

Naadloos vormgeven met roestvast staal



Euro Inox

Euro Inox is de Europese organisatie voor marktontwikkeling van roestvast staal.

De leden van Euro Inox zijn:

- de Europese producenten van roestvast staal;
- de nationale organisaties voor de marktontwikkeling van roestvast staal;
- de organisaties van de legeringselementenindustrie.

De voornaamste doelstelling van Euro Inox is het promoten van enerzijds de unieke eigenschappen van roestvast staal en anderzijds het gebruik ervan in bestaande toepassingen en nieuwe markten. Om dit doel te bereiken organiseert Euro Inox conferenties en seminars en levert zij ondersteuning via zowel gedrukte als elektronische media, om architecten, ontwerpers, voorschrijvers, producenten en eindgebruikers beter vertrouwd te maken met het materiaal. Euro Inox ondersteunt evenzeer technisch en marktonderzoek.

ISBN 978-2-87997-217-6

978-2-87997-211-4	Engelse versie
978-2-87997-212-1	Fransen versie
978-2-87997-213-8	Italiaanse versie
978-2-87997-214-5	Spaanse versie
978-2-87997-215-2	Finse versie
978-2-87997-216-9	Zweedse versie
978-2-87997-218-3	Duitse versie
978-2-87997-219-0	Poolse versie
978-2-87997-220-6	Tsjechische versie
978-2-87997-221-3	Turkse versie

Vaste leden

Acerinox

www.acerinox.es

ArcelorMittal Stainless Belgium

ArcelorMittal Stainless France

www.arcelormittal.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaiterni.it

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Geassocieerde leden

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostfrei.de

Institut de Développement de l'Inox (I.D.-Inox)

www.idinox.com

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOA)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

www.swissinox.ch

Naadloos vormgeven met roestvast staal
 Eerste uitgave 2008
 (Materiaal en Toepassingen reeks, Volume 8)
 © Euro Inox 2008

Uitgever

Euro Inox
 Maatschappelijke zetel:
 241, route d'Arlon
 1150 Luxemburg,
 Groot-Hertogdom Luxemburg
 Tel. +352 26 10 30 50 Fax +352 26 10 30 51
 Kantoor Brussel:
 Diamant Building, A. Reyerslaan 80
 1030 Brussel, België
 Tel. +32 2 706 82 67 Fax +32 2 706 82 69
 E-mail info@euro-inox.org
 Internet www.euro-inox.org

Auteur

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Vertaling

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)
 met steun van Wigo Huis in't Veld, Nijkerk (NL)

Omslagfoto's

- HDE Solutions, Menden (D)
- ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)
- Alessi, Crusinallo (I)

Disclaimer

Euro Inox heeft alle inspanningen gedaan om de technische informatie correct weer te geven. De lezer wordt echter aangeraden om deze informatie enkel voor algemene doelstellingen te gebruiken. Euro Inox, haar leden, medewerkers en adviseurs aanvaarden geen enkele verantwoordelijkheid voor verlies, schade of letsels die zouden ontstaan op basis van de gepubliceerde informatie.

Inhoud

1. Inleiding	3
2. Mechanische eigenschappen	4
3. Vervormingspotentieel	5
4. Oppervlaktefinish	5
5. Hydroforming voor verbindingen in autokoetswerken	6
6. Hygiënisch design door naadloos ontwerp	8
7. Pompefficiëntie door toepassing van hydroforming	10
8. Forceren van metaal voor exclusieve ontwerpen	12
9. Door forceren vervaardigde siervelgen	14
10. Koudvervormde profielen voor hoge sterkte	16
11. Vervorming door explosie van warmtewisselaarplaten	18
12. Diepgetrokken sierkapjes voor wielbouten	20
13. Geprofileerde plaat voor hogere laadcapaciteit	22
14. Geraadpleegde literatuur	24

Auteursrecht

Deze publicatie is onderworpen aan het auteursrecht. Euro Inox behoudt alle rechten voor inzake vertaling in gelijk welke taal alsook vermenigvuldiging, hergebruik van illustraties, voordrachten en uitzendingen. Niets uit deze publicatie mag zonder voorafgaandelijke toestemming van de uitgever (Euro Inox, Luxemburg) worden vermenigvuldigd, opgeslagen via microfilm of in een gegevensbestand of overgemaakt worden in gelijk welke elektronische, mechanische, opgenomen of gefotocopiëerde of andere vorm. Inbreuken kunnen aanleiding geven tot gerechtelijke vervolging en schadeloosstelling alsook het vergoeden van de gerechtskosten en -honoraria. Deze vallen onder het Luxemburgse auteursrecht en de regelgeving die binnen de Europese Unie van kracht is.

Roestvast staal

Roestvaste stalen zijn ijzerlegeringen met een minimaal chroomgehalte van 10,5% (op gewichtsbasis) en maximaal 1,2% koolstof. Deze voorwaarden zijn noodzakelijk voor de opbouw van een zelfherstellende oxydel laag – ook bekend als de passivatielaag – die de corrosieweerstand van deze legeringen verzekert. Zo luidt de definitie van roestvaste staalsoorten volgens EN 10088-1.

Het gehalte aan legeringselementen beïnvloedt de metallurgische structuur van deze legeringen aanzienlijk en geeft aanleiding tot de volgende indeling in vier families, die elk specifieke chemische, mechanische en fysische eigenschappen bezitten¹:

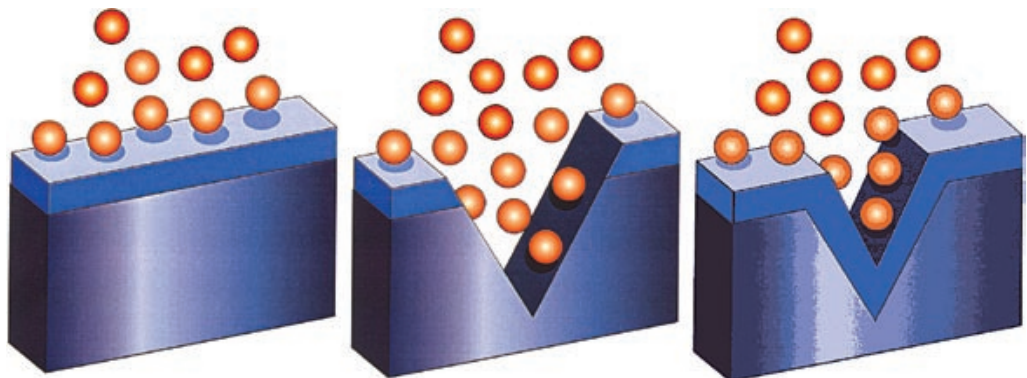
- austenitische roestvaste staalsoorten: Fe-Cr-Ni, C < 0,1% (niet-magnetisch)
- ferritische roestvaste staalsoorten: Fe-Cr (> 10,5 %), C < 0,1% (magnetisch)
- duplex roestvaste staalsoorten: Fe-Cr-Ni, gemengde austenitisch-ferritische structuur (magnetisch)
- martensitische roestvaste staalsoorten: Fe-Cr, C > 0,1% (magnetisch en thermisch hardbaar)

Deze families bevatten ook types die nog andere elementen bevatten zoals molybdeen, titaan, niobium en stikstof. Austenitische roestvaste stalen maken ongeveer twee derde van het wereldgebruik in roestvast staal uit.

De austenitische types EN 1.4301/1.4307 (AISI 304/304L) en EN 1.4401/1.4404 (AISI 316/316L), het ferritische type EN 1.4016 (AISI 430) en hun respectievelijke varianten vormen de meest gebruikelijke roestvaste stalen en zijn doorgaans goed commercieel te verkrijgen.

De belangrijkste eigenschappen van roestvast staal kunnen als volgt samengevat worden:

- corrosieweerstand
- mooi aanzien
- hittebestendigheid
- lage levenscycluskost
- volledige herbruikbaarheid
- biologische neutraliteit
- verwerkbaarheid
- hoge sterkte/gewicht verhouding



Indien roestvast staal verspaand of beschadigd wordt, dan zal de passivatielaag zich herstellen op voorwaarde dat er zuurstof (uit water of lucht) voorhanden is.

¹ Meer informatie over de chemische, mechanische en fysische eigenschappen van roestvaste staalsoorten is beschikbaar via www.euro-inox.org/technical_tables (een interactieve gegevensbank) of via de brochure *Tables of Technical Properties* (Materials and Applications Series, Volume 5), tweede uitgave, Luxemburg: Euro Inox, 2007.

1 Inleiding

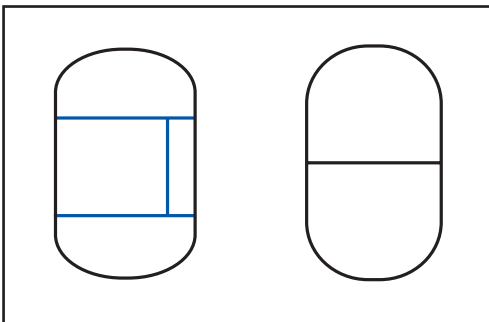
Door zijn gunstige mechanische eigenschappen heeft roestvast staal een aanzienlijk potentieel voor vormgeving. In vele gevallen kunnen complexe, niet-gelaste, driedimensionele ontwerpen succesvol uitgevoerd worden door de combinatie van een hoge sterkte / gewicht verhouding, een aanzienlijke verlenging en de neiging tot koudverstevinging.

Aangezien het gebruik ervan voor dergelijke ontwerpen niets afdoet aan doorgaans als belangrijker gevonden eigenschappen als corrosieweerstand, hittebestendigheid en een mooi aanzien, vormt roestvast staal vaak de juiste materiaalkeuze voor zowel industriële producten als consumentenartikelen.

Productiekosten omvatten o.a.:

- materiaalkosten
- transformatiekosten

Ook al is roestvast staal niet altijd het goedkoopste materiaal bij aankoop, toch zullen potentiële vereenvoudigingen in het productieproces, mogelijk gemaakt door het gebruik van roestvast staal, de totale kosten binnen de perken houden door bijvoorbeeld de reductie van het aantal dieptrekstadië en/of warmtebehandelingen.



Voor het vervaardigen van deze vaten (standaard 20-70 l) voor bier en frisdrank bestaan verschillende opties, dankzij de uitstekende vormgevingseigenschappen van roestvast staal. Driedelige ontwerpen (links) vormen slechts één optie, waarbij gebruik wordt gemaakt van twee bodems en een koudverstevige mantelplaat voor het cilindrische gedeelte. Het koudverstevigen van (koudgewalst) roestvast staal verhoogt de mechanische eigenschappen. Het gebruik van dergelijk plaatmateriaal voor het middelste gedeelte zal het vat dus versterken of de mogelijkheid bieden om dunnere plaat te gebruiken bij gelijkblijvende sterkte. Wanneer gewichtsvermindering de drijvende factor is, vormt dit ontwerp de beste keuze.



Anderzijds laat het vormgevingspotentieel van roestvast staal ook tweedelige ontwerpen toe (rechts), waarbij twee diepgetrokken helften worden gebruikt. Dit ontwerp komt in aanmerking wanneer de reductie van het aantal lasnaden de bepalende parameter vormt. Behalve omwille van het vormgevingspotentieel is roestvast staal vaak ook het meest aangewezen materiaal door de geschiktheid ervan voor contact met voedsel. Roestvast staal voldoet immers aan de Europese richtlijnen inzake voedselveiligheid.

Driedelig en tweedelig ontwerp
Foto's: AEB, Vimercate (I)

2 Mechanische eigenschappen

Om het vervormingspotentieel van een materiaal correct te kunnen inschatten, is een goed begrip van de mechanische eigenschappen ervan onontbeerlijk. De meest gebruikte mechanische evaluatiecriteria zijn de volgende:

Sterkte: de mate waarin een materiaal weerstand biedt aan vervorming. Afhankelijk van de gekozen structurele overwegingen kunnen twee soorten “vervorming” gedefinieerd worden

- “vloeiën” of permanente plastische vervorming (vandaar het begrip “vloei-grens” R_p), ofwel
- “breken” (vandaar het begrip “breuk-grens” R_m)

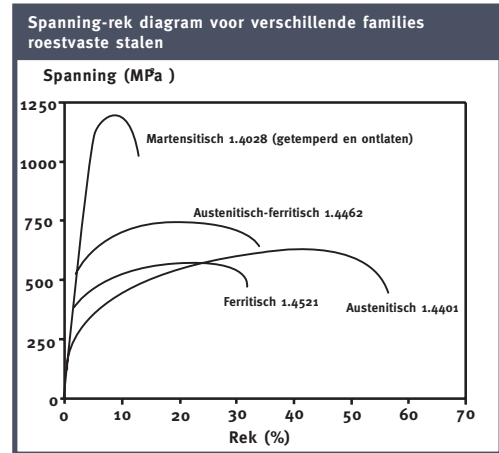
Hardheid: de mate waarin een materiaal weerstand biedt aan permanente indrukking door een uitwendig aangebrachte belasting.

Taaigheid: het vermogen om vervormingsenergie op te nemen vooraleer breuk optreedt.

Ductiliteit: het vermogen om plastisch te vervormen zonder dat breuk optreedt.

De begrippen “sterk” en “zwak”, “hard” en “zacht” alsook “taai” en “bros” betreffen telkens andere aspecten van de mechanische eigenschappen van een materiaal en mogen niet door elkaar gehaald worden. Bepaalde van deze eigenschappen kunnen opgemeten worden door een trekproef. Een typische grafiek van de resultaten van een trekproef stelt de spanning (verwant met “sterkte”) voor als functie van de hoeveelheid toegepaste vervorming (of “rek”). Het eindpunt van dergelijke trekcurven stemt overeen met de hoeveelheid vervorming bij breuk en is een maat voor de ductiliteit van het materiaal.

De oppervlakte onder elke curve geeft aan hoeveel energie het materiaal absor-



beert voordat het breekt en is dus maatgevend voor de taaigheid ervan.

Martensitischetypes worden gekenmerkt door hoge sterkte en tamelijk lage vervormbaarheid (of ductiliteit). Austenieten vertonen daarentegen lagere sterkte en goede vervormbaarheid. Austenitisch-ferritische (of duplex) en ferritische staalsoorten bevinden zich ertussenin. De vloei-grens ligt bij ferritische types doorgaans hoger dan bij austenieten, terwijl deze bij duplex soorten aanzienlijk hoger ligt dan zowel austenitische als ferritische types. De vervormbaarheid van ferritische en duplex roestvaste staaltypes is van een vergelijkbaar niveau².

Met uitzondering van de martensitische types, zijn de typische curven uit de grafiek geldig voor de gegloeide toestand, waarin roestvast staal gewoonlijk wordt geleverd. Teneinde een volledig inzicht te verkrijgen in het vervormingspotentieel van roestvast staal worden de factoren die invloed hebben op de mechanische eigenschappen opgesomd:

- chemische samenstelling
- warmtebehandeling (voor martensitische roestvast staaltypes)
- koudversteving (voor austenitische en duplex types)

Deze laatste eigenschap slaat op de mogelijkheid om roestvast staal met hoge sterkte te verkrijgen door het koud te vervormen. Dit interessante verschijnsel (“strain hardening” of “koudverstevinging”) onderscheidt deze staaltypes van de meeste

andere metallische materialen. Door de combinatie van hoge sterkte en voldoende vervormbaarheid, bieden koudverstevende austenitische en duplex roestvaste stalen daarom een interessante mogelijkheid tot gewichtsbesparing.

3 Vervormingspotentieel

Om het vervormingspotentieel van roestvast staal te illustreren worden negen praktijkvoorbeelden aangehaald in verband met zowel huishoudelijke als industriële toepassingen van roestvast staal. Elk van deze voorbeelden beschrijft:

- de principes van het toegepaste vervormingsproces
- de vereisten van het ontwerp inzake materiaaleigenschappen
- de eigenschappen die roestvast staal geschikt maken
- het maken van het product met behulp van roestvast staal³

4 Oppervlakte-afwerking

De Europese norm EN 10088-2 informeert over de afwerkingen (en de correcte terminologie) van roestvast staal⁴. De meest gangbare afwerkingen en hun typische diktebereiken zijn de volgende:

- koudgewalst matglanzend 2B (0.40 – 8.00 mm)
- koudgewalst hoogglanzend (bright annealed) 2R (< 3.00 mm)
- koudgewalst en geslepen (2G) of geborsteld (2J)

Ook warmgewalste (1D; > 2.00 mm) en koudverstevende (2H; < 6.00 mm) afwerkingen worden toegepast.

Sterke vervorming zal decoratieve oppervlakken doorgaans aantasten. In het geval van roestvast staal echter, liggen relatief complexe vormen ook zonder (mechanische) nabehandeling binnen het bereik. Zo worden bijvoorbeeld goedkope roestvast stalen spoelbakken rechtstreeks uit hoogglanzend (2R) voormateriaal diepgetrokken, zonder dat de oppervlakte aanvullend gepolijst hoeft te worden. Het feit dat de basisafwerking de vervorming goed doorstaat, maakt de combinatie van materiaal en vervormingsproces bijzonder interessant, vanuit het oogpunt van kosten bekenen.

Gangbare afwerkingen, die voor vervorming in aanmerking komen: 2B, 2R en 2G/2J



³ Deze publicatie heeft als doel om geselecteerde vervormingsprocessen te tonen die op een optimale manier gebruik maken van het vervormingspotentieel van roestvast staal. Informatie over bedrijven die deze processen kunnen uitvoeren kan verkregen worden van Euro Inox of haar leden.

⁴ Zie Bijlage B van *Gids voor Afwerkingen van Roestvast Staal* (Bouwreeks, Volume 1), tweede uitgave, Luxemburg: Euro Inox, 2006.

5 Hydroforming voor verbindingen in auto koetswerken

Hydroforming maakt het mogelijk om complexe vormen te creëren, uitgaand van buismateriaal. Het proces omvat de volgende stappen:

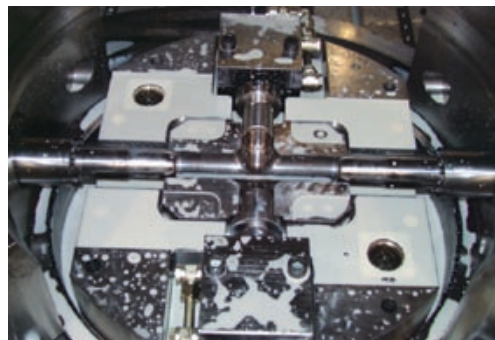
- invoeren van de RVS-buis in de matrijs
- afsluiten van beide uiteinden
- vullen van de buis met vloeistof (meestal water of olie)
- druk uitoefenen door het gecombineerde effect van de (radiale) vloeistofdruk en het (axiale) samendrukken van de buisuiteinden

In vergelijking met conventionele vervormingstechnieken, biedt hydroforming de volgende voordelen:

- de oppervlakte van het werkstuk blijft intact (geen risico op koudlassen door een stempel of vlekvorming door een smeermiddel)
- nauwere vormtoleranties

Productie van verbindingen (nodes) voor auto koetswerken

Metalen “space frames” (bovenste afbeelding links) vormen een mogelijkheid tot het vervaardigen van koetswerken van auto’s. Busbouwers maken trouwens als decennia lang gebruik van dit principe en wel onder



Hydroforming: uitrusting en foto: ArcelorMittal Centre Auto-Applications, Montataire (F)

de vorm van een frame van gelaste buizen. Traditioneel worden hierbij verbindingen gerealiseerd door buigen, snijden en lassen (bovenste afbeelding rechts).

Ten aanzien van deze technieken houdt de toepassing van hydroforming echter een aantal assemblagevoordelen in:

- vervanging van een conventioneel gelaste constructie van stukken complex gesneden buis
- scheiding van respectievelijk las- en “knooppunt” zone (de respectievelijke metallurgische en mechanische kritische zones worden aldus niet in één punt geconcentreerd)

Voordelen zijn o.a.:

- standaardisatie van de productie
- modulaire oplossingen
- hogere stijfheid en sterkte die tot gewichtsbesparing leiden
- kostenreductie

Diagram: P-J Cunat, Joinville-le-Pont (F)

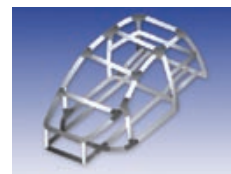


Foto: HDE Solutions, Menden (D)



Nieuwe onderdelen (nodes) voor het space frame dankzij hydroforming

Foto: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

Vervormingsgedrag van roestvast staal tijdens hydroforming

Wanneer roestvast staal hydroforming ondergaat, worden bepaalde zones sterk vervormd, hetgeen koudversteving van het materiaal veroorzaakt. Deze extra troef van roestvast staal verhoogt de mechanische eigenschappen van het gevormde onderdeel, waardoor zowel de statische als de vermoeiingsweerstand toeneemt.

De vervormde zones (waar de spanning hoger is) vallen niet samen met de gelaste zones. Deze situatie is precies omgekeerd in vergelijking met klassieke verbindingen, waarbij de laszones tevens de meest kritische zijn inzake (mechanische) belasting.



*Door hydroforming gevormde verbinding
Foto: HDE Solutions, Menden (D)*

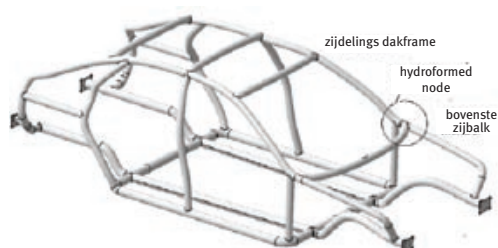
Hydroforming, toegepast op roestvast stalen verbindingen

De combinatie van hydroforming met roestvast staal houdt de volgende voordelen in:

- betere axiale uitlijning
- perfecte haaksheid (geen risico op vervormingen veroorzaakt door het lassen)
- mogelijkheid tot geautomatiseerd lassen (aan het knooppunt, eerder dan binnenin het knooppunt)

- nauwere dikte- en maattoleranties mogelijk
- betere spanningsverdeling

Gevolg: minder onderdelen, minder schroot, minder matrijzen en minder materiaalverbruik en dus kostenbesparingen.



Model en foto: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

6 Hygiënisch design door naadloos ontwerp

De volgende ontwerpvereisten zijn van toepassing op huishoudtoestellen die in contact komen met voedsel:

- hygiënische en gemakkelijk reinigbare oppervlakken
- doeltreffende warmteverdeling (met het oog op koken), met tegelijkertijd handgrepen waar men zich niet aan verbrandt

- deuk- en krasbestendigheid en slijtvastheid

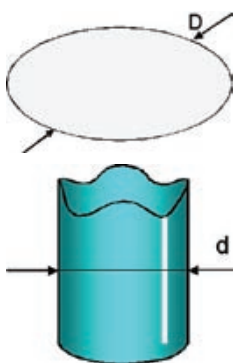
Uit “lifestyle” overwegingen kunnen ook het uiterlijk aanzien en vormgeving aan de lijst toegevoegd worden. Het hierna geïllustreerde fabricageproces van een designkookpan toont aan waarom roestvast staal al decennia lang hét aangewezen materiaal vormt om deze uitdagingen aan te gaan.



Transformatie van een vlakke schijf in een hol lichaam

Vreemd genoeg gaat de productie van deze elegante pan uit van een vlakke schijf (ronde) van nauwelijks één mm dikte en ongeveer 400 mm in diameter. Het type EN 1.4301 met een koudgewalste 2B afwerking (de standaard fabrieksafwerking) kan de aanzienlijke vervorming door de pers(en) goed doorstaan. De schijfdiameter wordt bij deze bewerking ongeveer gehalveerd, hetgeen ruwweg overeenstemt met de maximaal bereikbare vervorming⁵.

Op voorwaarde dat het plastische vervormingspotentiël ervan hersteld wordt, kan RVS nog tot verdere extremen vervormd worden. Dit wordt mogelijk gemaakt door een tussentijdse warmtebehandeling (gloeijing) boven 1000 °C. Bij deze temperaturen raakt de oppervlakte geoxideerd. Aangezien deze zwartbruine oppervlakte het gereedschap verderop in het productieproces zou vervuilen en polijsten zou bemoeilijken, wordt een chemische oppervlaktebehandeling uitgevoerd om deze laag te verwijderen en de passivatielaag te herstellen. De cilindrische tussenvorm kan aansluitend verder vervormd worden.



De Limiting Drawing Ratio (LDR) = D/d .
Kenmerkende LDR waarden voor RVS liggen tussen 1.8 en 2.



⁵De Limiting Drawing Ratio (LDR) is het quotient van de maximale schijfdiameter (D) die in één stap tot een cilinder kan diepgetrokken worden, en van de diameter (d) van die cilinder.

Van hol lichaam tot designartikel

De geschiktheid voor verwarming door inductie wordt verkregen door onder de bodem van de pan een schijf uit ferritisch RVS te bevestigen. Deze soorten zijn magnetisch, in tegenstelling tot austenitische (Cr-Ni) staalsoorten waaruit de pan zelf gemaakt werd.

Voor een optimale warmteverdeling wordt daartussen eerst nog een schijf aluminium aangebracht. De drie onderdelen



worden nauw aansluitend op elkaar aangebracht door kloppen en solderen.

Hoewel het matte oppervlak van de schijf bij aanvang niets heeft van de glans van designkookpannen, is de oppervlakteruwheid ervan voldoende laag om het nabewerken (polijsten) op efficiënte wijze uit te voeren.

Nadat de belangrijkste assemblagegestadia voltooid zijn, kan het panlichaam gesle-



Vormgeven van roestvast staal hoeft niet tot cilindrische vormen beperkt te blijven. Een complexer, gewelfd profiel (links op de foto) kan – uitgaande van de cylinder (rechts) – worden verkregen met behulp van een tweedelige metalen matrijs (die de uiteindelijke vorm dient te hebben) en een stempel (midden) die bestaat uit harde polymeren ringen met uiteenlopende eigenschappen.

pen en gepolijst worden. Daartoe staat een breed gamma aan schuurmiddelen, Scotch-Brite™ vellen en polijstpasta's (voor de finale afwerking) ter beschikking.



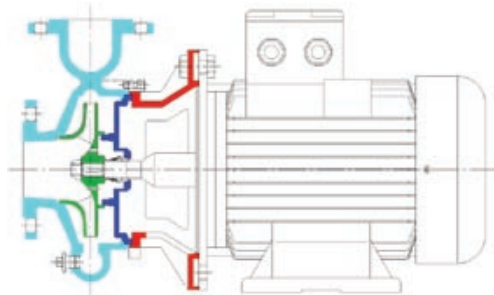
Een veelzijdig materiaal voor hygiënisch ontwerp

Dankzij de lasbaarheid, ductiliteit en bewerkbaarheid van RVS, kan dit materiaal probleemloos aan de aan kookpannen gestelde eisen inzake naadloos ontwerp, niet-klevende oppervlakken, langdurige vormstabiliteit, geschiktheid tot verwarming door inductie, voldoen. De aldus verkregen vormen kunnen ook voor toepassingen van hygiënische ontwerpen, buiten die in het keukengebied, ingezet worden.

Handgrepen uit rond- of platstaf worden op het panlichaam gelast. Door de contactoppervlakte te minimaliseren en austenitisch RVS (dat een lagere warmtegeleidbaarheid heeft dan andere stalen) te gebruiken, wordt het ontwerp ervan geoptimaliseerd voor veilig gebruik.

7 Pompefficiëntie door toepassing van hydroforming

De belangrijkste onderdelen van een centrifugaalpom

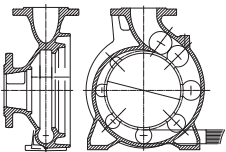


Een centrifugaalpom verhoogt de energie (geleverd door een motor) van de vloeistof die erdoorheen stroomt, waarbij de vloeistof verplaatst wordt en de druk ervan verhoogd wordt. De belangrijkste delen zijn:

- een elektrische motor en een as
- een vast pomphuis (lichtblauw)
- een draaiend schoepenrad (groen)
- een dichting (blauw) en een steun (rood)

Het schoepenrad (of waaier) zet de energie van de motor om in die van de vloeistof (deze laatste is de som van zijn druk-, kinetische en potentiële energie). De hydraulische functie van het pomphuis bestaat erin de vloeistof aan de ingangszijde in de waaier te leiden, de lage- van de hogedrukzone te scheiden en de vloeistof die de waaier verlaat naar de uitgang te leiden, waarbij de druk ervan opgevoerd wordt en tegelijkertijd de snelheid ervan daalt. Vanuit mechanisch standpunt beschouwd, dient het pomphuis bestand te zijn tegen de werkdruk, de pomp te ondersteunen (afhankelijk van het model) en spanningen veroorzaakt door de verbonden pijpsystemen op te vangen.

Ontwerp van het slakkenhuis



De rol van het slakkenhuis

Met het oog op het verder opvoeren van de vloeistofdruk bij het verlaten van de schoepenwaaier, is het pomphuis gebouwd als

een slakkenhuis, waarvan de doorsnede toeneemt als functie van de zich ontwikkelende spiraal. Dit ontwerp laat de vloeistofsnelheid dalen (nodig voor de drukstijging) met minimale wrijvingsverliezen. De vervaardiging van een metalen slakkenhuis dat aan dit complexe ontwerp voldoet is een hele uitdaging.

Van gietstukken tot diepgetrokken pomphuisen

Traditioneel werden gietijzeren, stalen of bronzen gietstukken gebruikt voor het pomphuis. Deze zijn nu echter ook beschikbaar uit diepgetrokken roestvast staal en maken gebruik van de uitstekende verhouding “sterkte / gewicht” en van de interessante vervormingseigenschap



Gietijzeren pomphuis



Pomphuis uit diepgetrokken RVS

pen van RVS om een licht maar tegelijk ook mechanisch bestendig product te vervaardigen.

Voordelen van het gebruik van roestvast staal



Centrifugaalpom met een roestvast stalen pomphuis

Pomphuisen uit RVS verzekeren:

- afwezigheid van contaminatie (van bv. drinkwater) door het constructiemateriaal
- corrosieweerstand in een breed spectrum van (licht) agressieve media
- lager gewicht door betere mechanische eigenschappen (leidend tot compacte, handige pompen)
- aantrekkelijk aanzien en reinigingsgemak



Pomphuis vervaardigd uit een diepgetrokken roestvast stalen schijf. De ingang bevindt zich aan de voorzijde en de vloeistof verlaat het pomphuis door een opening (gerealiseerd door hydroforming) aan de bovenzijde.

- verhoogde pompefficiëntie door gladde oppervlakte

Voordelen van het gebruik van hydroforming

Het ontwerp van het pomphuis kan gaan van zeer eenvoudig (met ronde doorsnede) tot ingewikkeld (met ingebouwd slakkenhuis). Dit laatste model – dat door-



Het slakkenhuis wordt m.b.v. hydroforming in het pomphuis geïntegreerd. De uitgangsholte wordt zorgvuldig afgewerkt om een optimale werking te garanderen.

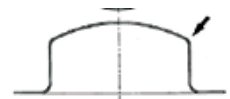
gaans vervaardigd wordt uit twee gelaste helften – vertoont betere pompefficiëntie. Het gebruik van hydroforming maakt het bovendien mogelijk om het slakkenhuis in het pomphuis te integreren en aldus het

geheel uit slechts één onderdeel te laten bestaan. Op deze wijze wordt lassen en het mogelijke bijkomende risico op corrosie vermeden.

Integratie van hydroforming in de productie van een pomphuis uit RVS

Uitgaande van een roestvast stalen schijf (dikte 1.5 – 3 mm, afhankelijk van het model) wordt het pomphuis als volgt voltooid:

- diepdrukken om het nodige volume te verzekeren
- toevoegen van het slakkenhuis (door hydroforming), via waterdruk > 1000 bar
- boren en bewerken van de openingen
- lassen van hulpstukken en steunen aan de buitenzijde



Productiestadia van het pomphuis: diepdrukken, hydroforming, boren en bewerken, aanbrengen hulpstukken

8 Forceren van metaal voor exclusieve ontwerpen

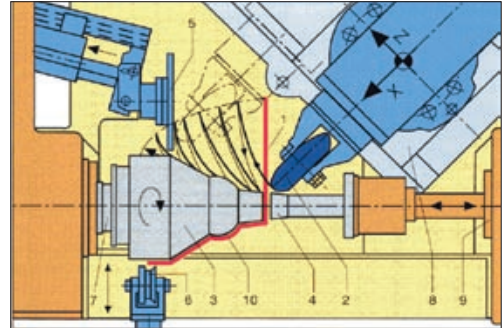
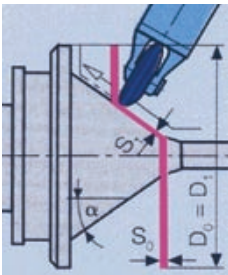
Forceren is een vervormingsproces zonder materiaalverlies. Het vereist:

- een metalen schijf of een voorvervormd dieptrekstuk
- een aandrukrol
- een op de draaibank gemonteerde cirkel-symmetrische matrijs

De schijf wordt stapsgewijs over de matrijs gestrekt waarbij beide door de draaibank aangedreven worden. Aangezien dit proces gepaard gaat met hoge drukken, is smering erg belangrijk teneinde het aanhechten van het werkstuk aan de matrijs en dus mogelijke oppervlaktebeschadiging te vermijden.

Forceren op een draaibank vereist doorgaans investeringen, maar leidt tot minder gereedschaps-, set-up- en instelkosten en het verbruikt minder energie in vergelijking met het dieptrekproces. Door de lage productiviteit echter, is het proces meer geschikt voor prototypes en kleine reeksen. Doorgaans wordt niet gepoogd om de dikte van het materiaal te verminderen.

Figuur: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)



Figuur: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)

Op voorwaarde dat er een openingshoek van minstens 12° (of minder indien meer stappen aangewend worden) voorhanden is, kunnen conische vormen echter ook in slechts één stap vervaardigd worden. De diameter van het open uiteinde van de kegel stemt hierbij overeen met de initiële schijfdiameter, zodat een zekere verdunning (afhankelijk van de hoek) onvermijdelijk optreedt. Deze variant van het proces staat bekend als vloedraaien (in het Engels: power spinning, shear forming of flow turning).

Als alternatief voor klassieke vervormingsprocessen zoals diepdrukken of strekken, vormt forceren een ideale techniek voor conische of cilindrische vormen. Dergelijke vormen zijn wijd verspreid in alledaagse gebruiksartikelen tot zelfs in de industrie. Er kunnen aanzienlijke ratio's inzake hoogte / diameter bereikt worden, uitgaande van slechts een tweedimensionele roestvast stalen schijf.

Foto: ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)



Forceren van roestvast staal

De kracht die door het gereedschap wordt uitgeoefend, veroorzaakt drukspanningen in het roestvast staal, hetgeen snel tot koudversteving en dus tot verminderde vervormbaarheid leidt. Daarom wordt forceren meestal bij beperkte dikte toegepast. De techniek is geschikt voor staaltypes met lage vloeigrens en een lage koudverstevigingscoëfficiënt, zoals dat bij ferritisch RVS (zoals bv. EN 1.4016) het geval is. Ook bepaalde austenitische staalsoorten die weinig opharden (de zgn. “stabiele” austenieten) zoals bv. EN 1.4301 en in meerdere mate EN 1.4303, komen in aanmerking.

Forceren van roestvast staal levert vormen op met een hoge mate van cirkelsymmetrie. Als gevolg daarvan kan het nabewerken van dergelijke werkstukken doorgaans ook met minimale kosten worden uitgevoerd.

Een design-barkrukvoet gemaakt van roestvast staal

Een barkruk vertoont een hoge mate van cirkelsymmetrie. Aangezien het voetstuk voldoende zwaar moet zijn om stabiliteit te waarborgen, zijn ferrolegeringen (staal of RVS) meer geschikt dan aluminium, waarvan de dichtheid slechts één derde bedraagt van die van (roestvast) staal. Omdat regelmatig onderhoud noodzakelijk is, vormt gelakt staal geen goede oplossing: frequent gebruik van onderhoudsproducten doet de verf afschilferen, hetgeen voor designmeubels ongewenst is.

Forceren van roestvast staal blijkt een interessante oplossing te zijn. Bovendien vergemakkelijkt de hoge mate van cirkelsymmetrie het polijsten van de werkstukken, zoals de foto aantoont. Het afwerken van de gladde, koudgewalste oppervlakte van RVS vergt ook geen kostbare voorbereiding.



Een barkruk vertoont hoge cirkelsymmetrie. Het voetstuk uit roestvast staal is bestand tegen agressieve reinigingsproducten.

Foto: Thate, Preetz (D)



Foto: Thate, Preetz (D)

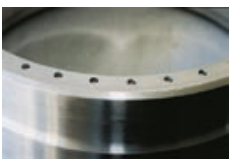
9 Door forceren vervaardigde siervelgen

Autobezitters met een neus voor exclusiviteit trachten hun voertuigen steeds naar persoonlijke smaak “aan te kleden”. Design siervelgen vormen slechts één voorbeeld van deze trend. Aangezien forceren een geschikte vormgevingstechniek vormt voor kleine reeksen, bieden siervelgen uit RVS die aldus vervaardigd worden, de volgende voordelen:

- hoge verhouding sterkte / gewicht (die lichte ontwerpen toelaat)
- verhoogde sterkte door koudverstevinging
- gladde, koudgewalste oppervlakte, die polijsten vergemakkelijkt
- hogere corrosieweerstand ten aanzien van traditionele metalen
- afwezigheid van laklagen (die kunnen afschilferen)



Assemblage van een typisch designwiel



Designwielen kunnen uit twee of drie delen gemaakt worden, afhankelijk van het model. Een driedelig model bevat:

- een spakenrad (meestal een aluminium gietstuk)
- een binnenvelg (doorgaans in aluminium)
- een buitenvelg (mogelijkerwijze in roestvast staal)

Het spakenrad wordt door middel van bouten (van een voldoende edele legering, om galvanische corrosie te vermijden) door de buitenvelg aan de binnenvelg bevestigd. De roestvast stalen buitenvelg wordt vervormd door forceren, gevolgd door geautomati-



Assemblage van het spakenrad, de binnenvelg en de buitenvelg

seerd polijsten. Behalve het mooie aanzien, verzekert het polijsten ook een betere corrosieweerstand van dit onderdeel, dat aan variërende atmosferische omstandigheden (waaronder strooizout) zal worden blootgesteld. Het gebruik van roestvast staal betekent dat de fabrikant de gebruikelijke, weinig milieuvriendelijke, oppervlaktebehandeling van de buitenvelg kan vermijden.

Designwiel uit drie delen: het spakenrad (boven), de binnenvelg (midden) en de buitenvelg (onder). Deze laatste wordt uit RVS gemaakt, dat een combinatie biedt van hoge sterkte, licht gewicht en een gladde oppervlakte.

Forceren van de buitenste roestvast stalen velg

De buitenvelg krijgt vorm, uitgaande van een roestvast stalen schijf, die kant en klaar aangekocht kan worden of kan worden gesneden uit vierkante plaatstukken.

Gemakkelijkheidshalve worden een aantal gaten geboord vooraleer de vervorming plaatsvindt. De schijf wordt tegen een ronde matrijs aan op de draaibank gemonteerd. De vervormingsrol oefent druk uit op de plaat die gaandeweg de vorm van de matrijs aanneemt. Er worden progressief meer ringen op de draaibank aangebracht, waardoor de schijf de uiteindelijke vorm

verkrijgt. Gepaste smeermiddelen dienen te worden ingezet. Roestvast staal wordt harder door koudvervormen (dit staat bekend als “koudversteving”). Hoewel teveel koudversteving het forceren bemoeilijkt, draagt dit effect, méér dan de eigenschappen van traditionele metalen, bij tot de sterkte van de buitenvelg, die schokken, ten gevolge van onverwachte hindernissen tijdens het rijden, zal moeten kunnen opvangen.



Forceren van de roestvast stalen buitenvelg. Tijdens het vervormen verstevt het roestvast staal, hetgeen een interessant potentiëel voor schokabsorptie inhoudt.

Superieure sterkte van wielen uit RVS

Austenitische roestvaste stalen vertonen interessante mechanische eigenschappen. Niet alleen bezitten zij een hoge breukgrens (R_m), ook zullen koudvervormingsprocedures zoals forceren – alsook de aansluitende vormgeving van de rand van de

buitenvelg – de mechanische weerstand nog verhogen. Niet alleen beschermt dit verschijnsel de velgen tegen steenslag, het maakt roestvast staal ook tot een uitstekende materiaalkeuze voor een designartikel dat niet gevrijwaard blijft van bijkomende steenslag en contact met stoepanden.



10 Koudvervormde profielen voor hoge sterkte



Rolvormprofilen is een goed ingeburgerde techniek voor het verkrijgen van lange, vaak complexe metallische vormen uit bandmateriaal. Wanneer met de mogelijkheden van dit proces al rekening gehouden wordt van bij de ontwerpfase, kunnen aanzienlijke kostenbesparingen gerealiseerd worden door het vermijden van bv. gelaste constructies van C- of U-profielen. Rolvormen biedt uitstekende mogelijkheden om verscheidene functies in slechts één profiel in te bouwen: kabeldoorvoering, koeling, bevestiging enz.

De meest gekende toepassingen van dit procédé vindt men in de bouw (ramen en deuren), de transportsector (vrachtwagens, bussen en treinwagons), de machinebouw en de vervaardiging van kantoormeubelen. Andere sectoren – zoals bv. de automobielsector – zijn echter ook in opgang, door de mogelijkheden die rolvormprofilen biedt om waarde te creëren door het samenvoegen van meerdere functies in één enkel bouwdeel.

Rolvormprofilen van roestvast stalen band

Het procédé lijkt sterk op het continu lassen van buizen. Een aaneenschakeling van ver-



vormingsstations (telkens uitgerust met vervormingsrollen met een bepaald gefreesd profiel) transformeert het metalen bandmateriaal (meestal in breedtes < 1000 mm) tot profielen, die dichtgelast kunnen worden of gewoon open blijven. RVS kan aldus gevormd worden in een diktebereik van 0.40 tot 8 mm, waarbij gaandeweg het vermogen om plastische vervormingsenergie op te nemen uitgeput wordt. Dit stapsgewijze vervormingsproces verbetert de mechanische eigenschappen van roestvast staal en maakt profielen van hoge sterkte en complexe vorm mogelijk.

Hoe groter het aantal stappen, hoe geleidelijker de energie wordt opgenomen en des te minder spanningen er zullen gegenereerd worden in het materiaal. Dit kan van belang zijn om te kunnen voldoen aan de maattoleranties tijdens de assemblage.

Toegevoegde waarde voor een groot aantal toepassingen

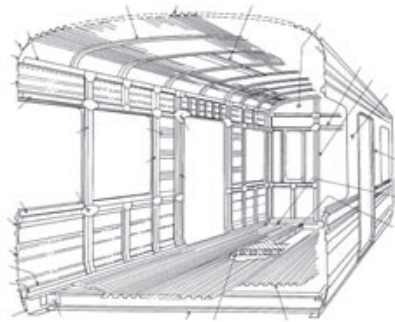
Om aan een profiel een grotere waarde toe te voegen, kunnen de volgende bewerkingen met het rolvormprofilen gecombineerd worden:

- stansen van gaten of gatenpatronen
- aanbrengen van verstevigingen
- buigbewerkingen



RVS-profielen voor wagons voor passagierstreinen

Wagons van passagierstreinen bestaan gewoonlijk uit een onderstel en een koetswerk, dat gemaakt wordt uit gelakt koolstofstaal, aluminium of roestvast staal. De roestvast stalen onderdelen kunnen geprofileerd worden vanuit door de walserijen geleverde strips in een diktebereik van 0.40 tot zelfs boven 6 mm.



Illustratie: Nickel Institute, Toronto (CDN)

Gewichtsbesparing door het gebruik van roestvast staal

Type 1.4301 kan ingezet worden, maar 1.4318 (met hogere stikstof en lagere nikkel) biedt reeds van meet af aan betere mechanische eigenschappen. Bovendien worden deze laatste eigenschappen nog verbeterd indien het roestvast stalen bandmateriaal in de walserij een extra nawalsering⁶ ondergaat (en dus koudverstevigd wordt). Het gebruik van RVS-type 1.4318 voor rolvormprofilieren biedt aldus ongekende mogelijkheden voor gewichtsbesparing voor onderdelen als horizontale en verticale balken alsook voor raamwerken.

Lichtere koetswerken verbruiken duidelijk minder energie bij het versnellen en vertragen – een duidelijke troef in het geval van locale treinen die veelvuldig starten en stoppen.

Aanzienlijke mogelijkheden voor gewichtsbesparing worden dus geboden door:

- roestvast staal (in de plaats van koolstofstaal)



Foto: ArcelorMittal Stainless Belgium, Genk (B)

- type 1.4318 (voor een verhoogd koudverstevigingseffect)
- rolvormprofilieren

Andere voordelen van het gebruik van RVS voor deze toepassing zijn:

- onderhoudsvriendelijkheid (geen noodzaak tot lakken)
- lange levensduur (geen langetermijn dikteverlies door slijtage)
- verhoogde brandveiligheid in vergelijking met andere (lichte) materialen
- verhoogde crashweerstand (dankzij mechanische eigenschappen)



Foto: Outokumpu, Espoo (FIN)

⁶ Gedetailleerde informatie is beschikbaar op de Euro Inox CD-ROM, *Stainless Steel for Structural Automotive Applications – Properties and Case Studies* (Automotive Series, Volume 1), 1, derde uitgave, Luxemburg: 2006

11 Vervorming door middel van explosie van warmte-wisselaarplaten



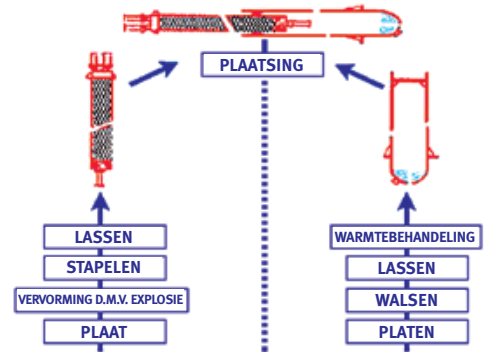
Vervorming door middel van explosie maakt gebruik van de hoge dynamische druk van een schokgolf om bij zeer hoge snelheid een metalen plaat in de vorm van een mal te brengen. Gewoonlijk wordt de explosieve lading onder water tot ontploffing gebracht, op een zekere afstand van het te vervormen onderdeel. De schokgolf doet dienst als “stempel”. Ten aanzien van traditionele vervormingsmethoden, biedt het werken met explosie vervorming de volgende voordelen:

- grote plaatafmetingen (door het gebruik van explosieven)
- grote plaatdiktes (> 10 mm in het geval van nikkellegeringen)
- verregaande vormgevingsmogelijkheden (door eliminatie van lassen en warmtebehandeling)
- eindproducten met hoge mechanische weerstand
- zeer enge maattoleranties

Grote platenwarmtewisselaars

Grote platenwarmtewisselaars (PHE) kan men aantreffen in olieraffinaderijen en in de petrochemische industrie. Hoge eisen inzake warmte-overdracht vereisen een groot contactoppervlak, gecombineerd met hoge warmte-overdrachtsefficiëntie op hoge temperatuur. Wanneer het contactoppervlak meerdere duizenden m² overschrijdt, wordt één enkele van deze grote platenwarmtewisselaars gunstiger dan één of meerdere buizenwarmtewisselaars.

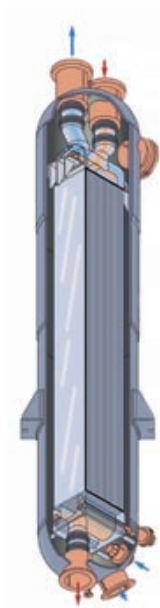
PHE's worden gekenmerkt door honderden door explosie vervormde roestvast stalen platen. Deze platen hebben een dikte tussen 0.8 en 1.5 mm en kunnen tot 2 m



breed en 15 m lang zijn. Na plaat-per-plaat explosie worden de platen gestapeld en tot een bundel aan elkaar gelast. De V-vormige ribbels zorgen voor een turbulent stromingspatroon van kruisende vloeistofstromen dat een efficiënte warmte-overdracht



garandeert. De bundel wordt vervolgens in een drukvat opgesteld, dat aan de heersende structurele voorschriften voldoet. Uitzettingsbalgen zorgen voor de verbinding tussen bundel en drukvat.



Voordelen van het gebruik van roestvast staal

RVS biedt verschillende troeven, zoals:

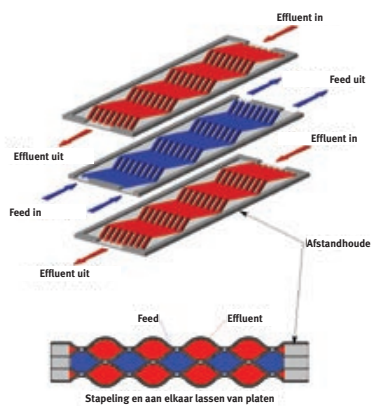
- Gebruikelijke procestemperaturen in grote platenwarmtewisselaars reiken van 300 tot 550 °C (maxima rond 650 °C). Deze vormen geen probleem voor staaltypes als EN 1.4541 (AISI 321).
- RVS biedt weerstand aan de gebruikelijke werkdrukken tot 120 bar en drukverschillen tussen in- en uitgang van 40 bar.
- Het gebruik van hoge vervormingsnelheden (tot 120 m/s), zoals deze bij vervorming door middel van explosie gebruikelijk zijn, veroorzaakt een bijkomend koudversterkingseffect op de geribbelde platen.
- De combinatie van het patroon met ribbels (dat turbulente stroming veroorzaakt) enerzijds en de lage oppervlakteruwheid (die door de vervorming niet negatief beïnvloed wordt) anderzijds, beperkt het risico op verstopt raken ("clogging" of "fouling") en lage warmteoverdrachtsefficiëntie.
- Correcte materiaalselectie beperkt het risico op corrosie door bijvoorbeeld zwaavelhoudende fracties uit aardolie.



- Klassieke lasprocédés kunnen gebruikt worden om de stapel geribbelde platen lekvrij aan elkaar te lassen.

Een succesvolle combinatie

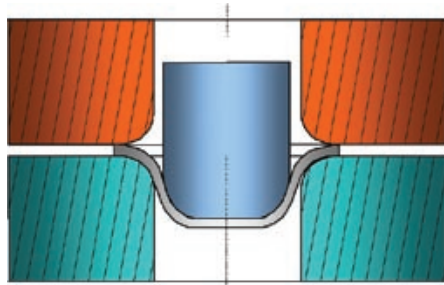
Noch vervorming door middel van explosie, noch roestvast staal vormen op zichzelf innovaties. Het installeren van grote platenwarmtewisselaars echter, die optimaal gebruik maken van de mogelijke afmetingen en van de eigenschappen van roestvast staal door vervorming door middel van explosie, houdt een betekenisvolle kostenbesparing in bij de dagelijkse werking van de raffinage-, petrochemische en gasbehandelingsprocessen.



12 Diepgetrokken sierkapjes voor wielbouten

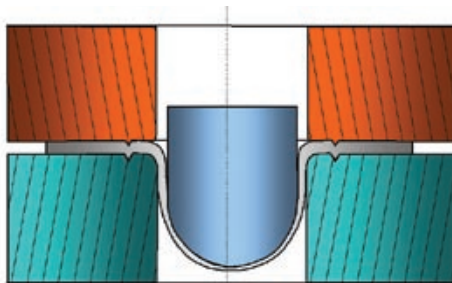
Roestvast staal vertoont over het algemeen uitstekende vervormingseigenschappen. Ook al worden meestal austenitische (Cr-Ni) roestvaste staalsoorten gebruikt, komen ferritische types eveneens in aanmerking voor een aantal procédés, op voorwaarde dat het niet uitsluitend om strekvervorming gaat. Het verschil tussen dieptrekken en strekken wordt hieronder uitgelegd.

Dieptrekken



- het metaal vloeit vrij in de matrijs
- de vervorming van een grote schijf tot een smalle cylinder komt uit de materiaalbreedte eerder dan uit de -dikte (= hoge anisotropie “r”⁷)

Strekken



- het metaal wordt vastgehouden door de vlakhouder
- aanzienlijke diktevermindering
- hoge verlenging (A%) en versterking (n) vereist

In de praktijk komt de vervormingswijze meestal neer op een combinatie van strekken en dieptrekken, hetgeen het frequente gebruik van austenitisch RVS verklaart.

Dieptrekbaarheid van ferritische types

Ferritische types kennen een enigszins hogere LDR waarde (zie pagina 8) dan austenitische types, waardoor zij uitstekend geschikt zijn voor dieptrektoepassingen. Het “roping”-verschijnsel is typisch voor ferrietten. Er zijn gewijzigde ferritische types beschikbaar met titaan of niobium, die – door strikte controle van wals- en gloeiparameters – geen roping vertonen en tevens beter dieptrekbaar zijn.



Diepgetrokken cylinder uit een standaard ferritisch type EN 1.4016 (boven), met een duidelijk “roping” effect, en één uit austenitisch type EN 1.4301 (onder). Roping verstoort het aanzien van het onderdeel en vereist mechanisch nabewerken. Het kan echter vermeden worden door de selectie van een gestabiliseerd ferritisch type (met Ti of Nb) en door strikte controle van de procesparameters in de staalfabriek.



⁷ Anisotropie “r” is de verhouding van de dwars- tot de diktere. Wanneer $r > 1$, strekt de plaat meer dan zij verdunt.

Diepgetrokken sierkapjes vervaardigd uit ferritisch RVS

Onder alle roestvast stalen onderdelen die gebruikt worden voor automobieldecoratie, vormt het type sierkapje (voor wielbouten) dat rechts geïllustreerd wordt, één van de grootste uitdagingen op het vlak van vormgeving. De vorm wijst op een hoge mate van dieptrekken, dat in dit geval in meerdere stappen wordt uitgevoerd.

RVS vervult niet alleen esthetische eisen, maar biedt ook mogelijkheden tot hoge sterkte en eenvoudig ontwerp, aangezien het onderdeel uit slechts één stuk gemaakt wordt zonder lassen of verlijming. Traditioneel werden staaltypes zoals bv. EN 1.4301 (AISI 304) ingezet. Door de dieptrekeigenschappen van ferritisch RVS, kunnen deze kapjes ook uit een ferritisch type (EN 1.4526 – AISI 436) met chroom, molybdeen en niobium worden vervaardigd:

- Voldoende anisotropie en aangepaste procesparameters maken dit type geschikt voor dieptrekken.
- Ferritische types in het algemeen vertonen een combinatie van glans en kleur die producenten van automobieldecoratie bevalt.

- Molybdeen verhoogt de weerstand tegen pitting corrosie (door strooizout en vochtige weersomstandigheden).
- Niobium helpt roping te onderdrukken en vermindert zo de noodzaak tot napolijsten.

Door hun geringe afmetingen zijn deze kleine sierkappen uiterst geschikt voor polijsten “in bulk”, in grote trommels – waardoor het RVS een hoogglanzende afwerking krijgt.

Dergelijke roestvast stalen sierkapjes (locknuts) kunnen gelijmd, gesoldeerd of gefelst worden op de wielbout. Ze zijn sterker dan wanneer klassieke constructiematerialen zouden worden gebruikt en vereisen minder nabewerking (zoals bv. coaten of lakken). Bovendien kan het materiaal volledig hergebruikt worden aan het einde van de levensduur van het voertuig.



13 Geprofileerde plaat voor hogere laadcapaciteit



Foto: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

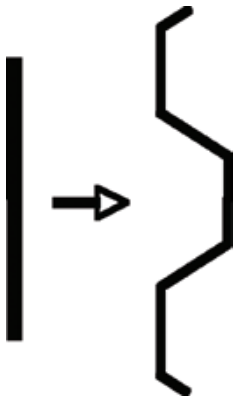
Chemische tankers vervoeren een breed scala aan scheikundige vloeistoffen. Gebruikelijke ladingen betreffen chemische, petrochemische en voedingsmiddelen, zoals fosforzuur, zwavelzuur, aardolie-derivaten, plantaardige oliën en melassen. In de haven wordt het product rechtstreeks in één van de tanks (die tot duizenden kubieke meters groot kan zijn) van het schip gepompt. Een tanker bevat doorgaans meerdere van dergelijke compartimenten, zodat het schip meer dan één lading kan transporteren.



Foto: Outokumpu, Degerfors (S)

Geprofileerde plaat voor verhoogde stijfheid

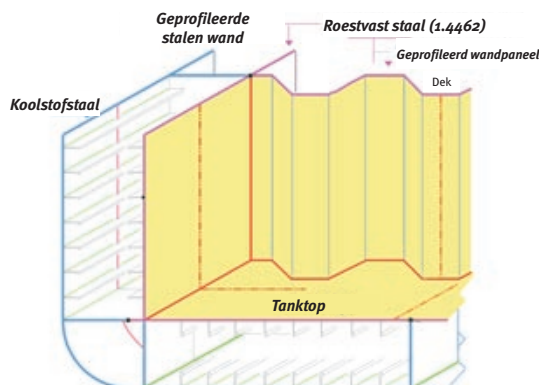
De stijfheid van een structureel onderdeel is evenredig met het traagheidsmoment ervan, dat verhoogd kan worden door zoveel mogelijk massa te verwijderen van het zwaartepunt. Zodoende wordt dunne geprofileerde plaat interessanter (vanuit structureel oogpunt) dan vlakke, dikke plaat. Compartimenten, gemaakt uit geprofileerde stalen wanden (“*corrugated bulkheads*” of “*damwandprofielen*”) verhogen de stijfheid van bv. een schip.



Dergelijke wanden uit geprofileerde platen zijn ook gemakkelijker reinigbaar (na elke lading) dan traditionele ontwerpen met een inwendige verstijvingsconstructie.

Corrosieve vloeistoffen

Aangezien deze schepen een aanzienlijke investering met zich meebrengen, dienen zij zo veelzijdig mogelijk te zijn. Austenitische types EN 1.4406 (AISI 316LN), EN 1.4434 (AISI 317LN) of het duplex type EN 1.4462 worden vaak voor deze toepassing ingezet, om tegen de eerder vermelde agressieve chemicaliën bestand te zijn. Deze Cr-Ni-Mo stalen zijn niet alleen bestandiger tegen een groter aantal corrosieve vloeistoffen dan Cr-Ni types, zij laten ook hogere werkingstemperaturen toe, zodat het gebruiksgemak inzake laden en lossen van de tanker verhoogd wordt.



Figuur: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Structurele bestendigheid

Stijfheid en corrosieweerstand zijn noodzakelijke, maar geenszins voldoende eigenschappen om aan de bouwvereisten van een tanker van 35 miljoen dollar te voldoen. Opslag en transport van chemicaliën maken immers onderdeel uit van bijzonder strenge scheepsbouwkundige normen. Aangezien de bezwijkcriteria van de tanks hoofdzakelijk met de bezwijkmode door vloeien geassocieerd worden, vormt de vloeigrens ($R_{p0.2}$) van het materiaal een belangrijk selectiecriteria.

Duplex roestvaste staalsoorten vertonen een veel hogere vloeigrens dan austenitische stalen en vormen daardoor een geschikte keuze voor de vervaardiging van wanden voor opslagtanks. Deze staalsoorten maken lichtere constructies mogelijk, waardoor de laadcapaciteit van het schip verhoogd wordt. Dit laatste vormt een uiterst belangrijke overweging in het vrachtvervoer.

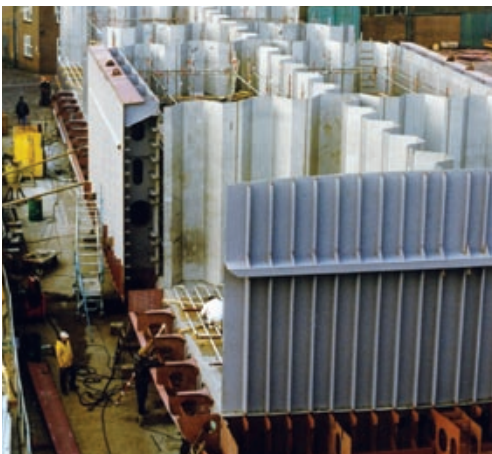


Foto: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)



Foto: Cantiere Navale De Poli, Venice (I)

Voordelen van duplex roestvaste stalen

Om te beginnen vertonen duplex types in hoge mate dezelfde gunstige vervormingseigenschappen als austenitische types en kunnen ze dus zonder probleem gebruikt worden voor geprofileerde wanden die de stijfheid van compartimenten van tankschepen verhogen. Daarbij houdt de hoge vloeigrens van duplex types een aanzienlijke mogelijkheid tot gewichtsbesparing in, zodat aanmerkelijk dunnere wanden – die toch nog voldoen aan de scheepsbouwkundige normen – gerealiseerd kunnen worden.

Tenslotte maakt de combinatie van chroom, molybdeen en stikstof deze staalsoorten uitermate bestendig tegen plaatseleke corrosievormen zoals pitting en spleetcorrosie. Deze eigenschap houdt een uitbreiding in van het aantal chemicaliën (met uiteenlopend temperatuursbereik) dat een tankschip vervoeren kan en betekent dus uiteindelijk een uitgebreidere klantenbasis voor dit type van investeringsgoed.

14 Geraadpleegde literatuur

- [1] DE MEESTER, Paul, *Kwaliteitscontrole en mechanische eigenschappen van materialen*, tweede uitgave, Leuven: Acco, 1988
- [2] LAGNEBORG, Rune, “Not only stainless but also an interesting structural material”, *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1, CD-ROM), derde uitgave., Luxemburg: Euro Inox, 2006
- [3] *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1, CD-ROM), derde uitgave., Luxemburg: Euro Inox, 2006, hoofdstuk “Forming”
- [4] “Deformazione plastica a freddo dell’acciaio inossidabile”, *Inossidabile 154*, Milaan: Centro Inox, 2003
- [5] *Handbook “Spinning and shear forming”*, tweede uitgave, Ahlen: Leifeld Metal Spinning, 2002
- [6] *Thate gedrückte Präzision*, Preetz: Thate, 2005
- [7] “Rolvormprofilieren (koudwalsen)”, *Roestvast Staal 3/2005*, Leiden: TCM, 2005
- [8] NEESSEN, Fred; BANDSMA, Piet, “Tankers – A composition in duplex stainless”, *Welding Innovation, Volume XVIII, No. 3*, Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 2001
- [9] “Visit to De Poli shipyard in Venice, Italy”, *IMOA Newsletter January 2001*, Londen: International Molybdenum Association, 2001

ISBN 978-2-87997-217-6