

ROESTVAST STAAL DEEL 5:

Lastechnieken Duplex RVS

Aangezien de bestaande lastechnieken zich voornamelijk hebben gericht op austenitisch rvs, is het wenselijk ze ook toe te passen voor duplex rvs. De afwijkende eigenschappen van het duplex rvs vergen echter bepaalde aanpassingen, zowel van het staal als van de lasparameters.

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

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

In duplex rvs vindt er bij verhitting omzetting plaats van de aanwezige austeniet in ferriet bij hoge temperaturen, waarna korrelgroei plaatsvindt. Bij daaropvolgende afkoeling heeft weer gedeeltelijke omzetting plaats in austeniet. Gelast duplex rvs vertoont dus ferrietvorming in de warmtebeïnvloede zone naast de las. De mate van omzetting hangt af van de bereikte piektemperatuur (die weer afhangt van de afstand tot de fusieline en in mindere mate van de tijd). Bij voldoende hoge piektemperaturen, die bij het lassen optreden, kan zich een aanzienlijke oplosgloeïing voordoen die gepaard gaat met carbide- en nitride uitscheiding bij afkoeling of bij het hernieuwd verhitten als gevolg van het leggen van een volgende las. Het onderkennen van deze omzetting is van doorslaggevend belang. Het basismetaal heeft meestal een oplosgloeïing ondergaan op een temperatuur van ca. 1050°C. Dit resulteert in een uniforme tweefasestructuur, die door het lassen ingrijpend kan worden gewijzigd. Dit laatste kan in een dusdanige mate optreden, dat er niet langer sprake is van enige overeenkomst in materiaaleigenschappen tussen basismetaal en warmtebeïnvloede zone.

OMZETTINGEN IN DE WARMTEBEÏNVLOEDE ZONE

Ofschoon er slechts twee fasen zijn betrokken bij omzettingen in de warmtebeïnvloede zone in duplex rvs, kan de uiteindelijke structuur sterk variëren. Bij afkoeling vindt aanvankelijk austenietvorming plaats op de ferrietkorrelgrenzen. Dit laatste kan echter ook optreden in de ferrietkorrels (bijv. in de vorm van Widmanstätten plaatjes) in materialen met een vrij lage chroom/nikkel verhouding of bij opeenvolgende verhittingscycli.

Verder van de fusieline afgelegen gebieden zijn onderhevig aan een lagere piektemperatuur, zodat er geen sterke omzettingen en korrelgroei plaatsvindt. Uitscheidingen van enige omvang vinden hoofdzakelijk plaats bij wat lagere temperaturen dan die waarbij ferriet austeniet omzetting optreedt en voor praktische doeleinden kunnen ze worden opgevat als toevoegingen aan de uiteindelijke ferriet-austeniet structuur. Er vormen zich dus carbiden en nitriden op de ferriet-ferriet en ferriet-austeniet grenzen, terwijl er ook omvangrijke uitscheiding kan optreden in de ferrietkorrels. Hoewel er is voorgesteld om ook duplex rvs te maken, dat is gestabiliseerd met titaan of niobium om de bestendigheid tegen interkristallijne corrosie te verhogen, bevatten de meeste commercieel verkrijgbare types deze elementen niet en de optredende uitscheidingen bestaan hoofdzakelijk uit carbiden en nitriden. In veel van de temperatuursgebieden waarin voornoemde uitscheidingen optreden is de ferriet onstabiel. Chroomverarming in de matrix kan optreden, maar dit beeld verschilt nogal van het lasbederfverschijnsel zoals dat optreedt in austenitisch rvs. De warmtecyclus bij het lassen is gewoonlijk te kort voor aanzienlijke vorming van fasen van het sigma type of voor 475°C verbrossing, mogelijk afgezien van dikke plaat en

ingeval van veelvuldige reparatiewerkzaamheden. De mate waarin omzetting van austeniet in ferriet voorkomt tijdens lassen, hangt af van de materiaalsamenstelling en de doorlopen thermische cyclus. Onderkennen van deze beide factoren is essentieel voor het formuleren van lasvoorschriften, die moeten leiden tot optimale verbindingseigenschappen, in duplex rvs. Eerstgenoemde factor heeft in ieder geval voor de mate van warmtetoevoer.

(gedefinieerd als: $\frac{\text{stroom} \times \text{spanning}}{\text{voortloopsnelheid}}$ in kJ/mm)

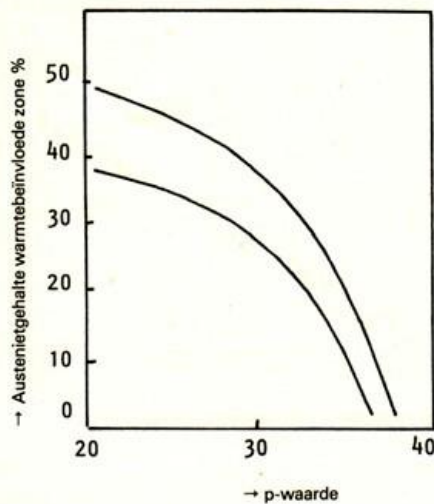
zoals die gewoonlijk wordt aangetroffen bij het lassen van austenitisch rvs, de grootste invloed. Het concept om de austeniet-ferriet balans in rvs te beschrijven in termen van ferrietbevorderende of austenietbevorderende effecten van de afzonderlijke elementen, wordt algemeen aanvaard. Er zijn enige 'toestandsdiagrammen' ontwikkeld voor zachtgegloeid basismateriaal en lasmateriaal. Hoe dan ook, de chroom- en nikkequivalenten van de diverse elementen, zoals die worden gebruikt in de Schaeffler of De Long diagrammen, kunnen ook worden gebruikt ingeval van duplex rvs; hoewel onderzoek heeft aangetoond, dat de neiging tot ferrietvorming in duplex rvs beter wordt beschreven door de volgende betrekking:

$$p = \frac{\text{Cr} + 3\text{Si} + 7\text{Ti} + 12\text{Al}}{\text{Ni} + 30\text{C} + 26\text{N} + 0,7\text{Mn}}$$

Hoe hoger de waarde van p, des te hoger is het ferrietniveau, zie afb. 2. Deze betrekking bevat niet alle elementen, die doorgaans aan duplex rvs worden toegevoegd en wel in het bijzonder molybdeen. Voor praktische doeleinden kan echter de ferrietbevorderende invloed van molybdeen gelijk worden gesteld met die van chroom net als in het Schaefflerdiagram. Het netto-effect van warmte-inbreng bij de bepaling van de uiteindelijke structuur en eigenschappen van een las in duplex rvs is momenteel nog onderwerp van discussie, lage warmte-inbreng wordt zowel aanbevolen als afgeraden. Bij het lassen met hoge warmte-inbreng, gevolgd door een lange thermische cyclus, zou korrelgroei in de volledig ferritische warmtebeïnvloede zone mogen worden verwacht bij temperaturen die in de buurt van de solidustemperaturen liggen, hetgeen leidt tot een grove structuur en mogelijke achteruitgang van de eigenschappen. Vertraagde afkoeling zal ook uitscheiding van carbiden en nitriden bevorderen, hetgeen gepaard gaat met sensitivering voor interkristallijne corrosie. Het kan tevens leiden tot verbrossing door vorming van sigma fasen of 475°C verbrossing, in de ferrietfase. Anderzijds zal langzaam afkoelen omzetting in austeniet bevorderen, met in het algemeen gunstige invloed op de taaiheid e.d.

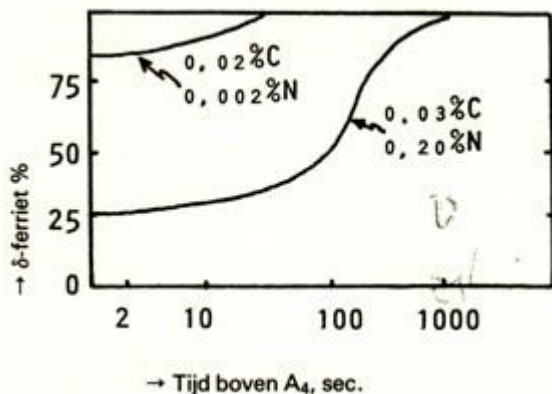


Afb. 1: Las, warmtebeïnvloede zone en beïnvloed basismetaal van duplex rvs.



Afb. 2. Effect van de p-waarde op het austeniet gehalte van de warmtebeïnvloede zone, voor meervoudige lassen in 10-13 mm dikke plaat bij 0,6- 1,6 KJ/mm.

In het bij het **handlassen** gebruikelijke warmte-inbrenggebied (0,6-1,6 KJ / mm), hebben studies van The Welding Institute aangetoond dat de resulterende variaties in de thermische cyclus weinig invloed hebben op de uiteindelijke structuur van de warmtebeïnvloede zone en dit in termen van maximale korrelgrootte, en van austenietgehalte. Dit wil nog niet zeggen dat lasomstandigheden geen invloed hebben op omzettingen in de warmtebeïnvloede zone. De breedte van deze zone, die boven de austeniet-ferriet omzettingstemperatuur is verhit, neemt toe bij hogere warmte-inbreng, terwijl bij het lassen met hogere vermogensconcentraties (bijv. bij elektronenstraallassen) de verhitting snel genoeg kan zijn om de austeniet-ferriet overgang naar hogere temperaturen te doen verschuiven, afb. 3.



Afb.3 Mate van omzetting in ferriet bij verschillende gloeitijden boven de austeniteer temperatuur in 25Cr-7Ni staal .

Laatstgenoemd effect beperkt de korrelgroei, maar in staaltypes met een voldoende hoog chroomequivalent wordt de warmtebeïnvloede zone direct naast de fusieline toch nog volledig ferritisch en de afkoelsnelheden kunnen zodanig zijn, dat er weinig of geen omzetting in austeniet volgt. Uit onderzoek naar het omzettingsgedrag bij afkoeling volgt de aanbeveling, om de lasomstandigheden zo te kiezen, dat de afkoeltijd van de warmtebeïnvloede zone tussen 800°C en 500°C, 8 tot 30 seconden bedraagt. Het doel hiervan is het verkrijgen van een tamelijk hoog austenietniveau met minimale carbideuitscheiding, etc. Aannemend dat deze afkoelsnelheid niet volledig rekenschap geeft van het voorafgaande hoge temperatuursdeel van de thermische cyclus, waar de austenietvorming het snelst is, lijkt de richtlijn vrij algemeen toepasbaar. Geschikte warmte-inbrengniveaus voor verschillende laskantvormen kunnen worden geschat aan de hand van nomogrammen in de literatuur. Hoewel echter de beheersing van de afkoelsnelheid

zou moeten leiden tot aanzienlijke austenietvorming over een heel gebied van lascondities, is het toch van belang voor deze benadering, dat de p-waarde van het rvs niet te hoog is, terwijl er bij toepassing op hoog ferriet-houdende legeringen enige onzekerheid bestaat. Onder sommige omstandigheden kan het nodig zijn dat er voorzichtigheid wordt betracht bij de keuze van een lasprocedure, vooral bij het lassen van dikwandige stukken. De grondnaad wordt gewoonlijk gelegd met een lage warmte-inbreng (bijv. $< 1,8 \text{ KJ/mm}$). Als de snelle afkoeling de omzetting in austeniet zou onderdrukken, moet er worden vertrouwd op de weerkerende thermische cycli die dan de overgang van ferriet naar austeniet op gang moet brengen. Tevens kan deze methode het gebruik van zeg meer dan 3 KJ/mm noodzakelijk maken. Dit zou in geval van normaal rvs als te hoog moeten worden aangemerkt en er bestaan weinig gegevens over laseigenschappen voor duplex rvs bij snelle warmte-inbrengniveaus. Bij laswerkzaamheden aan plaatmateriaal vervaardigd van Ferralium 255 kan er uitscheiding optreden in de warmtebeïnvloede zone van complexe koper molybdeencarbiden in de vorm van netwerken op de korrelgrenzen. Deze carbidevorming gaat gepaard met verarming van de betrokken elementen in de nabijheid van de korrelgrenzen. Er is gevonden dat dit verschijnsel kan worden tegengegaan door of het molybdeengehalte te verhogen of het koolstofgehalte te verlagen. Er is echter ook gevonden dat als het molybdeengehalte wordt verhoogd tot 3,7% of meer, er een neiging ontstaat tot sigmafasevorming in de warmtebeïnvloede zone bij het lassen van werkstukken met wanddiktes van meer dan 15 mm. Een aantrekkelijker oplossing in geval van plaatmateriaal is het handhaven van het molybdeengehalte op 2,5-3,5% en van het koolstofgehalte op maximaal 0,04%. Bij gietstukken en smeedstukken is een maximum koolstofgehalte van 0,08% bevredigend gebleken. Overigens zijn bij gietstukken, vervaardigd van Ferralium 255 geen gevallen van lasbederf geconstateerd, waarschijnlijk als gevolg van de niet-homogene structuur en de afwezigheid van de bovengenoemde continue carbidenetwerken op de korrelgrenzen.

MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN

Gebruikstemperaturen

Duplex rvs wordt meestal toegepast in het temperatuursgebied liggend tussen 0 en 300°C . Hoewel sommige legeringen worden gebruikt bij hogere temperaturen waarbij de nadruk ligt op de bestendigheid tegen de vorming van bladderroest en niet zozeer op mechanische sterkte, beperkt de gevoeligheid voor verbrossing door de vorming van sigmafase het gebruik bij hoge temperatuur. Aan het andere uiterste van de temperatuurschaal sluit de koudbroosheid van ferriet het gebruik van duplex rvs bij zeer lage temperaturen uit.

Treksterkte

Binnen het gebruikelijke temperatuursinterval neemt de sterkte van duplex rvs toe met toenemend ferrietgehalte. Deze staaltypes vertonen dan ook een toename van de sterkte (onder vermindering van de taaiheid) in de warmtebeïnvloede zone en in het lasmetaal, tot boven het niveau van het niet-beïnvloede basismetaal. Deze hardheidstoename van de warmtebeïnvloede zone kan vrij aanzienlijk zijn. Soms worden austenitische laselektrodes gebruikt, maar er ontstaan in de las toch relatief hoge ferrietniveaus als gevolg van vermenging met het basismetaal en voor de meeste doeleinden wordt er zonder echte bezwaren voldaan aan de voorgeschreven treksterkte van het basismetaal. Eén typisch effect van de omzettingen in de warmtebeïnvloede zone is, dat er breuk kan optreden bij buigproeven, die worden uitgevoerd voor kwaliteitscontrole doeleinden. Dit dient te worden onderkend als een indicatie van verminderde taaiheid en niet direct als gevolg van lasfouten, zoals bijv. gebrekkige penetratie. In tabel 1 zijn enige resultaten van transversale trek- en buigproeven verzameld. Deze resultaten zijn verkregen aan Ferralium 255 plaatmateriaal met wanddikten van 1,27 mm ($1/2$ inch) en 1,91 mm ($3/4$ inch), waarin stompe lassen zijn gelegd met respectievelijk MIG, TIG en beklede elektrodes. Bij het MIG-proces werd gebruik gemaakt van kortsluit- en spraysmelten. Voor de

lasparameters zie tabel 2. Uit de resultaten in tabel 1 blijkt dat de eigenschappen van het lasmetaal gelijk of zelfs beter zijn dan die van het basismetaal. Breuk trad meestal op in het basismetaal. In sommige gevallen trad er breuk op in het lasmetaal bij de transversale trekproeven en bestudering van de breukvlakken leerde dat er dan sprake was van lasfouten (zoals bijv. onvoldoende inbranding). Ferralium 255 is wat dit betreft gevoeliger voor onvolkomenheden in de las, dan austenitisch rvs. Nader onderzoek wat dit betreft van andere commerciële legeringen, zal uit moeten maken of dit typerend is voor alle duplex rvs-typen of alleen optreedt bij enkelingen. De buigproeven leverden eveneens aanvaardbare resultaten op. De trekeigenschappen van Ferralium 255 lasmetaal zijn vermeld in tabel 3 en liggen aanzienlijk hoger dan die van het basismetaal, waarbij de taaiheid van eerstgenoemde iets lager is. In tabel 4 zijn beproevingsresultaten vermeld die zijn behaald met lastoevoegmateriaal anders dan Ferralium 255, overigens met dezelfde lasprocessen gelegd. Uit deze resultaten blijkt dat Ferralium 255 basismetaal heel goed is te lassen met anderssoortige lastoevoegmaterialen. In alle gevallen lagen de mechanische waarden van het lasmetaal hoger dan die van het basismetaal.

Lasmethode	0,2 rekgrens MPa	treksterkte MPa	rek %	insnoering %
Gewalste plaat	680	879	26	56
TIG	753	872	17	54
MIG	727	875	24	56
Beklede elektrode	757	888	21	54

Tabel1. Mechanische eigenschappen in dwarsrichting.

Lasmethode:	Beklede elektrode	TIG	MIG (sproeien)	MIG (korte boog)
Lasvorm:	←	70° V - naad	→	→
Positie:	←	horizontaal	→	→
Voorwarmen:	←	omgevingstemperatuur	→	→
Interpasstemperatuur:	←	100°C	→	→
Nagloeien:	←	indien voorgeschreven	→	→
Gas:	N ² of Ar	100% Ar	100% Ar	90% He 7 1/2 % Ar 2 1/2 % Co ²
Lasspanning:	23 Volt	11 Volt	28 Volt	18 Volt
Lastroom:	90-120 Amp.	80-120 Amp.	190-200 Amp.	75-100 Amp.
Lassnelheid:	18 mm/min.	6 mm/min.	38 mm/min.	18 mm/min.

Tabel-2. Enige kenmerkende lasvariabelen.

Lasmethode	0,2 rekgrens MPa	treksterkte MPa	rek %	insnoering %
TIG*	769	932	22	51
MIG**	816	944	24	47
Beklede elektrode***	777	949	23	39

*: gemiddelde van 8 proeven, 4 charges
 **: gemiddelde van 3 proeven, 1 charge
 ***: gemiddelde van 5 proeven, 3 charges

Tabel3. Mechanische eigenschappen van het lasmetaal.

Basismetaal	Lasmethode	Laselektrode	0,2 rekgrens MPa	treksterkte MPa
Alloy 255/M-532	Beklede elektrode	alloy 255	434	669*
Alloy 255/M-532	Beklede elektrode	C-276	394	662*
Alloy 255/M-532	Beklede elektrode	G-3	389	660*
Alloy 255/AISI 316	Beklede elektrode	E316-16	402	665*
Alloy 255/AISI 316	TIG	ER316L	411	654*
Alloy 255/AISI 316	Beklede elektrode	alloy 255	411	274*
Alloy 255/A-36	Beklede elektrode	alloy 255	379	505**

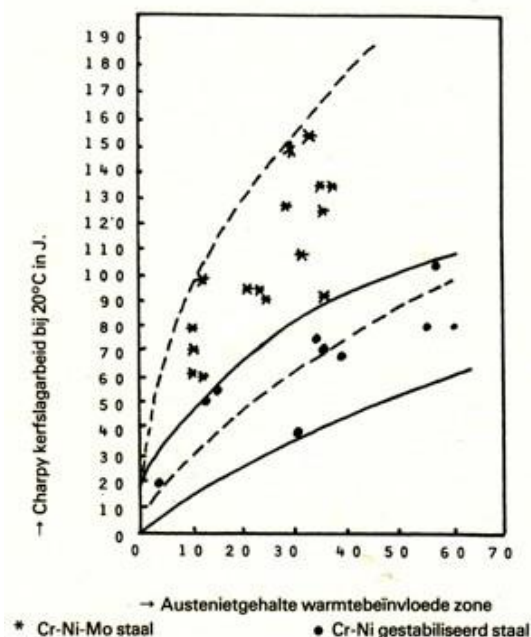
*: gemiddelde van 2 proeven, 1 charge
 **: enkele proef

Tabel4. Testresultaten van lassen in verschillende metalen.

TAAIHEID VAN DE WARMTEBEÏNVOEDE ZONE

Vanuit mechanisch standpunt bezien, bestaat er geen twijfel aan het besteden van de grootst mogelijke aandacht aan het vraagstuk van een voldoende taaiheid van het basismetaal ter weerszijden van de las.

Er is een aantal legeringen verkrijgbaar, die hoge kerfslagwaarden geeft bij temperaturen tot 50°C, maar die als een onvermijdelijk gevolg van faseveranderingen in de warmtebeïnvloede zone de taai/bros overgangstemperatuur verhoogt. De mate van deze verhoging hangt af van het staaltipe en de wanddikte. Legeringen met een hogere p-waarde vertonen een sterkere afname van de taaiheid van de warmtebeïnvloede zone, en in extreme gevallen kan overgangstemperatuur stijgen tot boven kamertemperatuur. Het scheuringspad in duplex rvs is gecompliceerd. De austenitische fase scheurt onveranderlijk als gevolg van het samenvallen van microholtes, terwijl de ferriet splijtbreuk vertoont, vooral als de beproevingstemperatuur lager wordt gekozen. Hoewel dus de austeniet morfologie en de aanwezigheid van een tweede fase enige invloed zal hebben op de scheurinitiatie en voortplanting, wordt de opgenomen energie hoofdzakelijk bepaald door de ferriet/austeniet balans, zoals is weergegeven in afb. 4. Veel vroege duplex rvs-types, met name de gietlegeringen, gaven vrijwel volledig ferritische warmtebeïnvloede zones te zien en als gevolg hiervan was de taaiheid gering. Het belang van austenietvorming wordt nu volledig onderkend bij de staalfabrikanten en er worden legeringen op de markt gebracht met een verbeterde ferriet/austeniet balans. Sommigen maken hierbij gebruik van stikstof als austenietbevorderend element, waarmee vanaf 0°C en hoger goede taaiheid van de warmtebeïnvloede zone wordt verkregen. In het algemeen is lassen in een aantal opeenvolgende gangen gunstig voor de vorming van austeniet in de warmtebeïnvloede zone en de taaiheid ervan kan bij enkelvoudige lassen in dunwandige werkstukken lager uitvallen dan bij wat dikwandiger werkstukken, waarbij meervoudige lassen noodzakelijk zijn. Dit geldt echter niet voor precipitatiehardende duplex types. Er mag worden verwacht dat de taaiheid van de warmtebeïnvloede zone zal afhangen van zowel de maximale korrelgrootte als van het austenietgehalte. Praktisch gesproken is het echter heel lastig om tussen deze beide factoren onderscheid te maken, omdat ze onderling afhankelijk zijn van de staalsamenstelling. Verder is het beslist noodzakelijk om de samenstellingsinvloed te kennen. Elementen zoals koolstof, titaan of niobium, die een vermindering van de taaiheid van volledig ferritische of austenitische materialen veroorzaken, hebben ook de neiging om de taaiheid van de warmtebeïnvloede zone te verminderen bij duplex rvs, terwijl hoog chroomhoudend of precipitatiehardende types, zoals bijv. CD4MCu een verlaging van de taaiheid te zien kunnen geven ten opzichte van de laag gelegerde types. Niettegenstaande zulke variaties, voldoen de warmtebeïnvloede zones in de huidige commercieel verkrijgbare duplex rvs-types aan de eis betreffende een minimale kerfslagenergie van zo'n 27J bij 0°C en hoger, gesteld dat de samenstelling zodanig is, dat een adequaat austenietniveau kan worden gehandhaafd. Het gewenste austenietgehalte in de warmtebeïnvloede zone zal variëren met de staalsamenstelling en voorgeschreven niveau. De ervaring leert dat een minimum van 30% wenselijk is, maar voor precipitatiehardende types is dit 40%, terwijl voor lager gelegerde types 20% voldoende is, zeker ingeval van dunwandig materiaal.

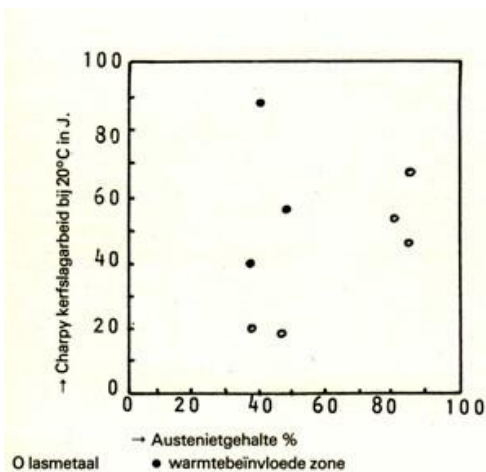


Afb. 4. Verband tussen het austeniet gehalte van de warmtebeïnvloede zone en de Charpy kerfslagarbeid bij + 20°C.

TAAIHEID VAN HET LASMETAAL

Net als in het geval van de warmtebeïnvloede zone, is ook voor het lasmetaal het austenietgehalte van doorslaggevende betekenis voor het gedrag ervan. De taaigheid van lasmetaal met dezelfde samenstelling als het basismetaal is meestal geringer dan die van de warmtebeïnvloede zone. Dit is voor het grootste deel het gevolg van de grove kolomvormige (en soms blokvormige) structuur. Daarom zijn elektrodes met aangepaste samenstelling te verkiezen die hogere austenietniveaus geven, afb. 5. Verscheidene onderzoekers hebben gewag gemaakt van lage taaigheid van duplex lasmetaal. Meestal is dit terug te voeren op een voornamelijk uit ferriet bestaande structuur van het neergesmolten metaal. Russische onderzoekers hebben aangetoond dat het lasmetaal tenminste 30% austeniet moet bevatten, zelfs ingeval van laag gelegeerde types zoals 21 Cr-5Ni en 20Cr-7Ni. Er wordt aangenomen dat deze hoeveelheid in het algemeen moet worden gezien als een minimum. Hoewel de noodzaak voor hoge austenietniveaus in lasmetaal voor alle commercieel verkrijgbare duplex rvs-types geldt, is het van nog groter belang in types die precipitatieharding vertonen. Zelfs in zulke gevallen is het mogelijk om aanvaardbare kerftaaigheidswaarden te verkrijgen bij kamertemperatuur, door elektrodes toe te passen met een hoger austenietgehalte, afb. 5. Er zal echter meer dan 50% austeniet noodzakelijk zijn.

In tabel 5 is een aantal Charpy kerfslagwaarden bij kamertemperatuur van Ferralium 255 lasmetaal weergegeven. Er blijkt uit dat met het TIG-lasproces veel betere waarden worden gehaald dan met verscheidene andere processen. De oorzaak hiervan is (nog) niet bekend. De stikstofniveaus die ontstaan bij de andere lasprocessen lijken hoger te zijn dan bij het TIG-proces en dit kan mogelijk van invloed zijn. De invloed van de beproevingstemperatuur op de kerfslagtaaiheid is weergegeven in afb. 6. De kerfslagtaaiheid neemt af met dalende temperatuur, analoog aan volledig ferritisch rvs. In afb. 7 is de invloed weergegeven van blootstelling gedurende langere tijd aan hoge temperaturen. De resultaten tonen dat boven 316°C (600°F) de taaigheid van zowel het lasmetaal als het basismetaal verloren gaat. Dit is waarschijnlijk het gevolg van 475°C verbrossing van de ferrietfase, zoals die ook optreedt in volledig ferritisch rvs.

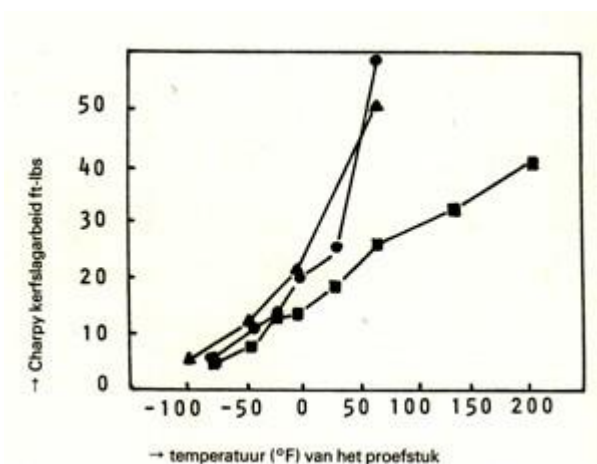


Afb. 5. Effect van het austeniet gehalte op de Charpy kerfslagarbeid bij + 200°C voor stompe lassen in 13 mm 25Cr-5Ni-Mo-Cu-N staal.

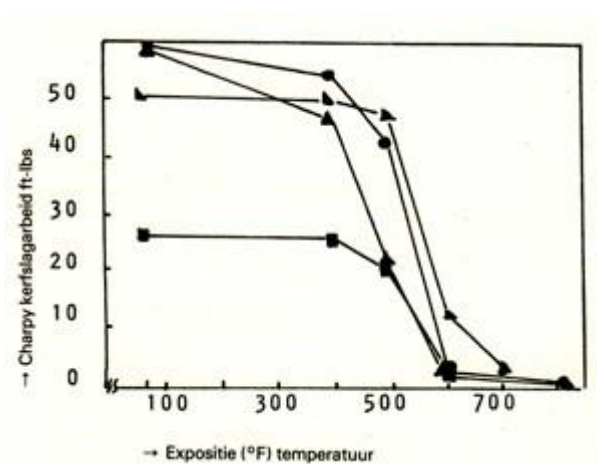
Lasmethode	Proeftemperatuur	Gemiddelde kerfslagarbeid Joule
Gewalste plaat	kamertemperatuur	68*
TIG	kamertemperatuur	80**
MIG	kamertemperatuur	34***
Beklede elektrode	kamertemperatuur	35***

*: gemiddelde van 9 proeven, 3 charges
 **: gemiddelde van 3 proeven, 1 charge
 ***: gemiddelde van 6 proeven, 1 charge

Tabel 5. Charpy kerfslagwaarden van lasmetaal.



Afb. 6. Verband tussen test temperatuur en taatheid.



Afb. 7. Verband tussen expositie temperatuur en taatheid.

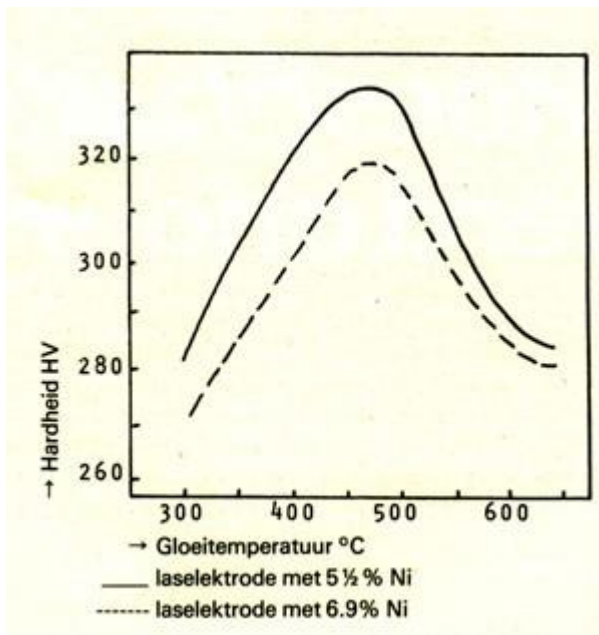
SELECTIE VAN LASELEKTRODEN

Het is gebruikelijk om bij laswerk de samenstelling van het lasmetaal zoveel mogelijk in overeenstemming te brengen met die van het basismetaal, zodat de mechanische eigenschappen en de corrosiebestendigheid van het lasmetaal ongeveer gelijk zullen zijn aan die van het basismetaal. Bij duplex rvs ligt de situatie wat anders, aangezien het aanpassen van de laselektrodesamenstelling zal resulteren in een lasmetaal met een aanzienlijk hoger ferrietgehalte dan het basismetaal, dat bij de fabricage als laatste een oplosgloeibehandeling op ca. 1050°C heeft ondergaan. Het zal uit het voorgaande duidelijk zijn, dat hogere austenietgehaltes in het lasmetaal in het algemeen worden aanbevolen en elektrodes met een hoger nikkel-en/of stikstofgehalte dan het basismetaal, verdienen dan ook de voorkeur. Scherpe definitie van het optimale austeniet niveau na lassen van een gegeven basismetaal, kan wel eens onhaalbaar zijn, omdat er een aanzienlijke verandering in de austeniet/ferriet balans kan optreden ten gevolge van kleine variaties in de samenstelling, die weer zijn veroorzaakt door verschillen in vermenging, lasmethode, booglengte etc. Door de bank genomen wijst de beschikbare informatie erop dat het ferrietgehalte van het lasmetaal de 50-70 % niet mag overschrijden, waarbij de lagere waarden beter zijn voor hoger gelegeerde basismetaaltypes. Mogelijk afgezien van de corrosieweerstand van de las en aangenomen dat een voldoende sterkte kan worden verkregen, zou er geen reden zijn om hoge austenietgehaltes van zeg 80% uit te sluiten. Op deze basis zijn de conventionele elektrodes uit de 300-reeks tenminste geschikt voor die duplex rvs-types, die tot ongeveer 22% Cr bevatten, hetgeen inderdaad gebruikelijk is voor het lassen van duplex rvs. De hoger gelegeerde duplex rvs-types vereisen meer aandacht; bijv. 316L of 309L Mo elektrodes kunnen onder bepaalde omstandigheden onvoldoende corrosieweerstand bieden. Het belang van het verkrijgen van hogere austenietniveaus in het lasmetaal door beheersing van de elektrodesamenstelling ondervindt een steeds grotere erkenning. Voor tenminste één commercieel verkrijgbaar duplex type bevelen de fabrikanten twee elektrodetypes aan, waarvan het nikkelgehalte is aangepast aan de te verwachten mate van vermenging. Het is waarschijnlijk raadzaam om tevens het koolstofgehalte zo klein mogelijk te houden. Dit is voornamelijk het geval voor elektrodes met weinig austeniet, maar het zou eveneens de koolstofdiffusie in de warmtebeïnvloede zone kunnen beperken.

VOORWARMEN

Als duplex rvs lasmetaal wordt verhit op temperaturen variërend van 300°C tot 600°C, neemt de hardheid toe met een maximum bij ca. 475°C, zie afb. 8. Uit de microhardheden in tabel 6 blijkt dat het waarschijnlijk is, dat in duplex rvs alleen de ferrietfase bijdraagt in de toename van de hardheid. Hierdoor is duplex rvs eveneens gevoelig voor 475°C verbrossing. Ondanks dit verbrossingsrisico, wordt toch wel voorverwarmd om waterstofverbrossing te voorkomen. Als echter toetreding van vocht kan worden vermeden, hoeft niet te worden voorverwarmd, terwijl de maximum interpass temperatuur zo'n 300°C mag zijn. Blootstelling aan temperaturen tussen 530° en 700°C geeft verminderde weerstand tegen putvormige corrosie als gevolg van de uitscheiding en groei van carbiden en nitriden, maar de kerfslagtaaiheid wordt door deze behandeling hersteld, zie afb. 9.

Als er zodanig wordt gelast, dat er in de warmtebeïnvloede zone plaatsen voorkomen, waar de temperatuur boven 700°C uitkomt, kan er sigmafase ontstaan, vooral in duplex rvs met een hoog molybdeen gehalte en bij het lassen van werkstukken met grote wanddiktes (>13 mm). Daarom moet er, indien er niet wordt voorverwarmd, worden gelast met een zo klein mogelijke warmtetoevoer en de te lassen delen moeten zo koel mogelijk blijven. Sommige duplex rvs types zijn zodanig van samenstelling, dat de warmtebeïnvloede zone volledig ferritisch wordt. In zulke gevallen dienen maatregelen te worden genomen om waterstofverbrossing te voorkomen.

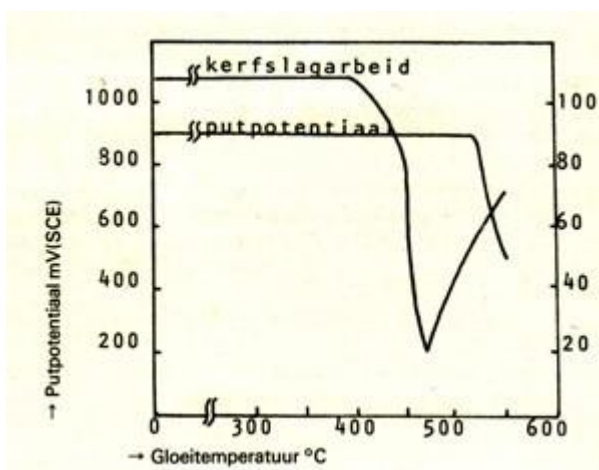


Afb. 8. Effect van warmtebehandeling van het neergesmolten lasmetaal, gedurende 4 uur op verschillende temperaturen op de hardheid.

gelegd met handlaselektroden.

Faze	Neergesmolten	Na oplosgloeïing	Na oplosgloeïing en verouderen op 510°C
ferriet	380	330	385
austeniet	335	330	330

Tabel 6. Microhardheden in HV 50 g van austeniet- en ferrietfazen in lassen, gelegd met handlaselektroden



Afb. 9. Effect van warmtebehandeling van het neergesmolten lasmetaal, gedurende 4 uur op verschillende temperaturen op de hardheid.

WARMTEBEHANDELINGEN NA HET LASSEN

Het is in het algemeen niet noodzakelijk om een warmtebehandeling uit te voeren, nadat kleine laswerkzaamheden zijn uitgevoerd, zoals bijv. kleine reparaties of produktilassen in werkstukken met wanddiktes minder dan 13 mm. Bij het lassen van werkstukken met grotere wanddiktes,

kunnen de herhaalde temperatuurscycli, die gepaard gaan met het leggen van een las in een aantal opeenvolgende gangen, leiden tot het ontstaan en uitgroeien van carbiden en nitriden waardoor de weerstand tegen putvormige corrosie sterk achteruit gaat. In zulke gevallen is een warmtebehandeling nodig, zoals is weergegeven in tabel 7. Het is eveneens noodzakelijk zich ervan te overtuigen dat het te lassen materiaal zich inderdaad in de oplosgegloeide toestand bevindt, teneinde voor het lassen al een zo hoog mogelijke taaigheid te hebben. Als er verspanende bewerkingen moeten worden uitgevoerd aan gelaste onderdelen, die een oplosgloeibehandeling hebben ondergaan, bestaat er een gerede kans dat er vervorming optreedt, als de door het afschrikken in water onder spanning staande oppervlaktelagen worden verwijderd. Als het materiaal is verouderd na het oplosgloeien is er echter al een zekere mate van spanningsafname opgetreden. Moeten de werkstukken echter in de oplosgegloeide toestand worden toegepast, dan kan gedurende 2 uur op 350°C spanningsarm worden gegloeid.

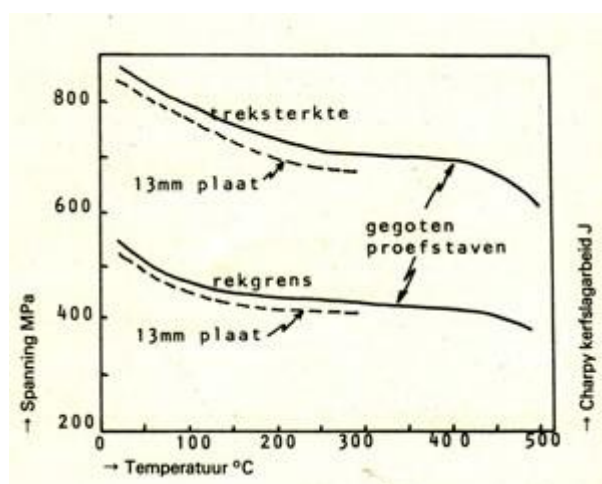
Zoals is te zien in afb. 10 daalt de treksterkte dan met ca. 25%.

In tabel 8 zijn de mechanische eigenschappen opgesomd van Ferralium 255 als basismetaal en als lasmetaal, nadat verscheidene warmtebehandelingen zijn toegepast. Er is te zien dat in de gelaste toestand de taaigheid van het lasmetaal niet erg hoog is en er scheuring kan ontstaan met name in werkstukken met grote wanddiktes. Een warmtebehandeling na het lassen is dan ook gewenst. Scheuring als gevolg van waterstofverbrossing is niet erg waarschijnlijk, zeker niet omdat er tenminste zo'n 40% austeniet aanwezig is, verdeeld tussen de ferrietkorrels waarin eventuele waterstof in voldoende mate kan oplossen. Het is evenmin waarschijnlijk dat er warmtescheuring in de austeniet optreedt, omdat er voldoende ferriet aanwezig is om dit tegen te gaan.

RVS type	Warmtebehandeling	0,2 rekgrens MPa	treksterkte MPa	rel. %	kerfslagarbeid Joule	putpotentiaal mVolt SCE*	corrosiesnelheid mm/jaar**
Alloy 255	gloeien op 1120°C + afschrikken in water	530	780	30	120	400	2 %
Alloy 255	gloeien en verouderen op 510°C	650	880	28	70	400	2 %
Alloy 268	gloeien op 1120°C + afschrikken in water	460	800	25	65	900	1,0
CF8M	gloeien op 1050°C + afschrikken in water	225	510	40	100	100	47 %

*: putpotentialen gemeten in 3% NaCl oplossing bij 40°C
 **: corrosiesnelheid gemeten in 70% H₂SO₄ oplossing bij 60°C

Tabel 7. Kenmerkende eigenschappen van enkele rvs typen.



Afb. 10. Verband tussen rekgrens/ treksterkte en de temperatuur. Gegoten proefstaven (in verouderde toestand) werden voor beproeving 30 minuten op temperatuur gehouden. Idem voor proefstaven uit plaat (deze bevonden zich in de oplosgegloeide toestand).

nikkel en 45% austeniet.					
Materiaal	Warmtebehandeling	0,5 rekgrens MPa	treksterkte MPa	rek %	kerfslagarbeid Joule
Lasmetaal	geen	740	865	6	19
Lasmetaal	gloeien op 1120°C + afschrikken in water	605	780	28	110
Lasmetaal	gloeien + verouderen op 510°C	780	935	7	10
gegoten basis- metaal	gloeien + verouderen op 510°C	650	880	28	70

Tabel 8. Mechanische eigenschappen van neergesmolten elektroden met 5 1/2%

Om lage taatheid zoveel mogelijk tegen te gaan kan er via het lastoevoegmateriaal extra nikkel worden toegevoegd, waardoor het austeniettaandeel van de las toeneemt. Ferritisch-austenitische lassen worden grotendeels toegepast in de onbehandelde toestand. Er kunnen echter drie mogelijke warmtebehandelingen worden onderscheiden.

- Ten eerste: warmtebehandeling bij temperaturen hoger dan 850°C (d.w.z. in de buurt van de oplosgloeitingstemperatuur) wordt aanbevolen om de corrosievastheid van het lasmetaal te verbeteren. Als er echter mag worden aangenomen, dat er aandacht is besteed aan de austenietniveaus en het koolstofgehalte, is deze behandeling niet nodig. Een oplosgloeiding op 1050°C is voorgesteld en ook gebruikt in de praktijk, van laswerk in onderdelen met grote wanddiktes, hoofdzakelijk voor hogere taatheid hoewel de resulterende austenietomzetting en homogenisering ook de corrosiebestendigheid verbeteren. Wat betreft de taatheid van verbindingen in dikwandig werk kan een oplosgloeiding enig voordeel bieden, maar zoiets is niet raadzaam voor materiaal met wanddiktes lager dan zo'n 25 mm.
- Ten tweede: in vroeg werk aan gelast duplex rvs werd getracht de harding die gepaard gaat met sigmafase vorming bij ca. 650°C te gebruiken om het sterkteniveau van het metaal te verhogen. De hiermee gepaard gaande verbrossing is echter te ernstig, zodat deze methode niet erg aantrekkelijk is.
- Ten derde: gloeien op 450-550°C, voornamelijk bij precipitatiehardende types, teneinde een maximale treksterkte te verkrijgen alsmede hardheid en slijtvastheid. Er moet worden opgemerkt dat dit ten koste gaat van de taatheid, vooral in gebieden van de las met weinig austeniet. De kerfslagwaarden kunnen hierdoor bij kamertemperatuur dalen tot onder 20J.

Algemene laskarakteristieken

Duplex rvs vertoont overeenkomstige raskarakteristieken met die van austenitisch rvs. Laskantbewerking, lasprocedures e.d. zoals die voor austenitisch rvs gelden zijn toepasbaar. Er dienen echter twee verschillen te worden onderscheiden. Allereerst is duplex rvs aanzienlijk sterker dan austenitisch rvs, zodat er grotere krachten nodig zijn voor bijv. het inrollen van pijpen in een pijpenplaat e.d. Ten tweede is, vanwege de hoge gevoeligheid van duplex rvs voor sigmafase en 475°C verbrossing beheersing van de interpass temperatuur van doorslaggevend belang. Het is gebruikelijk om bij het lassen van austenitisch rvs een interpass temperatuur van ca. 200°C te gebruiken. Maar ingeval van bijv. rondgaande meervoudige TIG-lassen in pijpen worden wel hogere interpass temperaturen toegepast zonder nadelige effecten. Zulke situaties moeten ingeval van duplex rvs met de nodige voorzichtigheid worden aangepakt vanwege de verbrossing die kan optreden bij voortdurende blootstelling aan temperaturen die hoger zijn dan 300°C en een maximale interpass temperatuur van 200°C is dan ook zeker raadzaam. Het zal duidelijk zijn dat duplex rvs evenals austenitisch rvs aan dezelfde door proces en/of operator veroorzaakte fouten onderhevig kan zijn, zoals daar zijn: gebrekkige inbranding, porositeiten, etc.

Dergelijke gebreken kunnen echter worden overwonnen door middel van beheersing van het lasproces. Er is echter gevonden dat er scheuring van het lasmetaal kan optreden vooral, hoewel niet uitsluitend, in dikwandige werkstukken. Het probleem komt maar sporadisch voor, en de oorzaken van deze scheuring en de factoren die ze beheersen zijn nog onvoldoende onderzocht. Er schijnen echter tenminste twee mechanismen werkzaam te zijn. Scheuring bij het stollen tijdens het lassen van austenitisch rvs. Warmscheuring is wel bekend, maar vanwege hun twee-fase structuur hoeft dit bij duplex rvs niet a priori te worden verwacht. Desondanks kunnen er interdendritische scheuren ontstaan tijdens stollen. The Welding Institute heeft scheuren van dit type waargenomen in laswerk dat is uitgevoerd met MIG, met beklede elektrodes en onder poederdek gelegde lassen in werkstukken met wanddiktes van ca. 10 mm. Er bestaat waarschijnlijk een afhankelijkheid van de samenstelling zoals bij austenitisch rvs, maar de effecten van de afzonderlijke elementen zijn niet gedefinieerd.

Hoge gehalten aan koolstof ($>0,06\%$), fosfor ($>0,03\%$) en koper ($>3,0\%$) schijnen nadelig te zijn evenals een hoge p-waarde ($>\text{ca. } 3,2$). Laatstgenoemde parameter zou weleens van veel invloed kunnen zijn: er is aangetoond dat het risico van scheuring toeneemt in rvs dat nominaal uit austeniet bestaat met een hoge Schaeffler Creq / Nieq verhouding. Verder zijn er transkristallijne scheuren waargenomen bij breukonderzoek, met scherpe randen en goed te onderscheiden kloof-facetten, die wijzen op een scheuringsmechanisme dat bij lagere temperaturen moet optreden. Deze scheurmorfologie is met name aangetroffen in laswerk in werkstukken met grote wanddiktes (ca. 50 mm), die een laag austeniet niveau bezitten. Waarschijnlijk vloeien deze scheuren voort uit een onvoldoende taaiheid om krimpspanningen op te nemen. Deze geringe taaiheid is het gevolg van een grove korrelstructuur en mogelijk verbrossing door vorming van sigmafase en/ of 475°C brosheid. Er zijn gelijksoortige scheuren gevonden in de warmtebeïnvloede zone van lassen, die zijn gelegd in gietstukken met een wanddikte van 75 mm en met een globale samenstelling 25Cr-5Ni-Ti-V. Het kan echter ook zijn dat de aanwezigheid van waterstof heeft bijgedragen aan de scheuring, waardoor de normale remedies tegen waterstofscheuring moeten worden genomen, zoals het aandacht besteden aan de droging van de laselektrodes en voorwarmen. Hoewel verder onderzoek naar de mechanismen van lasscheuren wenselijk is, moet het verschijnsel niet worden beschouwd als een onoverkomelijk probleem bij het lassen van duplex rvs. Indien het austenietgehalte voldoende is, kunnen met de gangbare booglasprocessen scheurvrije lassen worden gemaakt. Bij gebruik van lasmateriaal op basis van nikkellegeringen, zijn er kleine scheurtjes (ca. 0,2 mm) gevonden in het volledig austenitische menggebied naast de fusieline. Het effect hiervan schijnt geen praktische betekenis te hebben en in geval van een tweefasige structuur, vormt deze scheuring geen probleem, noch in de warmtebeïnvloede zone noch in het lasmetaal.

Verbeter uw RVS oppervlak met Packo Surface Treatment

PACKO AFWERKINGEN



- | | |
|---------------------------|---|
| - Micro-Ondulatie: | Aanbrengen van afgeronde golfstructuur. Resulteert in "luchtlaag" tussen wand en product. |
| - Amorfisheren: | Soort "verglazen" van het oppervlak. Volledig gesloten structuur. Blijft metaal zelf. Schilfert niet. |

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

A VERDER COMPANY

Packo Surface Treatment

Cardijnlaan 10

B-8600 Diksmuide

T +32 (0)51 51 92 84

surface.packo.be@verder.com surface@packo.com

www.electropolish.be