

Ovakon terästen hitsaus



OVAKO
a feel for steel

SISÄLLYSLUETTELO

SIVU

SIVU

1. JOHDANTO	3	9. ONGELMATERÄSTEN HITSAUS KORJAUSTÖISSÄ.....	32
2. HITSAUSLIITOKSEN VYÖHYKKEET	4	10. SEOSTAMATTOMAN JA RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN LIITOSHITSAUS.....	33
3. MUUTOSVYÖHYKE	5	10.1 Käyttöesimerkki.....	33
3.1 Jäähdytysnopeus	5	11. KOVAHITSAUS.....	35
3.2 Aineenpaksuus ja liitosmuoto.....	6	12. ESIMERKKEJÄ OVAKON TERÄSTEN HITSAUKSESTA.....	37
3.3 Hitsausenergia ja lämmöntuonti.....	6	12.1 Laippa-akseli.....	37
3.4 Työlämpötila	7	12.2 Vääntövarsi.....	39
3.5 Karkenevuus	8	12.3 Akselin korjaushitsaus.....	40
3.6 Mikrorakennemuutokset.....	9	12.4 Hammasyöry.....	41
4. HITSATTAVUUS	10	12.5 Nostotappi säiliönvaippalevyyn.....	42
4.1 Kylmähalkeamat	10	12.6 Männänvarsi	43
4.1.1 Mikrorakenne	10	12.7 Mäntä	44
4.1.2 Hitsin vetypitoisuus	10	12.8 Venttiililautanen.....	45
4.1.3 Jännitykset.....	11	12.9 Ruostumattoman karan hitsaus vipuvarteeseen.....	46
4.1.4 Lämpötila	11	12.10 Ohjausnivel	47
4.1.5 Kylmähalkeamien estäminen.....	11	12.11 Nivel	48
4.2 Kuumahalkeamat.....	11	12.12 Telalenkki A.....	49
4.3 Lamellirepeily.....	12	12.13 Telalenkki B.....	50
5. HITSAUSVIRHEET.....	13	12.14 Hitsattu palkki.....	51
5.1 Huokokset.....	13	12.15 Nosturin palkin hitsaus palkkiin.....	52
5.2 Kuonatulkeumat	13	12.16 Kantopyörät, telat.....	53
5.3 Liitosvirheet.....	13	12.17 Siirtovivun päällehitsaus	54
5.4 Vajaa hitsautuminen.....	14	12.18 Kuormaajan kauhan huulilaatta	55
5.5 Roiskeet ja sytytysvirheet	14	12.19 Akselin tilapäinen korjaushitsaus	56
5.6 Imuontelo eli paippi.....	14	12.20 Hampaan tilapäinen korjaushitsaus.....	57
5.7 Reunahaavat.....	14	13. HITSAUSALAN SFS-STANDARDEJA.....	58
6. HITSAUSLIITOKSEN OMINAISUUDET	15	14. HITSAUKSEN KIRJALLISUUTTA.....	60
6.1 Staattinen lujuus	15	15. HYVÄ TYÖYMPÄRISTÖ PARANTAA HITSAUKSEN TUOTTAVUUTTA.....	61
6.2 Väsymislujuus.....	15	15.1 Työsuojelu hitsauksessa.....	61
6.3 Iskusitkeys	15	15.2 Hitsaussavut	61
7. MUODONMUUTOKSET HITSAUKSESSA.....	16	15.3 Yleisilmanvaihto ei riitä, savut talteen kohdepoistolla.....	61
7.1 Pitkittäiset ja poikittaiset muodonmuutokset	16	15.4 Säteily ja melu.....	61
7.2 Silloitushitsaus ja hitsausjärjestys.....	16	15.5 Tapaturmavaara pienemmäksi.....	61
7.3 Kuumilla oikaisu	17		
8. ERI TERÄSLAJIEN HITSAUS	18		
8.1 Yleiset rakenneteräkset	18		
8.2 Koneteräkset.....	19		
8.3 Lujat rakenneteräkset	20		
8.4 Nuorrutusteräkset	23		
8.5 Hiiletysteräkset.....	28		
8.6 Booriteräkset.....	29		
8.7 Jousiteräkset.....	30		

1. JOHDANTO

Hitsaus on yleisin tapa liittää teräksiä toisiinsa. Se on metallurginen tapahtuma, jossa terästä sulatetaan, seostetaan, jähmetetään ja lämpökäsitellään.

Yleensä teräksen hitsaus vaikeutuu mitä lujempaa se on ja mitä suurempia hiilen ja muiden seosaineiden pitoisuudet ovat. Hitsauksen yhteydessä tapahtuvien ilmiöiden tunteminen ja hallitseminen ovat tärkeitä hitsauksen suunnittelussa ja suorituksessa.

Koska Ovako valmistaa ns. pitkiä tuotteita, esitteessä käsitellään lähinnä latta- ja pyörötankojen hitsausta. Pääpaino on hitsauksen ja eri terästen hitsattavuuden metallurgisten kysymysten käsittelyssä.

Esitteeseen on koottu myös joukko käytännön esimerkkejä. Ohjeet on pyritty antamaan niin, että huolellisesti toimien syntyy mahdollisimman tarkoituksenmukainen ja virheetön hitsausliitos.

Esitteen ohjeet ja suositukset eivät yksistään takaa kunnollista lopputulosta, vaan vastuu siitä on työn suunnittelijalla, suorittajalla ja valvojalla.



2. HITSAUSLIITOKSEN VYÖHYKKEET

Hitsaustapahtuman aiheuttaman lämmön vaikutuksesta osa perusaineesta sulaa, osa taas kuumenee korkeisiin lämpötiloihin. Sulava lisäaine yhdessä sulaneen perusaineen kanssa muodostavat hitsisulan, joka jähmettyy hitsiaineeksi. Perusaineeseen muodostuu selvästi erottuva vyöhyke hitsiaineen läheisyyteen. Tästä vyöhykkeestä käytetään nimeä muutosvyöhyke. Kuvassa 1 on esitetty hitsausliitoksen vyöhykkeet.

Hitsiaine (1) on ollut sulassa tilassa. Sille on ominaista sormimainen jähmettymisrakenne. Hitsiaineen ja koko hitsauksen ajan kiinteänä olleen muutosvyöhykkeen (3-6) välissä on sularaja (2). Muutosvyöhykkeen englanninkielistä lyhennettä HAZ käytetään toisinaan myös suomenkielisessä tekstissä.

Muutosvyöhyke on ollut lämpötiloissa, joissa on tapahtunut teräksen kiderakenteen muutoksia. Mitä lähempänä lämmönlähdettä muutosvyöhykkeen osa on ollut, sitä korkeammalle sen lämpötila on kohonnut. Muutosvyöhyke jakaantuu täten erilaisiin osiin.

Karkearakeisessa eli ylikuumentuneessa vyöhykkeessä (3) on tapahtunut austeniitin rakeenkasvua; lämpötila on ollut yli 1100 °C.

Hienorakeisella vyöhykkeellä (4) lämpötila on ollut yli A₃ rajan mukaisen lämpötilan, jolloin on tapahtunut rakennemuutoksia. Seostamattomissa ja niukkaseosteisissa teräksissä saadaan tähän vyöhykkeeseen yleensä normalisoitunut mikrorakenne.

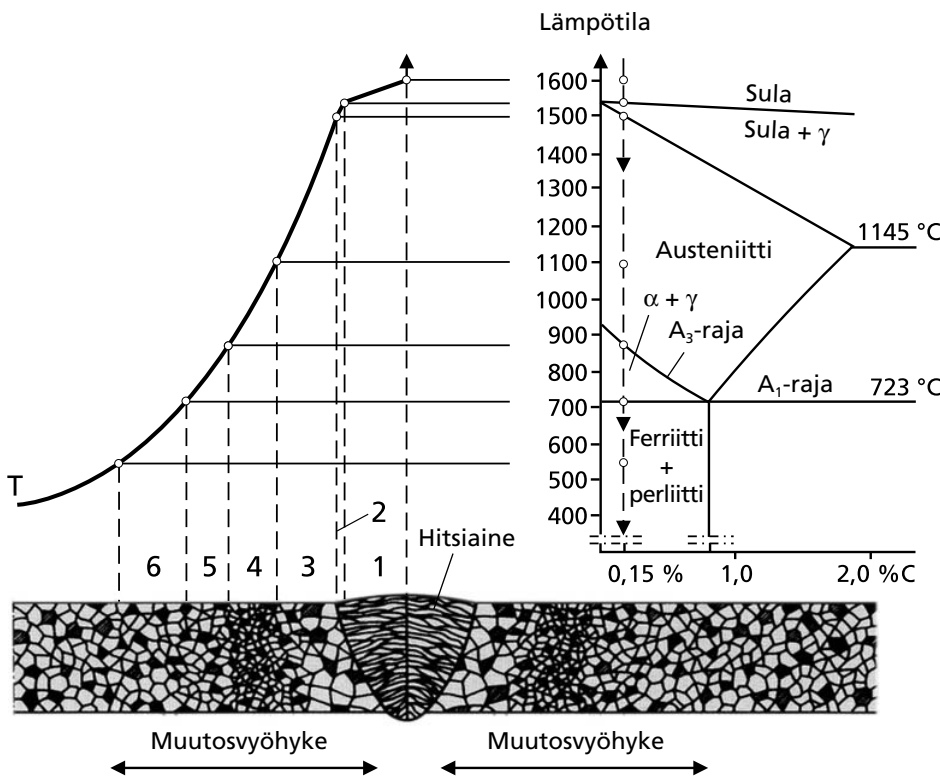
Vyöhykkeellä, missä lämpötila on kohonnut A₃- ja A₁-lämpötilojen välille on tapahtunut osittain austenoituminen (5).

Yli 500 °C:n lämpötilassa saattaa tapahtua karbidien palloutumista ja raerakenteen rekristalloitumista (6). Muutosvyöhykkeen ja kuumenemattoman perusaineen välillä on alue, jossa on saattanut tapahtua myötövanhenemistä tai karkaistuissa teräksissä päästymistä.

Hitsin jäähtyessä ovat muutosvyöhykkeen eri alueet myös jäähtyneet. Kuumennukset ja jäähtymiset, joiden nopeudet vaihtelevat olosuhteiden mukaan, ovat kuin pienoiskoossa tehtyjä lämpökäsittelyjä. Muutosvyöhykkeessä tapahtuu rakennemuutoksia, jotka vaikuttavat teräksen ja siten hitsausliitoksen ominaisuuksiin.

Muutosvyöhykkeen mikrorakenteella on erityisesti vaikutus kylmähalkeama- taipumukseen. Lujien terästen ja alhaisen käyttölämpötilan terästen hitsausliitoksesta mekaanisten ominaisuuksien kannalta vyöhykkeen hallinnalla on oleellinen merkitys.

Koko sitä aluetta, johon hitsauslämpö on vaikuttanut, kutsutaan lämpövyöhykkeeksi.



Kuva 1. Hitsausliitoksen vyöhykkeet teräksessä, jonka hiilipitoisuus on 0,15 %. Raekoko on esitetty kuvassa huomattavasti suurennettuna.

Käyrä T kuvaa maksimilämpötilaa, jossa vastaava kohta teräksestä on käynyt. Kuvassa oikealla on osa rauta-hiili olotila piirroksesta, josta on luettavissa ko. lämpötilaa vastaava mikrorakenne. Pystykatkoviiva esittää terästä, jonka hiilipitoisuus on 0,15 %.

3. MUUTOSVYÖHYKE

Muutosvyöhykkeen mikrorakenteet riippuvat teräksen karkenevuudesta ja jäähtymisolosuhteista. Karkenevuus taas määräytyy teräksen kemiallisesta koostumuksesta.

3.1 Jäähtymisnopeus

Jäähtymisnopeutta kuvataan $t_{8/5}$ ajalla, joka ilmoittaa ajan mikä kuluu, kun teräs jäähtyy 800 °C asteesta 500 °C asteeseen. Tänä aikana teräksessä tapahtuu tärkeimmät mikrorakenne-muutokset, kun austeniitti hajaantuu eri mikrorakenteiksi.

CMn- ja niukkaseosteisilla teräksillä jäähtymisajan voi laskea standardin SFS-EN 1011-2 (2001) laskentakaavojen $t_{8/5}$ avulla tai katsoa graafisesti käyrästöjen avulla. Alla on esitetty 2-dimensionaalisen $t_{8/5}$ jäähtymisajan (1) ja 3-dimensionaalisen $t_{8/5}$ jäähtymisajan (2) laskentakaavat.

Taulukossa 1 on esitetty kaavassa tarvittavat liitosmuotokertoimet. Lämmöntuonin laskentakaavat on esitelty kappaleessa 3.3 Hitsausenergia ja lämmöntuonti.

Jäähtymisnopeuden vaikutuksia on esitetty lisää kohdassa 3.6 Mikrorakennemuutokset. Muutosvyöhykkeen ominaisuuksien kannalta tärkeään jäähtymisnopeuteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

Liitostyyppi	2-dimensionaalinen (F_2)	3-dimensionaalinen (F_3)
Päällehitsi	1	1
Välipalot päittäishitsauksessa	0,9	0,9
Yksipalkohitsi nurkkaliitoksessa	0,67...0,9	0,67
Yksipalkohitsi T-liitoksessa	0,45...0,67	0,67

Taulukko 1. 2- ja 3-dimensionaalisten kappaleiden liitosmuotokertoimet

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 T_0) * 10^5 * \frac{Q^2}{d^2} * \left[\left(\frac{1}{500-T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800-T_0} \right)^2 \right] * F_2 \quad (1)$$

$$t_{8/5} = (6700 - 5 T_0) * Q * \left(\frac{1}{500-T_0} - \frac{1}{800-T_0} \right) * F_3 \quad (2)$$

jossa

T_0 = esikuumennuslämpötila (°C)

Q = lämmöntuonti (kJ/mm)

d = ainepaksuus

F = liitosmuotokerroin

3.2 Aineenpaksuus ja liitosmuoto

Mitä paksumpaa ainetta hitsataan, sitä enemmän valokaaren ympärillä on massaa, johon lämpöä johtuu ja sitä suurempi on jäähtymisnopeus. Lämmön poistumismahdollisuudet riippuvat myös liitosmuodosta: kuinka moneen suuntaan lämpö voi johtua. Aineenpaksuus ja liitosmuoto otetaan huomioon nk. yhdistetyllä aineenpaksuudella, joka määritellään kuvan 2 periaatteiden mukaisesti. Pyörötangoilla vastaa puolet halkaisijasta ($d/2$) jäähtymisen kannalta riittävällä tarkkuudella lattatangon, levyn tai ainesputken seinämän paksuutta.

Tietyn ainepaksuuden jälkeen paksuuden muutos ei vaikuta lämmönjohtumiseen ja paksuutta voidaan käsitellä 3-dimensionaalisen 2-dimensionaalisen sijaan.

3.3 Hitsausenergia ja lämmöntuonti

Kaarihitsauksessa käytetään sähköenergiaa ja se ilmoitetaan yleensä hitsin pituusyksikköä kohti ja lasketaan kaavasta

$$E = \frac{I \times U}{v}$$

eli

$$E = \frac{I \times U \times 60}{v \times 1000} \text{ (kJ/mm)}$$

jossa

I = hitsausvirta (A)

U = kaarijännite (V)

v = hitsausnopeus (mm/min)

Tätä energiaa kutsutaan virallisen terminologian mukaan kaarienergiaksi tai hitsausenergiaksi (E), vaikkakin joskus myös virheellisesti lämmöntuonniksi. Sitä osaa kaarienergiasta, joka siirtyy lämpöenergiana hitsiin, kutsutaan lämmöntuonniksi (Q). Lämmöntuonin ja kaarienergian välinen yhteys on seuraava:

$$Q = \eta \times E$$

Terminen hyötysuhde (η) on hitsausmenetelmäkohtainen ja vaihtelee eri menetelmillä seuraavasti:

Puikko ja MIG/MAG	0,8
TIG	0,6
Jauhekaari	1

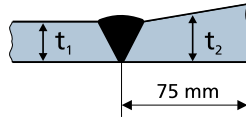
Lämmöntuonti riippuu mm. hitsausmenetelmästä, hitsausnopeudesta, virrasta, jännitteestä, perusaineesta, levyn paksuudesta sekä hitsausasennosta. Tyypilliset lämmöntuonnit eri menetelmillä ovat luokkaa:

puikkohitsaus	1-4 kJ/mm
MIG/MAG-hitsaus	0,5-3 kJ/mm
TIG-hitsaus	0,5...2,5 kJ/mm
jauhekaarihitsaus	2...6 kJ/mm

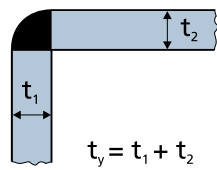
Mitä suurempi lämmöntuonti, sitä enemmän tuodaan lämpöenergiaa hitsiin ja vastaavasti sitä hitaammin hitsi jäähtyy.

Jos teräs ei ole koostumukseltaan voimakkaasti karkeneva, käyttämällä suurta lämmöntuontia saatetaan estää karkeneminen muutosvyöhykkeessä tietyssä hitsauskohteessa. Liian suurella lämmöntuonnilla teräksen iskutiteys heikkenee.

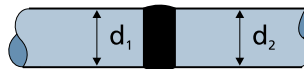
A) Päittäisliitos



t_2 = keskipaksuus
75 mm:n pituudella



$$t_y = t_1 + t_2$$

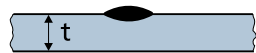


$$t_y = 1/2(d_1 + d_2)$$

B) Pintapalko

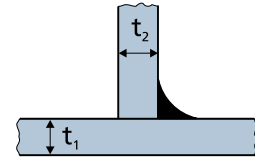


$$t_y = d$$

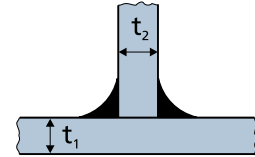


$$t_y = 2t$$

C) T-liitos

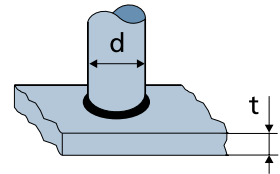


$$t_y = 2t_1 + t_2$$

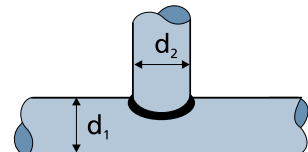


Vastakkaiset pienahitsit hitsataan samanaikaisesti

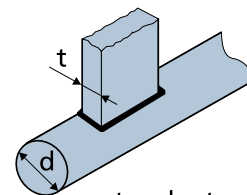
$$t_y = 2t + 1/2t_2$$



$$t_y = 2t + 1/2d$$



$$t_y = d_1 + 1/2d_2$$



$$t_y = d + t$$

Kuva 2. Esimerkkejä ainepaksuuden t_y laskemisesta: t = lattatangon, levyn tai ainesputken seinämän paksuus, d = pyörötangon halkaisija

3.4 Työlämpötila

Hitsattavan kappaleen lämpötila hitsauksen aikana (työlämpötila) vaikuttaa voimakkaasti jäähtymisnopeuteen. Mitä korkeampi kappaleen lämpötila on, sitä hitaampaa on jäähtyminen. Tähän perustuu esimerkiksi esilämmityksen ja välipalkolämpötilan käyttö karkenemisen estäjänä.

Esikuumennustarpeen voi määrittää standardin SFS-EN 1011-2 (2001) mukaisesti graafisesti käyrästä tai matemaattisesti kaavalla.

Hiilikvivalentti lasketaan CET kaavalla, mikä soveltuu IIV:n hiilikvivalenttikäyvää paremmin suuremman hiilipitoisuuden omaaville teräksille.

Monipalkohitsauksessa palkojen välisenä lämpötilana suositellaan esikuumennuslämpötilaa.

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh\left(\frac{d}{35}\right) + 62 \times HD^{0,35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328(^{\circ}C)$$

jossa

T_p = Esikuumennuslämpötila ($^{\circ}C$)

CET = Hiilikvivalentti (%) = $C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$ (%)

\tanh = Hyperbolinen tangentti

d = Levynpaksuus (yksittäisen levyn paksuus eikä yhdistetty levynpaksuus)

HD = Hitsiaineen vetypitoisuus (ml/100 g)

Q = Lämmöntuonti (kJ/mm)

3.5 Karkenevuus

Teräksen karkenevuudella tarkoitetaan sen taipumusta muuttua jäähtyessään rakenteeltaan martensiittiseksi. Karkevuus riippuu olennaisesti teräksen kemiallisesta koostumuksesta.

Tärkein karkenevuuteen vaikuttava tekijä on hiilipitoisuus. Hyvin hitsattavissa teräksissä se yleensä rajoitetaan alle 0,25 %. Hiilipitoisuuden kohotessa tämän yläpuolelle joudutaan hitsauksessa jo tavallisilla aineenpaksuuksilla turvautumaan erikoistoimiin, esimerkiksi käyttämään esikuumennusta ja korotettua lämpötilaa.

Teräksen karkenevuutta lisäävät myös useimmat seosaineet, kuten esimerkiksi mangaani, kromi, nikkeli, molybdeeni ja boori.

Hitsattavuutta voidaan tarkastella ns. hiilikvivalentin (C_{ekv}) avulla, joka ottaa huomioon teräksen karkenevuuden.

Terästä pidetään hyvin hitsattavana jos sen hiilikvivalentti on alle 0,41. Teräs on kohtalaisesti hitsattavissa 0,45 asti ja tämän jälkeen vielä rajoitetusti hitsattavissa. Luvut ovat suuntaa antavia eivätkä ne kerro yksinään hitsattavuudesta,

sillä hitsattavuus riippuu myös perusaineen paksuudesta.

Ovakon teräksissä on aina saatavissa toimituseräkohtainen ainestodistus, jonka analyysitiedoista on helppo laskea hiilikvivalentti.

Hiilikvivalentteja on käytössä useita, joista yleisimmin käytetty on IIW:n C_{ekv} kaava.

$$C_{ekv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} (\%)$$



3.6 Mikrorakennemuutokset

Karkenevuodeltaan erilaiset teräkset käyttäytyvät eri tavoin jäähtymisnopeuden vaihdelta. Muutoksia teräksessä voidaan tarkastella ns. S-käyrästä avulla. S-käyriä ja niiden käyttöä on esitelty lähemmin mm. METin Raaka-aine käsikirjassa 1 (2001) sivuilla 144-151.

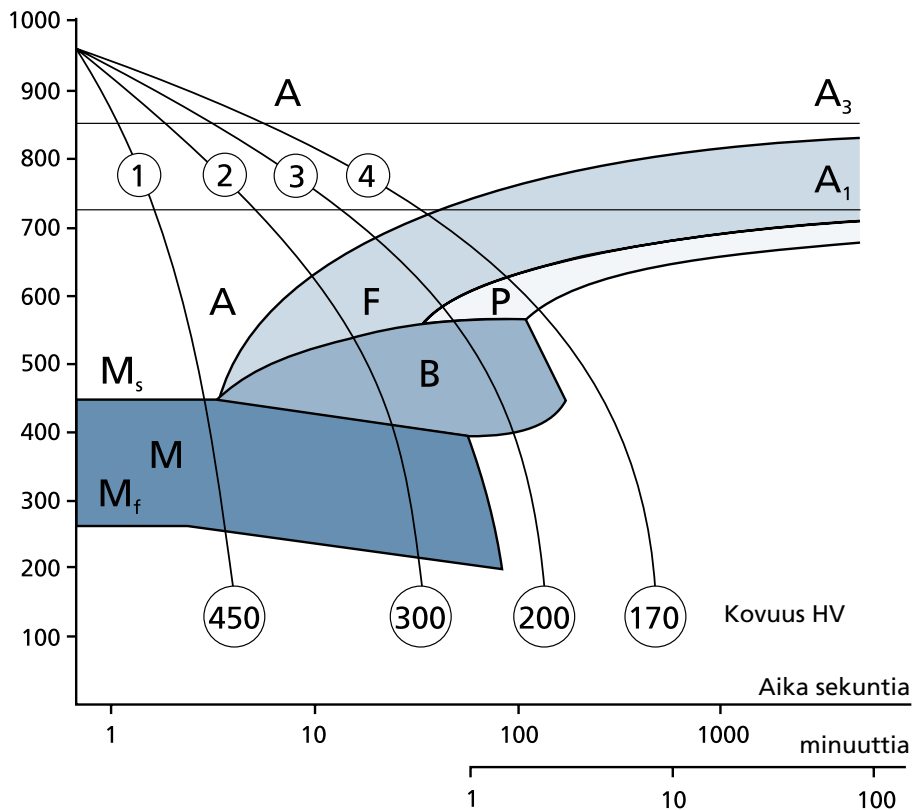
Hitsauksessa tapahtuvien ilmiöiden tarkasteluun sopivat hyvin jatkuvan jäähtymisen S-käyrät. Kuvassa 3 on esitetty lujan rakenneterästen muutosvyöhykkeessä tapahtuvat muutokset erilaisilla jäähtymisnopeuksilla.

Jos lämmöntuonti on ainepaksuuteen ja karkenevuuteen nähden pieni, voi jäähtyminen olla niin nopeaa, että rakenne tulee täysin martensiittiseksi. Käyrä 1 kulkee austeniittialueelta suoraan martensiittialueen läpi. Martensiitti on sitä kovempaa, mitä korkeampi on hiilipitoisuus.

Lisättäessä lämmöntuontia tai käytettäessä esikuumennusta ja korotettua työlämpötilaa ehtii austeniitti ainakin osittain hajaantua pehmeämmiksi ja sitkeämmiksi rakenteiksi (käyrät 2 ja 3). Liiallinen lämmöntuonti voi aiheuttaa hitsausvirheitä ja suuresta raekoosta johtuvan huonon iskusitkeyden. Suositeltavampaa on tämän takia esikuumennuksen ja korotetun työlämpötilan käyttö kovien ja hauraiden mikrorakenteiden välttämiseksi.

Käyrä 4 kuvaa valssauksen tai normalisoinnin jälkeistä jäähtymistä, joka lujillakin rakenneteräksillä yleensä johtaa sitkeään ferriittis-perliittiseen mikrorakenteeseen. Täysin ferriittis-perliittiseen rakenteeseen päästään hitsauksessa yleensä vain lajia S355J0 pehmeämmillä teräksillä, esimerkiksi S275JR ja S235JR.

Lämpötila °C



- A = austeniitti
- F = ferriitti
- P = perliitti
- B = bainiitti
- M = martensiitti
- M_s = martensiittimuutos alkaa
- M_f = martensiittimuutos päättyy
- A_3 = A_3 -lämpötila (850 °C)
- A_1 = A_1 -lämpötila (723 °C)

Kuva 3. Jatkuvan jäähtymisen S-käyrä

Käyrä 1:

- pieni lämmöntuonti Q; esim. $\varnothing 2,5$ mm:n puikko. $Q = n. 6$ kJ/cm
- mikrorakenne martensiittia
- halkeamariski suuri

Käyrä 2:

- lämmöntuonti Q suurempi; esim. $\varnothing 4$ mm puikko. $Q = n. 15$ kJ/cm
- mikrorakenteessa ferriitin ja bainiitin ohella vielä martensiittia
- halkeamariski huomattavasti pienentynyt

Käyrä 3:

- suuri lämmöntuonti tai korotettu työlämpötila; esim. $\varnothing 5$ mm:n puikko, $Q = n. 25$ kJ/cm tai työlämpötila 200 °C, $\varnothing 4$ mm:n puikko
- mikrorakenteessa ferriittiä, perliittiä ja bainiittiä
- halkeamariski hyvin pieni

Käyrä 4:

- valssauksen tai normalisoinnin jälkeinen jäähtyminen
- mikrorakenne ferriittis-perliittinen
- ei halkeamariskiä

4. HITSATTAVUUS

Hitsattavuus määritellään SFS 3052:n (1995) mukaan aineen ominaisuudeksi, joka ilmoittaa missä määrin se soveltuu hitsattavaksi. Edellisestä voidaan johtaa esim. "hyvän hitsattavuuden" määritelmä: Teräksen hitsattavuus on hyvä, kun siihen voidaan ilman erityisiä lisätoimenpiteitä valmistaa hitsausliitos, joka täyttää asetetut vaatimukset. Jos teräksen hitsattavuus on huono tai rajoittunut ja sitä hitsataan ilman erityisiä lisätoimenpiteitä, niin hitsauksessa tai myöhemmässä vaiheessa käytössä voi ilmetä erilaisia vaikeuksia. Tärkeimmät tällaisista hitsausmetallurgisista ongelmista ovat

- kylmähalkeilu
- kuumahalkeilu
- lamellirepeily
- iskusitkeyden huonontuminen.

Näistä yleisin on kylmähalkeama, joka voi syntyä karkenevien niukkaseosteisten ja runsasseosteisten terästen hitsauksessa.

Seuraavassa käsitellään edellä lueteltuja ongelmia, niiden syntyyn vaikuttavia tekijöitä ja niiden estämistä.

4.1 Kylmähalkeamat

Vaara kylmähalkeamiin liittyy erityisesti lujien ja erilaisten muiden niukkaseosteisten terästen hitsaukseen. Seuraavat tekijät ovat edellytys kylmähalkeamien synnylle.

- Muutosvyöhykkeen mikrorakenne muuttuu hauraaksi, lähinnä martensiitiksi.
- Hitsiin tulee liiksi vetyä.
- Hitsissä vaikuttaa jännityksiä

Kylmähalkeamat syntyvät näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta, kun hitsin lämpötila on jäähtynyt alle n. 150 °C lämpötilan. Kylmähalkeaman estämiseksi riittää yleensä, että poistaa yhden siihen vaikuttavista kolmesta tekijästä. Eri kylmähalkeamatyypit on esitetty kuvassa 4. Lujilla teräksillä kylmähalkeamia voi esiintyä myös itse hitsiaineessa.

Kylmähalkeamasta käytetään myös nimityksiä vetyhalkeama, viivästynyt halkeama ja karkenemishalkeama.

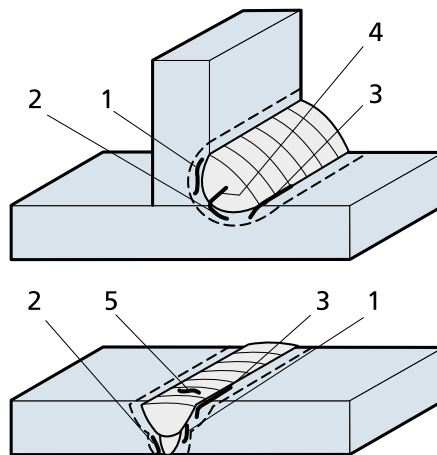
4.1.1 Mikrorakenne

Kun teräs karkenee, sen mikrorakenne muuttuu martensiitiksi. Karkeneminen edellyttää riittävää jäähtymisnopeutta sekä seostusta.

Martensiitin kovuus ja sitkeys riippuvat hiilipitoisuudesta. Mitä suurempi hiilipitoisuus on, sitä kovempaa ja hauraampaa on martensiitti. Esimerkiksi 0,20 % hiiltä sisältävän martensiitin kovuus on n. 470 HV ja 0,40 % hiiltä sisältävän n. 640 HV.

Martensiitti pehmenee ja sitkistyy, kun sitä hehkutetaan eli päästetään.

Syntykö martensiittia muutosvyöhykkeelle ja kuinka paljon, riippuu teräksen karkenevuudesta ja jäähtymisnopeudesta. Mitä korkeampi hiilipitoisuus ja mitä seostetumpi teräs, sitä helpommin martensiittia syntyy.



Kuva 4. Kylmähalkeamatyyppejä

Kylmähalkeamien esiintyminen

A. Muutosvyöhykkeessä

1. Palonalainen halkeama
2. Juurihalkeama
3. Reunahalkeama

B. Hitsiaineessa

4. Juurihalkeama
5. Poikittaishalkeama (edellyttää yleensä seostetun lisäaineen käyttöä)

Muutosvyöhykkeessä esiintyy mahdollisen martensiitin ohella myös muita rakenteita, jotka ovat yleensä vähemmän vaarallisia. Martensiitti saattaa esiintyä myös paikallisesti tai hyvin kapeissa vyöhykkeissä, mikä hankaloittaa mikrorakenteen tunnistamista.

4.1.2 Hitsin vetypitoisuus

Hitsiin voi liueta vetyä eri tavoin. Vety liukenee hitsisulaan ioneina, mutta lämpötilan laskiessa ja teräksen jäähmettyessä se muuttuu atomaariseksi. Kiinteisiin mikrorakenteisiin vetyä voi liueta huomattavasti vähemmän kuin liueta huomattavasti vähemmän kuin liueta hitsiaineesta vety diffunoiutuu muutosvyöhykkeelle.

Jäähtymisen aikana vetyatomit pyrkivät yhtymään vetykaasuksi. Osa kaasusta poistuu teräksestä, osa taas keräytyy mikrorakoihin, joita teräksessä aina on ja erityisesti hitsissä ja sen ympäristössä. Vetykaasun paine nousee hyvin korkeaksi, jopa tuhansiksi baareiksi. Vety aiheuttaa mikrorakon kasvamisen, josta kehittyy kylmähalkeama.

Vetyä voi joutua hitsiin puikon päällysteestä, hitsausjauheesta, täytelangan täytteestä tai hitsauslangan pinnan epäpuhtauksista sekä ruosteesta, lumesta, jäästä, maalista, rasvasta ja liasta hitsattavilla pinnoilla sekä ilman kosteudesta. Hitsauslisäaine on yleensä tärkein vetylähde.

Eri hitsausmenetelmillä saadaan hitsin vetypitoisuudeksi (HDM) seuraavanlaisia tyypillisiä arvoja:

Hitsausmenetelmä ja lisäaine	Vetypitoisuus H _{DM} (ml/100 g tuotua hitsiainetta)
Puikkohitsaus	
rutiilipuikot	20-30
emäspuikot	3-15
MIG/MAG-hitsaus	
umpilanka	1-5
Täytelankahitsaus	
rutiilitäyte	3-5
emästäyte	2-5
metallitäyte	3-5
Jauhekaarhitsaus	3-15

Selluloosa- ja rutiilipäälysteisissä puikoissa on runsaasti vetyä, minkä takia niitä voidaan käytännössä suositella vain S235JR- ja S275JR -lujuusluokkaisen terästen hitsaukseen.

Emäspäälysteiset puikot ovat ns. niukkavetyisiä puikkoja. Mitä suurempi puikon emäksisyysaste on, sitä matalampi vetypitoisuus sillä saadaan. Emäspäälysteisten puikkojen päälyste on kuitenkin taipuvainen kostumaan, joten puikko on säilytettävä huolellisesti ja tarpeen vaatiessa kuivattava puikonvalmistajan ohjeiden mukaisesti. Markkinoilla on myös emäspuikkoja, joiden päälyste on ns. hitaasti kostuvaa tyyppiä. Niiden kostumistaipumus on huomattavasti pienempi kuin tavanomaisilla emäspuikoilla. Jauhekaarihitsauksessa jauhe on säilytettävä ja kuivattava valmistajan ohjeiden mukaan.

Umpilangat eivät ime itseensä samalla tavalla kosteutta, mutta niihinkin voi tulla kosteudesta ruosteaurioita. Hitsin vetypitoisuuden kannalta edullisia menetelmiä ovat MIG/MAG- ja TIG-hitsaus. Ne antavat mahdollisuuden hitsata lujempia teräksiä, käyttäen matalampaa työlämpötilaa.

4.1.3 Jännitykset

Jännitykset hitsausliitoksessa edesauttavat halkeamien syntyä. Ne ovat pääasiassa peräisin itse hitsaustapah- tumasta. Paikallisesti kuumentunut kohta pyrkii laajenemaan mutta joutuu ympärillä olevan kylmän materiaalin takia tyssäytymään. Jäähtyessään teräs vastaavasti pyrkii kutistumaan, jolloin lopputuloksena jäähtyneen hitsin kohdalla vallitsee vetojännityksiä, jotka saattavat olla myötörajan suuruisia. Jäykissä rakenteissa ongelma korostuu.

Jännityksiä voidaan pienentää käyttämällä perusainetta huomattavasti pehmeämpää lisäainetta tai korotettua työlämpötilaa. Jälkikäteen hitsausjännityksiä pienennetään myöstöllä. Jos hitsausliitos on ennen myöstöä ehtinyt jäähtyä, ei myöstöllä ole vaikutusta kylmähalkeamien kannalta, katso 4.1.4 Lämpötila.

Jäykän rakenteen haitallista vaikutusta voidaan yrittää pienentää rakenne- muutoksilla ja oikealla hitsausjärjestyksellä. Katso kappale 7 "Muodonmuutokset hitsauksessa".

4.1.4 Lämpötila

Kylmähalkeamat syntyvät lämpötilan laskettua alle n. 150 °C. Halkeamien synty edellyttää vedyn diffuusiota, jota tapahtuu vielä huoneenlämpötilassakin. Halkeamia voi syntyä jopa 1-2 vuorokautta hitsauksen lopetuksen jälkeen. Tästä syystä tarkastukset tehdään usein vasta 24 tuntia hitsauksen jälkeen.

Halkeamien syntymahdollisuus esitetään, jos korotettua työlämpötilaa 150 °C pidetään yllä riittävän kauan hitsauksen jälkeen (ns. vedynpoistoherkutus) niin, että vety ehtii kulkeutua pois hitsausliitoksesta. Pitoaika voi olla useita tuntejakin. Toinen keino on suorittaa myöstö antamatta hitsin välillä jäähtyä alle 100 °C:een.

4.1.5 Kylmähalkeamien estäminen

Kylmähalkeamien syntymistä voidaan estää jo suunnitteluvaiheessa mm. valitsemalla perusaineksi hyvin hitsattava teräs (pieni C_{ekv}), edullinen liitosmuoto (päittäisliitos pienaliitoksen sijaan) ja pehmein mahdollinen lisäaine. Korjaushitsauksessa näihin tekijöihin ei juurikaan voida vaikuttaa.

Tehokkain tapa estää kylmähalkeiluja on käyttää mahdollisimman niukkavetyisiä lisäaineita, oikeita hitsausarvoja ja tarvittaessa esikuumentusta ja välipal- kolämpötilaa. Mitä lujempaa terästä ja suurempaa ainepaksuutta hitsataan, sitä enemmän huomiota on kiinnitettävä käytettäviin hitsausmenetelmiin ja lisäaineisiin.

Seuraavassa luetellaan vielä toimenpiteitä kylmähalkeamien estämiseksi ja kelvollisen hitsausliitoksen varmistamiseksi:

Puhdistetaan railot jäädä, kosteudesta, ruosteesta, rasvasta, liasta ja maalista.

Siirrytään pienemmän vetypitoisuuden antaviin lisäaineisiin sekä säilytetään lisäaineet oikein ja kuivataan ne tarpeen vaatiessa. Lisätietoja hitsauslisäaineiden ominaisuuksista ja säilytyksestä antavat niiden toimittajat.

Ainepaksuuden lisääntyessä on tuotava hitsiin lisää lämpöä, so. käytettävä suurempaa hitsausenergiaa. Hitsausenergian lisäys voidaan saada aikaan hidastamalla hitsausnopeutta.

Vety poistuu liitoksesta nopeasti, kun lämpötilaa kohotetaan. Esikuumentuksella aikaansaatu korotettu työlämpötila ehkäisee vetyhalkeamia. Sopiva työlämpötila on riippuen teräslaadusta yleensä 100-300 °C.

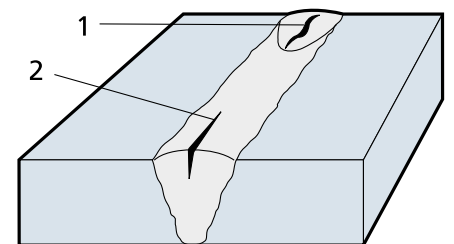
Vetyhaurautta lisäävien mikrorakenteiden olemassaolo voidaan todeta esim. kovuusmittauksin. Alle 350 HV:n kovuudet eivät yleensä aiheuta ongelmia. Mikäli käytetään erittäin niukkavetyisiä lisäaineita, voidaan sallia jopa 400 HV:n kovuus. Jos hitsaus suoritetaan korotetussa työlämpötilassa, jolloin vety poistuu liitoksesta, voidaan sallia jopa 450 HV:n kovuus.

Hitsausjännitykset lisäävät alttiutta vetyhaurauteen. Erityinen vaara on olemassa suuria ainepaksuuksia sekä jäykkiä rakenteita hitsattaessa. Tämän vuoksi olisi käytettävä lisäainetta, jonka hitsiaineen lujuus ei ole liian suuri. Yleissääntönä voidaan pitää, että hitsiaineen lujuus saa olla enintään 5-10 % korkeampi kuin hitsattavan perusaineen.

Voidaan käyttää myös austeniittista lisäainetta, mikäli se on liitoksen ominaisuuksien kannalta mahdollista.

4.2 Kuumahalkeamat

Kuumahalkeamat eli jähmettymishalkeamat syntyvät korkeissa lämpötiloissa (yli 1200 °C) hitsiaineen jähmettymisen yhteydessä tai heti sen jälkeen. Tavallisin tyyppi on hitsin keskilinjassa sijaitseva halkeama pinnassa tai heti pinnan alla, joka voi esiintyä erillisenä tai kraaterihalkeamasta lähtevänä halkeamana, kuva 5. Halkeamien murtopintojen väri on hapettumisen takia sinertävä.



Kuva 5. Kuumahalkeamia. 1: kraaterihalkeama ja 2: hitsin pitkittäishalkeama. Kuumahalkeilutaipumusta lisää kapea ja syvä palko

Kuumahalkeamien perussyynä on hitsiaineen kutistuminen sen jähmettyessä ja jäähtyessä sekä seosaineiden, usein epäpuhtauksien suotautuminen hitsin keskilinjalle. Halkeamien syntyä edistävät kapea ja syvä hitsipalko, suuret poikittaiset jännitykset ja hitsiaineen kuumahalkeilualttiutta lisäävät epäpuhtaudet.

Lisäaineissa on yleensä erittäin vähän epäpuhtauksia. Sen sijaan perusaineesta voi sekoittua hitsiaineeseen epäpuhtauksia, joista varsinkin rikki ja fosfori muodostavat matalaan lämpötilaan saakka sulana pysyviä kalvoja viimeksi jähmettyvään hitsin keskusta. Syvä ja kapea hitsipalko edistää kuumahalkeaman syntyä, koska silloin jähmettymisrintama etenee sularajalta vaakasuorassa ja kohtisuorana hitsin keskiviivaa kohti, johon kerääntyy epäpuhtauksia ja syntyy matalalla sulavia yhdisteitä.

Kuumahalkeamia esiintyy ennen kaikkea hitsauksessa suuren tunkeuman omaavilla menetelmillä, esim. MIG/MAG-hitsaus ja jauhekaarhitsaus. Automaattiterästen hitsit ovat myös arkoja kuumahalkeamille, koska teräksessä on runsaasti rikkiä.

Kuumahalkeiluerkkyuden arviomiseksi ferriittisille teräksille on kehitetty kemiallisesta koostumuksesta laskettava jähmettymishalkeilun herkkyysindeksi UCS (Units of Cracking Susceptibility). Vaikka kaava on kehitetty jauhekaarhitsaukseen, sillä voidaan arvioida myös muita hitsausprosesseja käytettäessä kuumahalkeilutaipumusta.

$$UCS = 230 C + 190 S + 75 P + 45 Nb - 12,3 Si - 5,4 Mn - 1$$

UCS < 10	ei kuumahalkeamavaaraa
UCS = 10...30	kuumahalkeiluriski kasvaa, kun hitsin syvyys/leveys suhde kasvaa, hitsausnopeus on suuri tai ilmarako on suuri
UCS > 30	oleellinen kuumahalkeamavaara

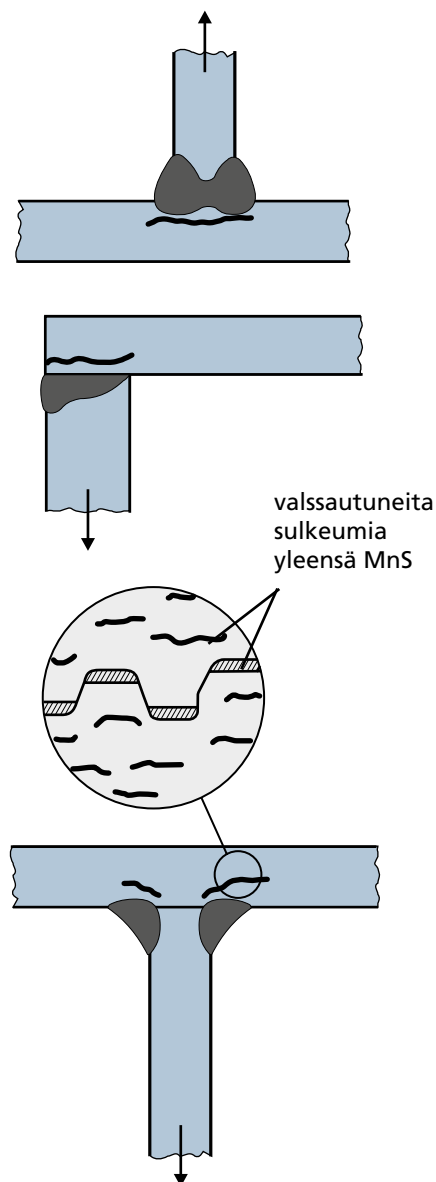
Seuraavilla keinoilla voi estää kuumahalkeilua.

- Palon syvyys tulee olla leveyttä pienempi.
- Runsasmangaaninen lisäaine sitoo haitallisen rikin vaaratomaksi magnaanisulfideiksi.
- Pienellä hitsausenergialla saadaan pieni tunkeuma, mikä pienentää seostumista.
- Hitsausnopeutta pienentämällä voidaan pienentää kuumahalkeiluerkkyttä.
- Pulssituksella voidaan "sekoittaa" hitsiä, jolloin epäpuhtaudet eivät kerry keskilinjalle.
- Paranna sovitusta, jotta ilmarako olisi pienempi.

4.3 Lamellirepeily

Lamellirepeily liittyy valssatun teräksen paksuussuuntaisiin ominaisuuksiin. Mikäli hitsausliitos on muodoltaan sellainen, että paksuussuuntaan syntyy voimakas vetojännitys, ovat mahdollisuudet lamellirepeilyn syntymiseen olemassa. Kuvassa 6 on esitetty tyypillisiä lamellirepeilyn esiintymispaikkoja sekä repeilyn mekanismi.

Teräksen sitkeys paksuussuunnassa riippuu sulkeumien määrästä ja muodosta. Pitkiksi valssautuneet sulkeumat heikentävät sitkeyttä paksuussuunnassa.



Kuva 6. Lamellirepeilyn yleisimmät esiintymispaikat ja repeilymekanismit

Lamellirepeilyn riskiä voidaan pienentää seuraavilla tavoilla.

- Hitsataan suurilla tehoilla (miehellään hitsaamalla hitsi koko levyn läpi).
- Suurennetaan railojen pinta-alaa.
- Hitsataan oikealla palkojärestyksellä.
- Tehdään puskurointihitsaus alilujalla ja sitkeällä lisäaineella.

5. HITSAUSVIRHEET

Edellä on käsitelty teräksen rajoitetuun hitsattavuuteen liittyviä virheitä eli kylmä- ja kuumahalkeamia sekä lamellirepeilyä.

Itse hitsauksen suorituksesta johtuvia virheitä ovat

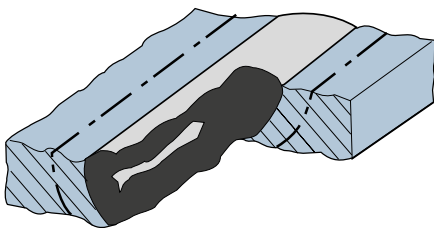
- huokokset
- kuonasulkeumat
- liitosvirheet
- vajaa hitsautuminen
- roiskeet ja sytytysvirheet
- imuontelo eli paippi
- reunahaavat.

Yleisin hitsausvirhe on liitosvirhe, minkä jälkeen tulevat huokokset ja vajaa hitsi.

5.1 Huokokset

Huokokset aiheutuvat hitsiin sulkeuksiin jääneistä kaasuista, jotka eivät ehdi nousta sisältä ulos hitsisulan jäähmettyessä. Huokokset voivat esiintyä yksittäin tai monia huokosia käsittävänä ryhminä. Huokokset ovat yleensä pyöreitä tai pitkänomaisia, kuva 7. Huokosten syitä ovat

- puutteellinen kaasu- tai kuonan suoja
- lisäaineiden kosteus
- railon pintojen epäpuhtaudet (liika, maali, rasva, ruoste, kosteus jne.)
- perusaineen suotaumat ja suuri rikkipitoisuus
- liian nopea jäähmettyminen
- liian pieni hitsausvirta
- liian pitkä valokaari.



Kuva 7. Pitkänomainen huokonen hitsissä

Kaasukaarihitsauksessa veto tai tuuli voi heikentää kaasusuojaa. Suojakaasuvirtausta tulisi tällöin lisätä ja suutinetäisyyttä pienentää sekä järjestää suojaus.

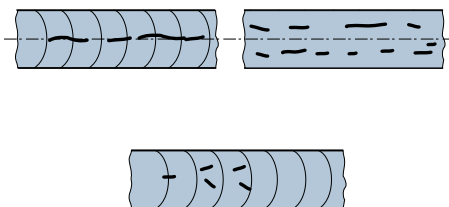
Puikkohitsauksessa huokosten syitä voivat olla puikon päällysteen kosteus tai epäkeskeisyys, liian pitkän valokaaren käyttö, jolloin päällysteen muodostama suoja jää liian heikoksi, tai liian pieni hitsausvirta, jolloin puikko syttyy ja palaa huonosti.

Puikkojen kosteus, varsinkin pienillä hitsausvirroilla saattaa aiheuttaa huokosia. Emäksiset puikot ovat herkkiä kostumaan.

Railopintojen epäpuhtaus on tavallinen syy hitsin huokosten muodostumiseen. Ruoste, valssihilse, rasva, liika, kosteus ja maali ovat hitsauksessa haitallisia ja lisäävät huokosmuodostusta.

5.2 Kuonasulkeumat

Hitsattaessa puikolla useampia palkoja, saattaa edellisen palon kuonaa jäädä sulamatta seuraavan pohjalle, kuva 8, joskin normaalisti valokaari sulattaa railossa olevan kuonan täydellisesti.



Kuva 8. Kuonasulkeumia

Kuonasulkeumia syntyy, kun kuonaa jää teräviin ja ahtaisiin koloihin. Virheellinen levityslieki saa aikaan reunahaavan railonkylkiin, minne kuona jää kiinni ja näkyy röntgenkuivissa kuonaviivoina.

Myös palkokerrosten jyrkät liittymät aiheuttavat helposti kuonasulkeumia. Pohja- ja välipalkojen tulisi olla poikkileikkauksiltaan koveria. Koverasta ja tasaisesta hitsipinnasta kuona myös irtoaa helposti.

Hitsattaessa paksuja teräskappaleita liian ohuilla puikoilla syntyy

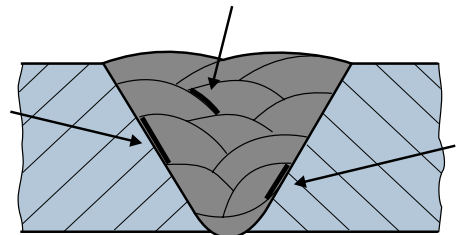
helposti kuonajonoja. Ongelman voi korjata hitsaamalla oikean paksuisella puikolla, jolloin levityslieki ei tule liian suureksi. Kuonasulkeumia voidaan välttää myös valokaaren oikealla suuntauksella ja lyhyellä valokaarella.

Kuonasulkeumia voi jäädä hitsiin myös, jos seuraava palko hitsataan liian alhaisella virralla tai liian suurella hitsausnopeudella eikä lämpöä synny riittävästi sulattamaan kuonaa. Hitsattaessa rutiilipuikolla kuonasulkeumia syntyy helpommin kuin emäspuikolla, koska rutiilipuikon kuonan sulamislämpötila on korkeampi.

Huolellinen kuonaus onkin laadukkaan monipalkohitsin perusedellytys. Kaasukaarihitsauksessa syntyy tunnetusti vähän kuonaa, eikä kuonasta välttämättä vaadita jokaisen palkokerroksen jälkeen. Huolellinen kuonaus on kuitenkin hyvälaatuisen hitsin tae.

5.3 Liitosvirheet

Liitosvirhe on seuraus hitsin ja perusaineen huonosta yhteensulamisesta. Liitosvirhe voi syntyä, ellei lämmöntuonti riitä perusaineen sulattamiseen ja sula lisäaine valuu kylmälle railonpinnalle, jolloin se estää kaaren tunkeutumisen perusaineeseen, kuva 9.



Kuva 9. Liitosvirhe

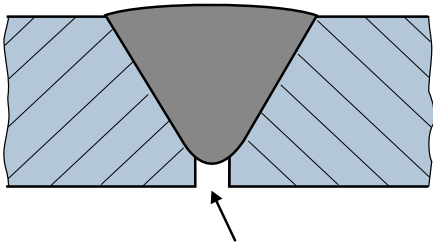
Liitosvirheen muodostumista voidaan estää käyttämällä riittävästi hitsaus-tehoa, suuntaamalla valokaari siten, että se sulattaa hitsauskohteen ja huomioimalla, ettei hitsisula pääse vyörymään hitsattavan kohdan edelle.

Liitosvirheet ovat hitsin lujuuden ja väsymiskestävyyden kannalta vaarallisia, eikä niitä hyväksytä B- tai C- hitsiluokissa.

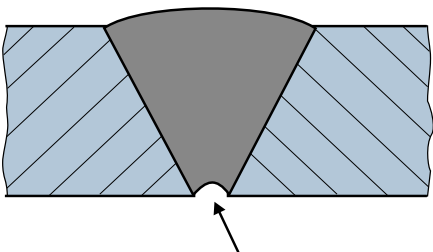
5.4 Vajaa hitsautuminen

Tyypillinen juurivirhe on riittämätön läpihitsautuminen juuressa, seurauksena liian pienestä ilmaraosta, paksun puikon käytöstä, pitkästä valokaaresta tai suoritusvirheestä. Hitsautumissyvyys voi jäädä liian pieneksi, kuva 10 tai juuri voi jäädä vajaaksi, kuva 11. Virhe voidaan välttää kuljettamalla puikko riittävän syväälle railoon alotuskohdassa, tai jatkoskohdan hiomisella.

Railosovitteet ovat suurissa rakenteissa usein huonot, ja luotettava läpihitsautumista yhdeltä puolen on vaikeaa saavuttaa. Juuri pitää aukaista riittävän syvältä, jotta kaikki mahdolliset virheet tulisivat poistetuiksi.



Kuva 10. Vajaa hitsautumissyvyys



Kuva 11. Vajaa juuri

5.5 Roiskeet ja sytytysvirheet

Roiskeet huonontavat rakenteen ulkonäköä. Metallin pinta on syytä suojata, jos halutaan moitteeton pinta. Roiskeet voivat johtua mm. vääristä hitsausarvoista, pitkästä valokaaresta, magneettisesta puhalluksesta tai kosteista puikoista.

Puikon sytytyskohtaan muodostuu tavallisesti pieni huokoinen alue ja myös pieni karennut vyöhyke, jossa on pieniä säröjä. Sytysarvet pilaavat myös ulkonäköä, joten puikon sytytyksen tulisi tapahtua aina raiossa. Valokaari sytytetään varsinaisen aloituskohdan edessä ja huokoinen aloituskohta hitsataan yli, jolloin virheet häviävät. Sytysarvet voidaan poistaa myös hiomalla.

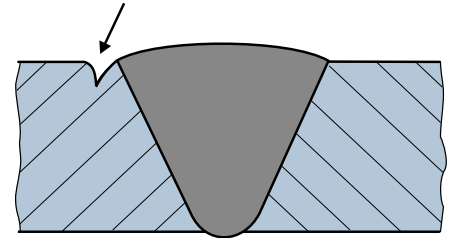
5.6 Imuontelo eli paippi

Virhe syntyy tavallisesti pohjapalon hitsauksessa palon päätteeseen. Sula jähmettyy raiion kyljiltä päin ja aiheuttaa pintaan asti ulottuvan kurtistumaonkalon. Paippiin liittyy usein halkeama ns. kraaterihalkeama palon päätteessä.

Virheet voidaan välttää pienentämällä virtaa ennen kaaren sammutusta tai kuljettamalla se valmiin hitsin päälle ja sammuttamalla se siihen. Paippi on poistettava esimerkiksi hiomalla tai talttaamalla ennen hitsauksen jatkamista. Jauhekaarhitsauksessa voidaan valokaari sammuttaa ns. apupalojen päällä ja siten välttää paipin syntyminen itse työkappaleeseen.

5.7 Reunahaavat

Reunahaava on kolo tai ura hitsin tai pintapalon reunassa, kuva 12. Niitä syntyy, kun valokaaren sulattama perusaine valuu tai ajautuu pois, eikä hitsiin tuotu lisäaine täytä sulatettua kohtaa.



Kuva 12. Reunahaava

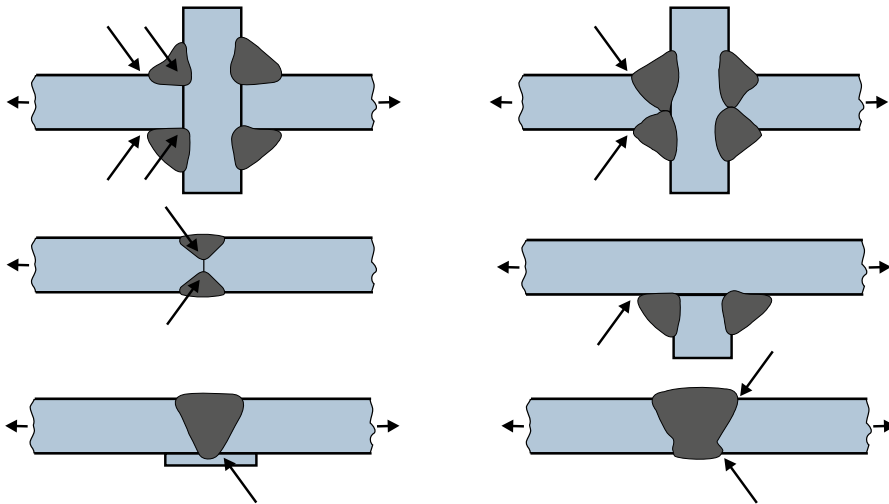
Tavallisesti reunahaava on seuraus liian suuresta virrasta tai jännitteestä, pitkästä valokaaresta tai väärästä kuljetustekniikasta. Liian lyhyt pysähdys raiion kyljessä tai valokaaren kuljetus raiion yli saa helposti aikaan reunahaavan.

Pienahitsauksessa reunahaava muodostuu pystylevyn ja hitsin liitoskohtaan, jos puikkoa pidetään liiaksi pystyasennossa tai virta tai jännite ovat liian suuria.

Jos railokulma on kapea ja käytetään paksua puikkoa, saattaa V-railion kylkeen syntyä reunahaava. Siihen muodostuu myös kuonasulkeuma, joka on havaittavissa röntgenissä kahtena yhtenäisenä kuonaviivana.

Reunahaava heikentää erityisesti liitoksen väsymiskestävyyttä.

6. HITS AUSLIITOKSEN OMINAISUUDET



Kuva 14. Jännityskeskittymiä hitsausliitoksessa

Hitsausliitoksen ominaisuuksiin vaikuttavat metallurgiset tekijät sekä liitoksen sijainnista ja muodosta riippuvat tekijät. Väsymislajuuden kannalta sijainti ja muototekijät ovat yleensä määräävämpiä, kun taas muiden mekaanisten ominaisuuksien kannalta hitsausmetallurgiset tekijät ovat määräävämpiä.

Kuitenkin koko liitoksen käyttövarmuuteen vaikuttavat kaikki tekijät, kukin omalla painollaan. Esimerkiksi haurasmurtumatarkasteluissa on otettava huomioon perusaineen ja hitsin sitkeys, hitsausliitoksen virheet ja hitsin muodon aiheuttama lovivaikutus.

6.1 Staattinen lujuus

Yleisten rakenneterästen ja vastaavien terästen hitsausliitos on staattisen lujuuden kannalta ongelmaton. Tavallisesti liitos on vähintään yhtä luja ja sitkeä kuin perusaine.

Karkaistujen, nuorutettujen ja kylmämuokkaamalla lujitettujen terästen hitsausliitoksissa joudutaan ottamaan lujuusominaisuudet tarkemmin huomioon.

Hitsauslämpö alentaa tällaisten terästen lujuutta. Muutosvyöhykkeeseen tulee lähtökovuutta pehmeämpi vyöhyke, jonka leveys kasvaa työlämpötilan noustessa ja lämmöntuonin kasvaessa.

Pehmeän vyöhykkeen vaikutus hitsausliitoksen lujuuteen riippuu vyöhykkeen geometrisista tekijöistä. Vyöhykettä ympäröivä lujempi aine

saa aikaan vyöhykkeeseen kolmiak-siaalisen jännitystilän, joka aiheuttaa myötölujuuden nousun. Tämän takia lujuus ei pehmeästä vyöhykkeestä huolimatta välttämättä laske, ellei vyöhykkeen leveys suhteessa ainepak-suuteen ole suuri.

6.2 Väsymislajuus

Onko hitsatun rakenteen mitoitusväsymislajuus kriittinen, riippuu jännitysten suurimmasta vaihteluvälistä ja jännitysjaksojen lukumäärästä. Standardissa SFS-EN 1993-1-9 (2005) annetaan raja-arvot jännitysvaihtelulle. Raja-arvoja suuremmilla vaihtelumäärillä rakenteet on mitoittettava väsymislajuuden mukaan.

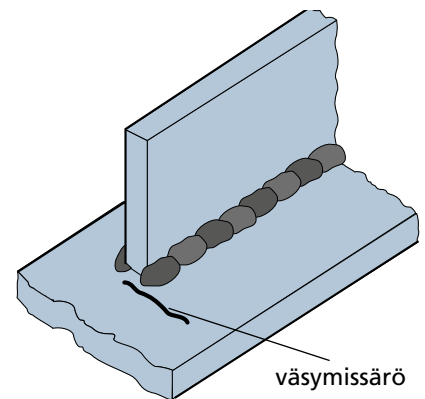
Terästen loviherkkyys on sitä suurempi, mitä lujempaa teräs on. Väsymistarkastelussa on lisäksi otettava huomioon, ettei väsymissärön kasvunopeus riipu teräksen lujuudesta eikä mikrorakenteesta. Niinpä jälkikäsittelemättömän hitsausliitoksen väsymislajuus on kaikilla teräksillä suunnilleen yhtä suuri, kun kuormanvaihtoluku ylittää 10^6 . Hitsipalon ja varsinkin hitsausvirheiden lovivaikutuksella ja jäännösjännityksillä on siten ratkaiseva vaikutus hitsausliitoksen väsymislajuuteen.

Kuvassa 13 on esitetty väsymissärön alkukohta hitsatussa jäykisteessä. Hitsattuun liitokseen tulee jännityskeskittymiä, jotka vaativat erityistä huomiota väsymiskestävyyttä tarkasteltaessa, kuva 14.

Hitsausliitoksen väsymislajuuden parantamiseksi voidaan käyttää eri menetelmiä.

- Hitsin reuna-alueen hionta, koneistus tai TIG-uudelleensulatus vähentävät lovivaikutusta.
- Hiekka- tai kuulapuhalluksella tai kylmävasaroinnilla saadaan pintaan puristusjännitys, joka on edullista väsymislajuuden kannalta.
- Myöstöheikutus, paikallinen pistekuuminen tai paikallinen puristus ja esikuormitus pienentävät tai muuttavat jäännösjännityksiä ja parantavat siten väsymiskestävyyttä.

Väsyttävästi kuormitetuissa rakenteissa, erityisesti lujia teräksiä käytettäessä, täytyy hitsausliitosten sijoitteluun, muotoon, työn suoritukseen ja jälkikäsitteilyyn kiinnittää erityistä huomiota, jotta perusominaisuudet tulevat optimaalisesti hyödynnetyiksi.



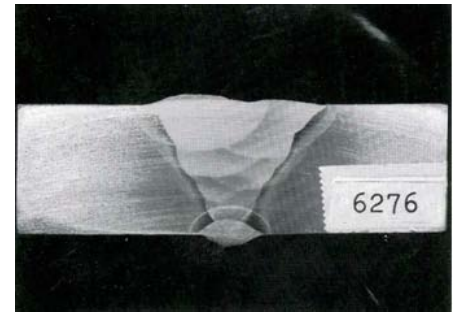
Kuva 13. Väsymissärö pitkittäisessä liitoksessa

6.3 Iskusitkeys

Hitsauksen yhteydessä syntyvien mikrorakenteiden iskusitkeys vaihtelee suuresti. Yleensä haurain kohta on sularajalla, ylikuumentuneella vyöhykkeellä tai hitsiaineessa. Yksinkertaisin ja yleisimmin käytetty tapa mitata hitsausliitoksen haurasmurtumataipumusta on Charpy V -iskusitkeyskoe.

Vaadittu iskusitkeystaso riippuu rakenteen käyttökohteesta: mitä vaativampi käyttökohde ja alempi käyttölämpötila, sitä alemmassa koe-lämpötilassa tietty iskusitkeys vaaditaan. Yleensä hitsausenergian lisäys alentaa iskusitkeyttä kasvattamalla rakekokoa ja muodostamalla hauraita mikrorakenteita: bainiittia ja raeraja-ferritiä, sekä lisäämällä epäpuhtauksien määrää raerajoilla.

Iskusitkeyttä voidaan parantaa lisäämällä palkomäärää. Monipalko-hitsauksessa seuraava palko lämpökäsittellee eli normalisoi edellisiä palkoja pienentäen lämpökäsiteltävän alueen raekokoa, kuva 15. Tämä puolestaan parantaa hitsiaineen sitkeysominaisuuksia.



Kuva 15. Makrohie monipalko-hitsatusta hitsistä

7. MUODONMUUTOKSET HITSAUKSESSA

Hitsauksen korkeat lämpötilat aiheuttavat materiaalin laajenemisen. Kuumentunut materiaali ei pääse laajenemaan vapaasti, vaan tyssäytyy. Jäähtyessään laajentunut teräs pyrkii pienenemään, mikä aiheuttaa vetojännityksen hitsiin ja sen lähiympäristöön. Jännösjännitykset voivat nousta jopa teräksen myötörajan suuruiseksi heikentäen väsymislujuutta.

7.1 Pitkittäiset ja poikittaiset muodonmuutokset

Jännösjännitykset aiheuttavat sekä pitkittäisiä että poikittaisia muodonmuutoksia, kuva 16. Kutistuman suuruus riippuu lämmöntonnistista, palkojen lukumäärästä, rakenteen jäykkyydestä ja railomuodosta. Kutistuman lisäksi syntyy myös kiertymää, kulmavetäytymistä, kaareutumista ja lommoutumista

Muodonmuutoksia voidaan estää seuraavilla toimenpiteillä.

Pituuskutistuma:

- lämmöntonnin vähentäminen
- monipalkohitsaus
- katkohitsaus
- silloitussuunta reunoilta keskelle
- hitsien symmetrinen sijoittelu neutraaliakselille

Poikittaiskutistuma:

- lämmöntonnin vähentäminen
- vältettävä ylisuuria pienahitsejä
- kiinnittimien käyttäminen
- railovalinta, mieluiten X-railo ja molemminpuolinen hitsaus
- lyhyet siltahitsit
- ilmaraon pienentäminen
- taka-askelehitsaus
- hyppelehtivä hitsausjärjestys

Kiertymä:

- riittävä silloittaminen, silloita hitsattavaa kohtaa pidemmältä alueelta
- kiinnittimien käyttö

Kulmavetäytymä:

- lämmöntonnin vähentäminen
- railovalinnat
- vähennä palkomäärää ja pienahitsin a-mittaa kasvattamalla tunkeumaa
- pienennä ilmarakoa
- käytä ennakkokulmaa tai esitaivutusta

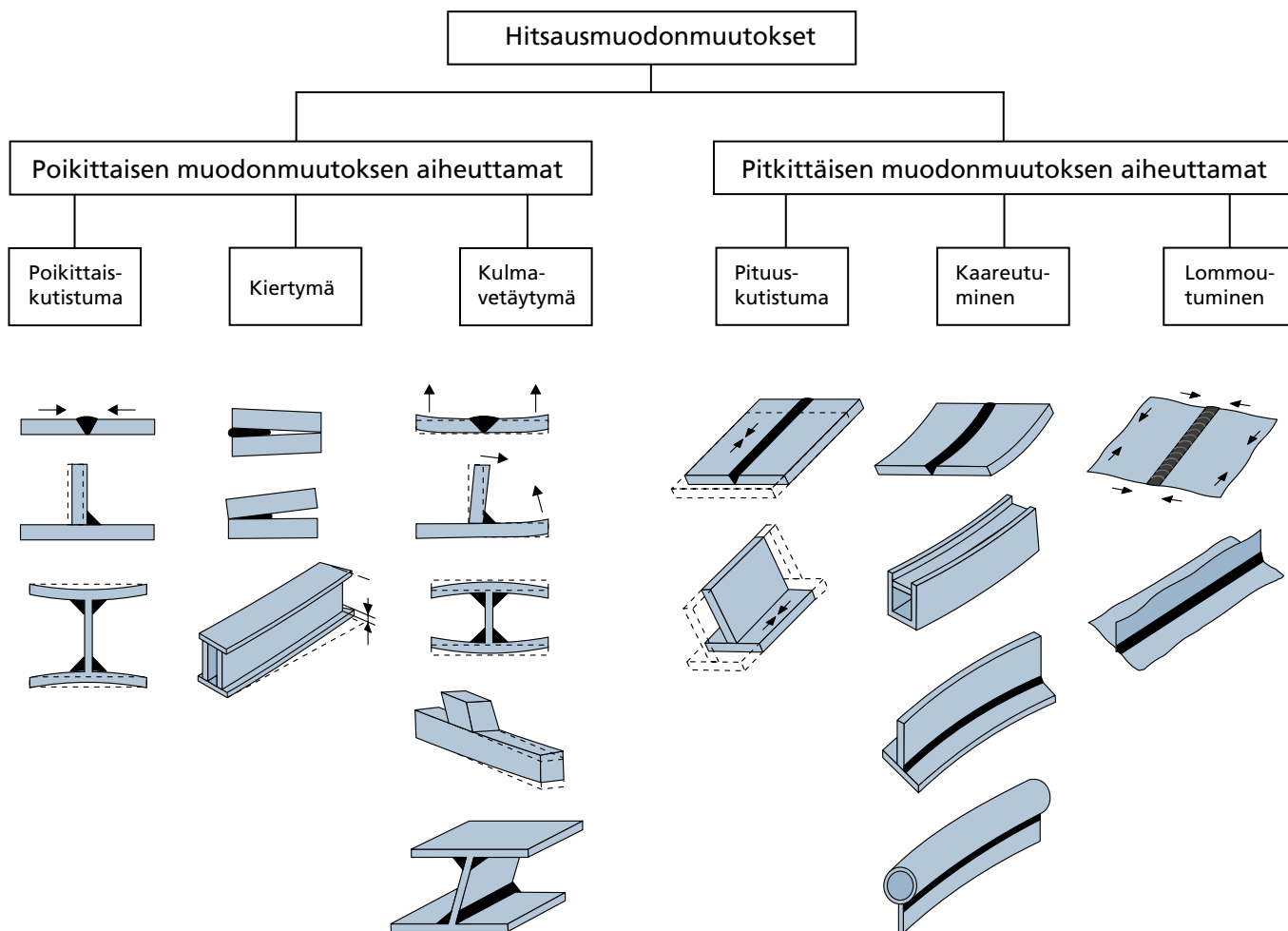
7.2 Silloitushitsaus ja hitsausjärjestys

Silloituksella pyritään varmistamaan lopullisten mittojen paikkansapitävyys. Silloitusvaiheessa tulee huomioida mahdolliset muodonmuutokset ja tarvittavat ennakot. Silloitus suositellaan tehtäväksi normaalisti hyppelehtivällä tekniikalla hitsaamalla silloitushitsit harvaan ja palaamalla takaisin niiden väliin tekemään silloitushitsi. Lopullisen hitsin lopettamiskohtaan silloitushitsejä ei kuitenkaan suositella. Hitsaus voidaan tehdä myös ilman silloitusta, mikäli on rakennettu tuotteelle sopiva kiinnitin.

Hitsausjärjestystä suunniteltaessa lähtökohdaksi on jännitysten ja hitsauslämmön jakautuminen mahdollisimman tasaisesti pituussuunnassa niin, että kappale pääsee "elämään" rakenteen keskeltä reunoille päin.

Hyppelehtivällä tekniikalla kappaleen rakenne jäykistyy kokonaisuutena ja muodonmuutokset jäävät vähäisemmiksi. Yleensä päittäisliitokset olisi pyrittävä hitsaamaan ensimmäisenä.

Silloitushitsauksen pienestä lämmöntonnistista johtuen tulee ottaa huomioon silloitushitsien mahdollinen esikuumennustarve kylmähalkeamien estämiseksi.



Kuva 16. Hitsausmuodonmuutokset /Lepola, P. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet, s. 356

7.3 Kuumilla oikaisu

Terästä voidaan oikaista mekaanisen oikaisun lisäksi lämmöllä. Lämpötila on nostettava yleensä n. 650-800 °C välille, jotta syntyy pysyviä muodonmuutoksia. Kuumennettu kohta ei pääse laajenemaan kylmän ympäristön ansiosta ja alue tyssäytyy. Jäähdyessään materiaali kutistuu aiheuttaen rakennetta oikaisevan jännityksen.

Teräksen lämpötilan mittauksessa voi käyttää erilaisia kosketusantureita, väriliitujia, lämpömaaleja tai lämpötilan nousua voi seurata teräksen väristä alla olevan taulukon mukaisesti.

Teräksen pinnan väri	Lämpötila °C
Punaruskea	600
Tummanpunainen	650
Kirsikanpunainen	750
Kellanvaaleanpunainen	900
Keltainen	1000
Vaaleankeltainen	1100
Valkoinen	1200

8. ERI TERÄSLAJIEN HITSAUS

Yleensä teräksen hitsaus vaikeutuu mitä lujempaa se on ja mitä suurempia hiilen sekä muiden seosaineiden pitoisuudet ovat. Vaihtelevat kuumennusolosuhteet ja jäähtymisnopeudet saavat aikaan mikrorakenteen muutoksia muutosvyöhykkeessä. Tällöin saattaa syntyä hauraita faaseja kuten karkearakeista martensiittia ja bainiittia. Vedyn vaikutus hitsin muutosvyöhykkeen ominaisuuksiin on sitä haitallisempi mitä lujempaa teräs on.

Kuitenkaan esimerkiksi korjaus- ja kunnossapitotöissä ei aina voida välttää hankalienkaan terästen hitsausta. Myös konstruktiiiviset vaatimukset saattavat edellyttää lujien lämpökäsittelyjen terästen hitsausta.

Huolellinen suunnittelu ja valmistelu sekä hyvät lämpökäsittelymahdollisuudet hitsauspaikan välittömässä läheisyydessä ovat tärkeitä tällaisten terästen hitsausten onnistumiseksi.

Seuraavilla sivuilla annetaan hitsausohjeita eri teräsrhyhmille.

Hitsauslisäaineiden suuresta valikoimasta on mukaan otettu ESABin ja Lincolnin lisäaineet. Lisäaineiden vertailutaulukkoja käyttämällä voidaan valita muita vastaavien lisäainevalmistajien tuotteita.

MAG-hitsauksessa on käytetty yleisiä kaasutunnuksia, joille voidaan valita halutun kaasutoimittajan vastaavat seoskaasut alla olevasta taulukosta.

Mikäli hitsausliitokselle tai työtavalle asetetaan erikoisvaatimuksia, voidaan käyttää myös näistä ohjeista poikkeavia lisäaineita. Tällaisista ratkaisuista on yleensä syytä neuvotella lisäaineen tai teräksen toimittajien kanssa.

Kaasutunnus	AGA	Woikoski	Koostumus
M12	MISON® 2*	SK-2	Ar + 2 % CO ₂
	MISON® 2 He*		Ar + 2 % CO ₂ + 30 % He
M13	CRONIGON® S2	S0-2	Ar + 2 % O ₂
	CRONIGON® He	Awolight	Ar + 30 % He + 1 % O ₂
M20	MISON® 8*	Awomix	Ar + 8 % CO ₂
		SK-12	Ar + 12 % CO ₂
M21	MISON® 18*	SK-18	Ar + 18 % CO ₂
	MISON® 25*	SK-25	Ar + 25 % CO ₂

*Sisältää lisäksi 0,03 % NO

8.1 Yleiset rakenneteräkset

S235JR
S355JO

Yleiset rakenneteräkset ovat niukka-hiillisiä, seostamattomia tai mangaanilla niukasti seostettuja teräksiä.

Hienorakeisuuden takaamiseksi lajiin S355JO voidaan seostaa pieniä määriä niobia tai vanadiinia.

Yleisten rakenneterästen hitsattavuus on hyvä kaikilla hitsausmenetelmillä. Suurilla aineenpaksuuksilla on kuitenkin otettava huomioon kylmähalkeamien vaara.

Korotettua työlämpötilaa suositellaan käytettäväksi taulukon edellyttämässä tapauksissa.

Lisäainesuositukset yleisille rakenneteräksille

Puikkohitsaus	
Teräslajit	ESAB
S235JR	OK 48.00
	OK Femax 33.80
	Conarc 48
	Ferrod 160T
S355JO	OK 48.00
	OK Femax 38.65
	Conarc 48
	Conarc V 180

MAG-hitsaus		
Teräslaji	ESAB	Suojakaasu
S235JR S355JO	OK Aristorod 12.50	M21/M20 tai CO ₂
	OK Aristorod 12.63	M21/M20 tai CO ₂
	OK Tubrod 15.14	M21 tai CO ₂
	LNM 26	M21/M20 tai CO ₂
	LNM 27	M21/M20 tai CO ₂
	Outersield T55-H	M21/M20 tai CO ₂

Työlämpötilat yleisille rakenneteräksille

Teräslaji ja hitsausmenetelmä	Liitettävien kappaleiden yhdistetty paksuus, mm	Työlämpötila, °C	Jälkilämpökäsittely
S235JR			
Puikkohitsaus	-120	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa
	120-	150-200	
MAG-hitsaus		ei korotettu	
S355JO			
Puikkohitsaus	-60	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa
	60-	150-200	
MAG-hitsaus	-90	ei korotettu	
	90-	100..200	

Yleisten rakenneterästen lämpökäsittelyjä

Käsittely	Lämpötila °C	Pitoaika täydessä lämmössä, tuntia	Jäähdytys
Myöstö	550-600	0,5-2	Hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa
Normalisointi	900-930	0,5	Vapaasti ilmassa

8.2 Koneteräkset

IMATRA 520
HYDAX 15
HYDAX 25
IMATRA 550

Ovakon koneteräkset on kehitetty yleisistä rakenneteräksistä. Niitä toimitetaan pyörötankoina ja neliötankoina.

Perusanalyysiltään ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan ne vastaavat lajia S355JO. Mekaanisilta ominaisuuksiltaan 520 täyttää S355J2 vaatimukset.

Imatra koneteräkset ovat niukkahiilisiä ja niukasti mangaanilla seostettuja (max. 1,5 % Mn). Hienorakeisuuden takaamiseksi koneteräksiin voidaan seostaa pieniä määriä vanadiinia tai niobia. Hiilikvivalentti on $C_{ekv} \leq 0,43$.

Teräslaji Imatra 520 on hitsattavuudeltaan verrattavissa S355JO:aan eli helposti hitsattavissa.

HYDAX 15:n hitsaus on osoittautunut korkeahkosta rikkipitoisuudesta huolimatta ongelmattomaksi. Vaativissa hitsauskonstruktioissa kuumahalkeilun välttämiseksi suositellaan hitsausta pienellä hitsausenergialla ja runsasmangaanisella lisäaineella. Hitsausta ilman lisäainetta ja kapealla railolla tulee välttää.

HYDAX 25:n rikkipitoisuus on koneteräksistä korkein ja sen kuumahalkeilutaipumus on hyvä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Hitsauksessa tulee välttää suurta lämmöntuontia, kapeita railoja, sekä jäykkää rakennetta. Sekoittumisasteen hallintaan tulee kiinnittää huomiota, jottei hitsiaine rikastu rikistä.

IMATRA 550 on peruskoostumukseltaan IMATRA 520:n kaltainen. Se on kuitenkin kylmävedolla lujitettua Ø 55 millimetriin asti, mikä on otettava huomioon hitsausliitoksen suunnittelussa ja hitsauksessa. Paksummat eli Ø 60-120 mm tangot vastaavat täysin IMATRA 520:tä. Hitsauksen lämpövaikutuksesta kylmämuokkauksella aikaansaatu lujuus alenee paikallisesti. Kuitenkin myötölujuus on tällöinkin aina vähintään 350 N/mm².

Lisäainesuositukset koneteräksille

Teräslaji	Puikko	MAG-hitsaus	Suojakaasu
IMATRA 520	OK 48.00	OK Aristorod 12.50	M21/M20 tai CO ₂
	OK Femax 38.65	OK Aristorod 12.63	M21/M20 tai CO ₂
	Conarc 48	OK Tubrod 15.14	M21 tai CO ₂
	Conarc V 180	LNM 26	M21/M20 tai CO ₂
		LNM 27	M21/M20 tai CO ₂
	Outershield T55-H	M21/M20 tai CO ₂	
HYDAX 15 HYDAX 25	OK 55.00	OK Autrod 12.51	M21/M20 tai CO ₂
	OK Femax 38.65	OK Autrod 12.64	M21/M20
	Conarc 49	OK Tubrod 15.14	M21
	Conarc V 180	LNM 26	M21/M20 tai CO ₂
		LNM 27	M21/M20
	Outershield T55-H	M21/M20	
IMATRA 550	OK 48.00	OK Aristorod 12.63	M21/M20 tai CO ₂
	OK Femax 38.65	OK Tubrod 15.14	M21 tai CO ₂
	Conarc 48	LNM 27	M21/M20 tai CO ₂
	Conarc V 180	Outershield T55-H	M21/M20 tai CO ₂

Työlämpötilat koneteräksille

Hitsausmenetelmä	Liitettävien kappaleiden yhdistetty paksuus, mm	Työlämpötila, °C	Jälkilämpökäsittely
Puikkohitsaus	-60	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa
	60-	150-200	
MAG-hitsaus	-90	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa
	90-	150-200	

Koneterästen lämpökäsittelyjä

Käsittely	Lämpötila °C	Pitoaika täydessä lämmössä, tuntia	Jäähdytys
Myöstö	550-600	0,5-2	Hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa
Normalisointi	900-930	0,5	Vapaasti ilmassa

8.3 Lujat rakenneteräokset

IMATRA EL 400
IMATRA EL 500
IMACRO EL 700

Lujat rakenneteräokset ovat hitsattavia teräksiä, joita toimitetaan lattatankoina.

IMATRA EL 400:lle taataan myötörajan vähimmäisarvo 410 N/mm² sekä iskutkeys KV 27 J -20 °C:ssa. Hitsat-

tavuudeltaan teräs on verrattavissa lajiin S355J2. Hiiliiekvivalentti C_{ekv} on keskimäärin 0,37.

IMATRA EL 400 soveltuu lujana, mutta hyvin hitsattavana teräksenä käytettäväksi rakenteisiin ja kone-eliimiin kantavina ja jäykistävinä osina. Tavallisesti IMATRA EL 400 on hitsattavissa korottamatta työlämpötilaa ja ilman jälkilämpökäsittelyjä.

Teräksen käytöllä voidaan tavanomaisiin rakenneteräksiin verrattuna

saavuttaa kustannussäästöjä sekä keventää rakenteita ja pienentää tilantarvetta.

Lajia IMATRA EL 500 valmistetaan asiakastuotteena. Lujuus- ja iskutkeysarvot sovitetaan kulloistenkin vaatimusten mukaisiksi.

IMACRO EL 700 on niukkahiilinen, kromiseosteinen teräs, joka valssauksen jälkeisessä jäähdytyksessä saa sälemartensiittisen rakenteen. Myötöraja on vähintään 650 N/mm². IMACRO

EL 700 on hitsattavissa useissa tapauksissa korottamatta työlämpötilaa ja ilman jälkilämpökäsittelyä.

Lisäohjeita IMACRON hitsauksesta annetaan sivulla 24. Lujien rakenneterästen hitsauksessa on otettava huomioon mahdollinen kylmähalkea-

mavaara katso s. 10...12.

Lujille rakenneteräksille suositellaan $t_{8/5}$ jäähtymisaikaa 5-25 s. Lämmöntuontina se vastaa n. 1-2 kJ/mm. Tarkka jäähtymisaika riippuu ainepaksuudesta. Tarkka jäähtymisaika voidaan määrittää standardin SFS-EN

1011-2 (2001) laskentakaavojen tai käyrästöjen avulla.

Liian pienellä jäähtymisajalla kylmähalkeaman riski kasvaa ja liian suurella jäähtymisajalla teräksen iskutiheys heikkenee.

Lisäainesuositukset lujille rakenneteräksille

Teräslaji	Puikko	Huom.
IMATRA EL 400	OK 48.00	OK 48.00 ja Conarc 48 ovat seostamattomia puikkoja. Niitä käytettäessä hitsin lujuus jää perusainetta pienemmäksi
	OK Femax 38.65	
	OK 55.00	
	Conarc 48	
	Conarc V 180	
	Conarc 49	
IMATRA EL 500	OK Aliluja 48.00	
	OK 74.78	
	Conarc 48	
	Conarc 60G	
IMACRO EL 700	OK Aliluja 48.00	
	OK 75.75	
	Conarc 48	
	Conarc 80	

Teräslaji	MAG-hitsaus	Suojakaasu	Huom.
IMATRA EL 400	OK Aristorod 12.50	M21/M20 tai CO ₂	
	OK Aristorod 12.63	M21/M20 tai CO ₂	
	OK Tubrod 15.14	M21 tai CO ₂	Täytelanka
	LNM 26	M21/M20 tai CO ₂	
	LNM 27	M21/M20 tai CO ₂	
	Outershield T55-H	M21/M20 tai CO ₂	Täytelanka
IMATRA EL 500	OK Autrod 12.64	M21/M20	Aliluja
	OK Tubrod 14.12	M21	Täytelanka, Aliluja
	LNM 27	M21/M20	
	Outershield T55-H	M21/M20	Täytelanka
IMACRO EL 700	OK Autrod 12.51	M21/M20	Seostamaton lanka, Aliluja
	OK Autrod 12.64	M21/M20	Seostamaton lanka, Aliluja
	OK Aristorod 13.12	M21/M20	
	OK Aristorod 13.29	M21/M20	
	LNM 26	M21/M20	Seostamaton lanka, Aliluja
	LNM 27	M21/M20	Seostamaton lanka, Aliluja
	LNM 19	M21/M20	
	LNM MoNiVa	M21/M20	

Työlämpötilat lujille rakenneteräksille

Teräslaji ja hitsausmenetelmät	Liitettävien kappaleiden yhdistetty paksuus, mm	Työlämpötila, °C	Jälkilämpötila	Huom.
IMATRA EL 400				
Puikkohitsaus	-60	ei korotettu		
	60-	100-200	Myöstö tarvittaessa	
MAG-hitsaus	-90	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa	
	90-	100-200		
IMATRA EL 500				
Puikkohitsaus	-20	ei korotettu		
	20-	100-200	Myöstö tarvittaessa	
MAG-hitsaus	-30	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa	
	30-	100-200		
IMACRO EL 700				
Puikkohitsaus	-40	ei korotettu		Myöstössä teräksen lujuus alenee jonkin verran
	40-	100-200	Myöstö tarvittaessa	
MAG-hitsaus	-60	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa	
	60-	100-200		

Lujien rakenneterästen lämpökäsittelyjä

Käsittely	Lämpötila, °C	Pitoaika täydessä lämmössä, tuntia	Jäähdytys	Huom.
IMATRA EL 400, IMATRA EL 500				
Normalisointi	900-930	0,5-1	Vapaasti ilmassa hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa	
Myöstö	550-600	1-2		
IMACRO EL 700				
Nuorrutus				
- karkaisu	920-950	0,5-1	Sammutus veteen	
- päästö	400-460	0,5-1	Vapaasti ilmassa	Päästö voidaan jättää tekemättä
Normalisointi	930-960	0,5-1	Vapaasti ilmassa	
Myöstö	400-600	2	Vapaasti ilmassa	Myöstössä teräksen lujuus alenee jonkin verran

8.4 Nuorrutusteräkset

IMATRA 4 M
IMATRA MoC 210 M
IMATRA MoC 410 M
IMATRA MoCN 315 M
IMACRO M

Nuorrutusteräkset on tarkoitettu lämpökäsiteltäviksi eli nuorrutettaviksi. Siksi niiden hiilipitoisuus on korkeampi kuin hitsattavien rakenne- ja kone-terästen eli 0,22-0,50 %. Karkenevuuden lisäämiseksi nuorrutusteräksiin seostetaan esimerkiksi mangaania, kromia, nikkeliä ja molybdeenia, jotka periaatteessa kaikki hankaloittavat hitsausta.

IIV:n kaavan mukaan laskien nuorrutusterästen hiiliekvivalentti vaihtelee välillä $C_{ekv} = 0,5-1,1$ (kaavaa ei kuitenkaan ole tarkoitettu tämän tyyppisten terästen hitsattavuuden arviointiin).

Poikkeuksena on IMACRO, jonka rakenne on alhaisen hiilipitoisuuden vuoksi, n. 0,05 %, on sälemartensiittinen. Tavanomaisesta levymartensiittista poikkeavasti sälemartensiitti on verraten pehmeää sekä sitkeää ja siten hyvin hitsattavaa.

Ovakon nuorrutusteräkset ovat M-käsiteltyjä mahdollisimman hyvän lastuttavuuden aikaansaamiseksi, katso Nuorrutusteräkset-esite, s. 14. M-käsittely ei vaikuta hitsattavuuteen.

Nuorrutusterästen hitsaus

Nuorrutusterästen käyttöä hitsattuihin rakenteisiin on yleensä pyrittävä välttämään. Verraten suuri hiilipitoisuus sekä seostus saattavat aiheuttaa karkenemistä hitsauksen yhteydessä ja halkeilua. Aina ei kuitenkaan ole mahdollista välttää hitsausta joko viallisen kappaleen korjaamisen tai konstruktiovaatimusten takia. Hitsauksen onnistuminen riippuu usein siitä, kuinka hyvin teräksen käyttäytyminen, rakenteen jäykkyys ja hitsauksen jälkeinen lämpökäsittely saadaan sovitetuksi yhteen.

Nuorrutusterästen hitsaus edellyttää lähes aina korotetun työlämpötilan käyttöä, tavallisimmin 150-400 °C. Suositeltavin tapa (varsinkin kun hiilipitoisuus on yli 0,35 %) on valita työlämpötila hieman yli 350 °C:n eli yli M_s -lämpötilan yläpuolelta ja ylläpitää tätä lämpötilaa hitsauksen jälkeen vähintään tunnin ajan.

Austeniitin hajaantuminen hitsissä johtaa tällöin hauraan martensiitin sijaan pehmeämpien rakenteiden muodostumiseen, jolloin halkeamisvaara pienenee, eikä lujuus alene paljoakaan.

Hitsi on yleensä aina lämpökäsiteltävä. Suositeltavinta on kappaleen nuorrutus. Tämä on edullisinta tehdä heti hitsauksen jälkeen, ennen hitsin jäähtymistä. Jos kappaletta ei voida enää hitsauksen jälkeen nuorruttaa, on tehtävä jännitystenpoistohehkus eli myöstö.

Myöstölämpötila on valittava hieman perusaineen alkuperäisen päästölämpötilan alapuolelta (usein 550-650 °C), jottei lujuus alenisi. Hehkus tulee suorittaa heti hitsin jäähtyttyä 100 °C:een, jolloin austeniitin hajaantuminen on ehtinyt tapahtua. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, vaan kappale joutuu usein olemaan pitkiäkin aikoja huoneenlämpötilassa ennen myöstöhehkutusta.

Kappaleen jäähtymisen tulee tapahtua tällöin hidastettuna (esimerkiksi mineraalivillalla peitettynä) ja vedolta suojattuna.

Hitsaus on aina turvallisempaa suorittaa pehmeäksi hehkutetulle kuin nuorrutetulle perusaineelle. Hitsauslisäaine on valittava siten, että se saa nuorrutuksessa halutun lujuuden. Hitsauslisäaineen valinta tapauksiin, jolloin teräs on valmiiksi nuorrutettu ja hitsauksen jälkeen tehdään vain jännityksenpoistohehkus, ei tuota nykyisin vaikeuksia.

Nuorrutusteräksiä varten on kehitetty puikkoja esim. OK 75.75, Conarc 80 ja OK 78.16. Samoin kuumalujien terästen hitsaukseen tarkoitettuja puik-

koja, esim OK 76.18, voidaan käyttää nuorrutusterästen hitsaukseen.

Kylmähalkeamien välttämiseksi puikot on kuivattava ennen hitsausta. Suositeltava lämpötila on 350 °C ja kuivausaika vähintään kaksi tuntia.

Jos hitsausliitosten lujuudelle ei aseteta erityisiä vaatimuksia, on nuorrutetun perusaineen hitsaus usein edullista austeniittisilla ruostumattomilla ns. yliseostetuilla puikoilla, esim OK 67.45, Arosta 307, OK 67.70, Arosta 309Mo, OK 68.82 ja Wearshield BU-30 tai vastaavilla langoilla OK Autrod 16.95, LNM 307, 309LSi, LNM 309LSi ja 312. Lajilla IMATRA MoC 210 M voidaan tällöin jopa luopua työlämpötilan korottamisesta.

Austeniittisten lisäaineiden etuna on niiden vähäisempi taipumus kylmähalkeiluun. Vety liukenee mieluummin austeniittiin kuin ferriittiin ja vety pysyy siten austeniittisessä hitsissä, mikä estää kylmähalkeilua muutosvyöhykkeellä. Austeniittisten hitsien myötölujuus vaihtelee alueella 400-600N/mm².

Eräs keino helpottaa nuorrutusterästen ja muiden vaikeasti hitsattavien terästen liittämistä hyvin hitsattavaan teräkseen on käyttää puskurointimenetelmää. Liitoskohtaan tehdään ensin päällehitsaus seostamattomalla lisäaineella. Hitsi voidaan lämpökäsittellä. Sen jälkeen tehdään varsinainen liitoshitsaus. Liitoksen varmuutta voidaan vielä lisätä jännityksenpoistohehkuksella.

Nuorrutusterästen hitsaus edellyttää aina suurta huolellisuutta ja oikeaa hitsien sijoittelua, joilla pyritään pienentämään rakenteen jäykkyyttä, sekä hyviä lämpökäsittelymahdollisuuksia hitsauspaikan välittömässä läheisyydessä. Usein hitsauksen onnistuminen on syytä varmistaa menetelmäkokein.

IMACRON hitsaus

Vastakohtana tavanomaisille nuorrutusteräksille IMACRO on hyvin hitsattavaa, myös nuorrutettuna. Sitä voidaan hitsata käyttäen tavanomaisia hitsausmenetelmiä ja lisäaineita. Puikkohitsauksessa voidaan käyttää sekä seostamattomia, esim OK 48.00 ja Conarc 48, että seostettuja, esim. OK 75.75 ja Conarc 80 puikkoja. Puikot on kuivattava huolellisesti.

Lujuus jää seostamatonta lisäainetta käytettäessä pienemmäksi, kun taas liitoksen sitkeys muodostuu paremmaksi kuin seostetulla lisäaineella.

Korotettu työlämpötila ei yleensä ole tarpeen, mutta vaativissa hitsauksissa sen käyttöä suositellaan. IMACRO ei myöskään vaadi lämpökäsittelyä hitsauksen jälkeen.

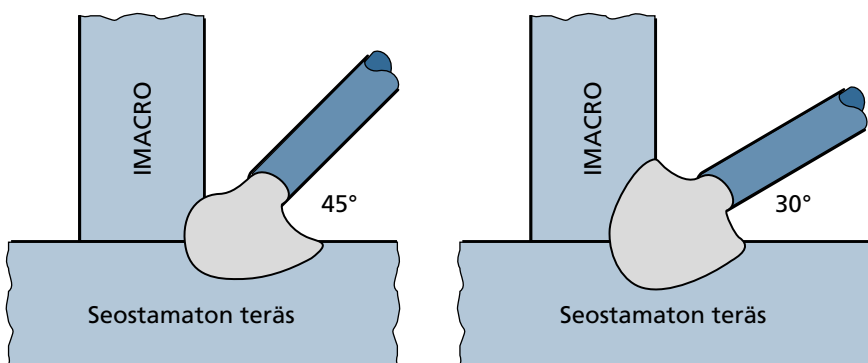
IMACROlle on ominaista pieni tunkeuma. Kun IMACROa hitsataan vähemmän lujaan teräkseen, on otettava huomioon näiden tunkeumien erilaisuus. Koska IMACRON kromipitoisuus on varsin korkea, sen pinnassa on tunkeumaa vähentävä kromioksidikalvo.

Tasainen tunkeuma saavutetaan kallistamalla puikkoa niin, että suurin lämpövaikutus kohdistuu IMACROon, kuva 17. Kunnollisen tunkeuman varmistamiseksi on käytettävä tarpeeksi suurta lämmöntuontia. Käytännössä tämä merkitsee puikkosuositusten suurimpien virta-arvojen valintaa.

Sopivat kuljetusnopeudet, puikkojen koot suhteessa railokulmaan ja ilma- raot vaikuttavat luonnollisesti myös tunkeumaan.

Lisäaineet nuorrutusteräksille

Teräslaji	Puikko	Huom.
IMATRA 4 M	OK 48.00	Seostamaton puikko (pehmeä)
	OK 74.78	
	Conarc 48	Seostamaton puikko (pehmeä)
	Conarc 60G	
IMATRA MoC 210 M IMATRA MoC 410 M IMATRA MoCN 315 M	OK 48.00	Seostamaton puikko (pehmeä)
	OK 75.75	
	OK 78.16	
	OK 67.45	Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK 67.70	Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK 68.82	Austeniittinen ruostumaton puikko
	Conarc 48	Seostamaton puikko (pehmeä)
	Conarc 80	
	Arosta 307	Austeniittinen ruostumaton puikko
	Arosta 309Mo	Austeniittinen ruostumaton puikko
Limarosta 312	Austeniittinen ruostumaton puikko	
IMACRO M	OK 48.00	Seostamaton puikko (pehmeä)
	OK 75.75	
	Conarc 48	Seostamaton puikko (pehmeä)
	Conarc 80	



Kuva 17. Tasaisen tunkeuman saavuttaminen IMACROn ja seostamattoman teräksen hitsauksessa kohdistamalla lämmöntuonti ensisijaisesti (puikkoa kallistamalla) IMACROon.

Lisäaineet nuorrutusteräksille

Teräslaji	MAG-hitsaus	Suojakaasu	Huom.
IMATRA 4 M	OK Aristorod 12.63	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
	OK Tubrod 15.14	M21 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
	LNM 27	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
	Outershield 70-H	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
IMATRA MoC 210 M IMATRA MoC 410 M IMATRA MoCN 315 M	OK Aristorod 12.50	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
	OK Aristorod 13.12	M21/M20 tai CO ₂	
	OK Aristorod 13.29	M21/M20 tai CO ₂	
	OK Tubrod 14.03	M21	Täytelanka
	OK Autrod 309LSi	M12/M13	Austeniittinen ruostumaton lanka
	OK Autrod 16.95	M12/M13	Austeniittinen ruostumaton lanka
	LNM 27	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
	LNM 19	M21/M20 tai CO ₂	
	LNM MoNiVa	M21/M20 tai CO ₂	
	Outershield 690-H	M21	Täytelanka
	LNM 309LSi	M12/M13	
LNM 307	M12/M13		
IMACRO M	OK Autrod 12.51	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
	OK Aristorod 13.12	M21/M20 tai CO ₂	
	OK Aristorod 13.29	M21/M20 tai CO ₂	
	OK Tubrod 14.03	M21	Täytelanka
	LNM 26	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton lanka (pehmeä)
	LNM 19	M21/M20 tai CO ₂	
	LNM MoNiVa	M21/M20 tai CO ₂	
	Outershield 690-H	M21	Täytelanka

Työlämpötilat nuorrutusteräksille

Teräslaji ja hitsausmenetelmä	Liitettävien kappa- leiden yhdistetty paksuus, mm	Työlämpötila, °C	Jälkilämpökäsittely	Huom.	
IMATRA 4 M					
Puikkohitsaus	-20	50-100	Myöstö Nuorutus Normalisointi		
	20-	150-200			
MAG-hitsaus	-20	ei korotettu	Myöstö Nuorutus Normalisointi		
	20-	150-200			
IMATRA MoC 210 M					
Puikkohitsaus		150-200	Myöstö Nuorutus		Hitsi pehmeämpää kuin perusaine
Austeniittinen ruostumaton lisäaine	-20	50-100			
	20-	150-200			
MAG-hitsaus	-20	50-100	Myöstö		
	20-	150-200	Nuorutus		
IMATRA MoC 410 M, IMATRA MoCN 315 M					
Puikkohitsaus		370-420	Myöstö Nuorutus	Työlämpötilaa ylläpidettävä 1...2 tuntia hitsauksen jälkeen, ellei nuor- ruteta	
MAG-hitsaus					
Austeniittinen ruostu- maton lisäaine		370-420		Hitsi pehmeämpää kuin perusaine	
IMACRO M					
Puikkohitsaus	-40	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa	Myöstössä teräk- sen lujuus alenee jonkin verran	
	40-	100-200			
MAG-hitsaus	-60	ei korotettu	Myöstö tarvittaessa		
	60-	150-200			

Nuorrutusterästen lämpökäsittelyjä

Käsittely	Lämpötila, °C	Pitoaika täydessä lämmössä, tuntia	Jäähdytys	Huom.
IMATRA 4 M				
Normalisointi	840-870	0,5-1	Vapaasti ilmassa	
Nuorrutus				
- karkaisu	880-920	0,5-1	Sammutus veteen tai öljyyn	
- päästö	550-660	1-2,5	Vapaasti ilmassa	
Myöstö	450-650	2	Hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa	
IMATRA MoC 210 M				
Nuorrutus				
- karkaisu	840-880	0,5-1	Sammutus öljyyn	
- päästö	540-680	1-2,5	Vapaasti ilmassa	
Myöstö	450-650	2	Hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa	
IMATRA MoC 410 M ja MoCN 315 M				
Nuorrutus				
- karkaisu	820-850	0,5-1	Sammutus öljyyn	
- päästö	540-680	1-2,5	Vapaasti ilmassa	
Myöstö	450-650	2	Hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa	
IMACRO M				
Nuorrutus				Päästö voidaan jättää tekemättä
- karkaisu	920-950	0,5-1	Sammutus veteen	
- päästö	400-460	1-2,5	Vapaasti ilmassa	
Myöstö	450-600	2	Vapaasti ilmassa	Myöstössä teräksen lujuus alenee jonkin verran

8.5 Hiiletysteräkset

IMATRA MoCN 206 M
IMATRA MC 110 M
IMATRA MC 212
IMATRA MoCN 212 M
IMATRA MoCN 216

Seostetut hiiletysteräkset ovat nuorrutusterästen kaltaisia, mutta hiilipitoisuus on alempi, 0,15-0,25 %.

Niiden hitsattavuus valssaustilassa tai pehmeäksihehkutettuna on verrattavissa IMATRA MoC 210 M:ään.

Hiiletysterästen hitsauksessa on noudatettava samaa huolellisuutta, kuin nuorrutusterästen hitsauksessa.

Hiiletyskarkaistun kappaleen pinnan hiilipitoisuus on n. 0,7 %. Kylmähalkeamavaara tällaisen kappaleen hitsauksessa on siksi erittäin suuri. Hitsaus on paras suorittaa ennen hiiletyskarkaisua.

Jos hitsaus tehdään hiiletyskarkaisun jälkeen, on hitsattava kohta joko suojattava hiiletymiseltä tai poistettava hiiletyskerros siltä kohdalta.

Mikäli hitsaus suoritetaan ennen hiiletyskarkaisua ja hitsi tullaan myös hiiletyskarkaisemaan, niin lisäaine on valittava siten, että se soveltuu hiiletyskarkaisuun, esimerkiksi hitsauspuikko OK 78.16 tai Kryo 3.

Lisäainesuositukset hiiletysteräksille

Teräslaji	Puikko	Huom.
Kaikki lajit	OK 74.78	
	OK 75.75	
	OK 78.16	Soveltuu hiiletyskarkaistavaksi
	OK 67.45	Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK 67.70	Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK 68.82	Austeniittinen ruostumaton puikko
	Conarc 60G	
	Conarc 80	
	Kryo 3	Soveltuu hiiletyskarkaistavaksi
	Arosta 307	Austeniittinen ruostumaton puikko
	Arosta 309Mo	Austeniittinen ruostumaton puikko
	Limarosta 312	Austeniittinen ruostumaton puikko

Teräslaji	MAG-hitsaus	Suojakaasu
Kaikki lajit	OK Aristorod 13.12	M21/M20 tai CO ₂
	OK Aristorod 13.29	M21/M20 tai CO ₂
	OK Tubrod 14.03	M21
	OK Autrod 309LSi	M12/M13 Austeniittinen ruostumaton
	OK Autrod 16.95	M12/M13 Austeniittinen ruostumaton
	LNM 19	M21/M20 tai CO ₂
	LNM MoNiVa	M21/M20 tai CO ₂
	Outershield 690-H	M21
	LNM 309LSi	M12/M13
	LNM 307	M12/M13

Työlämpötilat hiiletysteräksille

Hitsausmenetelmä (kaikille hiiletysteräksille)	Liitettävien kappaleiden yhdistetty paksuus, mm	Työlämpötila, °C	Huom.
Puikkohitsaus		150-200	Hitsi on pehmeämpää kuin perusaine
Austeniittinen ruostumaton lisäaine	-20	50-100	
	20-	150-200	
MAG-hitsaus	-20	50-100	
	20-	150-200	

8.6 Booriteräkset

IMATRA BM 212
IMATRA BCM 311
IMATRA BM 312
IMATRA BCM 414

Boori on teräksen karkenevuutta voimakkaasti lisäävä seosaine. Sitä seostetaan vähän – keskimäärin 0,003 %. Boorilla voidaan korvata muita seosaineita ja lisäksi pienentää hiilipitoisuutta teräksen karkenevuutta alentamatta.

Hitsauksen kannalta booriterästen koostumus on edullinen. Noin 0,2-0,3 % hiiltä sisältävien IMATRA-booriterästen hitsattavuus on verraten hyvä. Sen sijaan IMATRA BCM 414:n hiilipitoisuus on noin 0,4 % ja sen hitsaus on oleellisesti hankalampaa.

Booriteräksiä voidaan hitsata karkaisemattomassa tai karkaistussa tilassa. Karkaisemattomina (valssaustilassa) booriteräkset ovat melko pehmeitä, mikä on edullista hitsausjännitysten kannalta (katso taulukko 2, booriteräkset-esitys, s. 5).

Karkaisemattomana hitsatut kappaleet karkaistetaan tai nuorrutetaan hitsauksen jälkeen.

Booriterästen hitsauksessa on otettava huomioon myös samat näkökohdat, jotka liittyvät yleisesti lujien terästen hitsaukseen.

Hitsauslisäainesuositukset on annettu siten, että hitsi jää jonkin verran pehmeämmäksi kuin perusaine.

Jos booriteräksiä käytetään melko yksinkertaisissa kappaleissa tai raken-

teissa, voidaan hitsauksessa käyttää taulukon alhaisempia työlämpötiloja.

Vaativissa ja jäykissä rakenteissa työlämpötilan on oltava korkeampi.

Kemppi Oy



Lisäainesuositukset booriteräksille

Tila ja hitsausmenetelmä	Puikko & MAG-hitsaus	Suojakaasu
Karkaisematon	OK 55.00	
Puikkohitsaus	Conarc 49	
MAG-hitsaus	OK Aristorod 12.63	M21/M20 tai CO ₂
	LNM 27	M21/M20 tai CO ₂
Karkaistu	OK 74.78	
Puikkohitsaus	Conarc 60G	
MAG-hitsaus	OK Aristorod 13.12	M21/M20 tai CO ₂
	LNM 19	M21/M20 tai CO ₂

Työlämpötilat booriteräksille

Teräslaji ja hitsausmenetelmä	Liitettävien kappaleiden yhdistetty paksuus, mm	Työlämpötila yksinkertaisilla kappaleilla, °C	Työlämpötila vaativissa tapauksissa ja jäykissä rakenteissa, °C	Huom.	
IMATRA BM 212					
Puikkohitsaus	-15	ei korotettu	ei korotettu		
	15-30	ei korotettu	150-200		
	30-	50-100	150-200		
MAG-hitsaus	-20	ei korotettu	ei korotettu		
	20-	ei korotettu	150-200		
IMATRA BCM 311					
Puikkohitsaus	-20	ei korotettu	150-200		
	20-	50-100	150-200		
MAG-hitsaus	-30	ei korotettu	150-200		
	30-	50-100	150-200		
IMATRA BM 312					
Puikkohitsaus	-15	ei korotettu	ei korotettu		
	15-	100-200	150-200		
MAG-hitsaus	-30	ei korotettu	150-200		
	30-	50-100	150-200		
IMATRA BM 414					
Puikkohitsaus ja MAG-hitsaus		370-420*	370-420*	Karkaistavan teräksen kovuus putoaa n. 47 HRC:iin	

*työlämpötilaa ylläpidetään 1-2 tuntia hitsauksen jälkeen

8.7 Jousiteräkset

IMATRA MS 416

IMATRA MS 517

IMATRA VC 510

Jousiteräkset on nimensä mukaisesti suunniteltu jousien rakenneaineiksi. Kuitenkin niitä käytetään myös kullutus- sekä rakenneosina esimerkiksi maatalouskoneissa.

Usein korjaus- ja kunnossapitotöissä joudutaankin jousiterästen hitsausongelmien eteen. Kuitenkin jousiteräksiä ei pidä käyttää kantaviin rakenteisiin.

IMATRA-jousiteräksiä lajit MS 416 ja MS 517 ovat piimanganiseosteisia. VC 510 on kromivanadiiniseosteinen. Terästen karkenevuus lisääntyy yllä olevassa järjestyksessä.

Lajit MS 517 ja VC 510 ovat niin karkenevia, ettei niiden hitsaamista suositella.

IMATRA MS 416:n hiilipitoisuus on noin 0,4 %, eikä sen seostus ole kovin runsas, joten se on rajoitetusti hitsattavissa.

Joskus saattaa esimerkiksi korjaustöissä tulla tarpeelliseksi karkenevampien jousiterästen MS 517 tai VC 510 hitsaus. Jos liitoksen lujuus ei ole oleellinen, esimerkiksi kiinnikehitsaus, voidaan käyttää austeniittista lisäainetta. Jäähdytyksen on tapahduttava hitaasti.

Suurta lujuutta tai kulumisenkestävyyttä edellyttäviin hitsattaviin rakenteisiin suositellaan lujia rakenneteräksiä tai booriteräksiä.

Lisäainesuositukset jousiteräksille

Teräslaji ja hitsausmenetelmä	Puikko & MAG-hitsaus	Suojakaasu	Huom.
IMATRA MS 416			
Puikkohitsaus	OK 55.00		Seostamaton puikko
	OK 75.75		
	Conarc 49		Seostamaton puikko
	Conarc 80		
MAG-hitsaus	OK Autrod 12.64	M21/M20 tai CO ₂	Seostamaton planka
	OK Aristorod 13.12	M21/M20 tai CO ₂	
	LNM 27	M21/M20 tai CO ₂	
	LNM 19	M21/M20 tai CO ₂	
IMATRA MS 517, IMATRA VC 510			
Puikkohitsaus	OK 67.45		Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK 67.70		Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK 68.82		Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK 75.75		
	Arosta 307		Austeniittinen ruostumaton puikko
	Arosta 309Mo		Austeniittinen ruostumaton puikko
	Limarosta 312		Austeniittinen ruostumaton puikko
	Conarc 80		
MAG-hitsaus	OK Autrod 309L	M12/M13	Austeniittinen ruostumaton puikko
	OK Autrod 16.95	M12/M13	Austeniittinen ruostumaton puikko
	LNM 309LSi	M12/M13	Austeniittinen ruostumaton lanka
	LNM 307	M12/M13	Austeniittinen ruostumaton lanka

Työlämpötilat ja jälkilämpökäsittelyt jousiteräksille

Teräslaji	Työlämpötila, °C	Jälkilämpökäsittely, °C	Huom.
IMATRA MS 416	100-200	Myöstö tarvittaessa	
IMATRA MS 517 IMATRA VC 510	600-650	Nuorutus, jos mahdollista	Hidas jäähdytys työlämpötilasta

Jousiterästen lämpökäsittelyjä

Käsittely	Lämpötila, °C	Pitoaika täydessä lämmössä, tuntia	Jäähdytys
IMATRA MS 416, IMATRA MS 517			
Nuorutus			
- karkaisu	850-870	0,5	Sammutus veteen
- päästö	450-650	0,5-1	Vapaasti ilmassa
Myöstö	400-600	1-2	Hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa
IMATRA MS 510			
Nuorutus			
-karkaisu	830-890	0,5	Sammutus veteen
- päästö	450-650	0,5-1	Vapaasti ilmassa
Myöstö	400-600	1-2	Hitaasti 450 °C:een, minkä jälkeen ilmassa

9. ONGELMATERÄSTEN HITSAUS KORJAUSTÖISSÄ

Korjaus- ja kunnossapitotöissä saataan joutua hitsamaan teräksiä, jotka koostumuksensa tai lujuutensa vuoksi ovat huonosti hitsattavia tai joiden alkuperää ei edes tunneta. Olosuhteet ovat usein hitsauksen kannalta epäedulliset. Kappaleet ja rakenteet voivat olla niin suuria, ettei niitä voida lämpökäsitellä.

Tällaiset hitsattavat kappaleet voivat olla esimerkiksi hammaspyöriä, akseleita ja muita koneenosia, kulutusosia sekä työkaluja.

Ongelmateräksillä tässä esityksessä tarkoitetaan mm. runsashiilisiä, nuorutus-, jousi-, hiiletys-, ja kulutusta kestäviä teräksiä. Luvussa "esimerkkejä Ovakon terästen hitsauksesta" käsitellään myös muutamia tällaisia tapauksia.

Ensimmäinen tehtävä ongelmaterästen hitsauksessa on selvittää teräksen hitsattavuus. Asia on yksinkertainen, jos kappaleen tai rakenteen koostumuksesta tai lujuudesta ovat tiedot olemassa, esimerkiksi piirustus tai ainestodistus. Tuntemattoman aineen koostumusta ja lujuutta voidaan selvittää esimerkiksi kipinäkokeella ja kovuusmittauksella. Kriittisissä tapauksissa on syytä pyrkiä analysoimaan teräs esimerkiksi koepalasta.

Jos kappaleen koostumus on sellainen, että sen hitsausta on käsitelty edellä olevissa teräslajikohtaisissa ohjeissa, on niitä pyrittävä noudattamaan mahdollisuuksien mukaan.

Hitsauslisäaine on valittava niin, että se tuo mahdollisimman vähän vetyä ja on hitsattavaa materiaalia sitkeämpää, vähentäen siten jännityksiä perusaineen muutosvyöhykkeellä.

Käyttämällä kuivattuja emäksisiä seostamattomia puikkoja saadaan melko sitkeä ja pehmeä hitsi. Seostamattomilla puikoilla hitsattaessa on korotettua työlämpötilaa syytä käyttää mahdollisuuksien mukaan.

Monia vuosia näitä teräksiä on korjaustöissä hitsattu austeniittisilla ruostumattomilla lisäaineilla, mikä on todettu erinomaiseksi menetelmäksi, koska lämpökäsittelyt voidaan jättää yleensä pois pienemmän kylmähalkeluriskin ja sitkeän hitsiaineen ansiosta. Tällaisina korjaushitsauslisäaineina on käytetty useita erilaisia austeniittisiä tai austeniittis-ferriittisiä seostyyppisiä.

Austeniittisen lisäaineen suurin ansio on, että austeniittinen hitsiaine pystyy liuottamaan suurimman osan vedystä liuoksessaan ilman sen diffuonitumista muutosvyöhykkeellä, jonne

martensiittia on muodostunut. Lisäaineen koostumus on myös suunniteltu sellaiseksi, että hitsiaineeseen voi seostua paljon ferriittia ilman halkeiluaran mikrorakenteen muodostumista.

Yleisin korjaushitsauksessa käytetty lisäainetyyppi on 29 % Cr – 9 % Ni, jonka koostumus johtaa austeniittis-ferriittiseen rakenteeseen. Hitsiaineen myötölujuus on n. 600 N/mm², murtolujuus n. 700 N/mm² ja kovuus 250 HB. Tällaisia lisäaineita ovat mm. OK 68.81, OK 68.82 ja Limarosta 312, taulukko 2.

Austeniittisen tai austeniittis-ferriittisen lisäaineen käyttö ei tietenkään estä perusaineen muutosvyöhykkeen mahdollista karkenemistä. Korotettu työlämpötila pienentää perusaineen karkenemismahdollisuuksia, mutta huonontaa hitsiaineen ominaisuuksia. Yleensä hitsaus tehdään kylmänä.

18Cr/8Ni/6Mo	OK 67.45, OK Autrod 16.95, OK Tubrodur 14.71
	Arosta 307, LNM 307
23Cr/13Ni	OK 67.60, OK Autrod 309LSi, Shield-Bright 309L X-tra
	Limarosta 309S, LNM 309LSi, Cor-A-Rosta 309L
23Cr/13Ni/3Mo	OK 67.70, OK Autrod 309MoL, Shield-Bright 309LMo X-tra
	Arosta 309Mo, Cor-A-Rosta 309MoL
29Cr/9Ni	OK 68.81 ja 68.82, OK Autrod 312
	Limarosta 312
65Ni/15Cr-Fe-Mn	OK 92.26, OK Autrod 19.85
	NiCro 70/15Mn, LNM NiCro 70/19

Taulukko 2. Käytetyimmät lisäaineet korjaustöissä

10. SEOSTAMATTOMAN JA RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN LIITOSHITSAUS

Seostamattoman ja ruostumattoman teräksen liitoshitsaus suoritetaan yleensä ns. yliseostetulla ruostumattomalla lisäaineella. Yliseostetussa lisäaineessa on enemmän kromia ja nikkeliä, jotta sillä on varaa "laimentua" sekoittuessaan seostamattomaan teräkseen.

Lisäaine valitaan siten, että seuraavia haitallisia ilmiöitä ei pääse syntymään: kylmähalkeama, ferriitin rakeenkasvu, sigmahauraus tai kuumahalkeama.

Lisäaineen valinnassa voidaan käyttää apuna sivulla 41 kuvassa 19 esitettyä Schaefferin kuviota. Se esittää teräksen mikrorakenteen riippuvuuden Cr- ja Ni-ekvivalenteista.

Edellä esitetyt haitalliset ilmiöt voidaan välttää valitsemalla lisäaine siten, että hitsiaineen mikrorakenne osuu kuvan 19 tummennetulle vyöhykkeelle. Valintaan vaikuttavat perusaineiden koostumuksen lisäksi lisäaineen koostumus ja sekoittumisaste. Sekoittumisaste ilmoittaa kuinka paljon perusainetta sekoittuu hitsiaineeseen. Tyypillisiä sekoittumisasteita ovat:

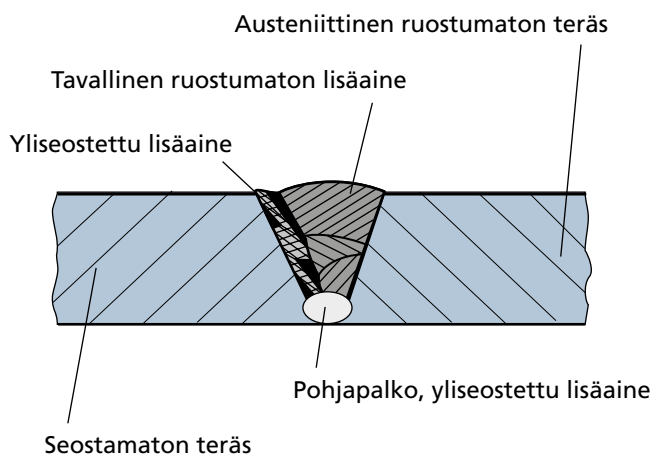
Pulssi-MIG/MAG	10-20 %
MIG/MAG	20-30 %
Puikko	20-35 %
TIG	20-60 %
Jauhekaari	40-70 %

Mainitut luvut ovat suuntaa antavia, sillä sekoittumiseen vaikuttaa hitsausprosessin lisäksi esikuumennus, railomuoto, ainepaksuus, lisäaineen halkaisija, hitsausvirta, napaisuus, kaarijännite, hitsausnopeus ja valokaaren suuntaus.

Syntyvän hitsiaineen mikrorakenne löytyy janalta, joka yhdistää perusaineiden yhdistysrajan keskipisteen ja lisäaineen paikan, kun sekoittumisaste tunnetaan.

Seostamaton ja ruostumaton teräs voidaan hitsata yliseostetulla lisäaineella koko railotilavuudeltaan tai seostamattoman perusaineen railopintaan voidaan hitsata puskurointi-kerros yliseostetulla lisäaineelle, jolloin

loppurailo voidaan hitsata ruostumattoman perusaineen mukaisella lisäaineella, kuva 18.



Kuva 18. Seostamattoman ja ruostumattoman teräksen liitoshitsaus puskurointimenetelmällä

Käytetyimmät lisäaineet ovat ns. yliseostettua tyyppiä:

23Cr/13Ni/3Mo	OK 67.70	Arosta 309Mo
23Cr/13Ni	OK 67.75	Limarosta 309S
18Cr/8Ni/6Mn	OK 67.45	Arosta 307
29Cr/9Ni	OK 68.82	Limarosta 312

10.1 Käyttöesimerkki

Liitetään lujaan rakenneteräkseen IMATRA EL 400 haponkestävää terästä tyyppiä 18/12/3 (AISI 316). Tarkastellaan lisäaineita OK 48.00, OK 64.30 ja OK 67.70. Näistä ensimmäinen vastaa koostumukseltaan rakenneterästä, toinen haponkestävää terästä ja kolmas on ns. yliseostettu lisäaine.

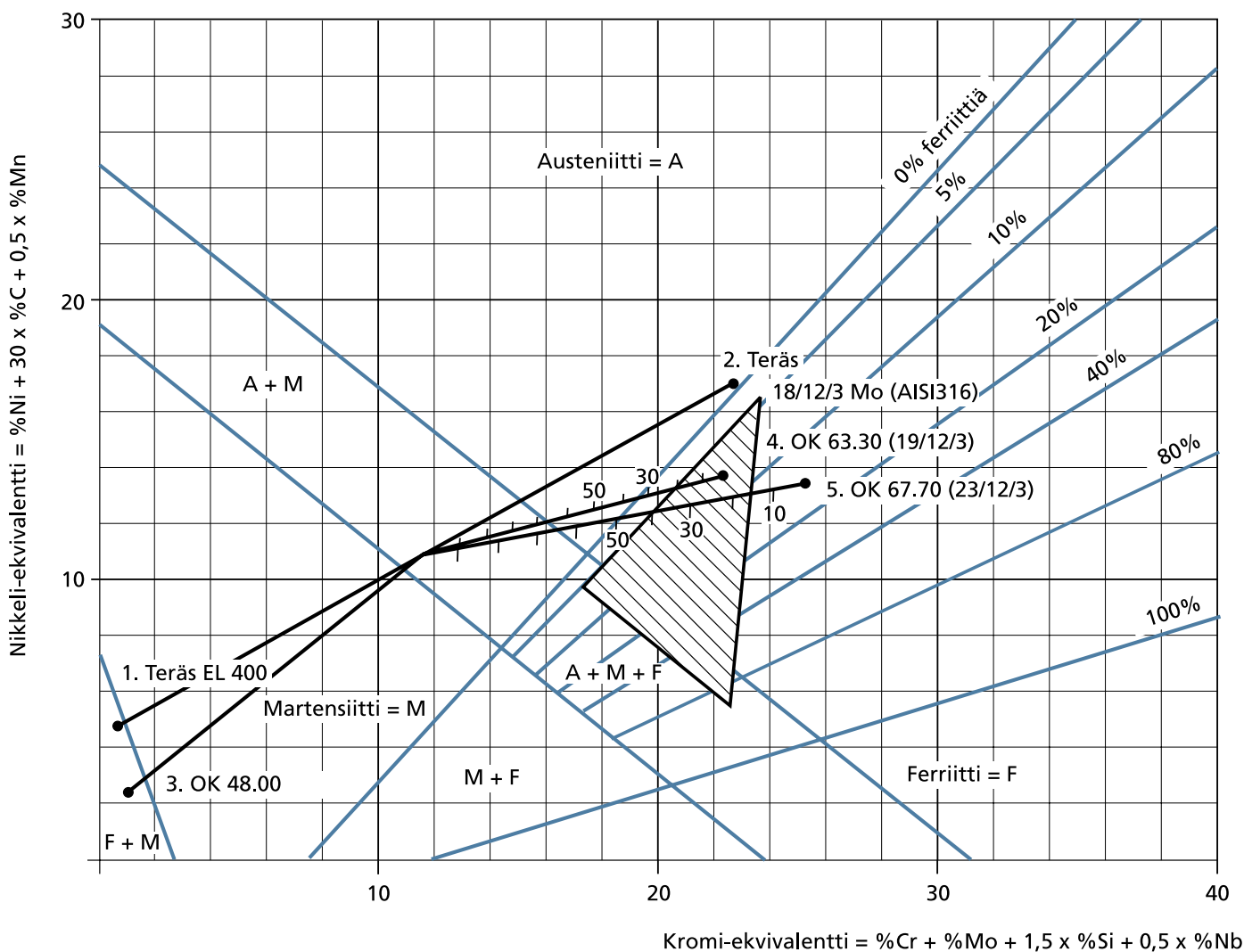
Vaikka esimerkissä on tarkasteltu "mustana" teräksenä lujaa rakenneterästä IMATRA EL 400, sama tarkastelu lopputuloksineen soveltuu useimmille seostamattomille ja niukaseosteisille teräksille.

Schaefflerin kuviossa pisteet 1 ja 2 vastaavat perusaineiden Cr- ja Ni-ekvivalentteja, pisteet 3,4 ja 5 lisäaineiden ekvivalentteja, edellä mainitussa järjestyksessä.

Kun janan (1,2) keskipistettä yhdistetään pisteisiin 3,4 ja 5, havaitaan, että lisäaine OK 48.00 ei osu ollenkaan kuvion keskellä olevan kolmion alueelle. Hitsin rakenne on kovaa ja haurasta martensiittia, joka halkeilee helposti.

Lisäaineella OK 63.30 kolmioon osuu sekoittumisaste 0-25 % sekä lisäaineella OK 67.70 sekoittumisaste 15-40 %.

Havaitaan, että puikolla 67.70 voidaan välttää haitalliset mikrorakenteet. Puikolla 63.30 saattaa syntyä haitallisia mikrorakenteita, eikä tulos ole luotettava.



Kuva 19. Schaefflerin kuvio

11. KOVAHITSAUS

Kovahitsaus on kuluneiden ja kulutukselle alttiiksi tulevien pintojen päällehitsausta sellaisella lisäaineella, joka tekee nämä pinnat yhtä kestäviksi tai kestävämmiksi kuin rakenteen alkuperäinen aine. Menetelmää käytetään sekä vanhojen käytössä olevien rakenteiden korjaamiseen että uusien valmistamisessa. Kovahitsauksen tarkoituksena on

- antaa kuluneelle kappaleelle sen alkuperäiset mitat. Tällä tavalla uusitun kappaleen käyttöikä voi olla yhtä pitkä kuin alkuperäisen kappaleen
- helpottaa vaikeamuotoisten kappaleiden valmistusta. Rakenteet, joita on vaikea valmistaa kokonaan kulumisenkestävästä metalliseoksesta, voidaan tehdä siten, että niiden runko valmistetaan helposti käsiteltävästä teräksestä ja erikoisia ominaisuuksia vaativat rakennekohdat kovahitsiaineesta

Kovahitsauspuikkoja ja -lankoja on montaa eri lajia ja niiden luonne on kovin vaihteleva. Valinta tehdään tavallisimmin vallitsevan kulutusvaikutuksen, hitsiaineen kovuuden ja kulumiskestävyyden perusteella. Lisäksi

on otettava huomioon hitsiaineen päästönkestävyys, syöpymiskestävyys, hilseilynkestävyys jne.

Usein samassa käyttökohteessa esiintyy useita kulutusmekanismeja, jotka asettavat vastakkaisuuntaisia vaatimuksia materiaalille. Hyvään hankauskestävyyteen esim. on vaikea yhdistää hyvää iskun-, kuumen- ja korroosionkestävyyttä. Tämän takia kovahitsausaineita on hyvin erilaisia ja tiettyjen ominaisuuksien saavuttamiseksi on jouduttu tinkimään toisista. Jotkut lisäaineet ovat useiden vaatimusten kompromisseja.

Taulukko 3 antaa yleiskuvan eräiden kovahitsauslisäaineiden ominaisuuksista. Standardissa SFS-EN 14700 (2005) on käsitelty eri lisäaineiden soveltuvuutta erilaisiin kulumiskohteisiin tarkemmin.

Hitsauksen ajan on yleensä suotavaa pitää hitsauskohteen lämpötila (=työlämpötila) alueella 200-500 °C, jotta hitsausaineeseen ei syntyisi halkeamia. Ohjeet työlämpötilan valintaa varten saadaan lisäainetoimittajien luetteloista.

Seostamattoman teräksen päällehitsauksessa on muistettava, että hitsauksessa tapahtuu laimenemista ja haluttua kovuutta ei saada ensimmäiseen palkkerrokseen

Työkalujen ja vastaavien kone-elimien korjaushitsauksissa saattaa esiintyä vaikeuksia, koska rakenneaineet ovat yleensä helposti karkenevia ja tavallisesti myös karkaistuja. Ennen hitsausta on aina ensin varmintä selvittää teräksen koostumus, kovuus sekä mahdollinen lämpökäsittely. Vastaa sitten määrittämään hitsausolosuhteet: sopiva työlämpötila, sopiva hehkutus-tapa hitsattavaksi tekemiseksi, mahdollinen lämpökäsittely hitsauksen jälkeen tai etappihitsaustapa.

Hitsattavan kappaleen koolla on merkitystä työlämpötilaa määrittäessä. Pienet kappaleet kuumentuvat valokaaren lämmöstä riittävästi, joskus jopa niin, että kappale tulee punahehkuiseksi. Tällöin on syytä antaa kappaleen hieman jäähtyä ennen työ jatkamista, sillä hitsattaessa liian kuumana saattaa hitsiaineen kovuus ja iskusitkeys alentua.

	← HANKAUSKESTÄVYYS →																									
PIENI		SUURI																								
<p>Mn-teräkset</p> <p>OK 86.08 OK 86.28 OK 86.30 OK Tubrodur 15.60 OK Tubrodur 15.65 Wearshield Magjet Wearshield15CrMn Lincore M Lincore 15CrMn</p>	<p>Martensiittiset teräkset</p> <table border="0"> <tr> <td>30-50 HRC</td> <td>>50 HRC</td> </tr> <tr> <td>OK 83.27</td> <td>OK 83.50</td> </tr> <tr> <td>OK 86.28</td> <td>OK 83.65</td> </tr> <tr> <td>OK 83.29</td> <td>OK 84.58</td> </tr> <tr> <td>OK Autrod 13.89</td> <td>OK Tubrodur 15.52</td> </tr> <tr> <td>OK Tubrodur 15.43</td> <td>OK Autrod 13.90</td> </tr> <tr> <td>OK Tubrodur 15.40</td> <td>OK Autrod 13.91</td> </tr> <tr> <td>OK Tubrodur 15.42</td> <td>OK Tubrodur 15.40</td> </tr> <tr> <td>Wearshield BU-30</td> <td>Wearshield MM</td> </tr> <tr> <td>Wearshield MM 40</td> <td>Wearshield MI</td> </tr> <tr> <td>Lincore 33</td> <td>Lincore 55</td> </tr> <tr> <td>Lincore 40-0</td> <td></td> </tr> </table>	30-50 HRC	>50 HRC	OK 83.27	OK 83.50	OK 86.28	OK 83.65	OK 83.29	OK 84.58	OK Autrod 13.89	OK Tubrodur 15.52	OK Tubrodur 15.43	OK Autrod 13.90	OK Tubrodur 15.40	OK Autrod 13.91	OK Tubrodur 15.42	OK Tubrodur 15.40	Wearshield BU-30	Wearshield MM	Wearshield MM 40	Wearshield MI	Lincore 33	Lincore 55	Lincore 40-0		<p>Karbidiseokset</p> <p>OK 84.84 OK Tubrodur 15.80 OK Tubrodur 15.81 Wearshiekl 50 MC Wearshield 60 Wearshield 70 Lincore M Lincore 65-O</p>
30-50 HRC	>50 HRC																									
OK 83.27	OK 83.50																									
OK 86.28	OK 83.65																									
OK 83.29	OK 84.58																									
OK Autrod 13.89	OK Tubrodur 15.52																									
OK Tubrodur 15.43	OK Autrod 13.90																									
OK Tubrodur 15.40	OK Autrod 13.91																									
OK Tubrodur 15.42	OK Tubrodur 15.40																									
Wearshield BU-30	Wearshield MM																									
Wearshield MM 40	Wearshield MI																									
Lincore 33	Lincore 55																									
Lincore 40-0																										
<p>PIENI</p> <p>↑</p> <p>KUUMUDEN</p> <p>JA</p> <p>KORROOSION</p> <p>KESTÄVYYS</p> <p>↓</p> <p>SUURI</p>	<p>Karbidiseokset</p> <p>OK 84.42 OK 84.52 OK Tubrodur 15.73 Wearshield 420 Lincore 420</p>	<p>Karbidiseokset</p> <p>OK 84.78 OK 84.80 OK Tubrodur 14.70 Wearshield ME Wearshield 44 Lincore 60-O</p>																								
	<p>Austeniittiset teräkset</p> <table border="0"> <tr> <td>OK 67.45</td> <td>OK Autrod 16.95</td> </tr> <tr> <td>OK 67.52</td> <td>OK Tubrodur 14.71</td> </tr> <tr> <td>OK 68.81</td> <td>Wearshield MM</td> </tr> <tr> <td>OK 68.82</td> <td>Lincore 50</td> </tr> <tr> <td>Arosta 307</td> <td>LNM 307</td> </tr> <tr> <td>Jungo 307</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Limarosta 312</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Wearshield ABR</td> <td></td> </tr> </table>	OK 67.45	OK Autrod 16.95	OK 67.52	OK Tubrodur 14.71	OK 68.81	Wearshield MM	OK 68.82	Lincore 50	Arosta 307	LNM 307	Jungo 307		Limarosta 312		Wearshield ABR		<p>Työkaluteräkset</p> <p>OK 85.65 Wearshield T & D Lincore T & D</p>								
OK 67.45	OK Autrod 16.95																									
OK 67.52	OK Tubrodur 14.71																									
OK 68.81	Wearshield MM																									
OK 68.82	Lincore 50																									
Arosta 307	LNM 307																									
Jungo 307																										
Limarosta 312																										
Wearshield ABR																										
<p>Ni-pohjaiset</p> <p>OK 92.26 OK 92.35 OK Autrod 19.85 OK Autrod 19.82 NiCro 70/15Mn NiCroMo 59/23 LNM NiCro 70/19 NLM NiCroMo 59/23</p>		<p>Co-pohjaiset</p> <p>OK Tubrodur 15.86</p>																								
SUURI	← HANKAUSKESTÄVYYS →	PIENI																								

Taulukko 3. Kovahitsauslisäaineet

12. ESIMERKKEJÄ OVAKON TERÄSTEN HITSAUKSESTA

Esimerkkien valinnassa on pyritty monipuolisuuteen esittelemällä erilaisten hitsausongelmien ratkaisuja. Vaikka ne kaikki on toteutettu käytännössä, ei paras tulos ole välttämättä tässä esitetty. Esimerkkien yhtenä tarkoituksena onkin antaa ideoita ja virikkeitä yhä tarkoituksenmukaisempien hitsausliitosten tekemiseen.

Esimerkeistä osa on puhtaasti kunnossapitotapauksia, jolloin perusaineiden materiaalivalinnat voivat olla hitsauksen kannalta varsin huonoja. Vaikka materiaalin valintaan kuuluu myös hitsattavuuden arviointi ko. esimerkkejä on tarkasteltava kriittisesti eikä esitteen tätä jaksoa pidä lukea materiaalinvalintaa ohjaavana.

Terästen ominaisuuksia ja käyttöä on käsitelty perusteellisemmin Ovakon teräsesitteissä.

Hitsausliitosten suunnittelusta ja lujuuslaskennasta on julkaistu lukuisia teoksia ja kirjoituksia. Paineastioiden hitsaus on tehtävä viranomaisten määräysten ja SFS-standardien mukaisesti. Terästen yleiset railomuodot ja niiden suunnittelu esitetään standardissa SFS-EN ISO 9692-1 (2004).

Teräslajikohtaisten ohjeiden lisäksi on syytä ottaa huomioon seuraavat yleisohjeet.

- Lisäaineen lujuus varsinkin lujia teräksiä ja jäykkiä rakenteita hitsattaessa on yleensä edullista valita hieman pehmeämmäksi kuin perusaine tai korkeintaan yhtä lujaksi.
- Eri teräslajien yhteenhitsauksessa työlämpötila määräytyy yhdistetyn ainepaksuuden mukaan, olettaen koko teräksen olevan karkenevampaa terästä.
- Työlämpötilan 200 °C ylittäminen aiheuttaa karkaistuissa teräksissä pehmenemisen ja lämpötilaväli 200-350 °C sitkeyden alenemista.
- Kriittisissä tapauksissa korotettua työlämpötilaa on hyvä pitää yllä vielä 1-2 tuntia hitsauksen jälkeen, jotta vedyllä olisi aikaa poistua hitsistä ja perusaineen muutosvyöhykkeestä.

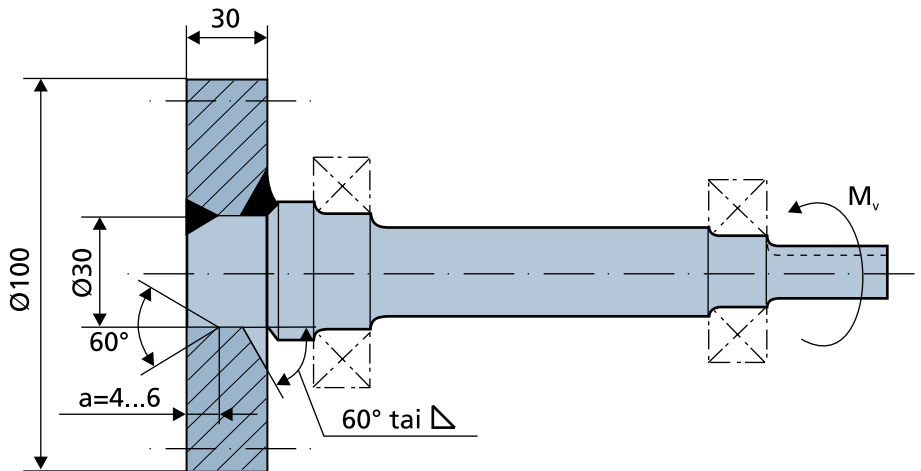
- Erityisesti jos hitsattavat rakenteet ovat jäykkiä, on syytä suorittaa jännitystenpoistohehkutus eli myöstö. Oikein tehty myöstö vähentää jäännösjännityksiä, parantaa hitsin väsymislujuutta ja sitkeyttä sekä varmistaa rakenteen mittojen säilyvyyttä työstössä ja käytössä.
- Normalisointia, nuorrutusta tai muuta teräslajille sopivaa lämpökäsittelyä voidaan myös käyttää hitsauksen jälkeisenä lämpökäsittelynä. Normalisointi parantaa erityisesti iskusitkeyttä.

Koska hitsausliitoksen onnistuminen on aina monen osatekijän summa, muistettakoon, että vastuu kelvollisesta liitoksesta on sekä suunnittelijalla että työn tekijällä ja valvojalla.

12.1 Laippa-akseli

Rakenneaineet

	Laippa	Akseli
A	Koneteräs IMATRA 520	Koneteräs IMATRA 520 tai Kylmävedetty koneteräs IMATRA 550
B	Koneteräs IMATRA 520	Nuorrutusteräs MoC 210 M
C	Hiiletysteräs MoCN 206 M	Nuorrutusteräs MoC 210 M



	Lisäaineet	Työlämpötila	Lämpökäsittelyt	
A	Puikko	OK 48.00 Conarc 48	Kuvan mitoituksen mukaisia laippa-akseleita voidaan hitsata korottamatta työlämpötilaa. Suuremmilla ainepak-suuksilla työlämpötilan korottamisen tarve määräytyy yhdistetyn ainepak-suuden perusteella	Laippa voidaan hiiletyskarkaista.
	Lanka	OK Autrod 12.51 LNM 26		
	Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂		
B	Puikko	OK 74.78 Conarc 60G	150-200 °C	Myöstö 550-600 °C
	Lanka	OK Aristorod 13.12 LNM 19		
	Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂		
C	Puikko	OK 74.78 Conarc 60G	200-250 °C	Laipan hiiletyskarkaisu ennen hitsausta.
	Lanka	OK Aristorod 13.12 LNM 19		
	Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂		

Railot tehdään sorvaamalla. Mitta määräytyy lujuusvaatimuksen eli vääntömomentin M_v perusteella. Akselin puoleisessa päässä voi olla pienahitsi, ellei lujuusvaatimus edellytä puoli-V-railoa.

Hitsauksen jälkeistä jäähtymistä voidaan hidastaa lämpöeristyksellä. Jos laipasta valmistetaan hammaspyörä, se hiiletyskarkaistaan ennen hitsausta.

Hitsattavat kohdat suojataan hiiletyskarkaisella.

Hienosorvaus ja mahdollinen hionta tehdään hitsauksen jälkeen.

Vaihtoehdossa A kylmävedetty koneteräs IMATRA 550 pehmenee hitsauslämmön vaikutuksesta. Myötöraja alenee tällöin noin 350 N/mm²:iin.

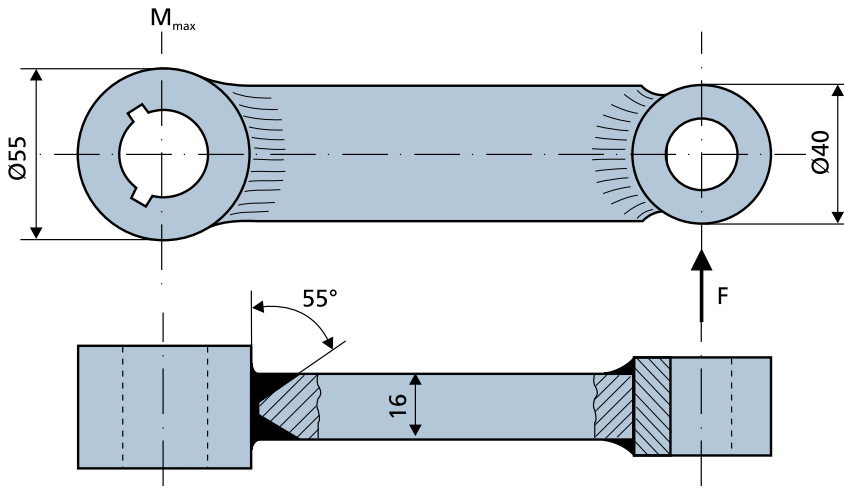
Nuorrutettu MoC 210 M päästyy, jos laippa-akselia hehkutetaan alkupe-
räisen päästölämpötilan yläpuolella. Hiiletyskarkaistut hampaat pehmenevät, jos ne kuumenevat yli 250 °C.

12.2 Vääntövarsi

Rakenneaineet		
A	Varsi	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
	Navat	Kylmävedetty koneteräs IMATRA 550
B	Varsi	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
	Navat	Nuorrutusteräs IMACRO M

Lujuuden kannalta K-railo on edullisin. Kylmävedetty koneteräs IMATRA 550 pehmenee hitsauslämmön vaikutuksesta. Myötöraja alenee kuumennettavalla alueella noin 350 N/mm²:iin.

Hitsi on sijoitettava niin, ettei rakenteen lujuus tästä kärsi. Muut rakennetta heikentävät tekijät, esimerkiksi kiilaurat, on sijoitettava hitsin lämpövaikutuksen ulkopuolelle.

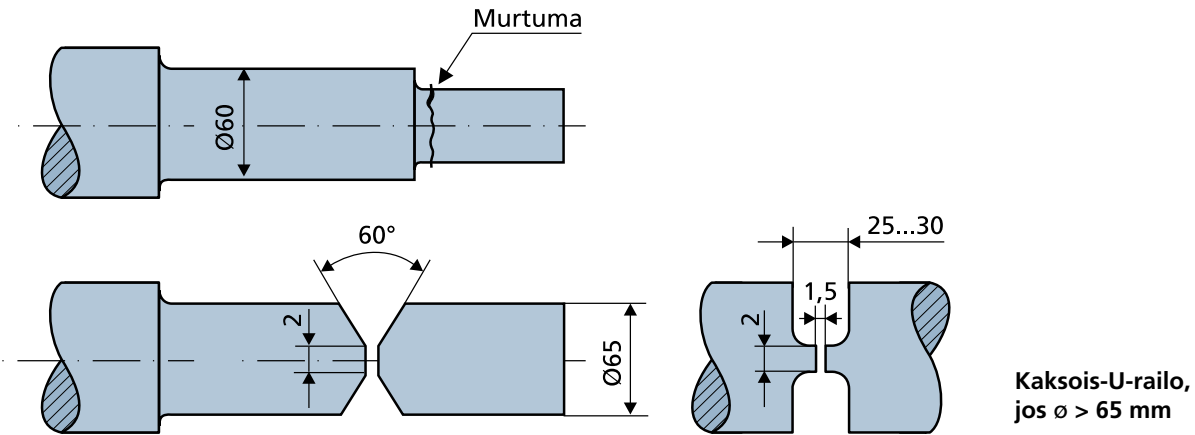


Lisäaineet		Työlämpötila
A	Puikko	OK 48.00 OK Femax 38.65 Conarc 48 Conarc V 180
	Lanka	OK Autrod 12.51 LNM 26
	Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂
B	Puikko	OK 74.78 Conarc 60G
	Lanka	OK Aristorod 13.12 LNM 19
	Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂

Kuvan mitoituksen mukaisia vääntövarsia voidaan hitsata korottamatta työlämpötilaa. Suuremmilla ainepaksuuksilla työlämpötilan korottamisen tarve määräytyy yhdistetyn ainepaksuuden perusteella.

12.3 Akselin korjaushitsaus

	Rakenneaineet
A	Nuorrutusteräs MoC 210 M
B	Nuorrutusteräs MoC 410 M
C	Koneteräs IMATRA 520
D	Kylmävedetty koneteräs IMATRA 550



	Lisäaineet		Työlämpötila	Lämpökäsittelyt
A	Pohjapalot	OK 48.00	150-200 °C	Myöstö 500-600 °C tai työlämpötilaa ylläpidettävä 2 tuntia hitsauksen jälkeen
		Conarc 48		
	Palkokerrokset	OK 74.78		
B	Pohjapalot	OK 48.00	400-450 °C	Myöstö 540-600 °C. Pitoaika 2 tuntia
		Conarc 48		
	Palkokerrokset	OK 75.75		
C	Pohjapalot	OK 48.00	150-200 °C	Lämpökäsittelyä ei tarvita
		Conarc 48		
D	Palkokerrokset	OK 48.00		
		Conarc 48		

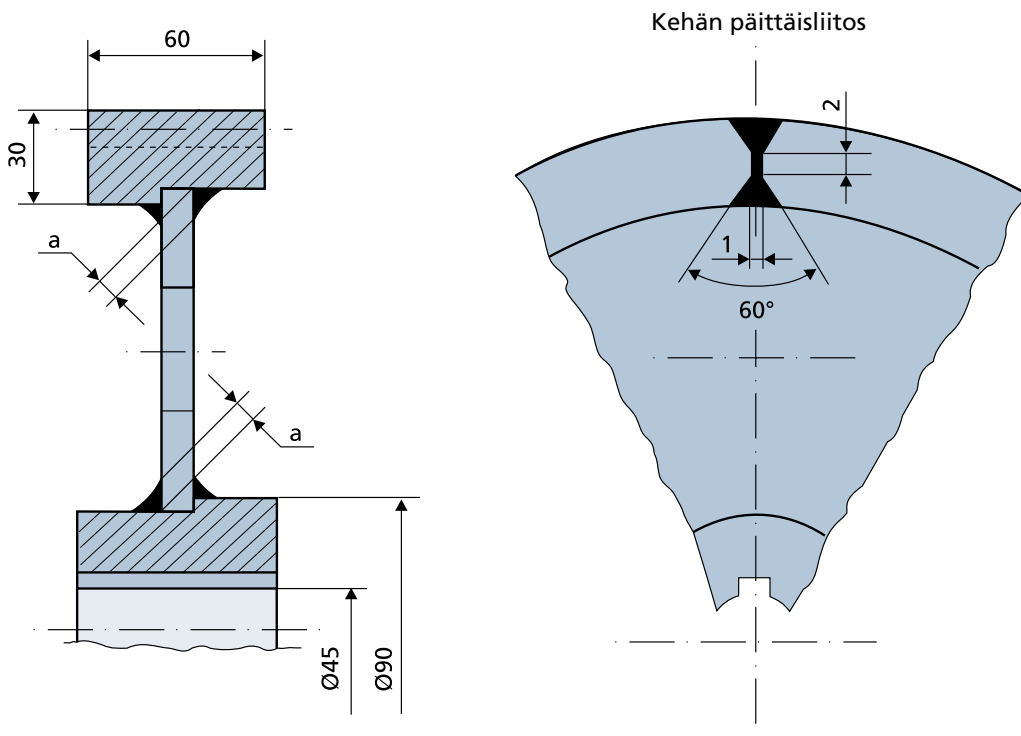
Akselista poistetaan tuhoutunut kohta. X-railo tarjoaa hyvän tuen hitsauksen aloitukselle. Jos railo tehdään polttoleikkaamalla, on kuona- ja hilsepinta puhdistettava hiomalla. Sorvattu kartiomainen railo tai X-railon 60 asteen kulman alitus saattaa aiheuttaa juurivirheitä tai kuumahalkeamia.

Palot hitsataan vuorottain kummallekin puolelle. Ensimmäinen juuripalko on avattava ennen vastakkaisen juuripalon hitsausta.

Esimerkkitapausta pienemmillä akselilla vaihtoehdoissa C ja D ei tarvita korotettua työlämpötilaa.

12.4 Hammaspyörä

Rakenneaineet	
Kehä	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
Laippa	Yleinen rakenneteräs S355J2
Napa	Koneteräs IMATRA 520



Lisäaineet		Lämpökäsittelyt
Puikko	OK 48.00	Myöstö 500-600 °C Pitoaika 2 tuntia
	Conarc 48	
Lanka	OK Autrod 12.51	
	LNM 26	
Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂	

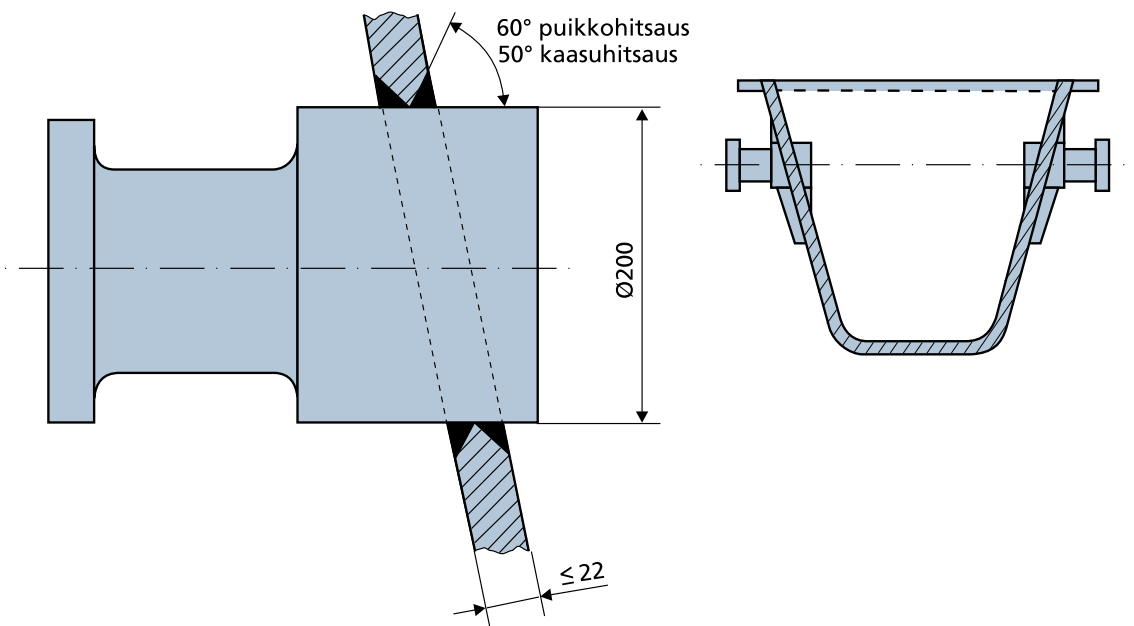
Kehän päittäisliitoksen X-railo tehdään koneistamalla. Pohjapalot hitsataan Ø 2 mm:n puikolla. Ensimmäisen pohjapalon juuri on avattava ja kuona poistettava huolellisesti. Vuorohitsaus on suositeltavaa.

Kaasukaarihitsauksessa käytetään pienennettyä railokulmaa 50°.

Laipan hitsien a-mitat määritellään lujuusvaatimusten mukaan.

12.5 Nostotappi säiliönvaippalevyyn

Rakenneaineet	
Nostotappi	Koneteräs IMATRA 520
Vaippalevy	Yleinen rakenneteräs S355J2



Lisäaineet		Lämpökäsittelyt
Puiikko	OK 48.00	150-200 °C
	Conarc 48	
Lanka	OK Autrod 12.51	
	LNM 26	
Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂	

Railo voidaan tehdä polttoleikkaamalla. Tällöin pintahilse on poistettava. Ohjetta pienempi railokulma saattaa aiheuttaa juurivirheitä pienempiläpimittäisiakin puiikkoja tai lankoja käytettäessä

Korotettu työlämpötila on tarpeellinen koska kylmä, massiivinen tappi jäähdyttäisi hitsin liian nopeasti ja saisi aikaan halkeamia.

Tunkeumaa voidaan parantaa suuntaamalla valokaari enemmän kohti tappia.

Jäähtyminen voi tapahtua vapaasti ilmassa. Jos tappi on pienempi, esimerkiksi Ø 100-150 mm, jäähtymistä on syytä hidastaa lämpöeristyksellä.

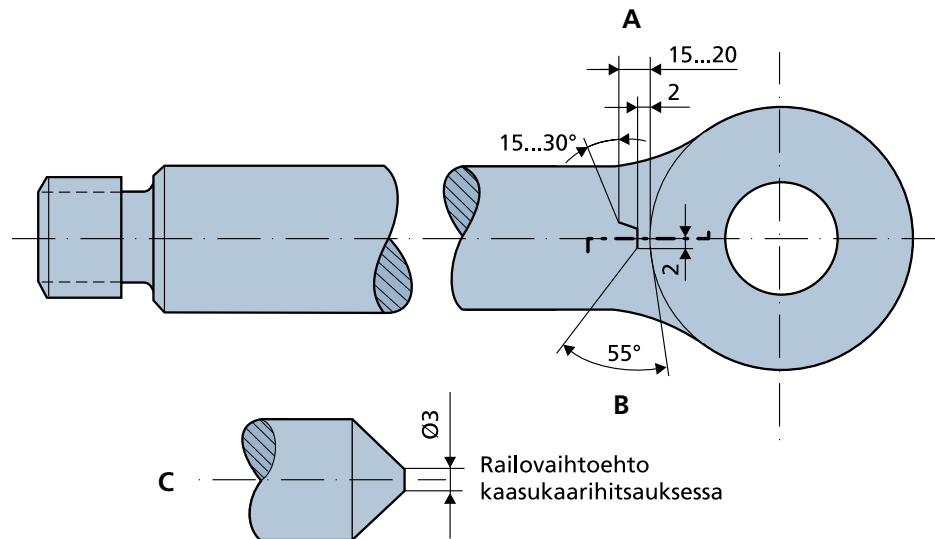
12.6 Männänvarsi

Rakenneaineet	
Varsi	Koneteräs IMATRA 520
Lenkki	Koneteräs IMATRA 520 tai Yleinen rakenneteräs S355J2

Varren halkaisijan d ollessa alle 45 mm, railo tehdään tylpän meisselin muotoiseksi (kuvassa alapuolinen railo B).

Halkaisijoille $d \geq 45$ mm käytetään yläpuolella kuvattua railoa A. Sorvattu teräväkärkinen railo ei ole suositeltavaa, koska juuri saattaa jäädä vajaaksi ja kuumahalkeamien ja huokosten vaara lisääntyy.

Kaasukaarihitsauksessa voidaan käyttää tylpän katkaistun kartion muotoista railoa C.



Railovaihtoehto kaasukaarihitsauksessa

Lisäaineet		Työlämpötila
Puikko	OK 48.00	150-200 °C, jos $d \geq 80$ mm
	OK Femax 38.65	
	Conarc 48	
Lanka	OK Autrod 12.64	
	LNM 27	
Suojakaasu	M21/M20 tai CO ₂	

Pohjapalot hitsataan $\varnothing 2,5$ mm:n puikolla. Ennen toisen puolen hitsausta on juuri avattava. Pohjapalon kuonaus on tehtävä huolellisesti. Hitsaus etenee vuorohitsauksena.

Ylemmissä paloissa voidaan käyttää paksumpia puikkoja hitsauksen nopeuttamiseksi.

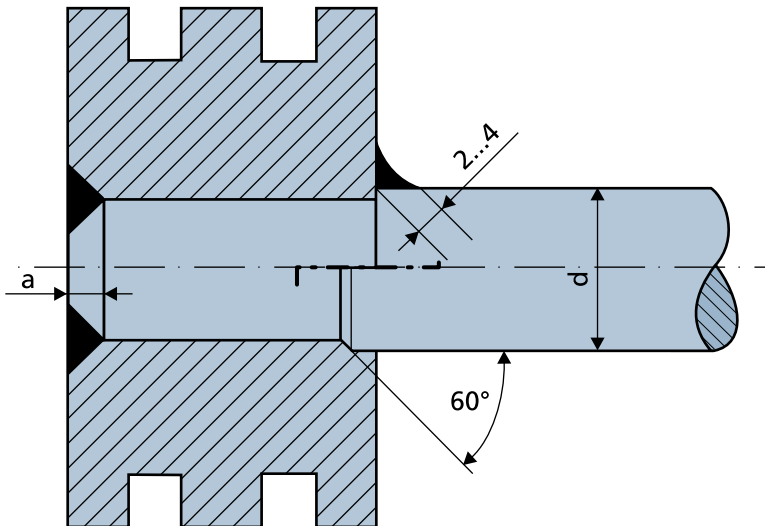
12.7 Mäntä

Rakenneaineet	
Mäntä	Koneteräs HYDAX 15
Varsi	Koneteräs IMATRA 520

Männän päässä olevan viisteen syvyys a määräytyy lujuusvaatimusten mukaan.

Varren puoleisen railon muoto valitaan männän toimintatavan mukaan

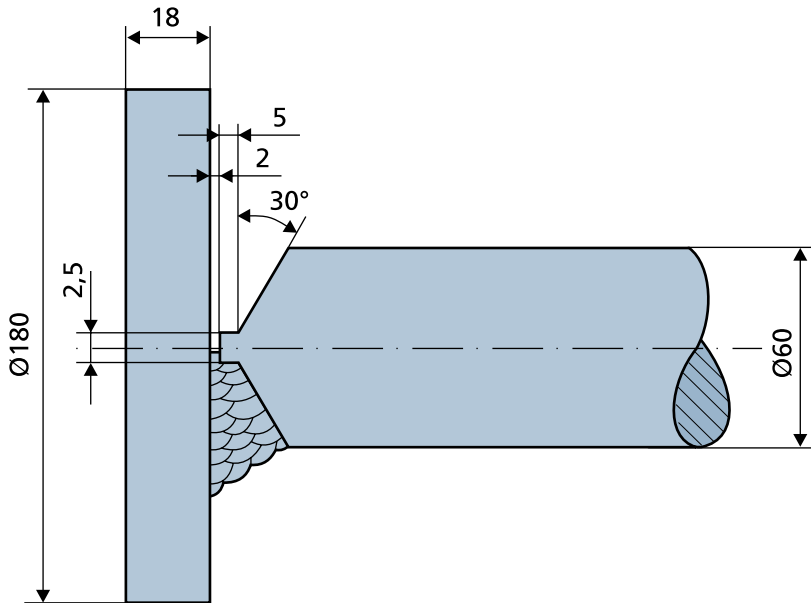
HYDAX 15 korotetun rikkihaittoisuuden vuoksi on pyrittävä käyttämään runsasmangaanista lisäainetta, pientä hitsausenergiaa ja kaasukaarihitsauksessa suojakaasuna argonia tai M20-seoskaasua.



Lisäaineet		Työlämpötila
Puikko	OK 55.00	150-200 °C, jos $d \geq 80$ mm
	Conarc 49	
Lanka	OK Autrod 12.64	
	LMN 27	
Suojakaasu	M20 tai Argon	

12.8 Venttiililautanen

Rakenneaineet		
A	Lautanen	Ruostumaton teräs 18/12/3 (AISI 316)
	Varsi	Ruostumaton teräs 18/12/3 (AISI 316)
B	Lautanen	Ruostumaton teräs 18/12/3 (AISI 316)
	Varsi	Koneteräs IMATRA 520



Railo työstetään tylpän meisselin muotoiseksi. Sorvatus kartiomaisen railon käyttö ei ole suositeltavaa, koska juuri saattaa täytyä epätäydellisesti ja lujuus näin alentua.

Pohjapalot hitsataan ohuilla puikoilla. Juuri avataan ja kuona poistetaan huolellisesti. Hitsaus jatkuu vuorohitsauksena.

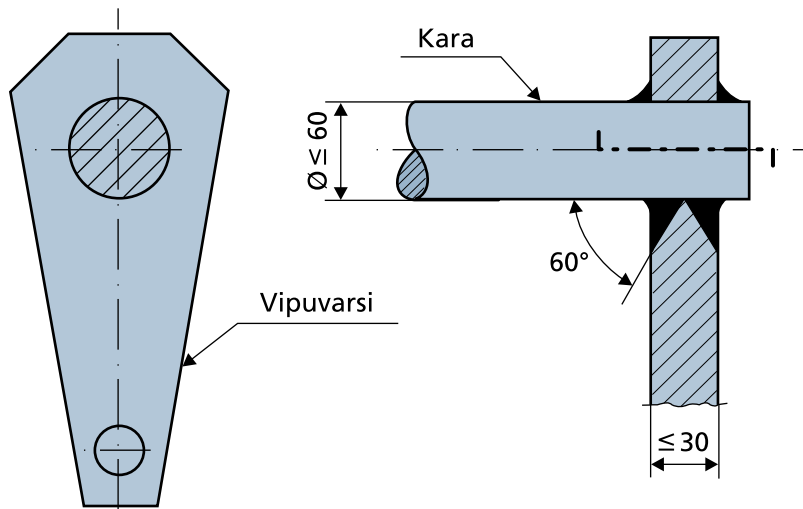
Lisäaineet			Työlämpötila
A	Puikko	OK 63.30	Ei korotettua työlämpötilaa.
		Limarosta 316L	
	Lanka	OK Autrod 316LSi	
		LNM 316LSi	
Suojakaasu	M12		
B	Puikko	OK 67.70*	Hitsin liiallista kuumenemista vältettävä.
		Arosta 309Mo*	
	Lanka	OK Autrod 309LSi*	
		LNM 309LSi*	
Suojakaasu	M12/M13		

Kappale on hitsattava mahdollisimman kylmänä. Tarvittaessa on hitsin annettava työn aikana jäähtyä.

* Varsinkin suuremmilla aineenpaksuuksilla kannattaa usein hitsata vain mustan teräksen pinta yliseostetulla lisäaineella ja jatkaa hitsausta kohdan A lisäaineilla

12.9 Ruostumattoman karan hitsaus vipuvarteeseen

Rakenneaineet		
A	Kara	Ruostumaton teräs 18/8 (AISI 304)
	Vipuvarsi	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
B	Kara	Ruostumaton teräs 18/12/3 (AISI 316)
	Vipuvarsi	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
C	Kara	Ruostumaton teräs 18/12/3 (AISI 316)
	Vipuvarsi	Ruostumaton teräs 18/8 (AISI 304)



Railo voi olla joko pienarailo (kuvassa karan yläpuolella) tai K-railo (alapuolella), lujuusvaatimuksesta riippuen.

Työlämpötila pidetään mahdollisimman alhaisena. Jos käytetään monipalkohitsausta, hitsin on annettava jäähtyä huoneen lämpötilaan palkojen välillä.

Hyvän korroosiokestävyyden edellytyksenä on huolellinen kuonaus, peittäus ja passivointi. Jos käytetään teräsharjaa, sen harjasten tulee olla ruostumatonta terästä. Hiomalaikka ei saa sisältää rautaa.

Lisäaineet			Työlämpötila
A	Puikko	OK 67.70	Ei korotettua työlämpötilaa. Hitsin liiallista kuumenemistä vältettävä.
		Arosta 309Mo	
	Lanka	OK Autrod 309LSi	
		LNM 309LSi	
Suojakaasu	M12/M13 tai Argon		
	Puikko	OK 67.70	
Arosta 309Mo			
B	Lanka	OK Autrod 316LSi	
		LNM 309LSi	
	Suojakaasu	M12	
C	Puikko	OK 63.30	
		Limarosta 316L	
	Lanka	OK Autrod 316LSi	
		LNM 309LSi	
Suojakaasu	M12		

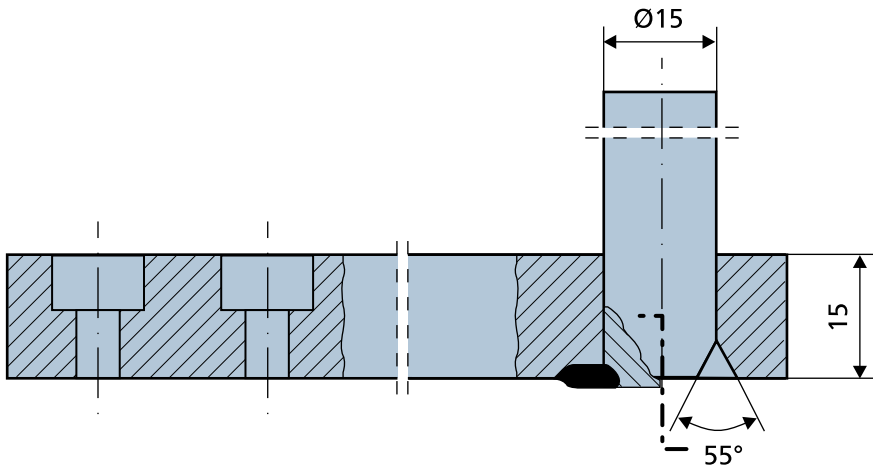
12.10 Ohjausnivel

Rakenneaineet	
Varsi	Luja rakenneteräs IMACRO EL 700
Tappi	Booriteräs BM 212

Railoksi voidaan valita pienarailo tai V-railo lujusvaatimuksen mukaan. Railon a-mitta määräytyy lujusvaatimusten mukaan. Railon työstön jälkeen karkaistaan tappi.

Lisäaineen myötölujuus 650 N/mm^2 on suunnilleen sama kuin IMACRO EL 700:n. Hitsauslämpö ei johdu pidemmälle tappiin, jonka kovuus säilyy muuttumattomana.

Katso myös IMACRON hitsauksen erityisohjeet, sivu 28.



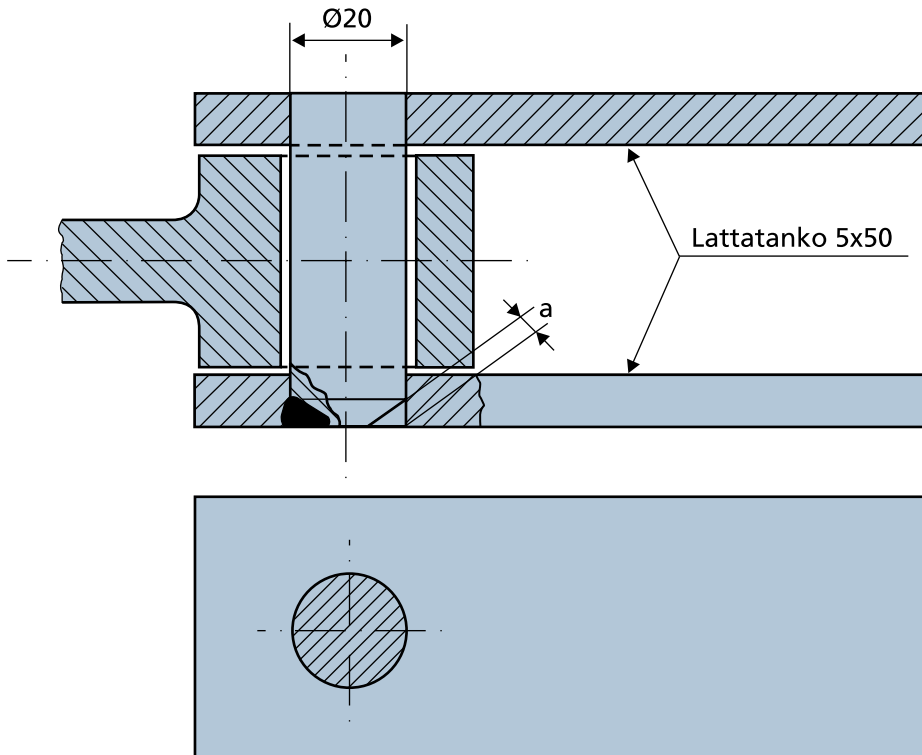
Lisäaineet		Työlämpötila
Puikko	OK 74.78	50-100 °C
	Conarc 60G	
Lanka	OK Aristorod 13.12	Korotettua työlämpötilaa ei tarvita.
	LNM 19	
Suojakaasu	M21/20	

12.11 Nivel

Rakenneaineet		
A	Sivulatta	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
	Akselitappi	Koneteräs IMATRA 520, hiiletyskarkaistu
B	Sivulatta	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
	Akselitappi	Booriteräs BM 212, karkaistu

Hiiletyskarkaistavasta tapista suojattava hitsattava kohta hiiletymiseltä.

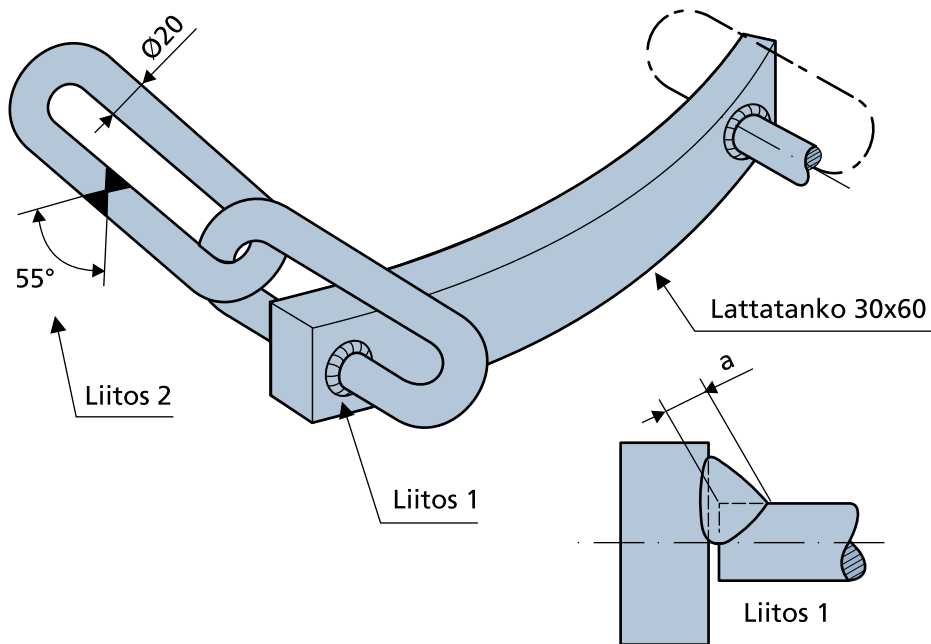
Hitsin a-mitta määräytyy lujuusvaatimusten mukaan.



Lisäaineet		
A	Puikko	OK 48.00
		Conarc 48
	Lanka	OK Autrod 12.51
		OK Tubrod 14.12
LNM 26, Outershield T55-H		
Suojakaasu	M21 tai CO2	
B	Puikko	OK 74.78
		Conarc 60G
	Lanka	OK Aristorod 13.12
		LNM 19
Suojakaasu	M21/M20	

12.12 Telalenkki A

Rakenneaineet	
Lenkki	Booriteräs BM 212, karkaistu
Kenkä	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400



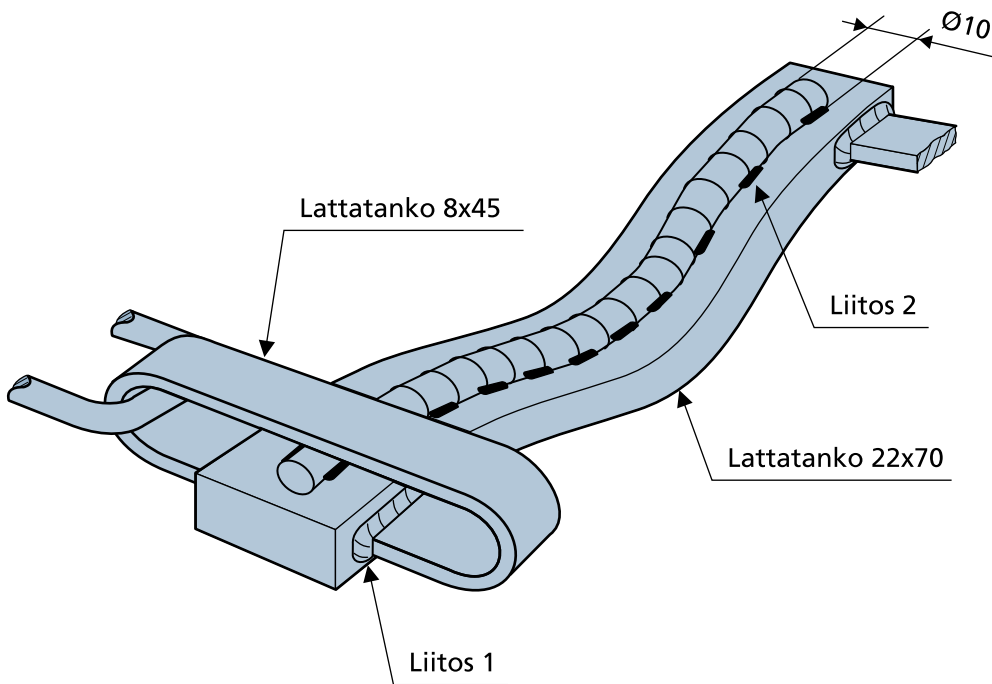
Lisäaineet		Työlämpötila
Puiikko	OK 74.78	50-100 °C liitoksessa 1
	Conarc 60G	
Lanka	OK Aristorod 13.12	Korotettua työlämpötilaa ei tarvita kaasukaarihitsauksessa.
	LNM 19	
Suojakaasu	M21/M20	

Liitoksessa 1 pienahitsin mitta a = 4-5 mm.

Liitoksessa 2 X-railo

12.13 Telalenkki B

Rakenneaineet	
Lenkki	Booriteräs BCM 311, karkaistu
Kenkä	Booriteräs BCM 311, karkaistu
Liukueste	Betoniteräs, harjatanko A 400 HW



Lisäaineet		Työlämpötila
Puikko	OK 74.78	50-100 °C
	Conarc 60G	
Lanka	OK Aristorod 13.12	
	LNM 19	
Suojakaasu	M21/M20	

Liitoksessa 1 pienahitsin mitta $a = 3-4$ mm. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää läpihitsautuvaa K-railoa, joka tehdään lenkkiin.

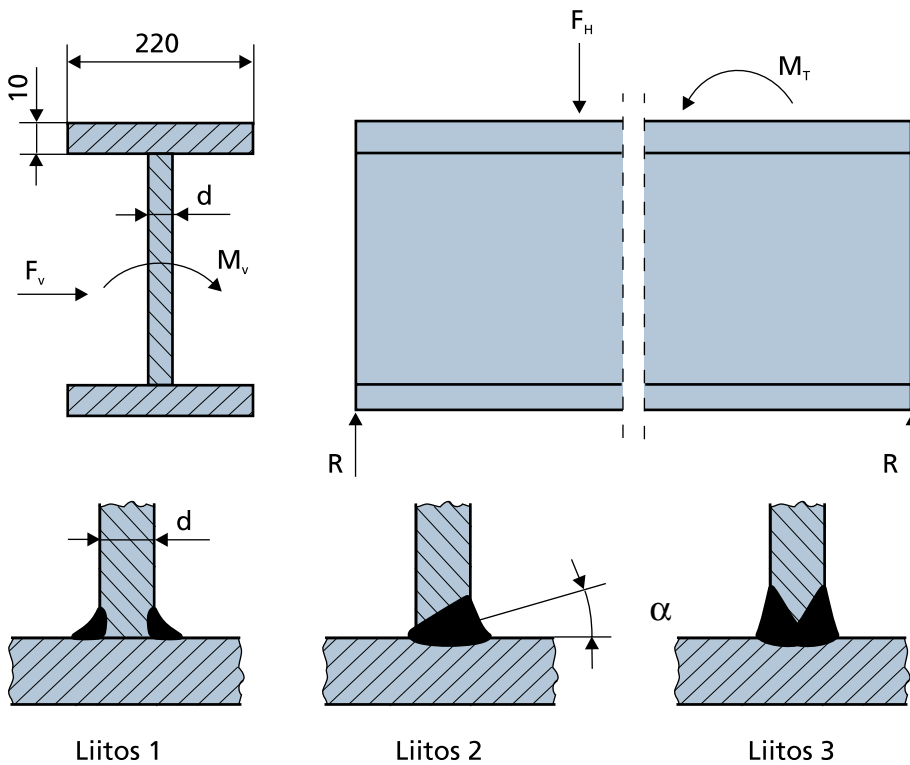
Liukueste (liitos 2) voidaan hitsata ennen tai jälkeen kengän karkaisun. Korotettu työlämpötila ei ole välttämätön.

Booriteräs BM 312 on hitsattavissa sivun 29 ohjeita noudattaen. Työlämpötila on tällöin 150-200 °C.

12.14 Hitsattu palkki

Rakenneaineet	
Laipat	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
Uumalevy	Yleinen rakenneteräs S355J2

Luja rakenneteräs IMATRA EL 400 soveltuu hyvin hitsattaviin palkkeihin, joissa lujuus on mitoitusperusteena. Railon valinnan on perustuttava hyväksyttäviin suunnitteluohjeisiin. Lujuusvaatimusten kasvaessa (F_v , M_v , M_T) valitaan railo järjestyksessä 1, 2, 3.



Lisäaineet	
Puikko	OK 48.00
	Conarc 48
Lanka	OK Autrod 12.51
	OK Tubrod 14.12
	LNM 26
	Outershield T55-H
Suojakaasu	M21 tai CO ₂

Pienahitsissä (1) tunkeuma jää puikkohitsauksessa helposti puutteelliseksi. Uumalevy ei ole yhtenäisesti kiinni laipoissa. Hitsin jäähtyessä tällaisiin kohtiin syntyy jäännösjännityksiä, jotka saattavat johtaa halkeamiin juuressa.

Uumalevyn paksuuksilla $d \leq 5$ mm voidaan käyttää railomuotoa 2. Läpihitsautumisen kannalta 55 asteen viistekulma on edullisin. Liitoksen

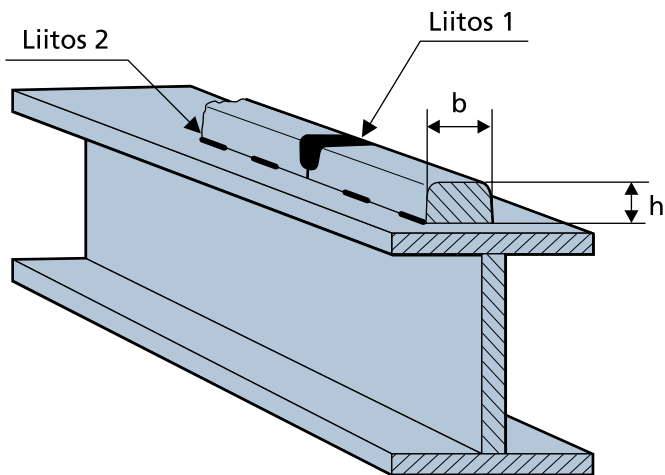
epäsymmetrisyys aiheuttaa hitsin jäähtyessä ja kutistuessa laipan vinoutuman α , joka voidaan välttää vastaavalla esikallistuksella ennen hitsausta. Juurivirheiden välttämiseksi on läpihitsautumista tarkkailtava ja viat korjattava.

Liitoksen 3 K-railo antaa eheän ja lujan hitsin, jolla on edullisin jännitystila, mutta joka on kustannuksiltaan kallein.

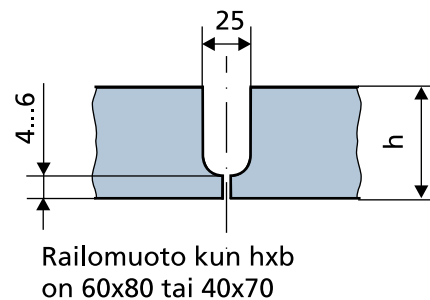
12.15 Nosturin palkin hitsaus palkkiin

Rakenneaineet		
A	Kisko	Luja rakenneteräs IMATRA EL 400
	Palkki	Yleinen rakenneteräs S235JO Luja Rakenneteräs IMATRA EL 400
B	Kisko	Luja rakenneteräs IMACRO EL 700
	Palkki	Yleinen rakenneteräs S235JO Luja Rakenneteräs IMATRA EL 400

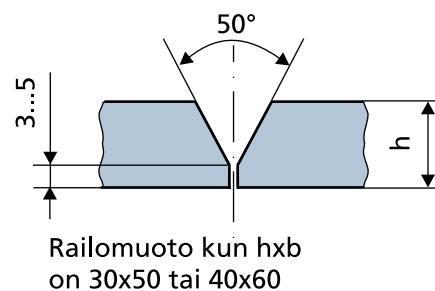
Hitsauksessa käytetään $\varnothing 5$ mm puikkoa. IMACRO-kiskon liitoksessa pintapalot hitsataan kovahitsaus-puikolla, jolla saadaan perusainetta vastaava kovuus ja kulumiskestävyys. Tukimuotteja ei hitsauksessa tarvita. Kiskon kiinnityshitsaus voidaan tehdä kaasukaarihitsauksena, jos tuuli- ja muut olosuhteet ovat edulliset.



Liitos 1 A



Liitos 1 B

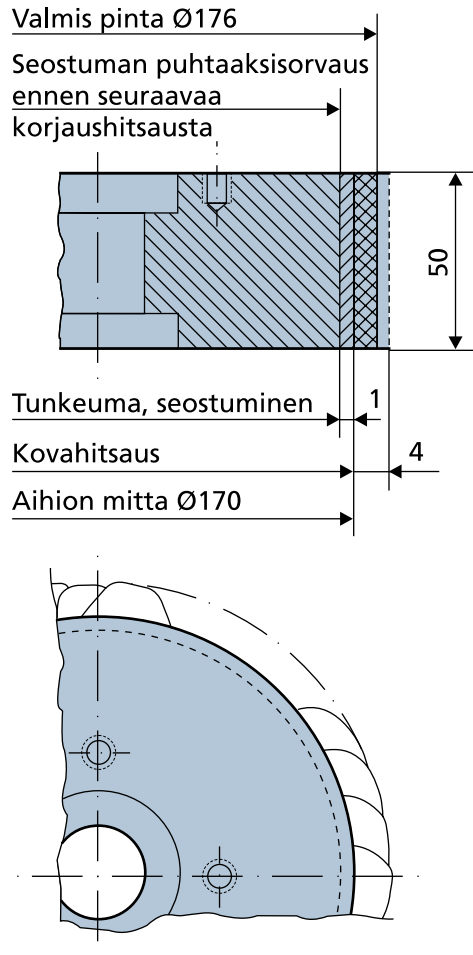


Liitos 1		
Lisäaineet		
A	Puikko	OK 48.00
		Conarc 48
B	Puikko	OK 48.00
		Conarc 48
	Pintapalot	OK 83.28
		OK 83.29 Wearshield BU-30

Liitos 2		
Lisäaineet		
A	Puikko	OK 48.00
		OK Femax 38.65
		Conarc 48
		Conarc V 180
B	Lanka	OK Autrod 12.51
		OK Tubrod 14.12
	Suojakaasu	LNM 26
		Outershield T55-H
		M21 tai CO ₂

12.16 Kantopyörät, telat

Rakenneaine	
Koneteräs	IMATRA 520



Usein on edullista valmistaa kulutukselle alttiiksi joutuva kantopyörä tai tela hyvin hitsattavasta ja lastuttavasta teräksestä, esimerkiksi IMATRA 520, johon päälle hitsataan kulutusta kestävä kerros. Aihiona voidaan käyttää kuumavalssattua pyörötankoa aina halkaisijamittaan 200 mm asti.

Suosittelulla lisäaineilla saadaan kulumuspintaan hyvä kovuuden ja sitkeyden yhdistelmä sekä hyvin levittyynyt, tasainen ja koneistettava pinta.

Koska hitsiaineen kovuus alenee yli 500 °C lämpötilassa, on erityisesti pienten telojen hitsauksessa varottava liiallista kuumenemistä.

Korotetun työlämpötilan ja myöskin tarve on arvioitava pyörän koon ja käyttöolosuhteiden perusteella. Pienemmille pyörille, halkaisija alle 200 mm, ei korotettua työlämpötilaa tarvita. Päälehitsauksessa pintaan syntyy aina vetojännityksiä, jotka ovat väsymisen kannalta epäedullisia. Korotetulla työlämpötilalla ja myöskin voidaan näitä jännityksiä vähentää.

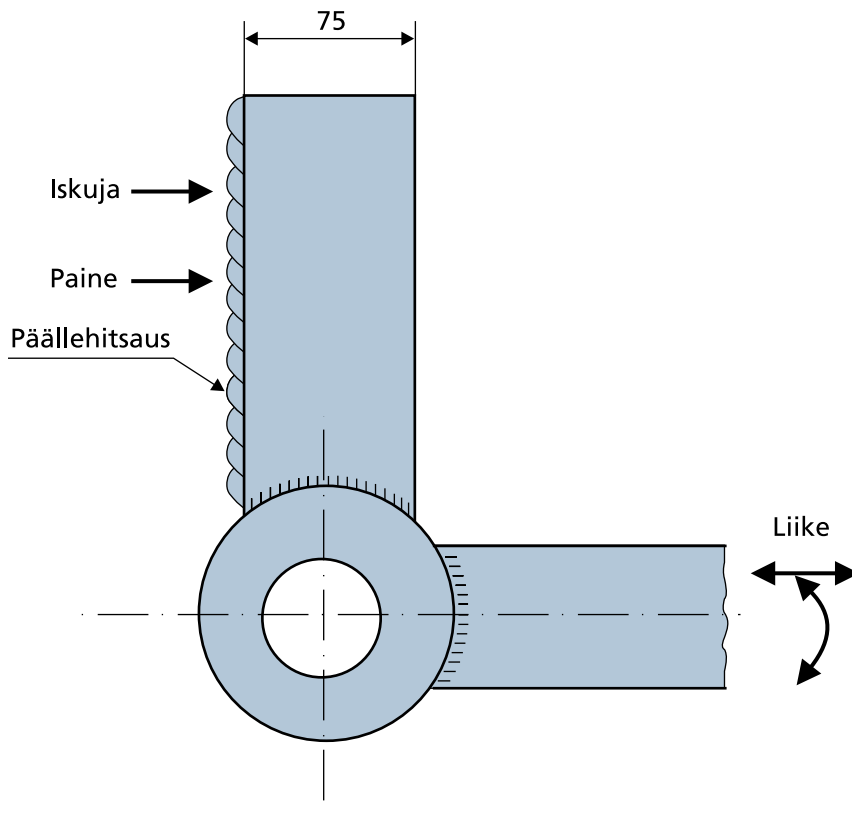
Seuraavissa korjaushitsauksissa pinta sorvataan puhtaaksi aina perusaineeseen asti, sekoittumisen välttämiseksi.

Lisäaineet		Työlämpötila	Lämpökäsittelyt
Puikko	OK Selectrode 83.28	150-200 °C, jos pyörän Ø > 200 mm	Myöstö 450-500 °C
	Wearshield BU-30		
Täytelanka	OK Tubrodur 15.40		
	Lincore 40-O		
Suojakaasu	CO ₂		

12.17 Siirtovivun päällehitsaus

Rakenneaine	
Koneteräs	IMATRA 520

A Päällehitsatun kerroksen kovuudeksi päästön jälkeen 550 °C:ssa muodostuu 53-57 HRC. Kerroksella on hyvä päästönkestävyys 500 °C:een asti.

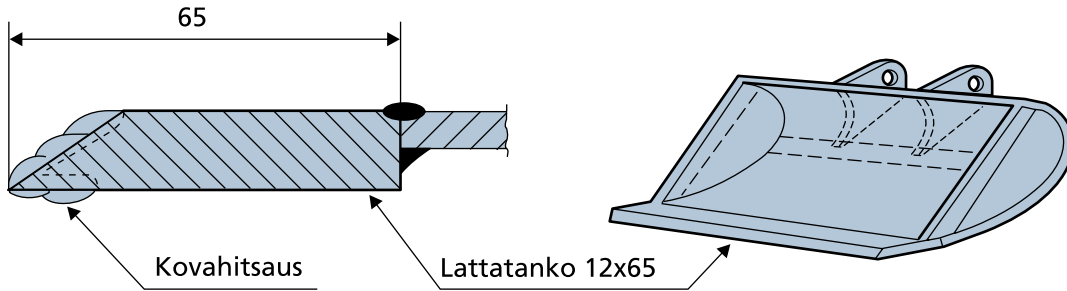


Lisäaineet		Työlämpötila
Puiikko	OK Selectrode 85.58	300...500 °C
	Wearshield ME	
Puiikko	OK Selectrode 83.50	300...400 °C*
	Wearshield MM	

* Jos halutaan ehjä hitsi, on käytettävä korotettua työlämpötilaa. Mikäli lievä hitsin pintakerroksen halkeilu sallitaan, voidaan hitsata työlämpötilaa korottamatta.

12.18 Kuormaajan kauhan huulilaatta

Rakenneaine	
Luja rakenneteräs	IMATRA EL 400



Lisäaineet		Työlämpötila
Puikko	OK Selectrode 84.78	400-600 °C
	Wearshield 60 (e)	
Puikko	OK Selectrode 84.58	200-300 °C
	Wearshield MI (e)	

Lattatangon tehtävänä on vahvistaa ja jäykistää kauhan levyrakennetta. Sen on oltava luja, sitkeä ja hitsattava. Puikon OK Selectrode 84.78 hitsiaine on kromiterästä, jonka hiilipitoisuus on keskimäärin 4,5 %. Puikon OK Selectrode 84.58 hitsiaine on runsashiilistä kromilla seostettua terästä.

Jos halutaan ehjä hitsi, on käytettävä korotettua työlämpötilaa. Palkokerroksia hitsataan enintään kaksi.

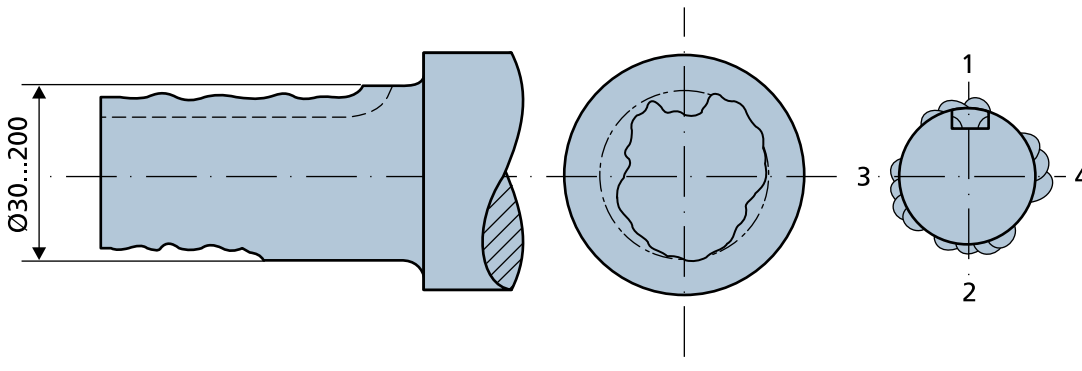
Mikäli lievä hitsin pintakerroksen halkeilu sallitaan, voidaan hitsata työlämpötilaa korottamatta.

Tarvittaessa hitsattu huuliosa voidaan teroittaa hiomalla.

12.19 Akselin tilapäinen korjaushitsaus

Rakenneaineet		
A	Nuorrutusteräs	MoC 410 M
B	Nuorrutusteräs	MoC 210 M
C	Koneteräs	IMATRA 520
D	Kylmävedetty koneteräs	IMATRA 550

Vaurioitunut akseli voidaan korjata päällehitsaamalla kerros, joka sorvataan ja jyrsitään alkuperäisiin mittoihin. Oikealla lisäaineen valinnalla ja hitsaustavalla pysyvät akselin lujuus- ja sitkeysominaisuudet lähes ennallaan.



Lisäaineet		Työlämpötila
A	Puikko	OK 68.82
		Limarosta 312
B	Puikko	OK 68.82
		Limarosta 312
C	Puikko	OK 48.00
		Conarc 48
D	Puikko	OK 48.00
		Conarc 48

Ei korotettua työlämpötilaa.
Hitsin liiallista kuumenemista on vältettävä.

Hitsattava kohta puhdistetaan liasta. Tuhoutunut, hilseillyt ja halkeillut kerros poistetaan liasta.

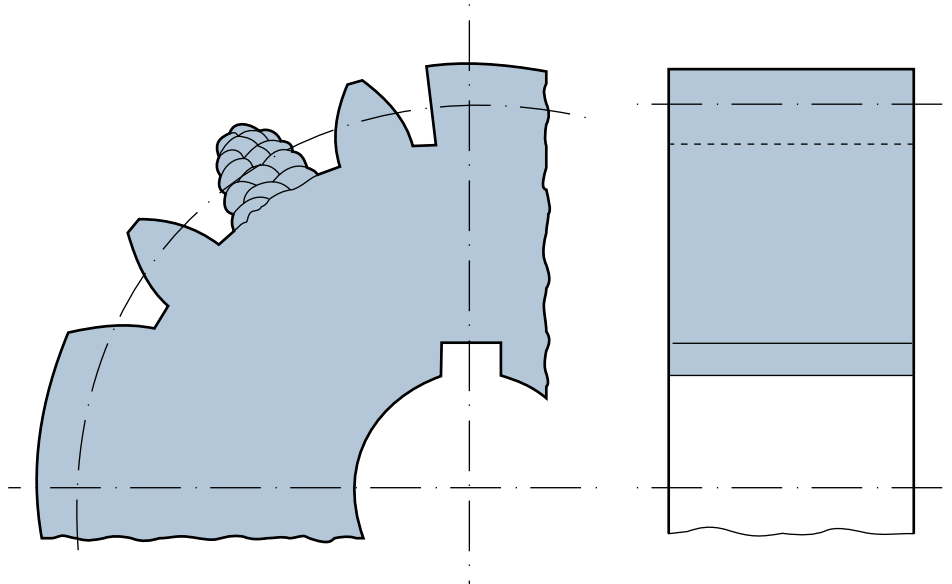
Hitsaus aloitetaan Ø 3,2 mm:n puikolla. Käytetään kolmen palon vastavuorohitsausta. Toinen ja seuraavat palkkerrokset voidaan hitsata paksummilla puikoilla.

Työkappaleen on vetelyjen välttämiseksi pysyttävä mahdollisimman kylmänä hitsauksen aikana. Hitsauksen jälkeen kappale voi jäähtyä vapaasti ilmassa tai peitettyinä.

Kylmävedetyn koneteräksen IMATRA 550 lujuusominaisuudet eivät muutu merkittävästi, jos tässä esitettyä hitsaustapaa noudatetaan.

12.20 Hampaan tilapäinen korjaushitsaus

Rakenneaine	
Hiiletysteräs	MoCN 206 M



Lisäaineet	
Puikko	OK 68.82
	Limarosta 312

Korjattavan hampaan lujuuden ja kulumiskestävyuden tulisi olla mahdollisimman hyvä ja muoto on voitava jyrsiä.

Vaurioituneen hampaan tyvi puhdistetaan hiomalla. Viereisten hampaiden vahingoittamista on varottava.

Hitsauslisäaine on 29 Cr/9 Ni. Hitsi on austeniittis-ferriittinen, joka muokauslujittuu.

Se on käytännössä koneistettavissa. Käytössä kovuus nousee noin 45 HRC:iin.

Palot hitsataan Ø 2,5-3,2 mm puikoilla. Hitsi pyritään pitämään mahdollisimman kylmänä. Viereiset hampaat on suojattava roiskeilta.

Hampaan myötölujuus tyvessä on noin 600 N/mm² ja kovuus noin 240 HB.

13. HITSAUSALAN SFS-STANDARDEJA

SFS 2143 (1977)	Teräsputkien sulahitsaus. Suosituksia päittäisliitosten railomuodoille
SFS 2373 (1980)	Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta
SFS 3052 (1995)	Hitsaussanasto. Yleistermit
SFS 3053 (1983)	Hitsaussanasto. Terminen leikkaus
SFS 3054 (1983)	Hitsaussanasto. Kaarihitsaus
SFS 3055 (1990)	Hitsaussanasto. Vastushitsaus
SFS 3056 (1983)	Hitsaussanasto. Kaasuhitsaus
SFS 3057 (1983)	Hitsaussanasto. Juotto
SFS 3059 (1983)	Hitsaussanasto. Erityishitsausmenetelmät
SFS-EN 287-1 (2004)	Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset
SFS-EN 970 (1997)	Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus
SFS-EN 1011-1 (2009)	Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituksset. Osa 1: Yleisohjeet kaari-hitsaukselle
SFS-EN 1011-2 (2001)	Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituksset. Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus
SFS-EN 1011-3 (2001)	Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituksset. Osa 3: Ruostumattomien terästen kaarihitsaus
SFS-EN 1435 (1998)	Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten radiografinen kuvaus
SFS-EN 1708-1 (2010)	Hitsaus. Hitsausliitosten liitosmuodot teräksille. Osa 1: Paineenalaiset osat.
SFS-EN 1708-2 (2000)	Hitsaus. Hitsausliitosten liitosmuodot teräksille. Osa 2: Osat, joihin ei kohdistu sisiaistä painetta
SFS-EN 1714 (1998)	Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus
SFS-EN 1993-1-9 (2005)	Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-9: Teräsrakenteiden väsyminen
SFS-EN 14700 (2005)	Hitsausaineet. Kovahitsaukseen
SFS-EN ISO 2560 (2010)	Hitsausaineet. Hitsauspuikot seostamattomien terästen ja hienoraeterästen puikkohitsaukseen. Luokittelu
SFS-EN ISO 3834-1 (2006)	Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 1: Laatuvaatimustason valinta-periaatteet
SFS-EN ISO 3834-2 (2006)	Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset
SFS-EN ISO 3834-3 (2006)	Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 3: Vakiolaatuvaatimukset
SFS-EN ISO 3834-4 (2006)	Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 4: Peruslaatuvaatimukset
SFS-EN ISO 5817 (2006)	Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi säde-hitsaus). Hitsiluokat
SFS-EN ISO 6947 (1997)	Hitsit. Hitsausasennot. Kaltevuus- ja kiertymiskulmien määrittely
SFS-EN ISO 9692-1 (2004)	Hitsaus ja sen lähiprosessit. Railomuotosuosituksset. Osa 1: Terästen puikko-, metallikaasukaari-, kaasuhitsaus, TIG- ja sädehitsaus
SFS-EN ISO 13916 (1996)	Hitsaus. Esikuumennuslämpötilan, välipalkolämpötilan ja ylläpitolämpötilan mittaushjeet
SFS-EN ISO 13920 (1996)	Hitsaus. Hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit. Pituus- ja kulmamitat. Muoto ja sijainti

SFS-EN ISO 14175 (2008)	Hitsausaineet. Kaasut ja kaasuseokset sulahitsaukseen ja lähiprosesseissa
SFS-EN ISO 14341 (2008)	Hitsausaineet. Hitsauslangat ja hitsiaineet seostamattomien terästen ja hienoraeterästen metallikaasukaarihitsaukseen. Luokittelu
SFS-EN ISO 15607 (2004)	Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Yleisohjeet
SFS-EN ISO 15609-1 (2004)	Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hitsausohjeet. Osa 1: Kaarihitsaus
SFS-EN ISO 15609-2 (2002)	Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hitsausohjeet. Osa 2: Kaasuhitsaus
SFS-EN ISO 17632 (2008)	Hitsausaineet. Täytelangat seostamattomien terästen ja hienoraeterästen täytelankahitsaukseen suojakaasun kanssa ja ilman suojakaasua. Luokittelu
SFS-EN ISO 17638 (2010)	Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Magneettijauh tarkastus
SFS-EN ISO 17663 (2009)	Hitsaus. Hitsauksen ja sen lähiprosessien yhteydessä suoritettavan lämpökäsittelyn laatuvaatimukset

14. HITSUKSEN KIRJALLISUUTTA

MET 16/84	Hitsauspuikkojen käsittely, varastointi ja uudelleenkuivaus
MET 9/85	Teräslevyjien terminen leikkaus
MET 10/86	Jauhekaarihitsaus
MET 6/90	Hitsausraiot - vaatimukset, valmistusmenetelmät, toleranssit ja taloudellisuus
MET 8/90	Hitsauksen tuottavuuden lisääminen tehokkailla jauhekaarimenetelmillä
MET 25/90	Hitsaavan konepajan tuotannon rationalisointi
MET 7/96	Terveys ja turvallisuus hitsauksessa ja termisessä leikkauksessa
MET 5/97	Plasmahitsauksen tehokas käyttö
MET 6/97	Elektronisuihkuhitsaus konepajateollisuudessa
MET 7/97	CO ₂ -laserhitsaus konepajateollisuudessa

Miten ja miksi esikumennan, Juha Lukkari, Risto Karppi ja Pekka Nevasmaa, Hitsaustekniikka-lehti No 2/1996 ja 3/1996
Hitsaus ja teräsrakenteet, Pertti Lepola ja Matti Makkonen, WSOY, 1998.

Hitsaustekniikka - Perusteet ja kaarihitsaus, Juha Lukkari, Opetushallitus, 3. painos, 1997.

Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus, Antero Kyröläinen ja Juha Lukkari, MET-Kustannus Oy, 1999.

Suojakaasukäsikirja, Oy AGA Ab, 1998.

Rautaruukin teräkset - Hitsaajan opas, Olli Vähäkainu, 3. painos, 2003.

Hitsauksen Materiaalioppi, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2004

Musta/ruostumaton teräs – eripariliitosten hitsaus. Kunnossapito-lehti N:o 59 7/2000

Tulityöt kirjasarja osat 1-4, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK, 2006

15. HYVÄ TYÖYMPÄRISTÖ PARANTAA HITSUKSEN TUOTTAVUUTTA

Investointi työsuojeluun kannattaa! Huonoista työoloista johtuvat tapaturmat ja sairauspoissaolot tulevat yrityksille kalliiksi. Suorien kustannuksien lisäksi on otettava huomioon myös muita menoeriä; aikaa kuluu tilanteen selvittelyyn, toimitukset myöhästyvät ja aikataulua kurotaan kiinni ylitöinä.

Poissa olevan työntekijän tilalle joudutaan hankkimaan ja kouluttamaan joku muu; työteho ja tuotteen laatu saattavat tilapäisesti heikentyä. Huonot työolot voivat johtaa työtehon ja laadun huonontumiseen. Panostus työsuojelullisiin hankkeisiin motivoi työntekijöitä ja parantaa sitä kautta työn tuloksia.

15.1 Työsuojelu hitsauksessa

Hitsauksessa on menetelmän luonteesta johtuen omat ongelmansa ja työsuojelliset painopistealueensa.

Hyvin järjestetyssä työpisteessä on huolehdittu siitä, että hitsaajan altistuminen hitsaussavuille ja pölylle, säteilylle ja melulle sekä erilaisille tapaturmille on mahdollisimman vähäistä.

15.2 Hitsaussavut

Hitsauksessa ja leikkauksessa syntyy aina savua. Hitsaussavu koostuu huuruista ja kaasuista, joista ensin mainitut koetaan ongelmallisimmiksi. Huurun muodostus on yleensä suurinta kuonaa muodostavissa menetelmissä, kun taas kaasujen muodostus on suurempaa kaasukaarihitsauksessa.

Huuru muodostuu partikkeleista, jotka syntyvät metallien höyrystyessä korkeissa lämpötiloissa. Huuruista suurin osa, noin 90-95 % on peräisin lisäaineesta. Ongelmallisimpia ovat runsaasti seostettujen terästen ja alumiinin huurut. Ruostumattomien

terästen hitsausuuru sisältää haitallisia kromi- ja nikkelyyhdisteitä, joista osa luokitellaan syöpää aiheuttaviin aineisiin. Valokaaren UV-säteily ja kuumuus kehittävät lisäksi haitallista otsonia ja typen oksideja. Ne syntyvät lähellä valokaarta ja laimenevat pääsääntöisesti nopeasti ympäröivään ilmaan.

Syntyvien huurujen määrää voidaan pienentää hitsausprosessin valinnan lisäksi käyttämällä vähän CO₂-sisältävää suojakaasua, pienentämällä hitsausvirtaa, optimoimalla kaarijännite ja pienentämällä lisäaineen halkaisijaa.

15.3 Yleisilmanvaihto ei riitä, savut talteen kohdepoistolla

Savunpoisto työpisteestä on järjestettävä siten, että hitsaajan altistuminen huuruille on minimoitu. Hallin



Kuva 20. Automaattinaamari yhdistettynä raitisilmapuhaltimeen / Esab Oy

yleisilmanvaihto ei ole riittävä hitsaussavujen poistoon. Paras järjestely on työpistekohtainen kohdepoisto ja epäpuhtauksien ulospuhallus. Uuden sukupolven kohdepoistot ovat erittäin kevyitä liikuttaa ja tehokkaita, kuva 21.

Runsaasti seostettuja teräksiä ja alumiinia hitsattaessa suositellaan kohdepoiston lisäksi henkilökohtaista suodattavaa raitisilmapuhallinta, kuva 20.

Hyvin toimiva kohdepoisto vähentää huuruja 30-80 %, kun taas raitisilmamaskilla huurujen määrää voidaan pienentää jopa 80-95 % MIG/MAG-hitsauksessa.



Kuva 21. Matalapaineiset kohdepoistojärjestelmät ovat yleisin ratkaisu hitsaussavujen poistoon teollisuudessa.

Kohdepoistot	Hitsaussavujen tehokas kohdepoisto ja työkohteen tehokas valaisu
Suodattimet	Suodattavilla ilmanpuhdistajilla voidaan ottaa ilmasta talteen savu ja leijuva pöly
Suojaimet	Henkilökohtaiset suojaimet suojaavat hitsaajaa ultra-violetti- ja infrapunasäteiltä
Hitsausverhot	Verhoilla estetään säteilyn sekä hionta- ja muiden roiskeiden leviäminen ympäröivään tilaan
Meluseinäkkeet	Seinäkkeet estävät melua ja säteilyä leviämästä ympäröivään tilaan
Letkukelat	Siististi keloilla olevat kaapelit ja letkut pienentävät tapaturmariskiä, tehostavat työntekoa, pienentävät kunnossapitokustannuksia ja helpottavat työpisteen siivousta.

15.4 Säteily ja melu

Hitsauksessa syntyy haitallista silmille näkymätöntä UV- ja infrapunasäteilyä sekä näkyvää ns. sinistä valoa. Hitsaajan on käytettävä henkilökohtaisia suojavarusteita säteilyä vastaan. Itsestään automaattisesti tummuva hitsausnaamari on ratkaisuna turvallinen, mukava käyttää ja se nopeuttaa työskentelyä, kun alituista maskin nostelua ei tarvita, kuva 20.

Hitsaajan lisäksi on myös muut työntekijät suojattava säteilyltä ja melulta. Jokainen hitsaustyöpiste onkin syytä eristää muusta ympäristöstä suojaverkolla tai seinäkkeillä.

15.5 Tapaturmavaara pienemmäksi

Hyvä järjestys konepajassa parantaa työturvallisuutta. Tapaturmariski on pienempi työkalujen, letkujen, kaapeleiden yms. ollessa järjestyksessä.

Siistissä työpisteessä on miellyttävää tehdä töitä. Parantunut motivaatio lisää puolestaan työn tuottavuutta ja tuotteiden laatua.

MUISTIINPANOJA

Lined page for notes with horizontal dotted lines.

A series of horizontal dotted lines for writing.



Ovako on johtava eurooppalainen pitkien erikoisterästuotteiden valmistaja, jonka asiakkaita ovat raskas ajoneuvo- ja autoteollisuus sekä konepajateollisuus. Tuotanto käsittää niukkaseosteiset teräkset ja hiiliteräkset tankoina, putkina, renkaina ja puolivalmiina komponentteina.

Yhtiöllä on 14 tuotantoyksikköä ja useita myyntiyhtiöitä Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Ovakon liikevaihto on 1 100 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä on 3 000. Vuotuinen terästuotantokapasiteetti on 1,3 miljoonaa tonnia.

OVAKON TANKOTUOTTEIDEN MYYNTI SUOMEEN

Myynti ja teräspalvelukeskus

Teollisuuskuja 1
14200 TURENKI
Myynti: (040) 751 5249
Puh. (05) 680 21
Fax. (03) 633 4032

Imatran terästehdas

Terästehtaantie 1
55100 IMATRA
Puh. (05) 680 21
Fax. (05) 680 2211

Tekninen asiakaspalvelu Imatra

Puh. (05) 680 21
Fax. (05) 680 2211



Vastuuvapauslauseke

Ovako ei takaa tämän esitteen tietojen virheettömyyttä tai tuotteiden soveltuvuutta tiettyihin käyttötarkoituksiin. Vaikka Ovako luottaa siihen, että tieto on koottu huolellisesti, tieto on varustettu sellaisena kuin se on-ehdolla. Lukijan ei tulisi luottaa tämän esitteen tietoihin ilman Ovakolta saatua kirjallista vahvistusta, ja sen vuoksi Ovako ei ota vastuuta tämän esitteen tiedoista, mukaan lukien huolimattomuudesta tai väitetystä tosiasioiden kiertelystä aiheutuvista seurauksista.

OVAKO
a feel for steel