

Formbarhet hos rostfritt stål



Euro Inox

Euro Inox är en europeisk organisation för marknadsutveckling av rostfritt stål.

Medlemmarna i Euro Inox innefattar:

- Europeiska producenter av rostfritt stål
- Nationella organisationer för marknadsutveckling av rostfritt stål
- Organisationer för marknadsutveckling av legeringsmetaller

Huvudsyftet med Euro Inox verksamhet är att skapa medvetenhet om de rostfria stålens unika egenskaper och vidareutveckla deras användning inom befintliga och nya marknadsområden. Som medel att nå dessa syften organiserar Euro Inox konferenser och seminarier, tillhandahåller information i tryckt och daterad form för att göra det möjligt för arkitekter, verkstäder och slutanvändare att bli mera bekanta med dessa stål. Euro Inox stöder också forskning inom teknik och marknad.

ISBN 978-2-87997-216-9
978-2-87997-211-4 Engelsk version
978-2-87997-212-1 Fransk version
978-2-87997-213-8 Italiensk version
978-2-87997-214-5 Spansk version
978-2-87997-215-2 Finsk version
978-2-87997-217-6 Holländsk version
978-2-87997-218-3 Tysk version
978-2-87997-219-0 Polsk version
978-2-87997-220-6 Tjeckisk version
978-2-87997-221-3 Turkisk version

Ordinarie medlemmar

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

Associerade medlemmar

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 (IMOJA)

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

Information om broschyren

Formbarhet hos rostfritt stål
Första upplagan 2008
(Material och användningsområden, volym 8)
© Euro Inox 2008

Utgivare

Euro Inox
Organisationens säte:
241, route d'Arlon
1150 Luxemburg, Storhertigdömet Luxemburg
Telefon +352 26 10 30 50 Telefax +352 26 10 30 51
Huvudkontor:
Diamant Building, Bd. A. Reyers 80,
1030 Bryssel, Belgien
Telefon +32 2 706 82 67
Telefax +32 2 706 82 69
E-post info@euro-inox.org
Internet www.euro-inox.org

Copyright

Denna publikation är skyddad med upphovsman-
narätt. Euro Inox förbehåller sig alla rättigheter till
översättning till varje språk, reproducering, återan-
vändning av bildmaterial, uppläsning samt radio- eller
TV-utsändning. Ingen del av denna publikation får
reproduceras, lagras i ett återvinningssystem eller
reproduceras i varje form och med alla medel, elek-
troniskt, mekaniskt, fotokopiering, inspelning eller på
andra sätt utan föregående skriftligt tillstånd av inne-
havaren av denna copyright, Euro-Inox, Luxemburg.
Intrång i upphovsrätten kan bli föremål för lagsökning
och skadeståndskrav för varje överträdelse såväl för
rättegångskostnader som för legala avgifter samt fal-
ler under Luxemburgs lagar och regler för copyright
inom den Europeiska Unionen.

Innehåll

1. Inledning	3
2. Mekaniska egenskaper	4
3. Formbarhet	5
4. Ytfinish	5
5. Hydroformade knutpunkter till ramverk för bilar	6
6. Utföranden med skarvfria ytor vid krav på hygien	8
7. Effektivare pumpar genom hydroformade pumphus	10
8. Trycksvarvning av plåt för exklusiv design	12
9. Dekorativa hjulfälgar tillverkade genom trycksvarvning	14
10. Kallformade profiler för överlägsen hållfasthet	16
11. Explosionsformade värmväxlarplattor	18
12. Djuppressade låsmuttrar som hjulprydnad	20
13. Korrugerad plåt för ökad lastkapacitet	22
14. Referenser	24

Författare

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Översättning

Sten von Matérn Consulting, Enköping (SE).

Tack till dem som bidragit

Omslagsbilder:

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

Friskrivningsklausul

Euro Inox har lagt särskild vikt vid att informationen i denna publikation skall vara tekniskt korrekt. Läsaren bör dock observera att innehållet endast är lämnat i allmänt informationssyfte. Varken Euro Inox, dess medlemsföretag, personal eller konsulter kan påtaga sig något ansvar för ekonomisk förlust eller skada på person eller egendom, orsakad av informationen i denna publikation.

Om rostfria stål

Rostfria stål är en järnlegering med minst 10,5 % (viktsprocent) krom och högst 1,2 % kol, vilket krävs för att kunna bygga upp ett självläkande ytskikt – kallat den passiva ytan – som ger legeringen dess korrosionshårdighet. Detta är den definition av rostfritt stål som gäller enligt normen EN 10088-1.

Tillsatserna av legeringsmetaller har stor inverkan på det rostfria stålets metallstruktur och särskiljer fyra huvudgrupper av rostfria stål, var och en med sina typiska mekaniska, fysikaliska och kemiska egenskaper¹.

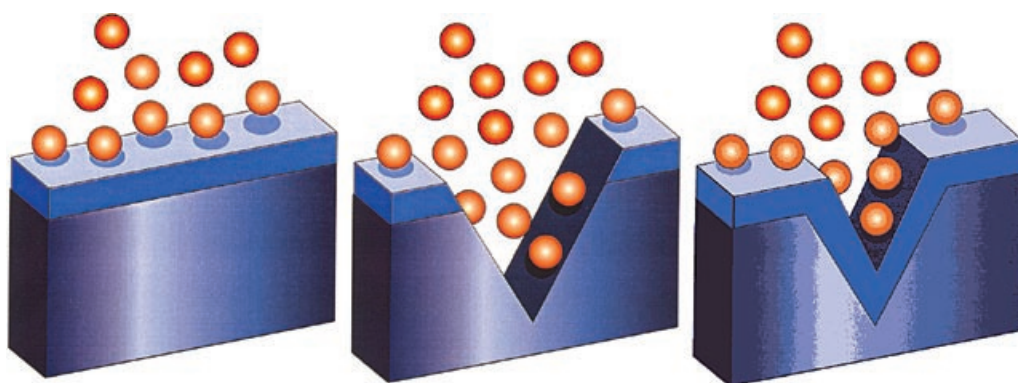
- Austenitiska rostfria stål: Fe-Cr-Ni, C < 0,1 % (omagnetiska)
- Ferritiska rostfria stål: Fe-Cr (> 10,5 %), C < 0,1 % (magnetiska)
- Duplexa rostfria stål: Fe-Cr-Ni, kombinerad austenitisk-ferritisk struktur (magnetiska)
- Martensitiska rostfria stål: Fe-Cr, C > 0,1 % (magnetiska och härdbara)

Dessa grupper innehåller också andra legeringselement som molybden, titan, niob och kväve. Austenitiska rostfria stål svarar för ca två tredjedelar av världens konsumtion av rostfritt stål.

De austenitiska stålsorterna EN 1.4301/1.4307 (AISI 304/304L) och EN 1.4401/1.4404 (AISI 316/316L), den ferritiska sorten EN 1.4016 (AISI 430) och varianter av dessa är de mest kända rostfria stålen och är allmänt förekommande på marknaden.

De viktigaste egenskaperna hos rostfritt stål kan sammanfattas enligt följande:

- Korrosionshårdigt
- Tilltalande utseende
- Värmehårdigt
- Låg livscykelkostnad
- Helt återvinningsbart
- Biologiskt neutralt
- Lätt att bearbeta
- Hög relation styrka – vikt



Om den rostfria ytan maskinbearbetas eller blir oavsiktligt skadad, återbildas det passiva ytskiktet spontant vid närvaro av syre i luft eller vatten.

¹ Detaljerad information om de kemiska, mekaniska och fysikaliska egenskaperna hos rostfria stål finns att hämta från www.euroinox.org/technical_tables (en interaktiv databas) eller från den tryckta broschyren: *Tables of Technical Properties* (Materials and Applications Series, Volume 5), 2nd ed., Luxemburg: Euro Inox, 2007.

1 Inledning

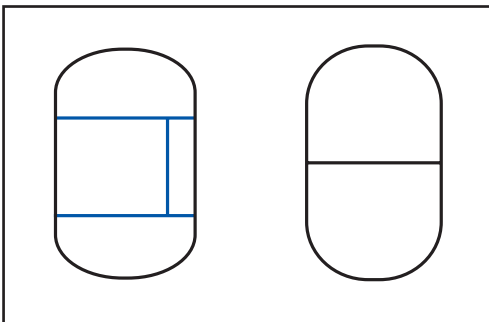
Rostfritt stål har utomordentliga möjligheter när det gäller formning, tack vare sina speciella mekaniska egenskaper. Materialets höga förhållande styrka-vikt, avsevärda töjbarhet och härdbarhet vid kallbearbetning är egenskaper som ofta gör det möjligt att utföra komplicerade tredimensionella och skarvlösa konstruktioner.

Eftersom materialet kan användas inom dessa områden utan att korrosions- och värmehärdigheten eller utseendet förändras, är rostfritt stål ofta det rätta materialet för såväl industri- som hushållsprodukter.

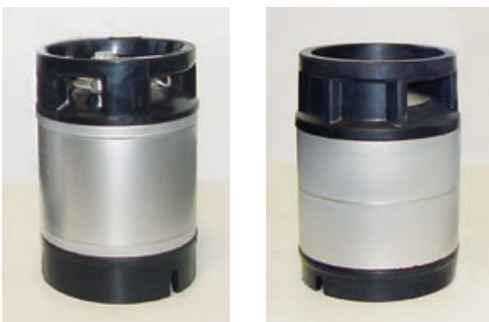
Tillverkningskostnaden innefattar:

- Material
- Bearbetning

Även om rostfritt stål inte alltid är det billigaste materialet, medför en förenklad bearbetning att materialets merkostnad till stor del kan elimineras – till exempel genom att antalet djupdragningssteg eller värmebehandlingar minskas.



Fat för öl och dryck (vanligen 20-70 l) kan tillverkas på olika sätt tack vare det rostfria stålets mångsidiga mekaniska egenskaper. Konstruktionen med tre delar (exemplet till vänster) är en möjlighet, där man använder två kupade gavlar och kallvalsad plåt av rostfritt stål för mittdelen. Kallbearbetning av rostfri plåt ökar dess mekaniska hållfasthet. Genom att använda sådan plåt för mittsektionen ökas fatets hållbarhet eller gör det möjligt att använda tunnare plåt med bibehållen hållbarhet. Denna lösning kan vara att föredra om viktsreduktion är ett huvudkriterium.



Som ett alternativ kan det rostfria stålets formbarhet göra det möjligt att använda en tvådelad konstruktion (exemplet till höger), med två identiska djuppressade halvor. Detta utförande är att föredra när få svetsfogar är den bestämmande faktorn. Förutom sin goda formbarhet är rostfritt stål ofta det mest lämpliga materialet i kontakt med livsmedel, eftersom det uppfyller de europeiska säkerhetskraven väl.

Tredelad jämfört med tvådelad konstruktion.

Foto: AEB, Vimercate (I)

2 Mekaniska egenskaper

En utvärdering av formbarheten hos varje material kräver kännedom om dess mekaniska egenskaper. De kriterier som används mest för denna värdering är:

Hållfasthet: Materialets motstånd mot deformation. Beroende på om bedömningen sker på hållfasthetsmässiga grunder, kan deformationen antingen definieras som:

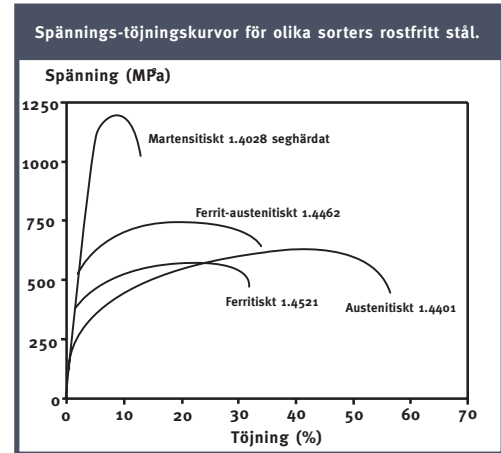
- ”töjning” eller permanent plastisk deformation (varav begreppet ”sträckgräns” R_p), eller
- ”bristning” eller brott (varav begreppet ”brottgräns” R_m)

Hårdhet: Graden av motstånd mot permanent intryckning från en viktsbelastning.

Seghet: Förmågan att absorbera deformationsenergi innan brott uppstår.

Smidbarhet: Förmågan att deformeras plastiskt utan att brista.

Begreppen ”starkt” och ”svagt”, ”hårt” och ”mjukt”, ”segt” och ”sprött” är olika sätt att beskriva ett materials mekaniska egenskaper och får inte blandas ihop. Vissa av dessa egenskaper kan mätas genom ett dragprov. Ett vanligt sätt att visa resultaten av dragprov för olika sorter av rostfritt stål är genom diagram över uppmätt töjning (som står i relation till ”styrkan”) i förhållande till utsatt dragspänning. Kurvans slutpunkt anger graden av förlängning då brott uppstår och är ett mått på materialets töjbarhet (plasticitet). Ytan under varje kurvlinje indikerar hur mycket energi som materialet absorberar innan det brister – och är därigenom ett mått på dess seghet.



Martensitiska stål har hög hållfasthet men ganska låg plasticitet (eller formbarhet) medan austenitiska stål har lägre hållfasthet och hög formbarhet. Ferrit-austenitiska stål (eller duplexa) och ferritiska stål intar ett mellanläge. Sträckgränsen hos ferritiska stål är vanligen högre än hos de austenitiska, medan de duplexa stålens sträckgräns är avsevärt högre än hos både ferritiska och austenitiska stål. Ferritiska och duplexa stål har likartad formbarhet².

Med undantag för de martensitiska rostfria stålen gäller de typiska relationerna som visas av kurvorna för glödgat utförande, vilket är det vanliga leveranstillståndet för rostfria stål. För fullständighetens skull och för att fullt förstå de rostfria stålens formbarhet, bör man observera att materialets mekaniska egenskaper bestäms av:

- Den kemiska sammansättningen
- Värmebehandlingen (för martensitiska stål)
- Kallbearbetningen (av austenitiska och duplexa stål)

Den sistnämnda egenskapen hänvisar till det faktum att hög hållfasthet kan uppnås genom kallbearbetning av rostfria stål. Denna ”deformationshärdning” är i själva verket specifik för dessa stål och skiljer sig

² Ytterligare information om de speciella metoderna att testa hårdhet och seghet (även benämnd ”slagseghet”) hos rostfria stål kan hämtas i: CUNAT, Pierre-Jean, *Working with Stainless Steel* (Materials and Applications, Volume 2), Paris: Sirpe, 1998.

från de flesta andra metalliska material. Kallbearbetade austenitiska och duplexa rostfria stål erbjuder därför i allmänhet en intressant kombination av styrka och form-

barhet och därmed möjligheter till viktsbesparing.

3 Formbarhet

För att illustrera de rostfria stålens formbarhet³ kommer vi att visa nio exempel på konstruktioner inom hushåll och industri. Vart och ett av dessa kommer i korthet att beskriva:

- principerna för formningsoperationen
- kraven på materialegenskaper för produkten
- egenskaperna som gör rostfritt stål till ett lämpligt val
- själva tillverkningen av produkten i rostfritt stål³

4 Ytfinish

Den europeiska normen EN 10088-2 ger information om de ytutföranden som finns (och deras beteckningar) för rostfritt stål⁴. De vanligast använda utförandena och plåt-tjocklekarna för formningsändamål är:

- Kallvalsad svagt reflekterande 2B (0,40 – 8,00 mm)
 - Kallvalsad starkt reflekterande (blankglödgad) 2R (< 3,00 mm)
 - Kallvalsad polerad (2G) eller borstad (2J)
- Varmvalsad (1D; > 2,00 mm) och kallvalsad (2H; < 6,00 mm) finish används också. Kraftig deformation försämrar vanligen en dekorativ yta. Men när det gäller rostfritt

stål kan relativt komplexa former åstadkommas utan behov av efterföljande ytbehandling (mekanisk efterpolering).

Till exempel är vissa lågprisutföranden av diskådor av rostfri plåt tillverkade direkt av blankglödgad (2R) plåt utan efterföljande polering. Det faktum att ytfinishen inte påverkas av formningsoperationen, gör att kombinationen av material och formningsmetod blir kostnadseffektiv.

Vanlig ytfinish lämplig för formning: 2B, 2R och 2G/2J.



³ Denna publikation är avsedd att ge en indikation om vilka formningsprocesser som på bästa sätt utnyttjar det rostfria stålets formbarhet. Information om företag som kan utföra dessa kan hämtas genom Euro Inox eller dess medlemsföretag.

⁴ Se Tillägg B i Guide för val av rostfri ytfinish (Byggserie, volym 2), Luxemburg: Euro Inox 2000.

5 Hydroformade knutpunkter till ramverk för bilar

Genom hydroformning är det möjligt att framställa komplicerade former av rör. Detta sker genom att:

- lägga in ett rör av rostfritt stål i ett sänke
- förse båda ändarna med tätning
- fylla röret med vätska (vanligen vatten eller olja)
- utsätta röret för press i en kombination av (radiellt) presstryck på vätskan och (axiell) komprimering av rörändarna.

Metoden, som kan användas till att forma de flesta komplicerade former, har följande fördelar framför andra konventionella metoder:

- Detaljens yta påverkas ej (ingen vidhäftning mot pressverktyg eller fläckar från smörjmedel)
- Snävare formtoleranser

Tillverkning av knutpunkter för bilars ramverk

”Bärande ramverk” av metall (övre vänstra bilden) övervägs som alternativ för tillverkning av bilkarosser. Busstillverkare har faktiskt använt denna metod i årtal och använder svetsade rör av rostfritt stål i ramverket. Vanligen har man gjort fogarna

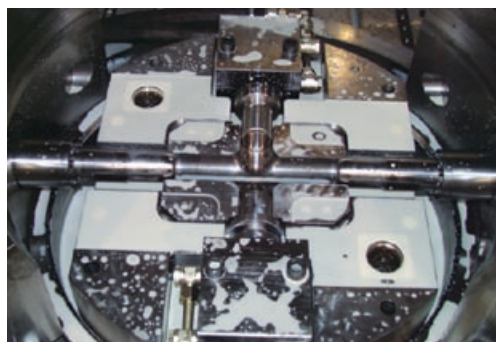


Foto av hydroformningsverktyg: ArcelorMittal Centre Auto-Applications, Montataire (F)

av bockade rör, som kapats och svetsas samman (övre högra bilden).

Fördelarna med hydroformade knutpunkter innebär:

- att man ersätter konventionell hopsvetsning av rör som kapats till speciell form
- skilda operationer för svetsning och kapning (metallurgiska och mekaniska operationer hålls åtskilda)

Fördelarna är:

- Standardiserad tillverkning
- Användning av moduler
- Ökad styvhet och hållbarhet ger viktsminskning
- Lägre kostnader

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

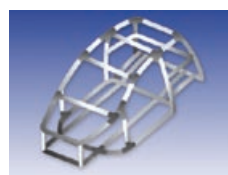


Foto: HDE Solutions, Menden (D)



Nya delar till bärande stomme med hydroformade knutpunkter Foto: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

Hur rostfritt stål deformeras under hydroformning

Under hydroformningen blir vissa delar kraftigt omformade, vilket medför att metallen ”deformationshärddas”. Denna extra egenskap hos rostfritt stål ökar den mekaniska hållfastheten hos komponenten, både mot statisk belastning och utmattning.

De deformerade områdena, som utsatts för de största spänningarna, befinner sig utanför svetszonerna. Detta är rakt motsatt förhållande till det vid den klassiska tillverkningsmetoden, där svetszonerna också är de mest utsatta områdena.



Hydroformad knutpunkt
Foto: HDE Solutions,
Menden (D)

Fördelar med hydroformade knutpunkter av rostfritt stål

Fördelarna med att kombinera hydroformning med rostfritt stål är:

- Bättre axiell rakhet
- Perfekt rätvinklighet (ingen risk för deformation vid svetsning)
- Möjlighet att automatsvetsa (mot knutpunkten i stället för inom denna)
- Bättre kontroll av godstjocklek/form
- Jämnare fördelning av materialspänningar

Resultat: färre detaljer, minskat skrotfall, färre sänken och mindre materialbehov, vilket leder till minskade kostnader.



Modell och foto: ArcelorMittal Stainless Europe
La Plaine Saint-Denis (F)

6 Utföranden med skarvfria ytor vid krav på hygien

Konstruktioner avsedda för köksutrustning i kontakt med livsmedel har följande krav:

- Hygieniska ytor, lätta att göra rent
- Jämn värmefördelning (för kokkärl), ändå ”brännfria” handtag
- Härdighet mot slag och slitage

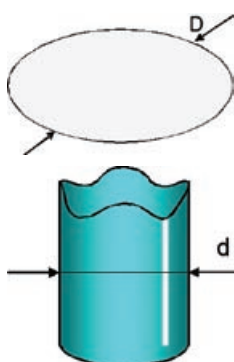
Förutom tekniska aspekter kan stilkrav på ytfinish och form läggas till på listan. Tillverkningsprocessen för en designad kastrull som beskrivs nedan visar varför rostfritt stål har valts som material under årtionden för att möta dessa krav.

Omvandling av en plåttrondell till formen av ett kärl



Förvånande nog startar tillverkningen av detta eleganta kärl från en platt rondell, 1 mm tjock och med en diameter av ca 400 mm. Stålsorten EN 1.4301 med den kallvalsade finishen 2B (sådan den levereras direkt från valsverket) kan absorbera de avsevärda spänningar som uppstår efter ett eller flera pressteg. Rondellens diameter reduceras till hälften under processen – vilket är ungefär hälften av materialets möjliga formbarhet⁵.

Rostfritt stål kan tåla ännu större pressdjup, under förutsättning att materialets plasticitet återställs. Detta sker genom en mellanliggande värmebehandling (glödning) över 1000 °C. Vid dessa temperaturer oxideras stålytan. Eftersom denna svärtade yta kan förorena verktygen i efterföljande pressningar och försvåra polering, gör man en kemisk ytbehandling för att ta bort oxiden och återställa det passiva ytskiktet. Man kan nu fortsätta pressningen av den cylindriska formen till ännu större djup.



Det maximala dragförhållandet ($MDF = D/d$). Typiska värden på MDF för rostfritt stål ligger mellan 1,8 och 2.



⁵ Det maximala dragförhållandet anger kvoten mellan den största rondelldiameter som kan dras till en cylinder med diametern (d).

Från pressat kärl till färdig produkt

För att göra kokkärlet lämpligt för induktionsvärmning, måste kastrullens botten förses med en rund skiva av ferritiskt rostfritt stål. Den senare är magnetisk till skillnad mot det austenitiska (Cr-Ni) rostfria stål som kärlet är tillverkat av.

För att få optimal värmefördelning är en skiva av aluminium ilagd mellan dessa. De tre delarna har fixerats mot varandra genom en stansnings- och hårdlödningsoperation.



Även om ursprungsrondellens matta ytfinish inte har den glans som avsetts för den designade kastrullen, är dess ytjämnhet tillräckligt fin för att en efterbehandling av ytan skall bli effektiv.

Sedan delarna monterats kan kokkärlet slipas och poleras. Det finns olika typer av slipmedel, Scotch-Brite™ -dynor och polerpastor (för slutpolering).



Foton: Zani Serafino, Lumezzane (1)



Pressningen av rostfritt stål är inte begränsad till cylindriska former. En mera sammansatt kurvprofil (till vänster på bilden) kan åstadkommas av cylindern (till höger) med hjälp av en tvådelad dyna med den önskade slutformen samt ett pressverktyg (i mitten) tillverkad av ett antal rondeller av hårdplast med olika egenskaper.



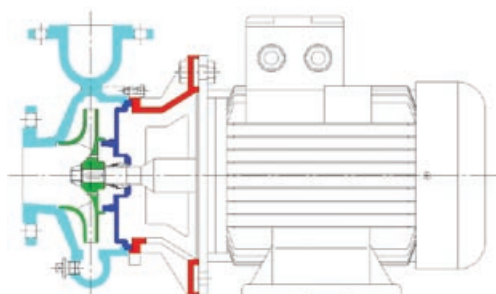
Ett mångsidigt material för hygieniska produkter

Tack vare sina svetsnings-, formbarhets- och poleringsegenskaper kan rostfritt stål lätt uppfylla de krav som ställs på kokkärl vad avser skarvfri (hygienisk) konstruktion, icke-vidhäftande ytor, hållbarhet under lång tid, lämplighet för induktionsuppvärmning, etc. Användningen kan även utvidgas utanför köksprodukterna till andra områden med krav på hygien.

Handtag gjorda av runt eller platt material svetsas till kokkärlets sidor. Genom att minimera kontaktytan och använda austenitiskt rostfritt stål (som har lägre värmeledningsförmåga än andra stål) är det ett optimalt material för säker "brännfri" användning.

7 Effektivare pumpar genom hydroformade pumphus

Huvudkomponenterna hos en typisk centrifugalpump



En centrifugalpump ökar energin (tillförd av en motor) hos den vätska som rinner igenom, transporterar den och ökar dess tryck. Pumpens huvudkomponenter är:

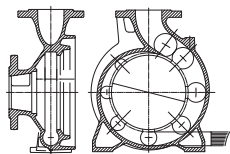
- En elektrisk motor med en utgående axel
- Ett påmonterat pumphus (ljusblått)
- Ett roterande skovelhjul (grönt)
- En tätning (blå) och ett stativ (rött)

Skovelhjulet omvandlar motorns energi till vätskeenergi (den senare är summan av tryck, rörelseenergi och lägesenergi).

Den hydrauliska funktionen hos pumphuset är att leda vätskan till skovelhjulet på inloppssidan, hålla lågtryckszonen skild från högtryckszonen och styra vätskan från pumphjulet till utloppet, och samtidigt öka vätsketrycket genom att minska strömningshastigheten. Pumphusets mekaniska funktion är att motstå arbetstrycket, ha en stödjande funktion (beroende på modell) och ta upp belastningar från anslutna rör.

Det spiralformade pumphusets funktion

För att öka trycket hos vätskan ytterligare när den lämnar pumphjulets skovlar, är pumphuset spiralformat, där tvärsnittet ökar i spiralens utloppsriktning. Detta medför att flödes hastigheten kan minska (vilket krävs för att öka dess tryck) med minsta



Spiralformat pumphus

möjliga friktionsförluster. Att tillverka ett spiralformat pumphus som tar hänsyn till dessa komplexa konstruktionsprinciper kan tyckas som en verklig utmaning.

Från gjutna till djuppressade pumphus

Den traditionella lösningen är att använda gjutgods av tackjärn, stål eller brons för pumphuset. På senare tid kan man få pumphus tillverkade genom djuppressning av rostfritt stål, då man kombinerar det överlägsna styrka-viktsförhållandet och de utmärkta formbarhetsegenskaperna hos rostfritt stål för att åstadkomma en produkt med låg vikt och ändå bibehållen hög hållfasthet.



Pumphus av tackjärn



Pumphus av djuppressat rostfritt stål

Fördelar med rostfritt stål

Pumphus av rostfritt stål säkerställer:

- Frånvaro av föroreningar (t.ex. i dricksvatten) från pumphusmaterialet



Centrifugalpump med pumphus av rostfritt stål

- Korrosionshårdighet i ett brett spektrum av mildt aggressiva medier
- Reducerad vikt genom ökad hållfasthet (resulterar i kompakta, lättskötta pumpar)
- Tilltalande utseende och är lätt att underhålla
- Ökad pumpeffekt genom släta ytor

Fördelar med hydroformning



Pumphus tillverkat av en djuppressad rondell av rostfritt stål. Inloppet är placerat på framsidan och vätskan lämnar huset genom en hydroformad mynning överst.

Konstruktioner av pumphus kan variera från mycket enkla (med cirkulärt tvärsnitt) till mycket komplicerade (inkluderande spiral-typen). Den sistnämnda, vanligen tillverkad genom hopsvetsning av två halvor, har högre verkningsgrad. Genom hydroformning är det emellertid möjligt att utföra det spiralformade pumphuset av rostfritt stål i ett enda stycke – varigenom man undviker svetsar och minskar risken för korrosion.

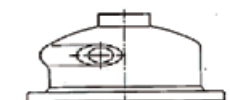
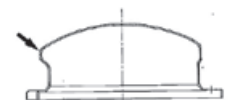


Det spiralformade delen har integrerats med pumphuset genom hydroformning. Utloppsmynningen har polerats väl för att förbättra verkningsgraden.

Tillverkning av ett pumphus genom hydroformning av rostfritt stål

Med början från en rondell av rostfritt stål (från 1,5 till 3 mm tjocklek beroende på typ), sker tillverkningen av pumphuset på följande sätt:

- Djuppressning till önskad volym hos pumphuset
- Hydroformning av spiraldelen med >1000 bars vattentryck
- Borrning och ytbearbetning av öppningarna
- Påsvetsning av rördelar och stativ på utsidan



Tillverkningssteg för pumphuset: Djuppressning, hydroformning, borrning och ytbearbetning, monterning av detaljer

8 Trycksvarvning av plåt för exklusiv design

Trycksvarvning är en formningsmetod som inte ger något materialspill. För detta behövs:

- en plåtrondell eller en djuppressad utgångsform
- en tryckrulle
- en svarv med en rotationssymmetrisk dorn infäst

Plåtrondellen pressas över dynan i etapper, där både dyna och rondell drivs av svarven. På grund av de höga tryck som används är det viktigt att använda smörjmedel så att inte arbetsstycket fastnar mot dynan, vilket kan orsaka ytskador. Trycksvarvningsprocessen kräver i allmänhet lägre investeringskostnader, färre verktyg, lägre start- och omställningskostnader och lägre energiförbrukning än djuppressningsmetoden. Men eftersom produktiviteten är låg, är den mera lämplig för prototyp tillverkning och i mindre serier. Processen sker utan avsikt att reducera plåttjockleken.

Diagram: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)

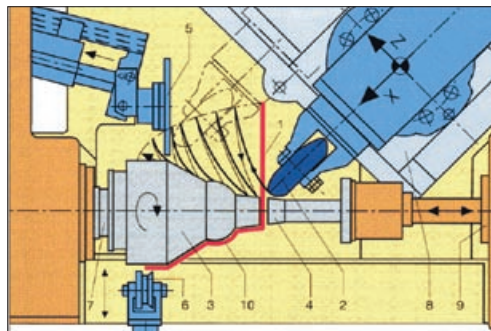
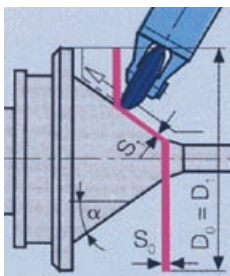


Diagram: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)

Som ett alternativ kan koniska former produceras i ett steg, förutsatt att toppvinkeln är minst 12° (mindre vinkel kan göras i flera steg). Diametern i konens öppna ände motsvarar rondellens ursprungliga diameter, varför en viss förtunning av materialet (beroende på vinkeln) äger rum. Denna process brukar kallas tryckvalsning, kraftsvarvning eller skjuvsvarvning.

Som alternativ till de klassiska formningsprocesserna djuppressning eller sträckpressning är trycksvarvning idealisk för framställning av koniska eller cylindriska former. Sådana former är vanliga i hushåll och även inom industrin. Föremål med stora förhållanden höjd/diameter- kan framställas enbart utgående från en plan rondell av rostfri plåt.

Foto: ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)



Trycksvarvning av rostfritt stål

Den kraft som verktyget utövar resulterar i komprimerande spänningar i den rostfria rondellen, vilket leder till ett snabbt kallhårdnande och därmed minskad formbarhet. Trycksvarvning är därför huvudsakligen begränsad till tunn plåt. Processen passar bäst för stålsorter med låg sträckgräns och långsammare kallhårdnande som ferritiska stål (t.ex. EN 1.4016) och några austenitiska stål (kallade ”stabila austeniter”) som är mindre benägna för kallhårdnande, t.ex. EN 1.4301, eller i ännu högre grad EN 1.4303.

Trycksvarvning används för rostfritt stål i former med en hög grad av cirkulär symmetri. Som en följd av detta kan avslutande poleringsarbeten på sådana produkter ske till låg kostnad.

En designad barstol tillverkad av rostfritt stål

En barstol är en produkt med hög cirkulär symmetri. Eftersom stolens fot måste vara tillräckligt tung för att ge stabilitet, är stål (kolstål eller rostfritt stål) mera lämpligt för denna del än aluminium, som har en densitet av bara en tredjedel av stålets. Eftersom foten kräver regelbunden rengöring, har målat stål en tendens att få begränsad livslängd: upprepade användningar av rengöringsmedel gör att färgen slits bort och gör stolen till ett fullt exempel på en designad produkt.

Att tillverka stolens fot genom trycksvarvning av rostfritt stål har visat sig vara en utmärkt lösning på detta problem. Den höga cirkulära symmetrin hos produkter av trycksvarvat rostfritt stål gör det möjligt att automatisera en efterbehandling genom polering eller putsning, så som bilden visar.

Att polera den släta, kallvalsade ytan hos rostfritt stål kräver inga dyrbara åtgärder.



*En barstol har hög cirkulär symmetri. Foten av rostfritt stål tål aggressiva rengöringsmedel
Foto: Thate, Preetz (D)*

Foto: Thate, Preetz (D)



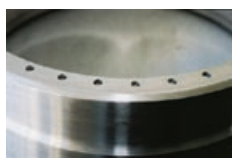
9 Dekorativa hjulfälgar tillverkade genom trycksvarvning

Bilägare med förkärlek för det exklusiva strävar i ökande omfattning efter att specialutrusta sina fordon efter sin personliga smak. Designade fälgar är bara ett exempel på denna trend. Eftersom trycksvarvning är en lämplig metod för tillverkning i små serier, kan fälgar av rostfritt stål som tillverkats enligt denna teknik ge följande fördelar:

- Högt förhållande styrka/vikt (ger låg vikt)
- Ökad hållfasthet genom kallbearbetning
- Slät kallvalsad yta, underlättar polering
- Högre korrosionshårdighet än traditionella metaller
- Har inget färgskikt som kan flaga av



Tillverkning av ett typiskt designat hjul



Dekorativa hjul till bilar kan vara tillverkade av två eller tre delar beroende på modell. En tredelad typ är uppbyggd av:

- Ett nav med ekrar (vanligen av gjuten aluminium)
- En inre fälg (vanligen av gjuten aluminium)
- En yttre fälg (kan vara av rostfritt stål)

Navet är fäst med skruv av höglegerat stål mot den inre fälgen genom den yttre för att undvika galvanisk korrosion.

En yttre fälg av rostfritt stål formas genom trycksvarvning följt av automatpolering. Förutom att åstadkomma en attraktiv yta,



Ekernavet monteras genom den rostfria ytterfälgen mot den inre fälgen

medför poleringen att korrosionshårdigheten ökar hos fälgen, som kan bli utsatt för varierande väderleksförhållanden, ibland med saltstänk.

Den tillverkare som använder rostfritt stål behöver inte göra någon miljöskadlig avslutande ytbehandling av ytterfälgen.

Designat hjul uppbyggt av tre delar: ekernav (överst), innerfälg (mitten) och ytterfälg (nederst). Den sistnämnda är gjord av rostfritt stål, som kombinerar hög styrka/låg vikt med slät yta.

Trycksvarvning av den yttre fälgen

Den yttre fälgen formas av en plåtrondell av rostfritt stål. Sådana kan anskaffas färdiga från leverantören eller klippas från fyrkantplåt.

För att underlätta tillverkningen kan hålen för montering göras före trycksvarvningen. Rondellen fixeras mot en rund dorn i svarven. Rullverktyget utövar tryck på rondellen, som successivt intar dornens form. Därefter monteras flera ringar på dornen, så att rondellen kan formas ytterligare. Lämpliga smörjmedel måste användas.

Under kallformningen blir det rostfria stålet hårdare (ett fenomen som kallas deformationshärdning). Men för mycket av denna effekt försvårar trycksvarvningen. Kallhärdningen har större effekt på hållfastheten än all annan traditionell upplegering av ytterfälgen, som skall kunna absorbera stötar från oväntade gupp under körning.



Trycksvarvning av den yttre fälgen. Det rostfria stålets hållfasthet ökar under formningen, vilket ökar förmågan att absorbera stötar.

Överlägsen hållfasthet hos hjul av rostfritt stål

Austenitiska rostfria stål har intressanta mekaniska egenskaper. De har inte bara hög brotthållfasthet (R_m) från början, med kallformningsprocesser som trycksvarvning – och den efterföljande formningen av ytterkanterna – kommer materialets mekaniska

hållfasthet att öka. Förutom förmågan att motstå skador från sprutande grus, gör denna egenskap att rostfritt stål också blir ett mycket lämpligt material för en designprodukt, som kan komma utsättas för kontakter med trottoarkanter,



10 Kallformade profiler för överlägsen hållfasthet



Kallvalsning av profiler är en välkänd produktionsmetod för långa, ofta komplicerade former från band. Om man räknar med att använda metoden redan på designstadiet finns stora möjligheter till kostnadsbesparingar genom att t.ex. undvika att svetsa ihop C- eller U-formade profiler. Profilvalsning är en bra metod att kombinera många funktioner hos en och samma profil: dragning av elkablar, kylning, fastsättning, etc.

Av tradition erbjuder profilvalsning lösningar inom byggnadsindustrin (fönsterbågar och dörrkarmar), transportindustrin (skåpbilar, bussar och tågagnar) och kontorsmöbelindustrin. Men andra områden (som bilindustrin) börjar också tillkomma, tack vare de goda möjligheterna att med profilvalsning få ökat mervärde genom att kombinera olika funktioner i samma bärande komponent.

Profilvalsning av band i rostfritt stål

Profilvalsningen är ganska likartad den i ett rörvälsverk. En sträcka med valsstolar (var och en med hårda valsar med individuellt

formade spår) formar bandmaterialet (vanligen i bredder < än 1000 mm) till en profil som kan svetsas till en sluten form eller lämnas öppen. Rostfritt stål kan formas på detta sätt i tjocklekar mellan 0,40 och 8 mm genom att stegvis utnyttja materialets exceptionella förmåga att deformeras plastiskt. Denna stegvisa formningsprocess ökar det rostfria stålets mekaniska hållfasthet och gör det möjligt att framställa profiler med överlägsen styrka och i komplexa former.

Ju större antal valsstolar, desto mindre blir varje plastiska deformation och de spänningar som lagras i materialet. Detta kan vara betydelsefullt för att kunna möta krav på toleranser vid senare montage.

Mervärde för olika användningsområden

För att öka mervärdet hos en plåtprofil kan valsningsprocessen kompletteras med:

- Mönster av borrarade hål
- Fästen för svetsning
- Bockning eller sträckning till tredimensionella former.



Profiler av rostfritt stål för vagnskorgar i persontåg

Vagnar till persontåg består traditionellt av ett ramverk som underrede och en vagnskorg. Den senare är gjord av material som målat kolstål, aluminium eller rostfritt stål. Komponenterna av rostfritt stål kan vara profiler valsade från band, levererade från verk i tjocklekar från 0,40 till över 6 mm.

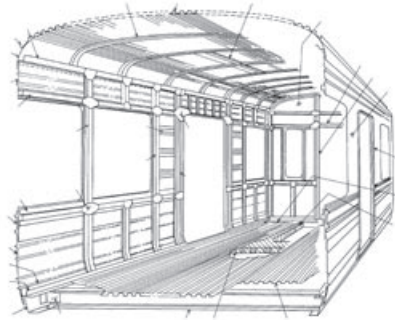


Bild: Nickel Institute, Toronto (CDN)

Möjlig viktsbesparing med rostfritt stål i persontåg

Man kan använda stålet 1.4301, men 1.4318 (legerat med kväve och med lägre nickelhalt) har högre mekanisk hållfasthet. Dessutom kan hållfastheten ökas om stålbanden härddas (kallbearbetas) i valsverken före profilvalsningen⁶. Användningen av stålet 1.4318 för profilvalsning ger därför oöverträffade möjligheter till viktsbesparingar i pelare, balkar och ramverk.

Lättare vagnskorgar kräver förstås mindre energi under acceleration och inbromsning – en speciellt uppenbar fördel för lokaltåg som stoppar och startar med korta intervall.

Avsevärda viktsbesparingar kan uppnås genom att kombinera användning av:

- Rostfritt stål (i stället för kolstål)
- Stålet 1.4318 (överlägsen hållfasthet efter kallbearbetning)
- Profilvalsning

Andra fördelar med rostfritt stål i vagnskorgar för persontåg är:



Foto: ArcelorMittal Stainless Belgium, Genk (B)

- Lågt underhåll (behöver ej målas)
- Lång livslängd (ingen materialförtunning efter lång tids användning)
- Högre brandsäkerhet jämfört med andra (lätta) metaller
- Ökad kollisionssäkerhet (genom de mekaniska egenskaperna)



Foto: Outokumpu, Espoo (FIN)

⁶ Detaljerad information lämnas av EuroInox CD-ROM, *Stainless Steel for Structural Applications – Properties and Case Studies* (Automotive series, Volume 1, Release 3), Luxemburg: 2006

11 Explosionsformade värmväxlarplattor



Explosionsformning använder sig av det höga dynamiska trycket hos en tryckvåg för att pressa en metallplåt efter formen på en dyna under hög hastighet. Processen utförs vanligen med en explosiv laddning under vatten och på ett bestämt avstånd från den detalj som skall formas. Chockvågen fungerar som pressdon.

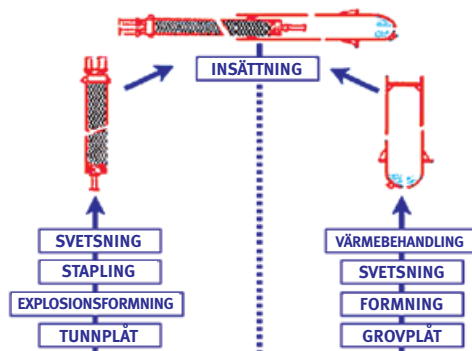
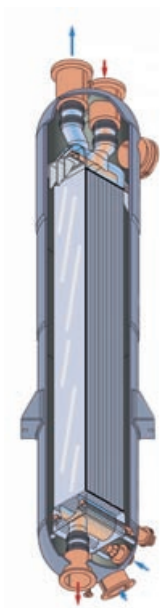
Jämfört med vanligare formningsmetoder ger explosionsformningen följande möjligheter:

- Arbeta med stora plåtformat (tack vare sprängtekniken)
- Använda stora plåttjocklekar (>10 mm för Ni-legeringar)
- Noggrann formning (färre operationer som svetsning och värmebehandling)
- Bearbeta produkter med hög böjhållfasthet
- Mycket noggranna mått

Stora plattvärmväxlare

Stora svetsade plattvärmväxlare (PHE) används vanligen i oljeraffinaderier och inom den petrokemiska industrin. Stora värmeöverföringsbehov kräver värmväxlare med stora kontaktytor i kombination med effektiv värmeöverföring vid hög temperatur. Om kontaktytan är större än flera tusen kvadratmeter, kan en enda PHE med denna storlek vara mera ekonomisk än en enkel rörvärmväxlare (eller serier av sådana).

PHE är ofta uppbyggda av hundratals explosionsformade plåtar av rostfritt stål. Var och en av dessa är mellan 0,8 och 1,5 mm tjocka och kan vara upp till 2 m breda och 15 m långa. Efter explosionsformningen



av varje plåt staplas de på varandra och svetsas ihop till ett paket. De fiskbensmönstrade korrugeringarna i plåtarna ger ett turbulent flöde hos de överströmmande vätskorna, vilket säkerställer en högeffektiv värmeöverföring.



Paketet är inneslutet i ett tryckkärl som uppfyller normkraven för dessa. Anslutningarna mellan värmväxlarpaketet och tryckkärlet är försedda med expansionsbälgar.

Fördelar med användning av rostfritt stål

Materialet har många fördelar:

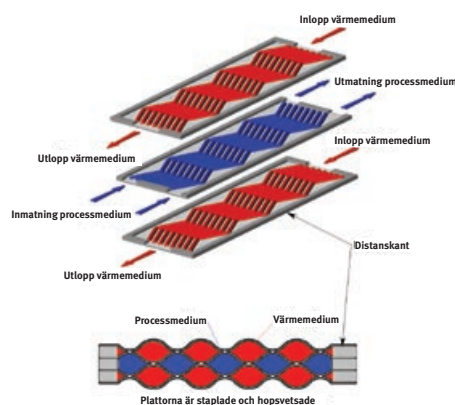
- Vanliga användningstemperaturer i en PHE är inom området 300 till 550 °C (maximum vid 650 °C). Dessa temperaturer är inte något problem för stålsorter som EN 1.4541 (AISI 321).
- Rostfria stål kan användas för avsedda arbetstryck på upp till 120 bar och tryckdifferenser på 40 bar mellan in- och utlopp.
- Användningen av höghastighetsformning (upp till 120 m/s) med explosionsmetoden ger en extra kallhårdningseffekt på de korrugerade plåtarna av rostfritt stål.
- Det korrugerade mönstret (som ger ett turbulent flöde) i kombination med den släta ytan (som inte försämras av formningsprocessen) minskar risken för tilltäppning ("nedsmutsning") och lägre effekt i värmeöverföringen.
- Genom att välja lämplig stålsort minskar risken för korrosion från t.ex. svavelhaltiga ämnen i oljeprodukter.
- Vanliga svetsmetoder kan användas för att åstadkomma täta fogar i paketet av korrugerade plåtar.



En värdefull kombination

Varken explosionsformning eller rostfritt stål kan räknas som nyheter. Men utvecklingen av stora plattvärmeväxlare som till fullo utnyttjar det rostfria stålets format och egenskaper i kombination med explosionsformningsprocessen är en viktig kostnadsbesparande tillgång i de dagliga operationerna inom raffinaderier, petrokemisk industri och vid framställning av gas.

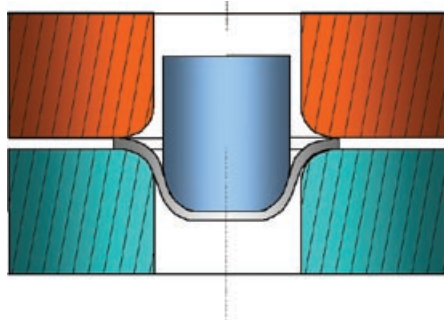
Denna lösning har betydelse både när det gäller investeringar i ny utrustning och vid uppgraderingar av befintliga anläggningar.



12 Djuppressade låsmuttrar som hjulprydnad

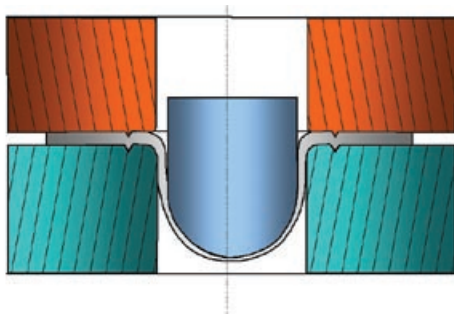
Rostfria stål har i allmänhet mycket god formbarhet. Även om de flesta formningarna sker med austenitiska (Cr-Ni) stål, är de ferritiska stålen också lämpliga för vissa formningsoperationer, förutsatt att metallen inte enbart utsätts för sträckning. Skillnaden mellan dragpressning och sträckpressning förklaras nedan.

Dragpressning



- Metallen flyter fritt ner genom dynan
- Deformationen av en stor rondell till en smal cylinder måste uppstå från bredden snarare än från plåttjockleken (=hög anisotropi "r" ⁷)

Sträckpressning

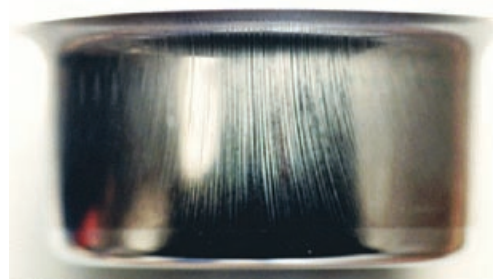


- Metallen hålls fast av tillhållaren
- Det uppstår en avsevärd tjockleksminskning
- Av materialet krävs hög töjningsförmåga (A %) och högt deformationshårdnande (n).

I praktiken är djuppressning vanligen en kombination av sträckpressning och dragpressning, vilket förklarar varför man ofta använder austenitiska stål.

Formbarhet hos ferritiska stål

Ferritiska stål har ett något högre MDF-värde (se sid. 8) än de austenitiska, vilket gör dem särskilt lämpliga för dragpressningsoperationer. "Roping"-yta är typiskt för ferritiska stål. Men det finns särskilda ferritiska stål som innehåller titan eller niob och som producerats under strikta valsnings- och glödgningsförhållanden för att roping skall undvikas och dragpressbarheten förbättras.



En dragpressad cylinder av ett ferritiskt standardstål EN 1.4016 (ovan), vilken visar sig ha "roping"-yta och en av austenitiskt stål EN 1.4301 (nedan). Roping är fult och kräver avslutande polering. Det kan undvikas genom att använda ett "stabiliserat" ferritiskt stål (med innehåll av Ti eller Nb) och genom strikt kontroll av produktionsförhållandena.



⁷ Anisotropi "r" är förhållandet mellan spänningarna i längdriktningen och tjockleksriktningen. Om $r > 1$ förlängs plåten mera än dess tjocklek minskar.

Djuppressade bulthylsor av ferritiskt stål till bilar

Av alla olika delar av rostfritt stål som används för dekor på bilar och skåpbilar är hylsor för hjulbultar (bilden till höger) bland de mest krävande vad gäller formningen. Formen indikerar en omfattande dragning, vilken i detta fall utförs stegvis.

Rostfria stål uppfyller inte enbart dekorativa krav utan erbjuder också hög hållfasthet och enkel konstruktion – produkten är utförd i ett stycke och behöver varken svetsar eller lim. Vanligen tillverkades dessa detaljer av austenitiska stål som EN 1.4301 (AISI 304). Dragningsegenskaperna hos ferritiska rostfria stål kan emellertid tillåta att dessa hylsor också kan tillverkas av en ferritisk stålsort (EN 1.4526 – AISI 436), som innehåller krom, molybden och niob:

- Detta stål är lämpligt för dragningsprocessen (anisotropisk behandling)
- Ferritiska stål visar i allmänhet en kombination av glans och färg som intresserar tillverkare av prydnadsdetaljer till bilar.

- Molybden ökar hårdheten mot punkt-korrosion (från vägsalter och fuktiga väderförhållanden).
- Niob motverkar roping-effekten (minskar också behovet av efterpolering).

Tack vare sina små dimensioner är dessa hylsor idealiska för masspolering genom trumling – vilket ger det rostfria stålet en högglansyta.

Bulthylsor av rostfritt stål kan limmas, hårdlödas eller falsas fast på bulthuvudet. De är starkare än delar som tillverkats av andra konstruktionsmaterial. Utförandet i rostfritt stål kräver mindre efterbearbetning (t. ex. målning eller ytbeläggning) och materialet kan återcirkuleras helt när fordonet tjänat ut.



13 Korrugerad plåt för ökad lastkapacitet



Foto: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Kemikalietankers fraktar många olika flytande kemikalier. Bland typiska laster ingår kemiska, petrokemiska produkter och livsmedel, t.ex. fosforsyra, svavelsyra, petroleumprodukter, vegetabiliska oljor och melass. Vid hamnen pumpas produkterna direkt i fartygets tankar, som kan rymma flera tusen kubikmeter. En tanker har vanligen flera sådana lastrum, så fartyget kan frakta många olika laster.

Korrugerad plåt för ökad styvhet

Styvheten hos ett bärande konstruktions-element är proportionell mot dess tröghetsmoment. Det sistnämnda kan ökas genom att förskjuta så mycket som möjligt av vikten från elementets tyngdpunkt, vilket gör att en tunn korrugerad plåt är mera intressant som bärande komponent än en tjockare plan plåt. En serie mycket stora mellanväggar ("skott") av korrugerat stål ökar styvheten hos t.ex. en tank.

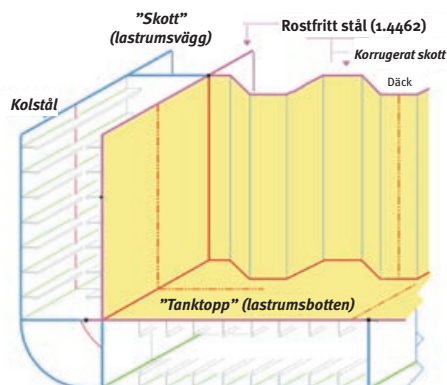
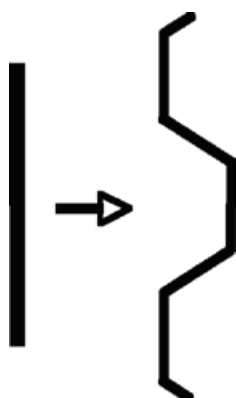
Skott med korrugerade väggar är också lättare att rengöra efter varje last än de traditionella utförandena med inre förstärkningar.

Korrosiva vätskor



Foto: Outokumpu, Degerfors (S)

Eftersom fartygen representerar avsevärda investeringar måste de ha så många användningsområden som möjligt. De austenitiska stålen EN 1.4406 (AISI 316LN), EN 1.4434 (AISI 317LN) eller duplexa stålet EN 1.4462 används ofta till dessa väggar, för att kunna ta emot sådan aggressiva kemikalier som nämnts ovan. Dessa Cr-Ni-Mo stål har inte endast hårdighet mot ett större antal korrosiva produkter än Cr-Ni-stålen, utan tillåter också högre användningstemperaturer, vilket underlättar hanteringen på fartyget i samband med lastning och/eller lossning.



Teckning: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Självbärande struktur

Styvhet och korrosionshärdighet är nödvändiga egenskaper, men dessa räcker inte för att uppfylla kraven på en tanker värd 35 milj. dollar. Lagring och transport av kemikalier styrs av stränga normer vid byggandet av fartygen. Beräkningsvärden för brott hos t.ex. lastrumspålt knyts i första hand till materialets säkerhet mot deformation vid sträckning, vilket innebär att sträckgränsen ($R_{p0,2}$) hos plåtmaterialet är ett viktigt urvalskriterium.

Duplexa rostfria stål har mycket högre sträckgräns än de austenitiska stålen och väljs därför till skotten. Dessa stål gör det möjligt att göra lättare konstruktioner, vilket i sin tur ökar lastkapaciteten – en väsentlig bedömningsfråga vid godstransport.

Många fördelar med duplexa rostfria stål

Till att börja med har de duplexa stålen i hög grad samma unika formbarhet som de austenitiska rostfria stålen. Dessa egenskaper är direkt lämpliga för korrugerade strukturer avsedda att ge ökad styvhet hos lastrums-



Foto: Cantiere Navale De Poli, Venedig (I)

väggar i tankfartyg. Dessutom ger den höga sträckgräns hos duplexa rostfria stål avsevärda möjligheter till viktsbesparingar, genom att tillåta tunnare vägg tjocklekar och ändå uppfylla hållfasthetskraven för skeppsbyggnad.

Slutligen ger kombinationen av krom, molybden och kväve i denna ståltyp hög härdighet mot lokal korrosion från de olika kemikalier (vid deras olika temperaturer), som kan transporteras med ett och samma fartyg. Därigenom breddas också kundens möjliga användningsområden för denna typ av investering.

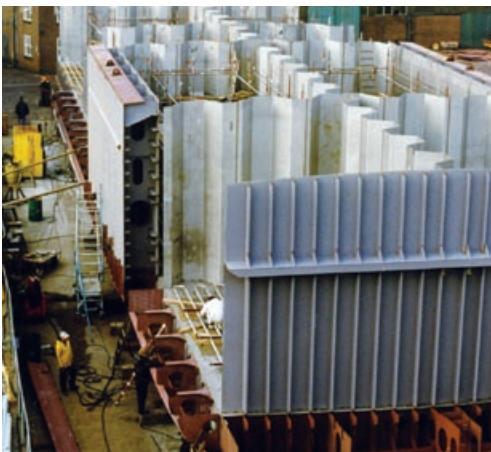


Foto: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

14 Referenser

- [1] DE MEESTER, Paul, *Kwaliteitscontrole en mechanische eigenschappen van materialen*, 2nded., 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), 3rded., Luxemburg: Euro Inox, 2006
- [3] *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1, CD-ROM), 3rded., Luxemburg: Euro Inox, 2006, “Forming” chapter
- [4] “Deformazione plastica a freddo dell’acciaio inossidabile”, *Inossidabile 154*, Milan: Centro Inox, 2003
- [5] *Handbook “Spinning and shear forming”*, 2nded., 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*, London: International Molybdenum Association, 2001

ISBN 978-2-87997-216-9