

Ruostumattoman teräksen muovaamisen mahdollisuudet



Euro Inox

Euro Inox on eurooppalainen ruostumattoman teräksen markkinointia edistävä yhdistys.

Euro Inoxin jäseniin kuuluvat:

- Euroopan ruostumattoman teräksen tuottajat
- Kansalliset ruostumattoman teräksen kehitysyhdistykset
- Seosmetalliteollisuuden yhdistykset

Euro Inoxin ensisijaisena tavoitteena on tiedottaa ruostumattoman teräksen ainutlaatuisista ominaisuuksista ja edistää niiden käyttöä olemassa olevilla käyttöalueilla ja uusilla markkinoilla. Toteuttaakseen näitä tavoitteita Euro Inox järjestää konferensseja ja seminaareja sekä julkaisee ohjeistoja painetussa ja sähköisessä muodossa, mikä auttaa suunnittelijoiden, normin laatijoiden, valmistajien ja loppukäyttäjien tutustumista materiaaliin. Euro Inox tukee myös sekä teknistä kehitystyötä että markkinatutkimusta.

ISBN 978-2-87997-215-2

978-2-87997-211-4 Englanninkielinen versio
 978-2-87997-212-1 Ranskankielinen versio
 978-2-87997-213-8 Italiankielinen versio
 978-2-87997-214-5 Espanjankielinen versio
 978-2-87997-216-9 Ruotsinkielinen versio
 978-2-87997-217-6 Hollanninkielinen versio
 978-2-87997-218-3 Saksankielinen versio

Jäsenet

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

Liitännäisjäsenet

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-rostoffrei.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

Toimitus

Ruostumattoman teräksen
muovaamisen mahdollisuudet
Ensimmäinen painos 2008
(Materiaalit ja niiden käyttösovellukset - sarja,
julkaisu 8)
© Euro Inox 2008

Julkaisija

Euro Inox
Pääkonttori: 241 route d'Arlon
1150 Luxemburg, Grand Duchy of Luxemburg
Puh.: +352 26 10 30 50 Fax: +352 26 10 30 51
Toimeenpaneva toimisto:
Diamant Building, Bd. A. Reyers 80
1030 Brussels, Belgium
Puh.: +32 2 706 82 67 Fax: +32 2 706 82 69
E-mail: info@euro-inox.org
Internet: www.euro-inox.org

Tekijä

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Käännös

Mikko Palosaari, Oulu (FIN)

Kannen valokuvat

- HDE Solutions, Menden (Saksa)
- ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (Saksa)
- Alessi, Crusinallo (Italia)

Varaus

Euro Inox on tehnyt kaikki toimenpiteet varmistaakseen, että tässä julkaisussa esitetty tieto on oikeaa. Kuitenkin lukijaa huomautetaan, että tässä esitetty tieto on tarkoitettu vain yleiseksi informaatioksi. Euro Inox, sen jäsenet ja henkilökunta sekä konsultit pidättyvät kaikesta vastuuvollisuudesta tai vastuusta, joka johtuu tähän julkaisuun sisältyvän informaation käytön aiheuttamasta menetyksestä, vahingosta tai vauriosta.

Sisältö

1. Johdanto	3
2. Mekaaniset ominaisuudet	4
3. Muovaamisen mahdollisuudet	5
4. Pinnan toimitustilat	5
5. Suurpainemuovattuja liitososia autoteollisuuteen	6
6. Saumattomien pintojen avulla hygieenisistä tuotteita	8
7. Suurpainemuovattujen kammioiden avulla tehokkuutta pumppuihin	10
8. Painosorvauksella korkealuokkaisia tuotteita	12
9. Koristeellisten vanteiden valmistus painosorvaamalla	14
10. Rullamuovauksella lisää lujuutta	16
11. Lämmönvaihtimien valmistus räjäytysmuovaamalla	18
12. Syvävedettyjä koristemuttereita autonrenkaisuun	20
13. Poimulevyjen käytöllä parempaan lastaavuuteen	22
14. Kirjallisuusviitteet	24

Tekijänoikeudet

Tähän julkaisuun sovelletaan tekijänoikeuslakien mukaisia sääntöjä. Euro Inox varaa kaikki oikeudet käännöksiin kaikille kielille, julkaisemiseen, kuvien käyttöön, esittelyihin sekä radio- ja televisiolähettyksiin. Mitään julkaisun osaa ei saa jälleen tuottaa, varastoida luettavassa muodossa, tai siirtää missään muodossa tai millään keinoin, sähköisesti, mekaanisesti, valokopioimalla, tallentamalla tai muilla menetelmillä ilman tekijän, Euro Inoxin (Luxemburg), lupaa. Rikkomukset voivat johtaa oikeuskäsittelyyn ja taloudelliseen vastuuseen sekä syytteesen panon Luxemburgin tekijänoikeuslain ja Euroopan Unionin lainsäädännön mukaisesti.

Ruostumattomat teräkset

Ruostumattomat teräkset ovat rautaseoksia, joissa on vähintään 10,5 (paino) % kromia sekä enintään 1,2 % hiiltä. Tämä mahdollistaa itsekorjautuvan oksidikerroksen eli passiivikalvon muodostumisen, joka tekee teräksestä korroosiota kestävä. Näin standardi EN 10088-1 määrittelee ruostumattoman teräksen.

Ruostumattoman teräksen rakenne riippuu voimakkaasti kemiallisesta koostumuksesta. Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa mikrorakenteensa perusteella neljään päälajiin, joilla jokaisella on niille ominaiset mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet:

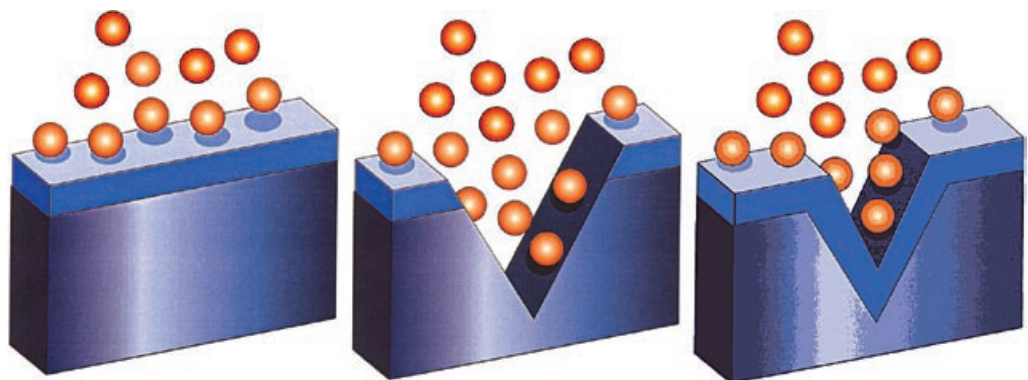
- Austeniittiset ruostumattomat teräkset: Fe-Cr-Ni, C < 0,1 % (ei-magneettinen)
- Ferriittiset ruostumattomat teräkset: Fe-Cr (> 10,5 %), C < 0,1 % (magneettinen)
- Duplex ruostumattomat teräkset: Fe-Cr-Ni, yhdistetty austeniittis-ferriittinen rakenne (magneettinen)
- Martensiittiset ruostumattomat teräkset: Fe-Cr, C > 0,1 % (magneettinen ja karkeneva)

Nämä lajit sisältävät myös laadut, joissa on muita seosaineita, kuten molybdeeniä, titaania, niobia ja typpeä. Austeniittiset laadut kattavat noin kaksi kolmasosaa ruostumattomien terästen käytöstä maailmassa.

Austeniittiset laadut EN 1.4301/1.4307 (AISI 304/304L) ja EN 1.4401/1.4404 (AISI 316/316L), ferriittinen EN 1.4016 (AISI 430) ja niiden muunnelmät ovat parhaiten tunnettuja ruostumattomia teräksiä sekä laajimmin kaupallisesti saatavilla.

Ruostumattomien terästen tärkeimmät ominaisuudet voidaan tiivistää seuraavasti:

- korroosionkestävyys
- esteettinen ulkonäkö
- lämmönkestävyys
- matalat elinkaarikustannukset
- täysin kierrätettäviä
- hygieenisuus
- hyvä valmistettavuus
- hyvä lujuus-paino-suhde



Mikäli ruostumattoman teräksen pintaa koneistetaan tai tahattomasti vahingoitetaan, muodostuu passiivikalvo välittömästi uudelleen ilmasta tai vedestä saatavan hapen avulla.

Yksityiskohtaiset tiedot ruostumattomien terästen kemiallisista, mekaanisista ja fysikaalisista ominaisuuksista ovat saatavilla osoitteesta www.euro-inox.org/technical_tables (interaktiivinen tietokanta) tai painetusta esitteestä *Tables of Technical Properties* (Materials and Applications Series, Volume 5), 2. painos., Luxemburg: Euro Inox, 2007.

1 Johdanto

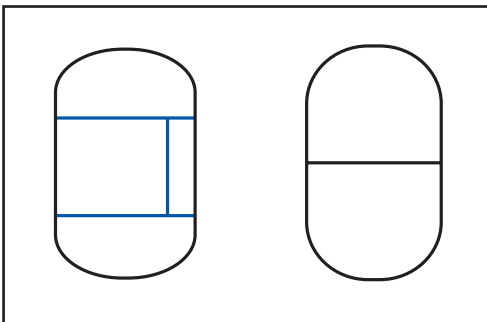
Ruostumaton teräs soveltuu hyvin muovattavuutta vaativiin sovelluksiin sen monimuotoisten mekaanisten ominaisuuksien ansiosta. Materiaalin hyvä lujuus-painosuhte sekä huomattava venymä ja muokauslujittumiskyky mahdollistavat sen käytön monimutkaisten, kolmiulotteisten ja saumattomien tuotteiden valmistuksessa.

Tällaisia tuotteita valmistettaessa ruostumattoman teräksen hyvät ominaisuudet, kuten korroosion- ja lämmönkestävyys sekä hyvä pinnalaatu säilyvät ennallaan, joten se on usein oikea materiaalivalinta sekä teollisuuden tuotteisiin että kulutushyödykkeisiin.

Tuotantokustannukset sisältävät:

- materiaalikustannuksia
- kuljetuskustannuksia

Vaikka ruostumaton teräs ei välttämättä aina ole edullisin materiaali, sen käyttö voi mahdollistaa tuotantoprosessin yksinkertaistamisen, joka tasoittaa korkeita materiaalikustannuksia esimerkiksi vähentämällä tarvittavia syvävetovaiheita tai lämpökäsittelyjä.



Olut – ja virvoitusjuomatynnyrit (tavallisesti 20-70 l) voidaan valmistaa monin tavoin ruostumattoman teräksen erinomaisten mekaanisten ominaisuuksien ansiosta. Yksi vaihtoehto on kolmiosainen malli (vasemmanpuoleinen esimerkki), jossa käytetään kahta kuperaa päätyä ja vaipassa kylmämuokattua ruostumatonta teräslevyä. Ruostumattoman teräksen kylmämuokkaus parantaa sen mekaanisia ominaisuuksia, joten sen käyttö tynnyrin vaipassa lisää rakenteen lujuutta tai vaihtoehtoisesti mahdollistaa ohuimmat seinämävahvuudet lujuuden säilyessä ennallaan. Tällaisen mallin käyttö on perusteltua, mikäli keveys on tärkein kriteeri.



Vaihtoehtoisesti, ruostumattoman teräksen hyvä muovattavuus mahdollistaa kaksiosaisen mallin käytön (oikeanpuoleinen esimerkki), joka koostuu kahdesta samanlaisesta syvävedetystä puoliskosta. Tällaisen mallin käyttö on perusteltua, mikäli hitsauksen osuutta halutaan vähentää. Hyvän muovattavuutensa lisäksi ruostumaton teräs on usein sopivin materiaali elintarvikekäytössä, koska se täyttää EU:n elintarvike-turvallisuusvaatimukset.

*kolmiosainen vs. kaksiosainen malli
Valokuvat: AEB, Vimercate (Italia)*

2 Mekaaniset ominaisuudet

Minkä tahansa materiaalin muovattavuuden arviointi vaatii sen mekaanisten ominaisuuksien tuntemista. Tavallisimmin käytetyt arviointikriteerit ovat:

Lujuus: materiaalin kyky vastustaa muodonmuutosta. Rakenteellisista näkökohdista riippuen muodonmuutos voidaan jakaa seuraavasti:

- ”myötäminen” tai pysyvä plastinen muodonmuutos (myöhemmin ”myötölujuus” R_p), tai
- ”murtuminen” tai rikkoutuminen (myöhemmin ”murtolujuus” R_m)

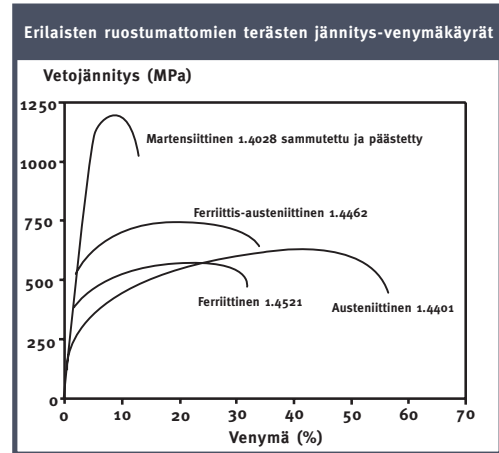
Kovuus: materiaalin kyky vastustaa pysyvää muodonmuutosta käytetyllä kuormalla.

Sitkeys: materiaalin kyky varastoida muodonmuutosenergiaa ennen murtumaa.

Venyvyys: materiaalin kyky muokkautua plastisesti i. pysyvästi murtumatta.

Käsitteet ”luja” ja ”heikko”, ”kova” ja ”pehmeä”, ”sitkeä” ja ”hauras” ovat toisistaan poikkeavia, materiaalin mekaanisia ominaisuuksia kuvaavia suureita, eikä niitä näin ollen tule sekoittaa keskenään. Osa näistä ominaisuuksista kyetään määrittämään vetokokeella. Erilaisten ruostumattomien terästen vetokokeen tulos esitetään yleensä kuvaajana, jossa mitataan jännitystä suhteessa aikaansaatuun venymään.

Käyrien päätepiisteet vastaavat murtovenymää ja se määrittää materiaalin venyvyyden. Käyrien alapuolelle jäävä pinta-ala ilmaisee kuinka paljon energiaa materiaali absorboi ennen murtumista - ja on siten materiaalin sitkeyden mitta.



Martensiittisten terästen lujuus on suuri ja venymä (muovattavuus) vaatimaton, kun taas austeniittisten terästen lujuus on alhaisempi ja venymä hyvä. Ferriittis-austeniittisten (Duplex) sekä ferriittisten terästen ominaisuudet ovat edellä mainittujen välimaastossa. Ferriittisten terästen myötölujuus on tavallisesti korkeampi kuin austeniittisten terästen, kun taas duplex terästen myötölujuus on merkittävästi sekä ferriittisiä että austeniittisiä laatuja suurempi. Ferriittisten ja duplex terästen venyvyys on samankaltainen².

Martensiittisiä ruostumattomia teräksiä lukuunottamatta kuvaajassa esitetyt suhteet pätevät hehkutetussa tilassa, jossa ruostumattomat teräkset tavallisesti toimitetaan. Jotta voidaan täysin ymmärtää ruostumattoman teräksen muovattavuusominaisuudet, tulee huomioida, että materiaalin mekaaniset ominaisuudet ovat riippuvaisia:

- kemiallisesta koostumuksesta
- lämpökäsittelystä (martensiittiset laadut)
- kylmämuokkausasteesta (austeniittiset ja duplex laadut)

Viimeisin ominaisuus viittaa siihen, että kylmämuokkaamalla kyetään aikaansaamaan erittäin lujia ruostumattomia teräksiä.

² Lisää tietoa ruostumattomien terästen kovuuden ja sitkeyden (puhutaan myös ”iskusitkeydestä”) mittaamisesta löytyy teoksesta: CUNAT, Pierre-Jean, *Working with Stainless Steel* (Materials and Applications Series, Volume 2), Paris: Sirpe, 1998.

Voimakas muokkauslujittumiskyky erottaakin nämä teräkset useimmista muista metallisista materiaaleista. Siten kylmämuokatut austeniittiset ja dup-

lex ruostumattomat teräkset tarjoavat mienkiintoisen lujuuden ja muovattavuuden yhdistelmän muun muassa painokriittisiin sovelluksiin.

3 Muovaamisen mahdollisuudet

Ruostumattoman teräksen muovattavuuden havainnollistamiseksi seuraavassa esitetään yhdeksän malliesimerkkiä kotitalouteen ja teollisuuteen muovaamalla valmistetuista tuotteista. Jokaisessa malliesimerkissä käydään lyhyesti lävitse:

- muovausprosessin pääperiaatteet
- tuotekohtaiset materiaalivaatimukset
- ominaisuudet, jotka tekevät ruostumatonta teräksestä kohteeseen soveltuvan materiaalin
- tuotteen valmistusprosessi käyttäen ruostumatonta terästä³

4 Pinnan toimitustilat

Eurooppalainen standardi EN 10088-2 antaa tietoa saatavilla olevista ruostumattomien terästen toimitustiloista (ja niihin liittyvästä terminologiasta)⁴. Tyypillisimmät toimitustilat sekä muovauskohteisiin soveltuvat paksuusalueet ovat:

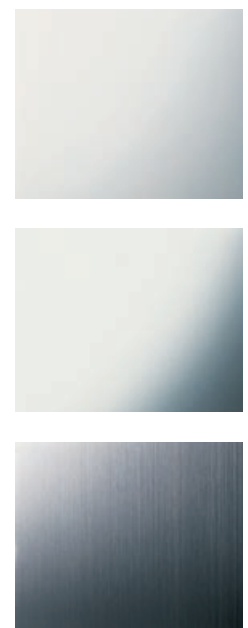
- kylmävalssattu hieman heijastava 2B (0,40–8,00 mm)
- kylmävalssattu voimakkaasti heijastava (kiiltohehkutettu) 2R (< 3,00 mm)
- kylmävalssattu ja hiottu (2G) sekä harjattu (2J)

Myös kuumavalssattua (1D; > 2,00 mm) sekä lujitusvalssattua (2H; < 6,00 mm) tilaa käytetään.

Tavallisesti voimakas muokkaus heikentää pinnalaatua, mistä on haittaa mm. dekooraatiivissa sovelluksissa. Kuitenkin, käytettäessä ruostumatonta terästä kyetään aikaansaamaan suhteellisen monimutkaisia muotoja ilman jälkikäsitteilyn tarvetta (mekaaninen viimeistely).

Esimerkiksi tiskialtaita voidaan valmistaa edullisesti suoraan kiiltohehkutusta (2R) ruostumattomasta teräksestä ilman jälkikäteen suoritettavaa kiillotusta. Valmistusprosessi on kustannustehokas, koska teräksen pinta säilyy ennallaan muovauksesta huolimatta.

Tavallisimmat muovaukseen soveltuvat toimitustilat: 2B, 2R ja 2G/2J.



³ Tämä julkaisu on tarkoitettu esittelemään menetelmät, jotka hyödyntävät parhaiten ruostumattoman teräksen muovausominaisuuksia. Tietoa yrityksistä, jotka voivat suorittaa näitä menetelmiä, on saatavilla Euro Inoxin tai sen jäsenten kautta.

⁴ Katso Ruostumattomien terästen pinnanlaadut (Rakennussarja, julkaisu 1), Luxembourg: Euro Inox, 2004.

5 Suurpainemuovattuja liitososia autoteollisuuteen

Suurpaine- eli hydromuovaus mahdollistaa putkien monimuotoisen muovauksen. Se käsittää seuraavat työvaiheet:

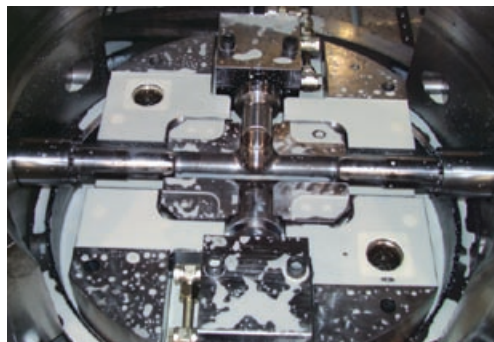
- ruostumattoman teräsputken asentaminen muottiin
- päiden tiivistäminen
- putken täyttäminen nesteellä (tavallisesti vedellä tai öljyllä)
- muovausvoiman aikaansaaminen yhdistämällä nesteen paineen kohotus sekä aksiaalinen putken päiden puristus.

Menetelmällä kyetään muovaamaan varsin vapaasti monimutkaisia muotoja. Sen edut tavanomaisiin menetelmiin nähden ovat:

- vahingoittumaton työkappaleen pinta (ei painimen tarttumista tai voiteluaineen aiheuttamaa tahraantumista)
- tiukat muototoleranssit

Liitososien valmistaminen autoteollisuuteen

Metalliset putkirungot (kuva ylhäällä vasemmalla) ovat eräs ratkaisu autojen korirakenteisiin. Itse asiassa tätä menetelmää on hyödynnetty jo vuosia linja-autoja valmistavassa teollisuudessa käyttäen ruostumattomista teräsputkista hitsattua koria. Perinteisesti liitososat on



Suurpainemuovaimen työkaluasetelma sekä valokuva: ArcelorMittal Centre Auto-Applications, Montataire (Ranska)

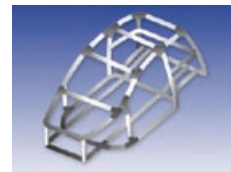
valmistettu taivuttamalla, leikkaamalla sekä hitsaamalla (kuva ylhäällä oikealla). Suurpainemuovattujen liitososien edut kokoonpanossa ovat:

- Monimutkaisten liitososien hitsauskokoonpanon väheneminen
- Hitsisauman ja leikkauksen erottaminen toisistaan (metallurgiset sekä mekaaniset muutokset toisistaan erillään)

Etuihin kuuluu:

- valmistuksen yhtenäistäminen
- moduuliratkaisujen käyttö
- suurempi jäykkyys ja lujuus, joka mahdollistaa painonsäästön
- kustannustehokkuus

Mallinnus: P-J Cunat, Joinville-le-Pont (Ranska)



Valokuva: HDE Solutions, Menden (Saksa)



Suurpainemuovattujen liitososien käyttö modernissa putkirungossa. Kuva: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (Ranska)

Ruostumattoman teräksen käyttäytyminen suurpainemuovauksessa

Suurpainemuovauksen yhteydessä tietyt alueet muovautuvat varsin voimakkaasti, mikä johtaa materiaalin muokkauslujittumiseen. Lujittuminen on poikkeuksellisen voimakasta ruostumattomissa teräksissä ja siten valmiin kappaleen mekaaniset ominaisuudet (staattinen lujuus sekä väsymislujuus) paranevat merkittävästi.

Muovautuneet alueet, missä myös jännitystaso on suurimmillaan, sijaitsevat kaukana hitseistä. Tilanne on päinvastainen perinteiseen kokoonpanoon verrattuna, missä hitsatut alueet ovat kestävyiden kannalta kriittisimpiä.



*Suurpainemuovattu liitososa
Valokuva: HDE Solutions,
Menden (Saksa)*

Ruostumattomasta teräksestä suurpainemuovamalla valmistetun liitososan edut

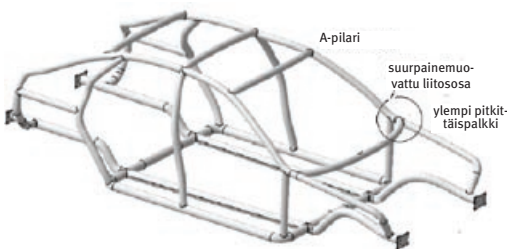
Suurpainemuovauksen ja ruostumattoman teräksen yhdistämisellä saavutetaan muun muassa seuraavia etuja:

- tarkempi linjaus
- hyvä mittatarkkuus (ei riskiä hitsauksen aiheuttamista vetelyistä)
- mahdollisuus hitsauksen automatisoin-

tiin (liitososien hitsausta niiden kokoonpanohitsauksen asemesta)

- parempi paksuus/geometrinen tarkkuus
- parempi jännitys jakauma

Lopputulos: vähemmän osia sekä romua, vähemmän tarvittavia työkaluja sekä materiaalia johtavat kustannussäästöihin.



Mallinnus sekä valokuva: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (Ranska)

6 Saumattomien pintojen avulla hygieenisii tuotteita

Elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevilta keittiötarvikkeilta vaaditaan muun muassa:

- hygieenisyyttä ja helppoa puhdistettavuutta
- hyvää lämmönjohtavuutta (ruoanlaitossa) silti viileät kahvat säilyttäen
- iskun- ja kulutuksenkestävyyttä

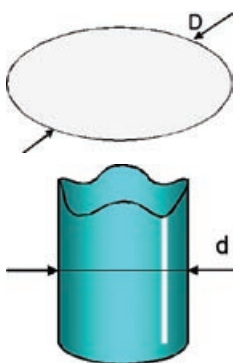
Teknisten vaatimusten lisäksi kuluttajien tyyliä huomioiminen viimeistelyssä ja muotoilussa on lisättävä vaatimuslistaan. Alla esitetty kattilan valmistusprosessi osoittaa miksi ruostumatonta terästä on käytetty yllämainittuja vaatimuksia vastaavana materiaalina jo vuosikymmenten ajan.

Pyöreästä teräslevystä sylinterimäiseksi kappaleeksi



Yllättävää kyllä, tällaisen elegantin astian valmistus aloitetaan pyöreästä levyaihiosta, jonka paksuus on 1 mm ja halkaisija noin 400 mm. Kylmävalssattu EN 1.4301, 2B pintainen (tehtaan toimitustila) ruostumaton teräs kestää syvävetopuristimen tai – puristinten aiheuttamat suuret venymät. Muovauksen aikana kiekon halkaisija putoaa puoleen alkuperäisestä – mikä vastaa suurin piirtein materiaalin muovattavuutta⁵.

Ruostumattomasta teräksestä voidaan valmistaa myös syvempiä profiileja, mikäli sen plastinen muovautumiskyky palautetaan välihehkutuksen (yli 1000 °C) avulla. Hehkutuksen yhteydessä teräksen pinta kuitenkin hapettuu tummaksi, mikä puolestaan likaisi syvävetotyökalut ja vaikeuttaisi viimeistelyä. Niinpä hehkutuksen jälkeen on suoritettava kemiallinen käsittely, joka puhdistaa sekä uudelleenpassivoi teräksen pinnan. Elpyneen sylinterimäisen kappaleen syvävetoa voidaan näin ollen jatkaa pidemmälle.



Rajavetosuhde (LDR) = D/d
Tavallisesti ruostumattomien terästen rajavetosuhde on 1,8-2 välillä.



⁵ Rajavetosuhde (Limiting Drawing Ratio, LDR) on suurimman ehjänä vedetyn kupin aihion halkaisijan (D) suhde syvävetopuristimen painimen halkaisijaan (d).

Sylinterimäisestä astiasta design tuotteeksi

Soveltuakseen induktiokuumennukseen, kat-tilan pohjaan on asennettava ferriittisestä (Cr) ruostumattomasta teräksestä valmistettu pyöreä levy. Se on magneettinen, toisin kuin runko, joka on valmistettu austeniittisestä (Cr-Ni) ruostumattomasta teräksestä. Hyvän lämmönjohtokyvyn varmistamiseksi niiden väliin laitetaan alumiininen kiekko ja lopuksi osat liitetään toisiinsa puristamalla sekä juottamalla.



Vaikka lähtömateriaalin mattamainen pinta on varsin kaukana kiiltävistä keitto-astioista, sen pinnankarheus on alhainen, mikä mahdollistaa kustannustehokkaan viimeistelyn.

Kokoonpanotyövaiheiden jälkeen kattilan runko on valmis hiontaan ja kiillotukseen. Tähän tarkoitukseen on olemassa useita abrasiiveja, Scotch-Brite™ -tyynyjä ja -tahnvoja (lopulliseen viimeistelyyn).



Valokuvat: Zani Serafino, Lumezzane (Italia)



Ruostumattoman teräksen muovaus ei ole rajoittunut ainoastaan sylinterimäisiin kappaleisiin. Monimutkaisempia kaarevia pintoja (kuvassa vasemmalla) kyetään aikaansaamaan sylinterimäiseen kappaleeseen (oikealla) käyttäen metallista, kaksiosaista, lopullisen muodon omaavaa muottia ja useista, ominaisuuksiltaan poikkeavista, kovista polymeeriliuskoista valmistettua sisäpuolista tukea (keskellä).



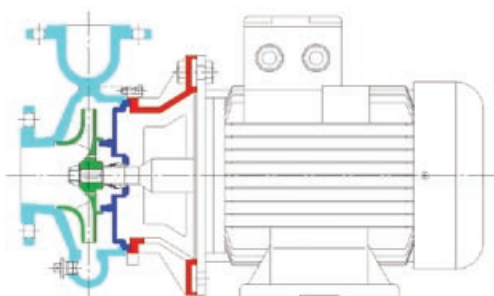
Monikäyttöinen materiaali hygienesiin tuotteisiin

Erinomaisten hitsaus-, muovaus- ja viimeistelyominaisuuksiensa ansiosta ruostumattomasta teräksestä voidaan helposti valmistaa keittiötarvikkeita, jotka ovat hygienesiä, pitkäikäisiä, soveltuvat induktiokuumennukseen ja joissa on tarttumaton pinta. Näitä ominaisuuksia voidaan hyödyntää keittiötarvikkeiden lisäksi myös muissa hygieenisyyttä vaativissa käyttökohteissa.

Tartuntakahvat on tehty joko pyöreästä tai litteästä tangosta ja hitsattu kattilaan kiinni. Kontaktipinnan minimoinnin ja austeniittisen ruostumattoman teräksen (lämmönjohtavuus on pienempi kuin muiden terästen) käytön ansiosta palovammojen riskit on eliminoitu ja siten käyttö on turvallista.

7 Suurpainemuovattujen kammioiden avulla tehokkuutta pumppuihin

Tyypillisen keskipakopumpun pääosat



Keskipakopumpun toiminta perustuu läpivirtaavan nesteen energiatason kasvattamiseen (moottorin avulla) nestettä korvaamalla ja kasvattamalla sen painetta. Sen pääosat ovat:

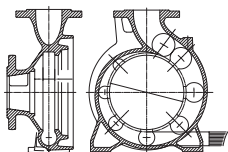
- sähkömoottori ja akseli
- kammio (vaaleansininen)
- juoksupyörä (vihreä)
- tiiviste (sininen) ja kannatin (punainen)

Juoksupyörä muuttaa sähkömoottorin energian nesteen energiaksi (joka on paineen ja kineettisen- sekä potentiaalienergian summa).

Kammion tehtävänä on ohjata neste imu- puolelta juoksupyörälle, erottaa matala- ja korkeapaine toisistaan sekä ohjata neste juoksupyörältä poistoaukkoon samalla lisäten sen painetta nesteen nopeutta hidastamalla. Kammiolta vaadittavia mekaanisia ominaisuuksia ovat käyttöpaineen kestävyys, pumpun tukeminen (mallista riippuen) ja liitosputkien aiheuttamien voimien vastaanottaminen.

Spiraalimaisen kammion tehtävä

Jotta nesteen paineen lisäys sen poistuessa juoksupyörältä olisi mahdollisimman tehokasta, käytetään spiraalimaista kammiota, jonka poikkileikkausala kasvaa spiraalin mukana. Rakenteen ansiosta nesteen nopeus saadaan laskettua (välttämättömä



Spiraalimainen kammio

paineen kohottamiseksi) minimaalisilla kitkahäviöillä. Spiraalimaisen kammion, joka vastaa näitä monimutkaisia suunnittelunäkökohtia, valmistaminen metallista on edelleen varsin haastavaa.

Valetuista kammioista syvävedettyjen kammioiden käyttöön

Perinteisesti kammiot on valmistettu joko valuraudasta, valuteräksestä tai pronssivalusta. Hiljattain markkinoille on tullut myös ruostumattomasta teräksestä syvävedettyjä kammioita, joissa yhdistyy erinomainen lujuus-paino-suhde sekä hyvä muovattavuus. Niinpä tuotteet ovat sekä keveitä että mekaanisesti kestäviä.



Valuraudasta valmistettu kammio



Ruostumattomasta teräksestä syvävetämällä valmistettu kammio

Edut käytettäessä ruostumatonta terästä

Ruostumattomasta teräksestä valmistettua kammiota käyttämällä varmistetaan:



Keskipakopumppu, jossa ruostumattomasta teräksestä valmistettu kammio

- kammion hygieenisuus (esim. juomaveden pilaantuminen)

- korroosionkesto useimpia kevyesti syövyttäviä aineita vastaan
- painonsäästö parempien mekaanisten ominaisuuksien ansiosta (kompaktit ja helposti käsiteltävät pumput)
- näyttyvyys ja hyvä huollettavuus
- sileiden pintojen ansiosta hyvä hyötysuhde



Ruostumattomasta teräslevystä syvävetämällä valmistettu pumpun kammio. Nesteen tuloaukko sijaitsee edessä ja sen poisto kammion yläpuolelta tapahtuu yläpuolisen, suurpainemuovatuspoistoaukon kautta.

Suurpainemuovauksen edut

Kammioiden muodot voivat vaihdella hyvin yksinkertaisista (pyöreä poikkileikkaus) varsin monimutkaisiin (sisältäen spiraalimaisen kammion). Jälkimmäinen, joka yleensä valmistetaan hitsaamalla kaksi puoliskoa yhteen, parantaa pumpun hyötysuhdetta. Suurpainemuovauksen avulla on mahdollista tehdä spiraalimainen kammio



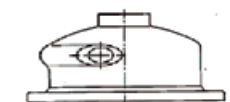
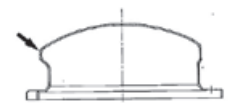
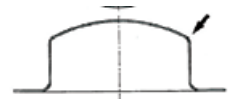
Suurpainemuovauksen avulla spiraalimaisuus kyettään integroimaan pumpun kammioon. Poistoaukon viimeistely on tehty huolella hyvän hyötysuhteen varmistamiseksi.

yhdestä ainoasta osasta – näin ollen vältetään hitsaus, minkä ansiosta korroosionkestävyys paranee.

Suurpainemuovatus kammion valmistaminen ruostumattomasta teräksestä

Valmistukseen tarvitaan tasainen, ruostumaton teräskiekko (1,5-3 mm paksu, mallista riippuen), jolle suoritetaan seuraavat työvaiheet valmiin kammion aikaansaamiseksi:

- syväveto, joka antaa kammion tarvittavan tilavuuden
- spiraalin osan suurpainemuovaus käyttäen >1000 baarin vedenpainetta
- tulo- ja poistoaukkojen poraus sekä koneistus
- ulkopuolisten sovitteiden ja tukien hitsaus



Kammion valmistuksen vaiheet: syväveto, suurpainemuovaus, koneistus ja viimeistely, sovitteiden hitsaus

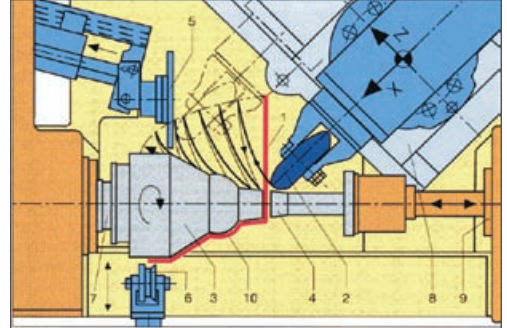
8 Painosorvauksella korkealuokkaisia tuotteita

Painosorvaus on muovausmenetelmä, jossa ei tapahdu materiaalihukkaa. Se vaatii:

- pyöreän metallilevyn tai syvävedetyn esiaiheen
- pyörivän rullatyökälun
- sorviin kiinnitettävän pyörähdysymmetrisen muotin

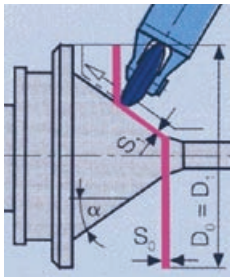
Metallilevyä venytetään muotin päälle vaihteittain pyörittämillä sorvissa sekä muottia että muovattavaa kappaletta. Suuren paineen johdosta voiteluainetta on käytettävä estämään muovattavan kappaleen muottiin tarttuminen, joka voisi vaurioittaa pintaa.

Painosorvaus on menetelmänä varsin yksinkertainen vähäisen työkalutarpeen, pienten työkalupaleen asetus- ja vaihtokustannusten sekä vähäisen energiankulutuksen ansiosta. Niinpä investointikustannukset ovat alhaiset muihin puristinprosesseihin verrattuna. Painosorvauksen tuottavuus on kuitenkin vaatimaton ja siksi se soveltuukin parhaiten proto- ja piensar-



Piirros: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (Saksa)

Piirros: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (Saksa)



javalmistukseen. Perinteisessä painosorvauksessa ei pyritä työkalupaleen seinämävahvuuden ohentamiseen.

Vaihtoehtoisesti, kartiomaisia kappaleita voidaan muovata yhdessä vaiheessa, mikäli pienin avautumiskulma on noin 12° (vähemmän, mikäli muovaus suoritetaan useammissa vaiheissa). Kartion avoimen pään halkaisija vastaa levymäisen työkalupaleen alkuperäistä halkaisijaa. Näin ollen seinämävahvuus ohenee (kulmasta riippuen). Tätä menetelmää kutsutaan venytyssorvaukseksi tai projisoinniksi.

Painosorvaus on oivallinen vaihtoehto sylinterimäisten ja kartiomaisten muotojen aikaansaamiseksi perinteisen syvävedon tai venytysmuovauksen asemesta. Tällaisia muotoja käytetään yleisesti sekä kotitaloustarvikkeissa että teollisuudessa. Suuri syvyys/halkaisija-suhde kyetään valmistamaan kaksiulotteisesta ruostumattomasta teräskiekosta.

Valokuva: ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (Saksa)



Ruostumattoman teräksen painosorvaus

Työkalun kohdistama voima aiheuttaa puristusjännityksiä ruostumattomaan teräslevyyn, mikä puolestaan johtaa nopeaan muokkauslujittumiseen ja sen seurauksena muovaus vaikeutuu. Niinpä painosorvaukseen soveltuvat ainespaksuudet ovat varsin rajalliset. Menetelmä sopii hyvin laaduille, joiden myötölujuus sekä taipumus muokkauslujittumiseen ovat alhaisia. Tällaisia ovat ferriittiset laadut (esim. EN 1.4016) ja jotkut austeniittiset teräkset (mahdollisimman stabiilit), jotka muokkauslujittuvat vähän (esim. EN 1.4301) tai hieman voimakkaammin (esim. EN 1.4303).

Painosorvauksella kyetään valmistamaan ruostumattomasta teräksestä tuotteita, joiden ympyrämäisyys on erittäin hyvä. Niinpä niiden jälkikäsittely, kuten kiillotus, on helppoa ja kustannustehokasta.

Ruostumattomasta teräksestä valmistettu muodikas tuolinjalka

Baarinjakkara on pyörähdyssymmetrinen tuote. Tuolinjalan on oltava varsin painava, jotta jakkara olisi vakaa. Niinpä rautametallit (hiili- tai ruostumaton teräs) soveltuvat tähän osaan paremmin kuin alumiini, jonka tiheys on vain yksi kolmasosa teräksen vastaavasta. Koska tuolinjalka vaatii säännöllistä puhdistusta, maalatut jalat eivät ole kovin pitkäikäisiä: säännöllinen puhdistusaineiden käyttö kuluttaa maalipintaa, joka puolestaan huonontaa tuotteen ulkonäköä.

Tuolinjalan valmistaminen painosorvaamalla ruostumattomasta teräksestä on osoittautunut erinomaiseksi ratkaisuksi. Painosorvattujen tuotteiden hyvä ympyrämäisyys helpottaa automatisoitujen jälkikäsittelyjen, kuten kiillotuksen, suorittamista.

Sileän, kylmävalssatun ruostumattoman teräspinnan viimeistely ei vaadi kallista valmistelutyötä.



*Baarinjakkara on pyörähdyssymmetrinen tuote. Ruostumattomasta teräksestä valmistettu tuolinjalka kestää hyvin voimakkaita puhdistusaineita.
Valokuva: Thate Preetz (Saksa)*



Valokuva: Thate Preetz (Saksa)

9 Koristeellisten vanteiden valmistus painosorvaamalla

Ylellisyydestä pitävät autonomistajat pyrkivät enenevässä määrin muuntelemaan ("tuunaamaan") ajoneuvoaan oman makunsa mukaiseksi. Koristevanteet ovat vain yksi esimerkki tästä kehityksestä. Painosorvaus soveltuu hyvin piensarjatuotantoon ja tällä tekniikalla ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla vanteilla on seuraavia etuja:

- hyvä lujuus-paino-suhde (mahdollistaa kevyet rakenteet)
- lujuuden kasvu kylmämuokkauksen ansiosta
- sileä kylmävalssattu pinta helpottaa kiillotusta



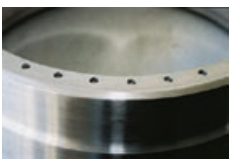
- tavanomaisia metalleja parempi korroosionkesto
- ei vaadi maalipinnoitusta (joka voi lohkeilla)

Tyypillisen koristevanteen osat



Mallista riippuen koristevanteet voidaan valmistaa joko kahdesta tai kolmesta osasta. Kolmiosaisen mallin osat ovat:

- keskiö (yleensä alumiinivalu)
- vanteen sisäkehä (yleensä alumiinivalu)
- vanteen ulkokehä (mahdollisesti ruostumatonta terästä)



Keskiö kiinnitetään vanteen sisä- ja ulkokehään käyttäen jalosta seoksesta valmistettuja pultteja, jotta vältetään galvaaninen korrosio.

Ruostumattomasta teräksestä valmistettuun ulkokehään on käytetty painosorvausta ja automatisoitua kiillotusta.



Kolmesta osasta valmistettu koristevanne: keskiö (ylhäällä), vanteen sisäkehä (keskellä) ja vanteen ulkokehä (alhaalla). Viimeisin on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, minkä ansiosta se on luja, kevyt ja sileäpintainen.



Vanteen keskiön kiinnittäminen sisä- ja ulkokehään.

Näyttävyyden lisäksi mekaaninen kiillotus parantaa osan korroosionkestoa. Se voi olla tarpeen vaihtelevissa olosuhteissa, esimerkiksi alueilla missä tiestöstä suolaan jäätyminen ehkäisemiseksi.

Käytettäessä ruostumatonta terästä vanteen ulkokehän valmistuksessa vältetään ympäristölle haitalliset pinnan viimeistelykäsittelyt.

Vanteen ulkokehän painosorvaus ruostumattomasta teräksestä

Vanteen ulkokehä muovataan pyöreästä ruostumattomasta teräslevystä, joka voidaan hankkia valmiina aihiona tai sitten se leikataan levystä. Valmistuksen helpottamiseksi kiinnitysreiät tehdään ennen painosorvausta. Levy asennetaan sorviin pyöreää muottia vasten. Muovaustyökalu kohdistaa paineen levyyn, joka muovautuu hiljalleen muotin mukaiseksi sorvauksen edetessä. Tarkoituksenmukaisten voiteluaineiden käyttö on välttämätöntä.



Vanteen ulkokehän painosorvausta. Ruostumaton teräs lujittuu muovauksessa ja siten sen iskunkestävyys paranee.

Ruostumattoman teräksen käytöllä lujuutta vanteisiin

Austeniittisten ruostumattomien terästen mekaaniset ominaisuudet ovat mielenkiintoisia. Suuren murtolujuuden (R_m) lisäksi kylmämuokkaus, kuten painosorvaus



ja siitä seuraava vanteen reunan taivutus, parantavat ruostumattoman teräksen mekaanisia ominaisuuksia. Sen vuoksi vanteen pinta kestää hyvin esimerkiksi kiveniskemiä. Lujittumisen ansiosta vanteet eivät ole herkkiä katukiveyskosketuksille ja siten ruostumaton teräs soveltuu erinomaisesti

10 Rullamuovauksella lisää lujuutta



Rullamuovaus on hyvin tunnettu menetelmä, jolla teräsnauhasta kytetään valmistamaan pitkiä ja usein varsin monimutkaisia profiileja. Suuret kustannussäästöt ovat mahdollisia, mikäli menetelmän suomat mahdollisuudet, kuten C- ja/tai U-tyyppisten kennorakenteiden hitsauskoonpanon vähentäminen, huomioidaan jo suunnitteluvaiheessa. Rullamuovattuja profiileja käytettäessä voidaan useat toiminnot yhdistää samaan tuotteeseen: kaapelointi, jäähdytys, kiinnitys jne.

Perinteisesti rullamuovausta on hyödynnetty rakennusteollisuudessa (ikkunankehukset ja ovenkarmit), kuljetusteollisuudessa (rekat, linja-autot ja junat) sekä kone- ja toimistokalusteteollisuudessa. Viime aikoina myös muut teollisuuden alat, kuten autoteollisuus, ovat osoittaneet kiinnostusta menetelmään. Syynä tähän on nimenomaan eri toimintojen integroitavuus yhteen tuotteeseen.

Ruostumattoman teräksen rullamuovaus

Rullamuovaus muistuttaa läheisesti putkenvalmistusta. Useat peräkkäiset muova-

usyksiköt (jokaisessa yksilöllisesti muotoillut valssausrullat) muuttavat teräsnauhan (leveys tavallisesti alle 1000 mm) profiiliksi, joka voidaan joko jättää avoimeksi tai hitata suljetuksi rakenteeksi. Ruostumatonta terästä voidaan rullamuovata portaittain paksuusalueella 0,4-8 mm hyvän venyvyyden ansiosta. Tällainen muokkaus parantaa ruostumattoman teräksen mekaanisia ominaisuuksia ja siten mahdollistaa poikkeuksellisen lujien ja monimutkaisten profiilien aikaansaamisen.

Rullamuovausyksikköjen suuri määrä mahdollistaa pienet yksikkökohtaiset muodonmuutokset ja siten materiaalin jännitykset jäävät alhaisemmiksi. Näin mittatarkuus paranee ja se voi helpottaa tuotteiden kokoonpanoa.

Tuotteen loppuarvon kasvattaminen

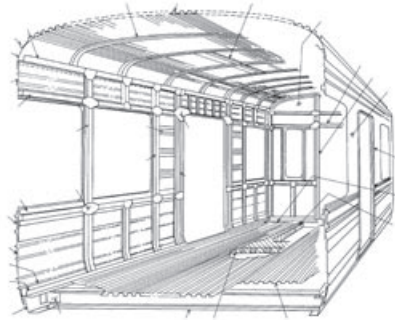
Profiilin myyntiarvon parantamiseksi rullamuovausta voidaan täydentää seuraaventyypisillä toimenpiteillä:

- kuvioporaus
- kiinnikkeiden lisäys
- taivuttaminen tai venyttäminen kolmiulotteiseksi profiiliksi



Ruostumattomia teräsprofileja junan korirakenteisiin

Matkustajavaunut koostuvat perinteisesti apurungosta sekä korista. Kori on tehty käyttäen joko maalattua hiiliterästä, alumiinia tai ruostumatonta terästä. Ruostumattomat teräsosat voidaan valmistaa rullamuovaamalla suoraan tehtaalta toimitettavasta nauhasta paksuusalueella 0,4-6 mm ja yli.



Piirros: Nickel institute, Toronto (CDN)

Painonsäästöä ruostumattoman teräksen käytöllä

Laatua 1.4301 voidaan käyttää, mutta laadun 1.4318 (seostettu tyyppiä ja laskettu nikkeliipitoisuutta) lähtötason lujuusarvot ovat merkittävästi paremmat. Lisäksi tämän laadun mekaanisia ominaisuuksia voidaan parantaa ennen rullamuovausta terästehtaalla suoritettavan lujitusvalssauksen (kylmämuokkauksen) avulla⁶. Niinpä rullamuovaamalla laadusta 1.4318 valmistettujen profiilien käytöllä junavaunujen tolppissa, palkeissa ja rungossa mahdollistetaan ennätysmäinen painonsäästö.

Kevyemmät junavaunut kuluttavat luonnollisesti vähemmän energiaa kiihdytyksessä ja jarrutuksessa, mikä on merkittävä etu esimerkiksi paikallisjunissa, jotka pysähtyvät usein.

Painonsäästö kyetään aikaansaamaan yhdistämällä seuraavat asiat:

- ruostumaton teräs (hiiliteräksen asemasta)
- laatu 1.4318 (poikkeuksellisen suuri lujuus lujitusvalssauksella)
- rullamuovaus



Valokuva: ArcelorMittal Stainless Belgium, Genk (Belgia)

Muita ruostumattomasta teräksestä valmistetun matkustajavaunun etuja ovat:

- vähäinen kunnossapitotarve (ei maalaustarvetta)
- pitkä elinkaari (seinämät eivät ohene kulumisen vuoksi)
- hyvä palonkesto verrattuna muihin (kevyt) metalleihin
- parantunut kolariturvallisuus (mekaanisten ominaisuuksien ansiosta)



Valokuva: Outokumpu, Espoo (Suomi)

⁶ Yksityiskohtaisempaa tietoa on saatavilla Euro Inox CD-ROM levyllä, *Stainless Steel for Structural Automotive Applications – Properties and Case Studies* (Automotive Series, Volume 1, Release 3), Luxembourg: 2006

11 Lämmönvaihtimien valmistus räjäytysmuovaamalla



Räjäytysmuovauksessa käytetään hyödyksi räjähdys synnyttämää paineaaltoa, joka väliaineessa edetessään painaa muokattavan kappaleen muottia vasten. Räjäytyspanos räjäytetään veden alla aihion läheisyydessä ja syntynyt paineaalto toimii painimena.

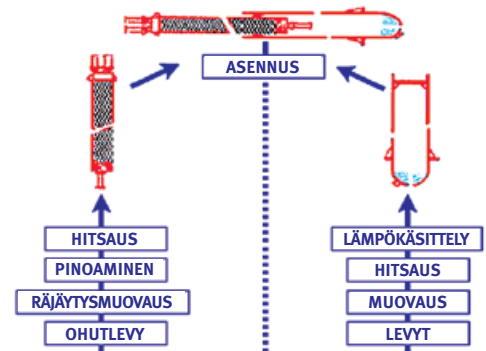
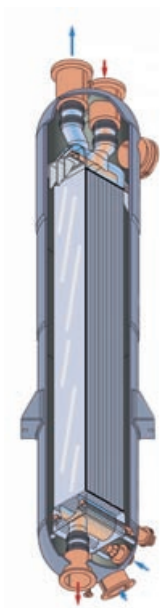
Perinteisistä muovausmenetelmistä poiketen räjäytysmuovaus mahdollistaa:

- suurten kappaleiden muovaamisen (räjähteiden ansiosta)
- suurten ainespaksuuksien käytön (> 10 mm Ni – seokset)
- yksityiskohtaisen muotoilun (vähentää hitsauksen ja lämpökäsittelyjen tarvetta)
- mekaanista kulutusta kestävien tuotteiden valmistamisen
- erinomaisen mittatarkkuuden

Suuret levylämmönvaihtimet

Suuria levylämmönvaihtimia käytetään tavallisesti öljynjalostamoissa sekä petrokemian teollisuudessa. Tiukat lämmönsiirtovaatimukset edellyttävät suurten kontaktipintojen käyttöä sekä tehokasta lämmönsiirtoa korkeissa lämpötiloissa. Yksittäisen levylämmönvaihtimen käyttö putkilämmönvaihtimen (tai useiden) asemasta on taloudellista, mikäli kontaktipintaa on useita tuhansia neliömetrejä.

Tavallisesti levylämmönvaihdin koostuu sadoista räjäytysmuovatuista ruostumattomista teräslevyistä. Yksittäisen levyn paksuus on 0,8–1,5 mm ja sen leveys voi olla jopa 2 metriä ja pituus vastaavasti jopa 15 metriä. Räjäytysmuovauksen jälkeen levyt pinotaan yhdeksi nipuksi ja kiinnitetään toisiinsa hitsaamalla. Levyjen nuolimainen poimutus aikaansaa ohivirtaavaan



nesteeseen pyörremäisen virtauksen, joka varmistaa mahdollisimman tehokkaan lämmönsiirron.

Levynippu asennetaan sille soveltuvaan paineastiaan ja ne kiinnitetään toisiinsa käyttäen lämpölaajenemisen sallivia liittimiä.



Edut käytettäessä ruostumatonta terästä

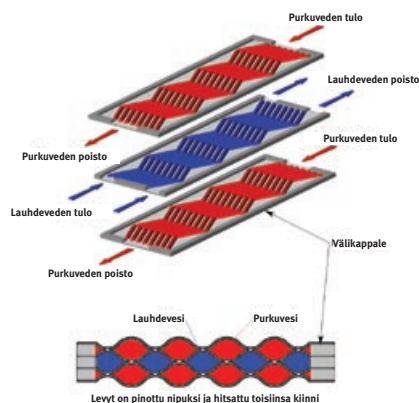
Materiaalin käytöllä on useita etuja:

- Prosessilämpötilat levylämmönvaihtimissa tavallisesti 300 ja 550 °C välillä (huippuarvo 650 °C). Lämpötilat eivät aiheuta ongelmia käytettäessä laatuja kuten EN 1.4541 (AISI 321).
- Ruostumattomat teräkset kestävät tavanomaiset käyttöpaineet 120 baariin asti ja 40 baarin paine-erot tulo- ja menoaukkojen välillä.
- Räjähäytysmuovaukselle ominaisen suuren muovausnopeuden ansiosta (jopa 120 m/s) ruostumaton teräs muokkautuu tavallista voimakkaammin.
- Poimutettu kuvio yhdistettynä alhaiseen pinnankarheuteen vähentää likaantumisen riskiä ja siitä seuraavaa lämmönsiirtotehoa laskea.
- Oikea materiaalinvalinta vähentää epäpuhtauksien aiheuttamaa korroosioriskiä esimerkiksi öljyperäisten rikkipitoisten ainesosien johdosta.
- Tavanomaisia hitsausmenetelmiä voidaan käyttää pinottujen poimulevyjen kiinnitykseen ja tiivistykseen.



Toimiva yhdistelmä

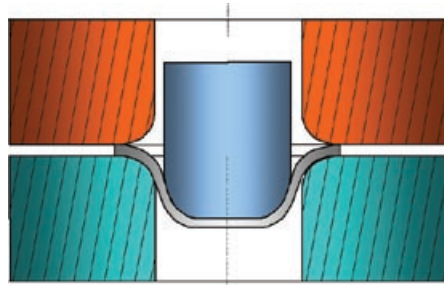
Niin räjähtysmuovaus kuin ruostumattomat teräkset ovat itsessään vanhaa tekniikkaa. Suurten levylämmönvaihtimien kehittäminen on kuitenkin mahdollistanut ruostumattomien teräslevyjen koon ja ominaisuuksien täysimääräisen hyödyntämisen ja siksi räjähtysmuovauksen avulla aikaansaadaan merkittäviä säästöjä päivittäisessä öljynjalostus-, petrokemian- ja kaasunkäsittelyteollisuudessa. Ratkaisu on kannattava sekä uusien yksiköiden investointien yhteydessä että jo olemassa olevia prosesseja optimoitaessa.



12 Syvävedettyjä koristemuttereita autonrenkasiin

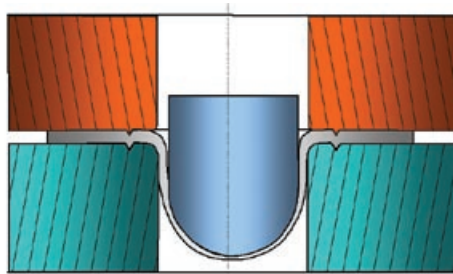
Yleisesti ottaen ruostumattomien terästen muovattavuus on erinomainen. Vaikka valtaosa muovauksesta suoritetaan austeniittisiä (Cr-Ni) ruostumattomia teräksiä käyttäen, soveltuvat myös ferriittiset (Cr) laadut ongelmitta moniin muovausprosesseihin, mikäli metallia ei pelkästään venytetä. Syvävedon ja venytysmuovauksen eroavaisuudet on esitetty alla.

Syväveto



- materiaali virtaa vapaasti muovauksen aikana
- muodonmuutos tasomaisesta kehästä sylinterimäiseksi kappaleeksi tapahtuu pääasiassa levyn pinnan suuntaisesti paksuuden pysyessä kutakuinkin ennallaan (= suuri anisotropia "r"⁷)

Venytysmuovaus

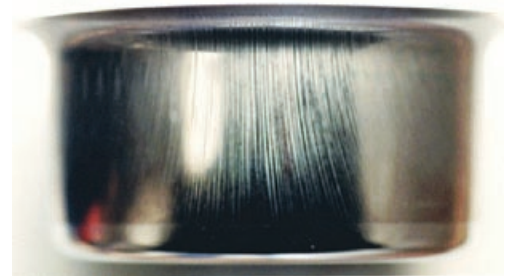


- materiaalin virtaus estetty levynpidättimen avulla
- huomattava paksuuden oheneminen
- materiaalilta vaaditaan suuri venymä (A%) ja muokkauslujittumiskyky (n)

Käytännön muovausprosessit ovat usein sekä venytysmuovauksen että syvävedon yhdistelmiä, mikä selittää austeniittisten laatujuen suosion.

Ferriittisten laatujuen syvävedettävyys

Ferriittisten ruostumattomien terästen rajavetosuhde (katso sivu 8) on hieman austeniittisiä parempi. Sen ansiosta ne soveltuvat erinomaisesti syvävetoon. Perinteiset ferriittiset laadut ovat taipuvaisia ns. roping-ilmiöön muovattaessa. Sen vuoksi on kehitetty Ti tai Nb stabiiloituja sekä kontrolloidusti valmistettuja ferriittisiä laatujuja, joiden syvävedettävyys on entistä parempi ja taipumus ropingiin vähäisempi.



Ferriittisestä EN 1.4016 vakiolaadusta (yläpuolella) ja austeniittisestä EN 1.4301 (alapuolella) syvävetämällä valmistetut astiat. Ferriittisestä valmistetun astian pinnanlaatu on heikentynyt ropingin vuoksi ja siten sen viimeistely on työlästä. Viimeistely voidaan kuitenkin välttää valitsemalla materiaaliksi stabiiloitu (Ti tai Nb) ja kontrolloidusti valmistettu ferriittinen ruostumaton teräs vakiolaadun asemesta.



⁷ Anisotropia "r" kuvaa levyn pitkittäissuuntaisen venymän suhdetta paksuussuuntaiseen. Mikäli $r > 1$, levy venyy pituussuunnassa enemmän kuin se ohenee.

Ferriittisestä ruostumattomasta teräksestä syvävedettyjä koristemuttereita autonrenkaisiin

Kuvassa (oikealla) esitetyn kaltaisen ajoneuvon vanteen kiinnitysmutterin päällisen (ns. koristemutterin) valmistaminen ruostumattomasta teräksestä muovaamalla on varsin haasteellista. Muoto edellyttää voimakasta muovausta, joka tässä tapauksessa tehdään vaiheittain.

Esteettisyyden lisäksi ruostumaton teräs valmistusmateriaalina parantaa lujuutta ja yksinkertaistaa valmistusta: osa voidaan tehdä yhdestä osasta ilman hitsausta tai liimausta. Perinteisesti ne on valmistettu austeniittisista laaduista, kuten EN 1.4301 (AISI 304). Mutterinpäällisiä voidaan valmistaa myös ferriittisistä ruostumattomista teräksestä niiden hyvän syvävedettävyyden ansiosta. Kyseeseen tulee kromia, molybdeeniä ja niobia sisältävä EN 1.4526 (AISI 436):

- laatu soveltuu erinomaisesti syvävetoon (anisotropia, käsittely).
- ferriittisissä laaduissa yhdistyy kiilto ja väri, mikä miellyttää ajoneuvon vanteiden valmistajia.

- Molybdeeniseostus parantaa pistekorrosion kestävyttä (vaara olemassa teiden suolauksen ja ilmastollisten syiden vuoksi)
- Niobiseostus vähentää taipumusta roping-ilmiöön (ja siten vähentää jälkikäsittelyjen tarvetta).

Osat ovat varsin pieniä, joten ne soveltuvat hyvin rumpukiillotukseen suurina sarjoina ja sen ansiosta ruostumattomaan teräkseen aikaansaadaan lähes peilimäinen pinta.

Ruostumattomasta teräksestä valmistetut päälliset voidaan liimata, juottaa tai tiivistää varsinaisen kiinnitysmutterin päälle. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen osien jälkikäsittelytarve (kuten maalaus tai pinnoitus) on vähäinen ja ne ovat täysin kierrätettävissä ajoneuvon käyttöään päätyttyä.



13 Poimulevyjen käytöllä parempaan lastaavuuteen



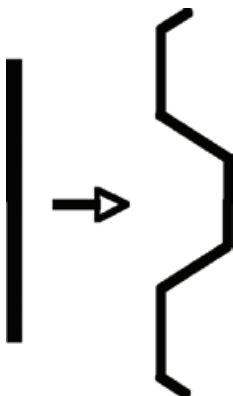
Valokuva: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (Hollanti)

Kemikaalitankkereita käytetään monenlaisten nestemäisten kemikaalien kuljetukseen. Tyypillinen lasti koostuu kemian- ja petrokemian teollisuuden tuotteista, kasviöljyistä ja melassista. Satamassa tuotteet pumpataan suoraan johonkin laivan säiliöistä, jonka tilavuus voi olla useita tuhansia kuutioita. Yleensä tankkeri koostuu useasta erillisestä osiosta, jotta se kytetään lastaamaan mahdollisimman monipuolisesti.

Jäykkyyttä poimulevyjen avulla

Rakenneosan jäykkyys on riippuvainen sen jäyhysmomentista ja sitä voidaan kasvattaa siirtämällä painoa mahdollisimman kauas rakenneosan painopisteestä. Niinpä ohuiden poimulevyjen käytöllä aikaansaadetaan etuja paksuihin ja levymäisiin kappaleisiin nähden. Poimutetusta teräslevystä valmistetuilla seinämillä (laipioilla) toisistaan erotetut osiot parantavat rakenteen, esimerkiksi aluksen, jäykkyyttä.

Poimulevystä valmistettujen laipioden puhdistaminen käytön jälkeen on helpompaa kuin tavanomaisen säiliön, jossa on käytetty erillisiä jäykisteitä.

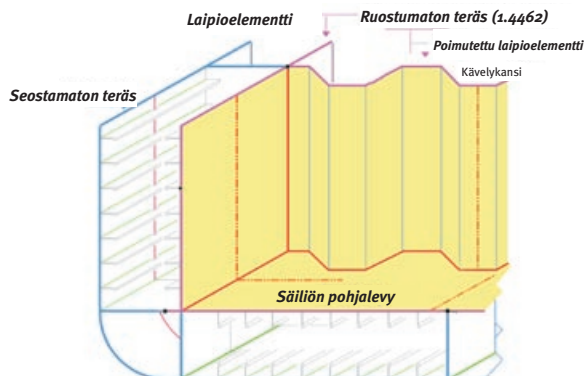


Syövyttävät nesteet



Valokuva: Outokumpu, Degerfors (Ruotsi)

Tankkereiden investointikustannukset ovat varsin suuret, joten niiltä edellytetään monikäyttöisyyttä. Edellä mainittujen, usein varsin aggressiivisten, kemikaalien käytön johdosta poimulevyt valmistetaan tavallisesti käyttäen voimakkaasti seostettuja austeniittisia laatuja EN 1.4406 (AISI 316LN) ja EN 1.4434 (AISI 317LN) tai duplex laatua EN 1.4462. Näiden Cr-Ni-Mo laatuojen käytön edut eivät rajoitu pelkästään laajempaan syövyttävien aineiden keston verrattaessa Cr-Ni laatuihin, vaan ne mahdollistavat myös tavallista korkeammat työskentelylämpötilat ja siten helpottavat aluksen täyttöä ja/tai tyhjennystä.

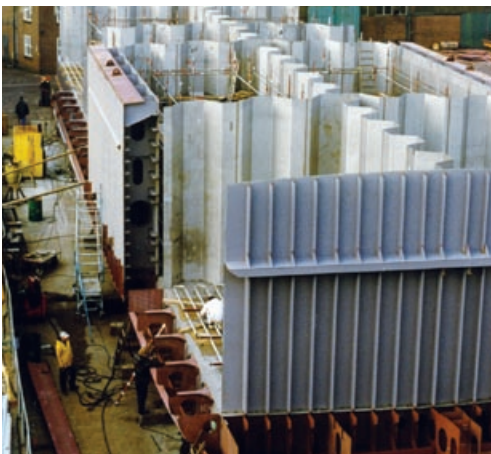


Kuvio: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (Hollanti)

Rakenteen eheys

Jäykkyys ja korroosionkesto ovat välttämättömiä ominaisuuksia, mutta ne eivät yksistään riitä 35 miljoonan dollarin arvoisen tankkerin materiaalivaatimukseen. Kemikaalien varastointi- ja kuljetuslaitteisto määrittellään tiukkojen laivanrakennussäännösten avulla. Esimerkiksi laipiot mitoitetaan pääasiassa myötämisestä aiheutuvan vaurion perusteella, joten myötölujuus ($R_{p0,2}$) on tärkeä materiaalinvalintakriteeri.

Ruostumattomien duplex terästen myötölujuus on merkittävästi suurempi kuin austeniittisten laatuojen ja sen vuoksi ne soveltuvat hyvin laipioiden valmistusmateriaaliksi. Näitä teräksiä käyttämällä voidaan rakenteita keventää ja tämän ansiosta kuljetuskapasiteettia kasvattaa, mikä on varsin keskeinen ominaisuus rahtitavaliikenteessä.



Valokuva: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (Hollanti)



Valokuva: Cantiere Navale De Poli, Venice (Italia)

Lukuisia etuja käyttämällä ruostumattomia duplex teräksiä

Ruostumattomilla duplex teräksillä on pääosin samat, ainutlaatuiset muovausominaisuudet kuin austeniittisilla teräksillä ja siksi ne soveltuvat täydellisesti rahtialusten jäykkyyttä parantavien poimulevyjen valmistukseen. Lisäksi duplex terästen avulla kyetään merkittävään painonsäästöön, koska suuren myötölujuuden ansiosta seinämävahvuuksia voidaan ohentaa rakenteiden pysyessä laivanrakennussäännösten mukaisina.

Kromi-, molybdeeni-, ja typpiseostuksen ansiosta duplex terästen paikallisen korroosion, kuten piste- ja rakokorroosion, kesto on erinomainen. Niinpä entistä useampia kemikaaleja (niiden vaihtelevissa lämpötiloissa) voidaan kuljettaa samassa aluksessa, joka puolestaan mahdollistaa investoinnille entistä laajemman asiakaspohjan.

14 Kirjallisuusviitteet

- [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] “Rolvormprofiëren (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 978-2-87997-215-2