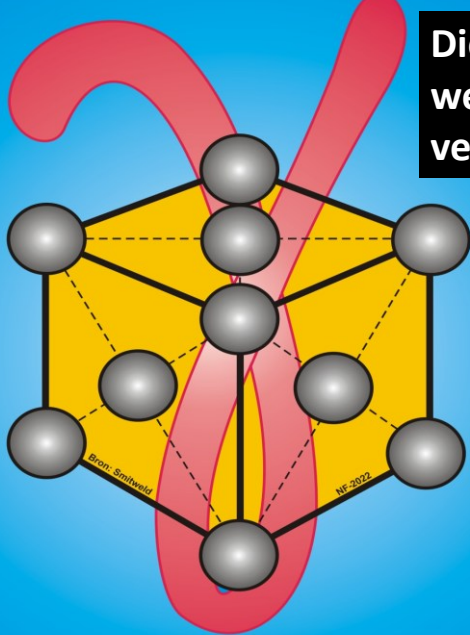
Type		C	Ni + Co	Cr	Fe	Mo	Cu	Ti	Al	Nb	W	Overige
Ni	200	0,08	rest	-	0,2	-	0,1	-	-	-	-	-
	201	0,01	rest	-	0,2	-	0,1	-	-	-	-	-
NiCrFe	600	0,08	rest	15,5	8,0	-	0,2	-	-	-	-	-
	601	0,05	rest	23,0	14,1	-	0,5	-	1,4	-	-	-
	800	0,05	32,5	21,0	rest	-	0,4	0,4	0,4	-	-	-
NiCr-FeMo	718	0,03	52,5	19,0	rest	3,05	-	1,0	0,6	5,0	-	Zr ≤ 0,02
NiCr-FeMo-Cu	825	0,03	42,0	21,5	rest	3,0	2,2	0,9	0,1	-	-	-
	925	0,02	42,0	21,0	rest	3,0	2,2	2,1	0,3	-	-	-
NiCrMo	C-276	0,005	rest	15,5	5,5	16,0	-	-	-	-	3,7	-
	C-4	0,015	rest	16,0	≤ 3,0	15,5	-	≤ 0,7	-	-	-	-
	625	0,05	rest	21,5	2,5	9,0	-	0,2	0,2	3,6 (+Ta)	-	V ≤ 0,35
NiMo	B2	≤ 0,01	rest	≤ 1,0	≤ 2,0	28,0	-	-	-	-	-	-
NiCu	400	0,2	rest	-	1,2	-	31,5	-	-	-	-	-
	K500	0,1	rest	-	1,0	-	29,5	0,6	2,7	-	-	-

RVS, Duplex en Nikkel.25.91.NF

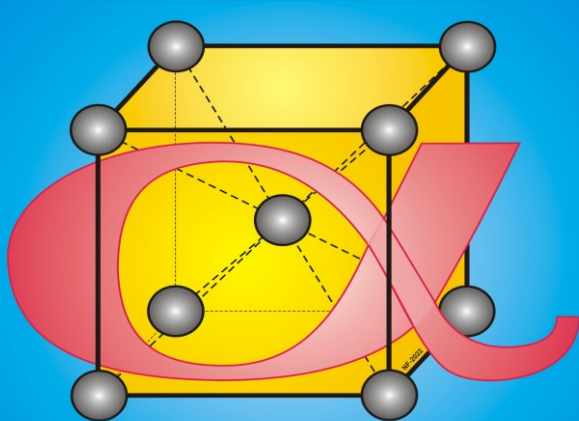


Tekeningen: Fred Neessen

Dichtste bolstapeling, weinig ruimte voor verontreinigingen



Kubisch vlakken gecentreerd kristalrooster



Kubisch ruimtelijk gecentreerd kristalrooster

