

ROESTVAST STAAL DEEL 4: lasbaarheid van martensitisch, semi-ferritisch en ferritisch RVS

In het vorige artikel is ingegaan op het lassen van austenitisch roestvast staal. Nu zal de lasbaarheid van de martensitische, semi-ferritische en ferritische soorten worden behandeld. Wat betreft de lasbaarheid verschillen deze soorten nogal van het austenitische roestvaste staal. De kans op scheuring en verbrossing in lasmetaal en warmtebeïnvloede zone is veel groter en vergt dan ook speciale voorzorgsmaatregelen. Bij naleving van deze maatregelen zal echter blijken, dat ook martensitisch, semi-ferritisch en ferritisch roestvast staal zeer wel lasbaar zijn.

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

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

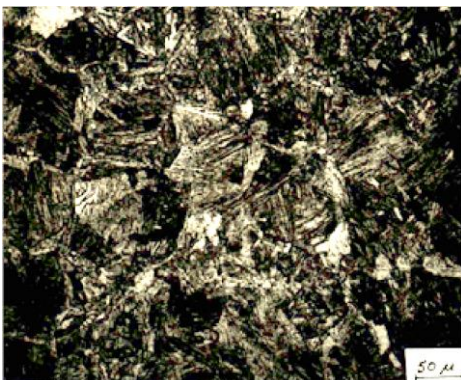
MARTENSITISCH ROESTVAST STAAL

Structuur

In de meeste commercieel verkrijgbare martensitische rvs-typen, komt chroom als hoofdlegeringselement voor naast nevenlegeringselementen, waarvan de gehalten over het algemeen laag zijn en vrij constant.

Het koolstofgehalte kan over een relatief breed traject worden gevarieerd, al naargelang de gewenste mechanische eigenschappen.

Het gedrag van martensitisch rvs komt enigszins overeen met dat van hardbare koolstofstaal typen. Bij stolling treedt er eerst delta-ferriet op, die overgaat in austeniet, die bij verdere langzame afkoeling weer overgaat in alfa-ferriet en carbiden. Vindt de afkoeling snel plaats, dan gaat bij een bepaalde temperatuur, aangeduid met M_s (martensite starting temperature), de austeniet via een diffusieloos omklapmechanisme over in martensiet, zie voor de structuur hiervan afbeelding 1.

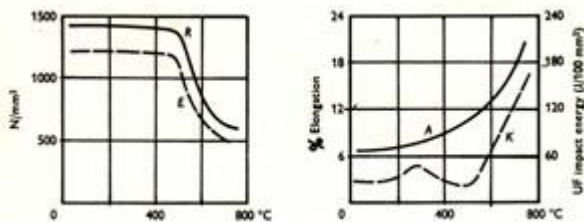


Afb. 1. Microstructuur van martensiet.

Bij een bepaalde temperatuur, aangeduid met M_f (martensite finishing temperature), houdt deze transformatie op. Niet alle austeniet gaat over in martensiet, er blijft nog wat restausteniet achter. Voor een rvs-type met 12% chroom en 0,12% koolstof, zijn de M_s en de M_f respectievelijk 300-350°C en 150-180°C.

Deze temperaturen dalen bij toenemend chroomgehalte en als er andere elementen aan het staal worden toegevoegd.

Martensitisch roestvast staal wordt in de regel in de afgeschrikte en ontlaten toestand gebruikt. Het afschrikken veroorzaakt de vorming van martensiet, die hard is en een geringe taaheid bezit. Het ontlaten is een gloeibehandeling, uitgevoerd beneden de austeniteertemperatuur, waardoor de martensiet overgaat in ferriet en fijn verdeelde carbiden. Vooral met deze ontlaatbehandeling kunnen structuren worden verkregen met een grote verscheidenheid aan combinaties van hardheid en taaheid. In afbeelding 2 zijn de mechanische eigenschappen weergegeven als functie van de ontlaattemperatuur, van een 13% chroom 0,1% koolstofhoudend type.



Afb. 2. Invloed van de ontlaattemperatuur na afschrikken op de mechanische eigenschappen van een 13% chroom, 0, 1% koolstofhoudend staal.

R = treksterkte; E = rekgrens; A = rek; K = taaheid; UF = kerfslagenergie.

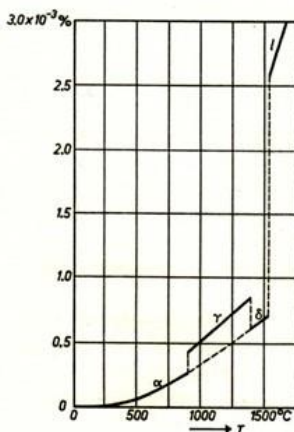
Scheuring door martensiet

Zoals gezegd is martensiet hard en bros en zeer kerfgevoelig. De vorming ervan gaat gepaard met een volumetoename, die kan oplopen tot 1%. Te samen met krimp kan dit leiden tot zeer hoge interne spanningen in een werkstuk, vooral als er weinig plastische deformatie mogelijk is. Er is dus sprake van een aanzienlijk risico voor brosse breuk of scheuring. Scheurinitiatie vindt plaats op kerven en daar waar de geometrie van het werkstuk hiertoe aanleiding kan geven, zoals scherpe overgangen.

Andere mogelijkheden voor scheurinitiatie zijn gebrekkige doorlassing of inbrandfouten, undercutting of niet-metallische insluitels.

Scheuring door waterstof

De oplosbaarheid van waterstof in austeniet is veel hoger dan in ferriet. Bovendien neemt de oplosbaarheid in zowel austeniet als in ferriet toe met toenemende temperatuur, zie afbeelding 3. Als door snelle afkoeling omzetting van austeniet in martensiet plaatsvindt, dan gaat dit gepaard met een abrupte en sterke afname van de oplosbaarheid van waterstof. Als de austeniet dus waterstof bevat, geeft dit aanleiding tot oververzadiging met als gevolg recombinatie van waterstofatomen in micro-holtes in het metaal tot waterstofmoleculen. Hierdoor vindt een sterke drukopbouw plaats, die tot scheuring kan leiden. Deze scheuren kunnen reeds bij vrij lage temperaturen optreden, waardoor het verschijnsel wordt aangeduid als koudscheuring. Het treedt enige tijd na het lassen op.



Afb. 3. Oplosbaarheid van waterstof in ijzer bij een waterstofdruk van 1 atm in gewichtsprocenten, als functie van de temperatuur. α = alfa-ferriet; γ = austeniet; δ = deltaferriet; l = vloeistof.

Bescherming tegen waterstof

Het feit dat waterstof scheuring veroorzaakt, sluit bij het lassen met schermgas, het gebruik van argon-waterstof gasmengsels uit. Voor praktische doeleinden vergt het onder schermgas lassen, het gebruik van zuivere argon of licht oxiderende gasmengsels.

Voor het handlassen dienen bij voorkeur basisch beklede elektroden te worden toegepast. Het verdient verder aanbeveling om elk spoor van vocht, afkomstig van bijvoorbeeld condensvorming of afkomstig uit de bekleding van elektroden te weren. Vooral bekende elektroden van het basische type moeten in droge toestand worden verwerkt en worden bewaard in droogstoven.

Invloed lasparameters

Lassen gaat gepaard met warmtetoevoer, die tot plaatselijke smelting van het staal leidt. Deze toegevoerde warmte verdwijnt voor een deel door geleiding naar het aangrenzende metaal, dat daardoor in temperatuur stijgt. De snelheid waarmee deze warmte verdwijnt, dus de snelheid waarmee de temperatuur daalt, is regelrecht van invloed op de structuur die het lasmetaal en het metaal van de aangrenzende warmtebeïnvloede zones zullen hebben. Is de afkoeling langzaam, dan ontstaat er ferriet. De afkoelsnelheid hangt af van de warmtetoevoer en de afmetingen van het werkstuk. Bij geringe warmtetoevoer en een werkstuk met een groot volume, zal de afkoelsnelheid groot zijn en ontstaat er martensiet. Bij hoge warmtetoevoer en een werkstuk met een klein volume is de afkoelsnelheid gering en ontstaat er ferriet.

Afhankelijk van de gewenste structuur en de afmetingen van het werkstuk, zullen de lasparameters moeten worden gekozen en voorzorgen worden getroffen.

Voorwarmen

Eén zo'n voorzorg is voorwarmen. Voorwarmen vindt in de regel plaats in het temperatuursinterval lopend van 200 tot 300°C. Het zal voornamelijk van het koolstofgehalte afhangen of er al of niet moet worden voorverwarmd. Als leidraad kan het volgende overzicht dienen:

Koolstofgehalte lager dan 0,10%.

Over het algemeen is noch voorwarmen noch nagloeien vereist.

Koolstofgehalte 0,10-0,20%.

Voorwarmen op 250°C en bij deze temperatuur lassen.

Koolstofgehalte 0,20-0,50% .

Voorwarmen op 250°C en bij deze temperatuur lassen.

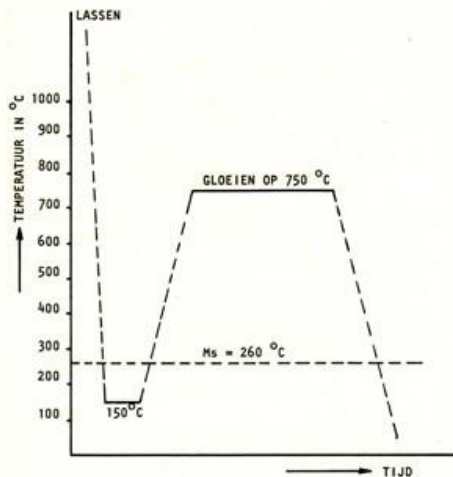
Koolstofgehalte hoger dan 0,50%.

Voorwarmen op 250°C en lassen met hoge warmtetoevoer.

WARMTEBEHANDELING NA LASSEN

Na het lassen zal, afhankelijk van de temperatuur en afkoelsnelheid en eventueel voorwarmen, een lasstructuur aanwezig zijn, die bestaat uit een mengsel van martensiet en niet getransformeerde austeniet. De hoeveelheid restausteniet direct na het lassen is groter naarmate de temperatuur na het lassen dicht bij de M_s ligt. Afkoeling tot omgevingstemperatuur veroorzaakt een vrijwel volledige omzetting van de austeniet in martensiet. Dit betekent dat de las gedurende enige tijd een ontlaathandeling moet ondergaan op een temperatuur, die doorgaans ligt tussen 600 en 850°C om sterkte en taaiheidseigenschappen te verkrijgen die overeenkomen met die van het basismetaal. De omzetting van martensiet levert ferriet op en uniform verdeelde carbiden, waardoor een zo gunstig mogelijk compromis wordt bereikt tussen sterkte en taaiheid. De omzetting van nog aanwezige restausteniet levert ferriet, waarbij zich carbiden afscheiden en wel bij voorkeur

op de korrelgrenzen. Met het oog op de tamelijk grofkorrelige structuur in de gelaste toestand, leidt dit tot een nogal brosse structuur. Dit houdt dus in, dat in geval van het voltooiën van het laswerk bij een temperatuur, die in de buurt ligt van de M_s en waarna direct een ontlaatbehandeling volgt, de verkregen eigenschappen niet optimaal zullen zijn, omdat er nog teveel austeniet aanwezig is. De beste resultaten worden verkregen door na het lassen af te schrikken en dan pas te ontlaten. Hierbij zij opgemerkt, dat de M_s van het betreffende roestvast staal type bekend moet zijn om te voorkomen dat er wordt afgeschrikt tot een nodeloos lage temperatuur, omdat hierdoor vooral bij dikwandige werkstukken het risico van scheuring toeneemt. Ter illustratie van een dergelijke afschrik- en ontlaatbehandeling, dient afbeelding 4.



Afb. 4. Warmtebehandelingsschema na lassen van een 12% chroom-, 0,2% koolstof-, 1% molybdeenhoudend martensitisch roestvast staal.

SEMI FERRITISCH ROESTVAST STAAL

Structuur

De gangbare semi-ferritische rvs-typen, zoals die in de praktijk voorkomen zijn de 17% chroom-typen, die 16-18% chroom bevatten en 0,05-0,12% koolstof. Ze bezitten de volgende karakteristieken, vergeleken met het 13% chroom martensitisch rvs:

- betere corrosiebestendigheid;
- geringe mate van hardbaarheid door afschikken;
- goede koudvervormbaarheid.

Bij afkoeling van deze legeringen ontstaat er eerst deltaferriet, vervolgens verschijnt er austeniet en tenslotte verschijnen er ferriet en carbiden. Als de afkoeling langzaam genoeg verloopt, dan gaat de austeniet over in alfa-ferriet, zodat onder 850-900°C de legering bestaat uit ferriet en carbiden. Bij snelle koeling gaat de austeniet over in martensiet en bestaat de legering uiteindelijk uit ferriet, martensiet en carbiden. Bij voldoende hoge temperatuur, waarbij de structuur geheel uit ferriet bestaat (boven circa 1350°C) hebben deze typen erg te lijden van snelle korrelgroei. Hoewel er bij afkoeling wat austeniet ontstaat, is dit onvoldoende om voor enige korrelverfijning van betekenis te kunnen zorgen.

De structuurvergroving is dus blijvend. De enige mogelijkheid om een dergelijke grove structuur te verwijderen is plastisch deformeren bij omgevingstemperatuur, waarna een gloeiing moet volgen. Hierdoor zal dan rekristallisatie optreden, die korrelverfijndend werkt. De aanwezigheid van martensiet in de las bij dit 17% chroomstaal had vaak scheuring tot gevolg. Dit heeft er lang toe geleid, dat dit staal niet kon worden toegepast in gelaste constructies. Door toevoeging van bepaalde legeringselementen, zoals titaan of niobium, kan de martensietvorming vrijwel geheel worden onderdrukt. Hierbij treedt echter vrij sterke korrelgroei op in de warmtebeïnvloede zones vlak naast de fusielijnen.

Toevoeging van bijvoorbeeld mangaan en silicium verhoogt de stabiliteit van de austeniet, zodat er geen martensiet optreedt, maar de las en de warmtebeïnvloede zones een ferritisch-austenitische structuur verkrijgen, die niet zo bros is. Bovendien treedt hierbij geen korrelgroei op in de warmtebeïnvloede zones.

Tot dezelfde categorie als het 17% chroomstaal behoort ook het 13% chroom staal met een koolstofgehalte van maximaal 0,07%. De neiging van dit staaltype tot korrelgroei bij hoge temperatuur is aanzienlijk minder dan bij het 17% chroomstaal.

Bros karakter ferritisch rvs

Een bij austenitisch roestvast staal niet voorkomend verschijnsel, dat wel optreedt bij semi-ferritisch en ferritisch roestvast staal is de overgang van taaie breuk naar brosse breuk en wel bij een temperatuur, die boven kamertemperatuur ligt. Dit betekent dat bij mechanische belasting bij kamertemperatuur en lager, ferritisch roestvast staal kerfgevoelig is en dat kerfslagwaarden van minder dan 20J gebruikelijk zijn.

Bij 90-120°C neemt de kerfslagwaarde toe tot 40 respectievelijk 70J .

Dit verband tussen kerfgevoeligheid en temperatuur speelt een niet te verwaarlozen rol bij het ontwerp van een lasverbinding en de te kiezen lasparameters. De kerfgevoeligheid gaat overigens niet vergezeld van een hoge hardheid, zoals dat bij martensiet het geval is. De vorming van martensiet vindt slechts in geringe mate plaats. Dit brengt tevens mee, dat er geen problemen optreden met waterstof, die koudscheuring kan veroorzaken. Om gevormde martensiet te verwijderen, dient het werkstuk te worden gegloeid op circa 800°C, waarbij de martensiet overgaat in ferriet en carbiden. Deze warmtebehandeling verschaft de las goede plastische eigenschappen bij langzame deformatie en bij afwezigheid van kerven. Een aldus behandelde las zonder kerf kan over een hoek van 180° worden gebogen, zonder te scheuren. De kerfgevoeligheid speelt alleen een rol als de las wordt onderworpen aan heftige stoten en als de geometrie van het werkstuk aanleiding geeft tot plaatsen waar spanningsconcentraties kunnen optreden. In afbeelding 5 is weergegeven aan de hand van zogenaamde overgangskrommen, waarin de kerfslagwaarden als functie van de temperatuur zijn uitgezet, welke invloed een warmtebehandeling bij 800°C heeft.

Overgangskrommen worden opgesteld aan de hand van kerfslag proeven, bij diverse temperaturen en geven het temperatuursgebied aan, waarbinnen het staal overgaat van taaie naar brosse breuk.

Binnen dit overgangsgebied treedt nogal wat spreiding op in de testresultaten. Als overgangstemperatuur blijkt meestal de temperatuur van het midden van het overgangsgebied vrij goed hanteerbaar te zijn en wordt dan ook aangeduid als de overgangstemperatuur van een bepaald staaltype. In afbeelding 5 bedraagt de overgangstemperatuur circa 100°C.

De verlaging van de kerfslaggevoeligheid door gloeien op 800°C is hoofdzakelijk het gevolg van het ontlaten van aanwezige martensiet. Eenzelfde resultaat kan ook worden behaald zonder gloeien.

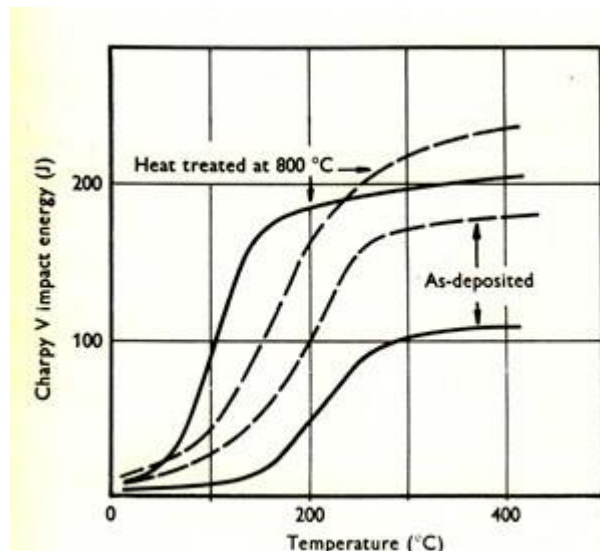
Voor dit laatste doel worden staaltypen gebruikt, waaraan circa 0,5% titaan of 15% niobium zijn toegevoegd. Deze staaltypen zijn in gelaste toestand praktisch vrij van martensiet. Beide elementen bevorderen bij hoge temperatuur de stabiliteit van ferriet en vormen met koolstof carbiden, waardoor het vrije koolstofgehalte afneemt, hetgeen de ferrietvorming eveneens ten goede komt.

In afbeelding 5 zijn de variaties in de kerfslagwaarde weergegeven voor een staaltype, dat 0,9% niobium bevat (gestreepte lijnen). Er is te zien, dat toevoeging van alleen niobium al een sterke verbetering van de kerfslagwaarden oplevert. Eliminatie van martensiet onderdrukt echter niet de kerfgevoeligheid van de ferriet bij kamertemperatuur. Toch kan toevoeging van titaan of niobium voordelig zijn in geval van laswerk aan dunwandige werkstukken, die worden blootgesteld aan betrekkelijk lage belastingen, omdat een gloeiing achterwege kan blijven. Er zijn nog andere elementen, die een gelijkwaardig effect sorteren.

De belangrijkste zijn:

- aluminium, hiermee kan een volledig ferritische structuur worden verkregen, in een staal dat slechts 13% chroom bevat,
- molybdeen, dat in feite wordt toegevoegd aan 17% chroomstaal om de corrosieweerstand te verhogen,

- silicium; dat in feite wordt toegevoegd om de oxidatieweerstand bij hoge temperatuur te verbeteren.



Afb. 5. Variatie van de Charpy V kerfslagwaarden als functie van de temperatuur.
-----: 17% chroomstaal; -----: 16% chroom, 0,9% niobiumhoudend staal.

Toepassing austenitische laselektroden

Het is zeer goed mogelijk om 17% chroomstaal te lassen met een austenitische laselektrode. De las is dan ongevoelig voor de aanwezigheid van kerven en behoeft geen gloeiing te ondergaan na het lassen. De structuur van de warmtebeïnvloede zone blijft hierdoor echter onveranderd en het basismetaal, grenzend aan de fusieline blijft kerfgevoelig. Over het geheel genomen is er toch sprake van een verbetering omdat de gebieden met lage taaiheid zeer smal zijn en het grotere vermogen van de las tot plastische deformatie hun invloed reduceert. Staaltypen met 25-30% chroom worden zelden in gelaste toestand toegepast, vanwege hun zeer hoge kerfgevoeligheid. Wordt er toch aan gelast, dan wordt doorgaans gebruik gemaakt van austenitische elektrodes, die 24% chroom en 12% nikkel bevatten of 29% chroom en 9% nikkel.

Keuze van het lasproces

Het lasproces heeft een vrij sterke invloed op de mechanische eigenschappen van 17% chroomstaal, omdat het de breedte bepaalt van de zones in het metaal, die worden verhit tot in het gebied waarin de structuur volledig ferritisch is en snelle korrelgroei optreedt. Het lasproces beïnvloedt eveneens de afkoelsnelheid en dus de tijd, gedurende welke korrelgroei kan plaatsvinden. Verder bepaalt het de hoeveelheid austeniet, die in het lasmetaal en de warmtebeïnvloede zones kan ontstaan. Op basis hiervan verdienen de handlasmethodes met elektrodes de voorkeur boven bijvoorbeeld het onder poederdek lassen. MIG- en TIG-methodes zijn eveneens goed bruikbaar. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat schermgas geen stikstof mag bevatten, omdat hierdoor de hoeveelheid martensiet in de las teveel toeneemt.

FERRITISCH ROESTVAST STAAL

Ferritisch roestvast staal bevat in de regel 25-30% chroom en maximaal 0,3% koolstof. Dit staal wordt altijd toegepast nadat het op 800-900°C is gegloeid. Net als het 17% chroomstaal is het zeer gevoelig voor korrelgroei bij hoge temperatuur. Het 25% chroomstaal bezit over het algemeen een betere corrosieweerstand dan het 17% chroomstaal. Het wordt echter hoofdzakelijk gebruikt vanwege de goede weerstand tegen oxidatie en sulfadatie bij hoge temperatuur. Toepassing in gelaste toestand is zeer beperkt, vanwege de brosheid van de lasverbindingen. Tot deze categorie behoort ook 13% chroomstaal met maximaal 0,07% koolstof, waaraan circa 0,25% aluminium is toegevoegd. Dit staaltipe kan echter zonder veel problemen worden gelast.

Verbeter uw RVS oppervlak met Packo Surface Treatment

PACKO AFWERKINGEN



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

A VERDER COMPANY

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

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