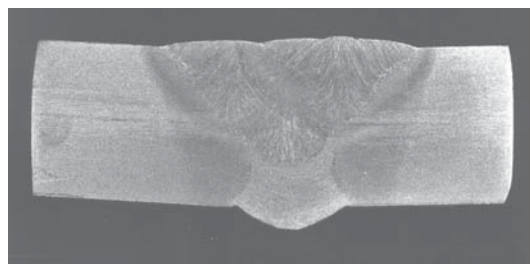
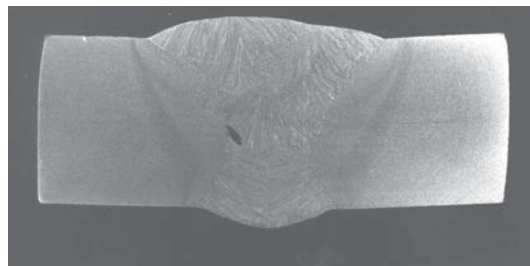
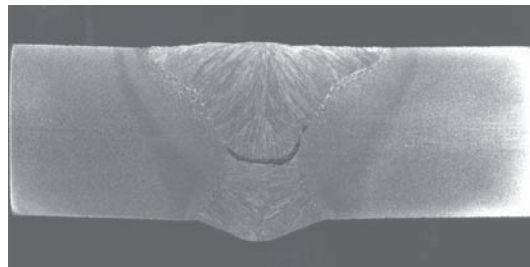


Hitsien laatu ja hitsausvirheet

**Hitsausuutisissa julkaistut
artikkelit, osat 1-5**

**Juha Lukkari
OY ESAB**



Hitsien laatu ja hitsausvirheet

Osa 1

”Laatu syntyy tekemällä, ei tarkastamalla”, on usein esitetty toteamus. Tavoitteena on tehdä tuote heti valmiiksi ilman, että syntyy tarvetta korjauksiin.

Hitsausliitoksen pitää kestää

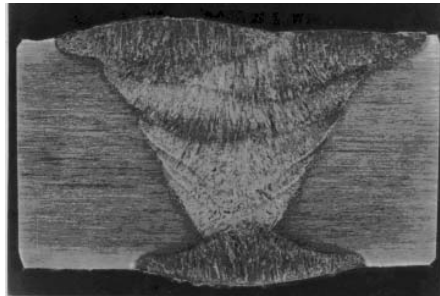
Hitsatun rakenteen päätoiminto on kantaa siihen kohdistuvat kuormat. Tämän toiminnon täyttäminen edellyttää, että rakenne ja sen hitsausliitokset ovat riittävän lujia ja kestäviä niihin käytön aikana kohdistuvia erilaisia kuormituksia vastaan.

Hitsaus on hitsattavalle materiaalille ja rakenteelle varsin ”raju tapahtuma”, johon liittyvät nopeat lämpötilojen muutokset vaikuttavat materiaalin ominaisuuksiin sekä rakenteen ja liitosten jännitystiloihin. Se aiheuttaa rakenteeseen helposti myös muodonmuutoksia. Lisäksi hitsausliitosten kohdalla kappaleen geometriassa esiintyy epäjatkuvuuskohtia, jotka aiheuttavat jännityskeskittymiä ja -huippuja.

Hitsi – rakenteen heikko kohta

Vauriot hitsatuissa rakenteissa lähtevät liikkeelle usein hitsien alueelta. Siihen, että hitsausliitos on ”heikoin lenkki”, on useampia syitä:

- hitsausvirheet
- hitsausjännitykset
- hitsausmuodonmuutokset
- materiaalin ominaisuuksien muuttuminen
- geometrinen epäjatkuvuuskohta.



Hyvä laatu tehdään järjestämällä laadunvarmistus kuntoon yrityksessä. Laadunvarmistus on kokonaisvaltaista, yrityksen kaikkiin toimintoihin ulottuvaa toimintaa.

Hyvä ammattitaito- ja -tieto sekä hitsausohjeet ovat avainasemassa ”lattiatasolla” hyvän laadun tekemisessä.

Artikkelisarja antaa tietoa hitsaukseen liittyvistä hitsiluokista sekä hitsausvirheistä, niiden syistä ja korjaustoimenpiteistä, joilla voidaan estää niiden syntymistä.

Tämä ei merkitse sitä, että hitsit olisivat ”heikkoja” – ei suinkaan. Liitosten lujuus- ja sitkeysominaisuudet sekä muut ominaisuudet täyttävät yleensä käyttörasitukset staattisesti kuormitetuissa rakenteissa, mikäli hitsaustyö on tehty huolella ja riittävän virheettömästi sekä siinä on käytetty oikeita lisäaineita ja noudatettu teräksen ja lisäaineen toimittajan hitsausohjeita, mm. lujuuden ja iskusitkeyden kannalta oleellisia lämmöntuontisuosituksia.

Dynaamisesti (”väsyttävästi”) kuormitetuissa rakenteissa hitsausliitokset heikentävät väsymiskestävyyttä, koska ne edustavat geometrisia epäjatkuvuuskohtia, jotka aiheuttavat jännityshuippuja. Näin ollen huolellisestikin valmistettu rakenne saattaa heiketä (”väsyä”) ajan mittaan, jolloin kestoikä jää rajalliseksi. Hitsien väsymislujutta voidaan parantaa mm. hitsaamalla palot mahdollisimman juoheviksi tai tekemällä hitsauksen jälkeen hitsin ja perusaineen liittyminen juohevaksi esim. hiomalla, TIG-sulatuksella tai koneviivalla.

Hitsatun rakenteen tulee kestää siihen kohdistuvat kuormitukset riittävällä luotettavuudella ja kaikissa ennakoitavissa tilanteissa. Hitsausvirheillä liitoksessa on suuri merkitys hitsausliitosten kestävyydelle. Standardit määrittelevät hyväksymisrajat sekä mekaanisille ominaisuuksille että hitsausvirheille.

Laadunvarmistuksella tarkoitetaan kokonaisvaltaista yrityksen kaikkiin toimintoihin ulottuvaa laadunohjausta. Se alkaa tuotteen suunnittelusta ja päättyy tuotteen toimitukseen asiakkaalle, mahdollisesti tästä vielä eteenpäinkin aina tuotteen käyttöön asti. Yrityksellä voi olla laatujärjestelmä, joka kattaa nämä toiminnot.

Hitsaaville yrityksille on hitsauksen laatuvaatimuksia käsittelevä eurooppalainen standardisarja:

SFS-EN 729-1...4:

Hitsauksen laatuvaatimukset

Sarjassa on useampia eritasoisia laatuvaatimuksia, joista yritysjohto voi valita yritykseensä sopivan laatu- ja vaatustason:

osa 2: Kattavat laatuvaatimukset

osa 3: Vakiolaatuvaatimukset

osa 4: Peruslaatuvaatimukset.

Viime vuosikymmeninä johtavia ajatuksia ovat teollisuudessa olleet läpimenoaikojen lyhentäminen, kustannusten karsiminen, mahdollisimman pieni virheprosentti ja suuri toimintavarmuus. Nämä ovat tuoneet paineita suunnittelijoille, tuotannonohjaukseen, valmistustekniikkaan ja laadunvarmistukseen.

Mikä on hitsausvirhe?

Sanastostandardin SFS 3052 mukaan hitsausvirhe on ”*epäjatkuvuus hitsissä tai poikkeama hitsin muodossa. Hitsausvirheitä ovat esim. halkeamat, vajaa hitsautumissyvyys, huokoisuus ja kuonasuulkeumat*”.

Hitsausvirhestandardi SFS- 6520-1 määrittelee puolestaan virheen (engl. imperfection) ”*poikkeamaksi ihanteellisesta hitsistä*” ja vian (engl. defect) ”*ei-sallituksi virheeksi*”.

Hitsausvirheellä tarkoitetaan siis poikkeamaa ihanteellisesta hitsistä ja hitsausvialla tarkoitetaan varsinaisesti sellaista virhettä eli esisallittua virhettä, joka on siis korjattava. Näin ollen termeillä virhe ja vika on tärkeä ero. Vika tuntuu liian ”rankalta” termiltä, koska hitseissä sallitaan virheitä hitsiluokan mukaan. Yleensä käytetään kuitenkin yleisterminä hitsausvirhe (engl.: imperfection tai joskus myös discontinuity tai flaw) ottamatta kantaa tähän eroon.

Hitsausvirheet syntyvät siis rakenteiden valmistuksen yhteydessä ja ovat siten erilaisia valmistusvirheitä. Hitsattuihin rakenteisiin voi myös käytössä syntyä erilaisia vikoja ja vaurioita, joiden syntyyn myös aikaisemmat valmistuksessa syntyneet hitsausvirheet voivat olla osallisia.

Hitsausvirheet heikentävät liitoksen kestävyyttä tai muita ominaisuuksia, mistä syystä pyritään yleensä mahdollisimman virheettömään hitsaukseen. Kustannukset ja työn vaikeus kasvavat yleensä kuitenkin virheettömyyspyrkimysten myötä. Virheiden esiintymi-

nen hitsausliitoksessa ei tee välttämättä kuitenkaan sitä käyttökelvottomaksi. Tästä syystä ei aina tarvita täysin virheetöntä hitsiä, jos rakenteen kuormitukset ja olosuhteet eivät sitä ehdottomasti vaadi. Tuotannossa vaadittava hitsin laatu- ja vaatustaso sallittuine virheineen osoitetaan hitsiluokalla B, C tai D (SFS-EN 25817).

Hitsausvirheistä on julkaistu äskettäin suomeksi myös kansainvälinen standardi, jossa määritellään kaikki mahdolliset hitsausvirheet ja annetaan jokaiselle virheelle oma numerotunnus:

SFS-EN ISO 6520-1: Hitsaus ja lähiprosessit – Geometristen hitsausvirheiden luokittelu metallisissa materiaaleissa. Osa 1: Sulahitsaus. 1999

Standardissa hitsausvirheet on ryhmitelty kuuteen pääryhmään, missä järjestyksessä virheet käsitellään tässä artikkelissa. Päättyyppejä on 53 kappaletta ja niiden alatyyppejä 69 kappaletta

- halkeamat
- ontelot
- sulkeumat
- liittymisvirheet
- muoto- ja mittavirheet
- muut virheet.

Hitsien NDT-tarkastuksissa käytetään yleensä näitä standardin SFS-EN ISO 6520 mukaisia numerotunnuksia.

Hitsausvirheet voidaan jakaa myös karkeasti kolmeen ryhmään, vaikka tätä jakoa ei ole tehty standardeissa:

- muotovirheet
- pintavirheet
- sisäiset virheet.

Hitsien tarkastus

Tarkastusten avulla pidetään yllä sopivaa laatu- ja vaatustasoa, joka on kohtuullisin ponnistuksin saavutettavissa. Tarkastajan on onnistuakseen työssään osattava arvioida myös, millaisia virheitä on mahdollisesti odotettavissa tarkastettavissa hitseissä. Tämä edellyttää tarkastajalta tarkastusmenetelmien tuntemuksen lisäksi myös tietoja mm. eri hitsausprosesseista ja niille tyypillisistä virheistä.

Tarkastuksia ei tehdä kuitenkaan kaikille hitseille tuotteessa, vaan niistä tarkastetaan vain tietty prosentiosuus esim. hitsien pituu-

desta. Tarkastuslaajuus vaihtelee huomattavasti kohteen vaativuuden, käyttötarkoituksen, olosuhteiden jne. mukaan. Se annetaan sovel-lusstandardissa, viranomaismääräyksissä tai sovitaan osapuolten kesken.

Kun vaatimuksena on ”hyvän konepaja-käytännön mukainen” hitsiluokka C, niin riittää usein 10 %:n tarkastuslaajuus. Hitsiluokkavaatimukselle B laajuus voi olla esim. 100 % magneettijauhetautarkastuksessa ja 50 % ultra-ääni- ja radiograafisessa tarkastuksessa. Samassa tuotteessa voi olla hitsiluokka kuten myös tarkastuslaajuus erilainen eri hitseille.

Hitsien NDT-tarkastuksissa (Non-destructive testing) eli ainetta rikkomattomassa tarkastuksessa käytetään pääasiassa jotakin tai joitakin seuraavista viidestä menetelmästä:

- silmämääräinen tarkastus, VT (Visual Testing)
- tunkeumanestetarkastus, PT (Penetrant Testing)
- magneettijauhetautarkastus, MT (Magnetic particle Testing)
- radiograafinen tarkastus, RT (Radiographic Testing)
- ultraäänitarkastus, UT (Ultrasonic Testing)

Näistä tarkastuksista ja niiden hyväksymisrajoista on ilmestynyt äskettäin myös suomeksi eurooppalaiset standardit.

SFS-EN 12062: Hitsien rikkomaton aineen-koetus: Yleisohjeet metallisille materiaaleille

SFS-EN 970: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus

SFS-EN 571-1: Rikkomaton aineen-koetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet

SFS-EN 1289: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat

SFS-EN 1290: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Hitsien magneettijauhetautarkastus

SFS-EN 1291: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Hitsien magneettijauhetautarkastus. Hyväksymisrajat

SFS-EN 1435: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Hitsausliitosten radiograafinen kuvaus

SFS-EN 12517: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Hitsien radiograafinen tarkastus. Hyväksymisrajat

SFS-EN 1714: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus

SFS-EN 1713: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyypin määrittäminen

SFS-EN 1712: Hitsien rikkomaton aineen-koetus. Hitsien ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat

Perusstandardi SFS-EN 12062 antaa ohjeet tarkastusmenetelmän valintaan ja tarkastustulosten arviointiin perustuen vaatimuksiin, materiaaliin, hitsin paksuuteen, hitsausprosessiin ja tarkastuslaajuuteen.

Hitsiluokkastandardin SFS-EN 25817 hitsiluokkia ei voida käyttää sellaisenaan NDT-tarkastuksen hyväksymisrajoina. Tämän standardin SFS-EN 12062 liitteessä on kuitenkin taulukko, jossa annetaan yksittäisten tarkastusstandardien hyväksymisrajojen ja hitsiluokkien välinen yhteys.

Hitsausvirheiden vaarallisuus

Hitsausvirheiden vaikutusten kannalta on vielä tärkeä pinta- ja sisäisten virheiden ryhmitteily kaksi- ja kolmiulotteisiin virheisiin.

Kaksiulotteinen virhe on tasomainen virhe eli halkeamatyyppinen virhe. Koska nämä virheet ovat teräväkärkisiä, ne ovat erityisen vaarallisia virheitä liitoksen kestävyydelle. Tärkeimpiä kaksiulotteisia virheitä ovat:

- erilaiset halkeamat
- liitosvirheet
- vajaa hitsautumissyvyys.

Kolmiulotteinen eli volymetrinen virhe on muodoltaan esimerkiksi pallomainen tai lieriömäinen. Siltä puuttuu kapea terävä kärki, joka tekisi virheen erityisen vaaralliseksi. Tärkeimpiä kolmiulotteisia virheitä ovat:

- huokokset ja muut vastaavat ontelot
- sulkeumat, jos ne eivät ole teräväkärkisiä
- reunahaavat, kun ne ovat pyöreäpohjaisia.

Jos kolmiulotteiset virheet ovat pyöreänmuotoisia, kuten huokokset, niiden vaikutus ilmenee lähinnä poikkipinnan pientymisenä.

Jos hitsissä on hitsausvirhe, se ei vielä tarkoita, että hitsi ja rakenne olisi hylätty. Hitsausvirheen merkitys liitoksen kestävyydelle riippuu mm. virheen luonteesta, liitoksen rasi-
tustavasta, kysymyksen tulevasta vaurioitumistavasta ja virheen sijainnista rasi-
tukseen suuntaan nähden.

Hitsiluokka - laadun tunnus

Hitsiluokka on tuotannossa valmistettavan hitsin laatua kuvaava tunnus. Hitsiluokkastandardi ei määrittele hitsiluokan valintaa, vaan sen tekee rakenteen suunnittelija ennen tuotannon alkua tai joissakin tapauksissa se annetaan erikseen noudatettavassa sovellutusstandardissa. Eri vikatyypeille sallitut arvot hitsiluokkastandardissa ovat staattisessa kuormitustapauksessa likimain suhteessa niiden merkitykseen liitoksen kestävyydelle murtumismekaniikan kannalta.

Terästen hitsiluokista on julkaistu eurooppalainen standardi:

SFS-EN 25817: Terästen kaarihitsaus.

Hitsiluokat

Standardissa hitsit on jaettu sallittavien hitsausvirheiden ja niiden koon perusteella kolmeen eri hitsiluokkaan:

D: tyydyttävä

C: hyvä

B: vaativa

Luokka D on selvästi sallivampi eri hitsausvirheille kuin luokat C ja B. Luokkien C ja B välinen ero on enemmänkin siinä, kuinka suuria ja miten paljon tiettyjä virheitä sallitaan.

Dynaamisesti (väsyttävästi) kuormitettuille rakenteille valitaan yleensä vaativin hitsiluokka B ja staattisesti kuormitettuille rakenteille usein luokka C, joskus myös luokka D. Luokan C voidaan sanoa edustavan ”hyvää konepajakäytäntöä”.

Standardissa on virheille annettu sinänsä mielivaltainen tunnusnumero ja ne luettelut järjestyksessä 1–26. Kullekin virheelle on annettu mittojen raja-arvot eri hitsiluokissa D, C ja B. Standardin käyttämät tunnusnumerot ovat siis eri kuin ISO 6520:n tunnuksot, vaikkakin kunkin virheen kohdalla on viittaus myös ISO 6520:n tunnusnumeroon.

Hitsiluokkastandardin virheet ovat numerojärjestyksessä (suluissa ISO 6520 mukaisia virheiden numeroita):

- 1 Halkeamat (100)
- 2 Kraatterihalkeamat (104)
- 3 Huokokset (2011, 2012, 2014, 2017)
- 4 Huokosryhmä (2013)
- 5 Pitkänomaiset huokokset (2015, 2016)
- 6 Sulkeumat, muut kuin kuparisulkeumat (300)

- 7 Sulkeumat. Kuparisulkeumat (3042)
- 8 Liitosvirhe (401)
- 9 Vajaa hitsautumissyvyys (402)
- 10 Sovitusvirhe pienahitsissä (–)
- 11 Reunahaava (5011, 5012)
- 12 Korkea kupu päittäishitsissä (502)
- 13 Korkea kupu pienahitsissä (503)
- 14 Ylisuuri a-mitta pienahitsissä (5214)
- 15 Vajaa a-mitta pienahitsissä (5213)
- 16 Korkea juurikupu (504)
- 17 Paikallinen juuren valuma (5041)
- 18 Sovitusvirhe (507)
- 19 Vajaa kupu (511) ja vajonnut hitsi (509)
- 20 Kateettipoikkeama (512)
- 21 Vajaa juuri ja reunahaava juuressa (515, 5013)
- 22 Pintapalon valuma (506)
- 23 Uudelleenaloitusvirhe (517)
- 24 Sytytysjälki (601)
- 25 Roiskeet (602)
- 26 Useat virheet samassa poikkileikkauksessa (–).

Hitsausvirheet - syyt ja estäminen

Seuraavassa on lueltu standardin SFS-EN ISO 6520-1 mukaiset hitsausvirheet tunnusnumerojärjestyksessä. Virheille on annettu lyhyt selostus, piirroskuva sekä tärkeimpiä syitä ja estämistoimenpiteitä.

Standardissa virheet on ryhmitelty kuuteen ryhmään:

- 1 halkeamat
- 2 ontelot
- 3 sulkeumat
- 4 liittymisvirheet
- 5 muoto- ja mittavirheet
- 6 muut virheet

Syyt ja estämistoimenpiteet ovat pakostakin yleisluontoisia. Ne vaihtelevat tapauskohtaisesti ja lisäksi eri hitsausprosessien kesken, joten oikean syyn ja estämistoimenpiteen löytäminen edellyttää hyviä perustietoja hitsauksesta.

Hitsien laatu ja hitsausvirheet

Osa 2

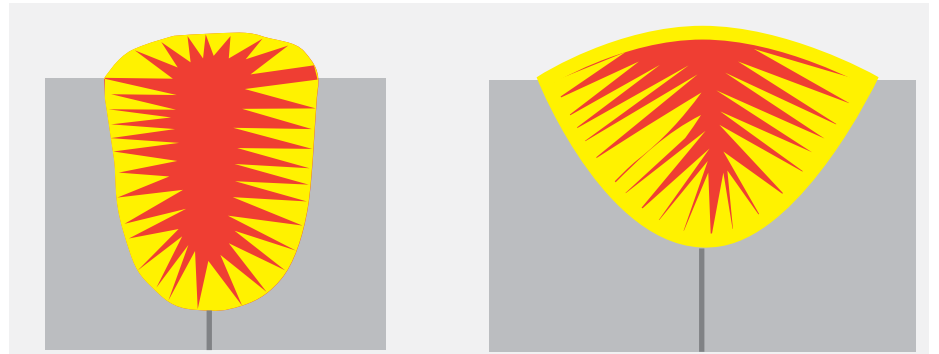
Tämä artikkelisarja antaa tietoa hitsaukseen liittyvistä hitsiluokista sekä hitsausvirheistä, niiden syistä ja korjaustoimenpiteistä.

Ryhmä 1: Halkeamat (Nro 100)

Halkeama (Nro 100) on yleensä teräväkärkinen ja kapea kiinteässä aineessa tapahtunut murtuma, joka voi aiheutua jäähtymisen ja/tai jännitysten vaikutuksesta.

Halkeamien ryhmään kuuluvat seuraavat halkeamat:

- 1001: Mikrohalkeama
- 101: Pitkittäishalkeama
 - ◆ 1011: hitsiaineessa
 - ◆ 1012: sularajalla
 - ◆ 1013: muutosvyöhykkeellä
 - ◆ 1014: perusaineessa
- 102: Poikittaihalkeama
 - ◆ 1021: hitsiaineessa
 - ◆ 1023: muutosvyöhykkeellä
 - ◆ 1024: perusaineessa
- 103: Säteittäishalkeamat
 - ◆ 1031: hitsiaineessa
 - ◆ 1033: muutosvyöhykkeellä
 - ◆ 1034: perusaineessa
- 104: Kraatterihalkeama
 - ◆ 1045: pituussuuntaan
 - ◆ 1046: poikittain
 - ◆ 1047: säteittäin
- 105: Halkeamaryhmä
 - ◆ 1051: hitsiaineessa
 - ◆ 1053: muutosvyöhykkeellä
 - ◆ 1054: perusaineessa
- 106: Haarautuvat halkeamat
 - ◆ 1061: hitsiaineessa
 - ◆ 1063: muutosvyöhykkeellä
 - ◆ 1064: perusaineessa



Standardin SFS-EN ISO 6520-1 liitteessä A on lueteltu myös hitsauksen aikana ja jälkeän syntyvät halkeamat, joille on annettu nimet lähinnä metallurgiselta kannalta katsottuna. Lyhyet selitykset ovat artikkelin kirjoittajan laatimat.

E: halkeamat hitsissä

- Ea: – kuumahalkeama
(*syntyy matalissa lämpötiloissa sulavien yhdisteiden vaikutuksesta, kun nämä ovat vielä sulina*)
- Eb: – jäähettymishalkeama
(*syntyy hitsisulan jäähettymisen aikana*)
- Ec: – sulamishalkeama
(*syntyy matalalla sulavien yhdisteiden erkautuessa hitsauksen aikana*)
- Ed: – erkautumishalkeama
(*syntyy hauraiden yhdisteiden erkautuessa hitsauksen yhteydessä tai hitsauksen jälkeisessä lämpökäsittelyssä*)
- Ee: – erkautuskarkenemishalkeama
(*syntyy erkautumiskarkenemisen aiheuttaman tilavuusmuutosten ja jännitysten vaikutuksesta*)
- Ef: – kylmähalkeama
(*syntyy matalissa lämpötiloissa kiinteään aineeseen*)
- Eg: – haurashalkeama
(*syntyy materiaalin ollessa hauraassa tilassa*)
- Eh: – kutistumishalkeama
(*syntyy kutistumisen estyessä, mitä materiaalin hauraus edistää*)

- Ei: – vetyhalkeama
(*syntyy vedyn aiheuttamana materiaaliin, jonka muodonmuutoskyky ei ole riittävä*)
- Ej: – lamellirepeily
(*syntyy pinnan suuntaisena repeilynä levyn sisässä seuraillen valssauksen aiheuttamia sulkeumajonoja*)
- Ek: – reunahalkeama
(*syntyy jännityskeskittymäkohtiin metallurgisten tekijöiden avustamana*)
- El: – vanhenemishalkeama
(*syntyy vanhenemisen yhteydessä*)

Halkeamista on seuraavassa käsitelty vain kaksi yleisintä ja metallurgisesti aivan erilaista virhetyyppiä, joiden syyt ja estämistoimenpiteet ovat aivan erilaisia.

Halkeama on vaarallinen virhetyyppi. Sellaisen löytyminen on yleensä merkki perustavaa laatua olevasta virheestä joko materiaalisessa tai hitsausohjeessa. Jos löytyy yksi halkeama, niitä löytyy todennäköisesti enemmänkin. Halkeaman löytymisen tulee aina johtaa tarkastuslaajuuden lisäämiseen ja sen syiden korjaamiseen.

Kuumahalkeama

Kuumahalkeama on yleensä usein hitsin keskilinjalla kulkeva pitkittäinen jäähettymishalkeama eli pitkittäishalkeama hitsiaineessa (Nro 1011), joka syntyy korkeassa lämpötilassa hitsisulan jäähettymisen yhteydessä. Se voi esiintyä myös sularajalla (1012) tai poikittaisena

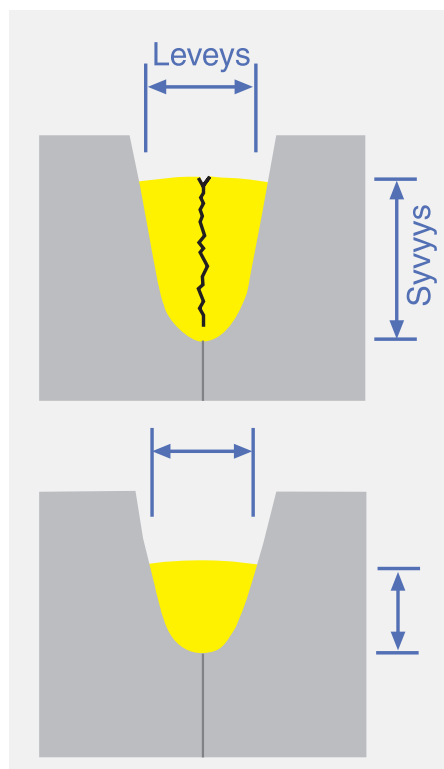
halkeamana muutosvyöhykkeellä (Nro 1023), jossa halkeamat ovat lyhyitä, 1–2 mm pitkiä. Näitä kutsutaan myös nimellä sulamishalkeamat.

Usein myös hieman myöhemmin käsiteltävät kraatterihalkeamat (Nro 104) luetaan kuumahalkeamien ryhmään syntymäajankohdansa takia.

Kuumahalkeama voi avautua hitsin pintaan asti, jolloin se on havaittavissa myös silmämääräisessä tarkastuksessa. Halkeama voi jäädä usein myös ”piiloon” hitsin sisään ulottumatta pintaan asti, jolloin niiden havaitseminen ei ole niin helppoa käytettäessä pintatarkastusmenetelmiä. Joskus kuumahalkeamat ovat hyvin pieniä säröjä, joiden havaitseminen NDT-tarkastuksessa on vaikeata, erityisesti muutosvyöhykkeen sulamishalkeamat.

Jos kuumahalkeama avautuu pintaan asti, niin sen murtopinta voi olla sinertävän hapettunut (”päästövärit”), koska se on muodostunut metallin ollessa vielä kuuma.

Kuumahalkeamia voi esiintyä kaikissa teräksissä sekä seostamattomissa että niukka-seosteisissa teräksissä (musta teräs) ja ruostumattomissa teräksissä.

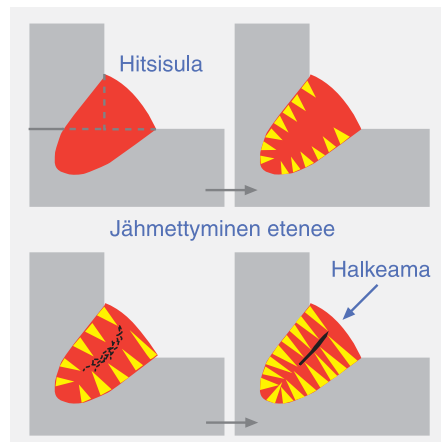


Hitsin perusasia on palkomuoto: leveys/syvyys-suhde.

Kuumahalkeiluun vaikuttavat seuraavat tekijät:

- *metallurgiset tekijät*: mm. hitsiaineen jäähmettymisalueen laajuus, kemiallinen koostumus, raerajoilla olevat matalan sulamispisteen omaavat kalvot ja mikrorakenne
- *geometriset tekijät*: mm. palon muoto (leveys/syvyys-suhde)
- *jännitystekijä*: mm. aineenpaksuus ja rakenteen jäykkyys

Kuumahalkeilutaipumuksen arviointia varten jauhekaarihitsauksessa on TWI:ssä (The Welding Institute) kehitetty ns. herkkyysluku UCS (Unit of Crack Susceptibility), joka on



Palkomuoto vaikuttaa hitsisulan jäähmettymisen suuntaan.

otettu mukaan myös eurooppalaiseen terästen hitsausstandardiin SFS-EN 1011-2. Se on muodostettu regressioanalyysillä kuumahalkeilukokeiden tuloksista. Sitä voidaan soveltaa kuumahalkeilutaipumuksen arviointiin yleensä myös muiden hitsausprosessien yhteydessä.

Luku lasketaan hitsiaineen kemiallisesta koostumuksesta seuraavalla kaavalla:

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

Halkeilutaipumusta lisäävät haitalliset (”+merkkiset”) aineet ovat hiili, rikki, fosfori ja niobi ja halkeilua estävät edulliset (”-merkkiset”) aineet ovat pii ja mangaani.

Kuumahalkeilutaipumusta voidaan arvioida UCS-luvun perusteella seuraavasti:

- UCS = < 10:
hyvä kestävyys kuumahalkeilua vastaan
- UCS = 10–30:
halkeilutaipumus kasvaa, kun hitsin

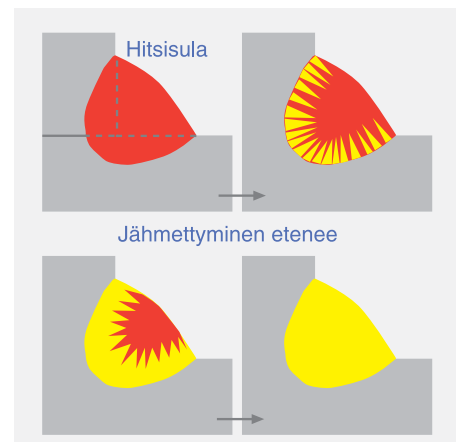
leveys/syvyys-suhde on pieni

- UCS = > 30:

huono kestävyys kuumahalkeilua vastaan

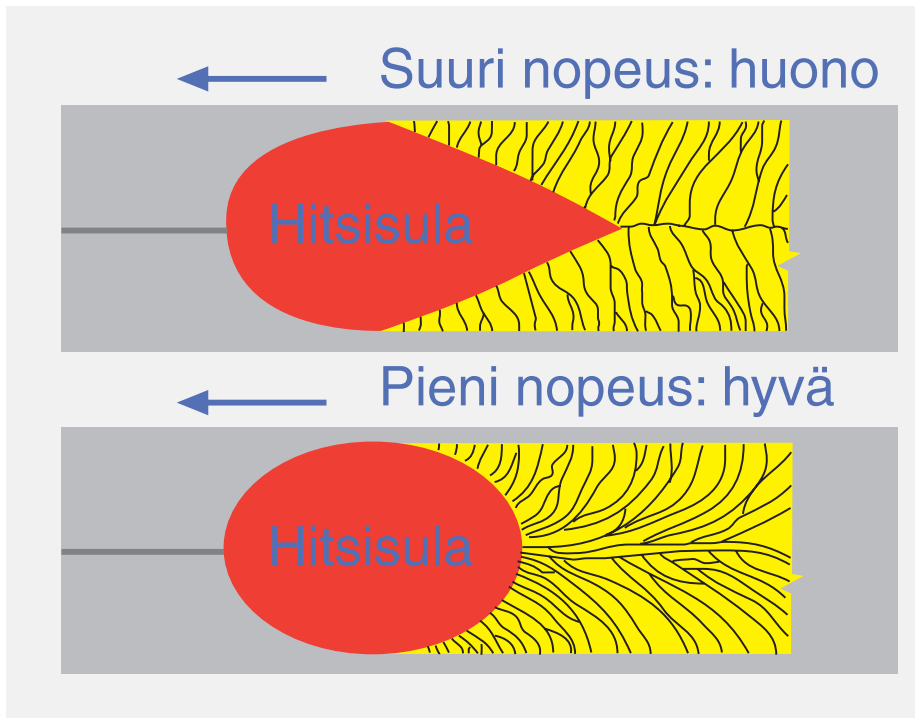
Lukuarvojen 10 ja 30 välisellä alueella hitsin geometristen tekijöiden merkitys korostuu, epäedullinen palkomuoto, suuri hitsausnopeus ja osien huono sovitus, kuva alhaalla vasemmassa. Jos pienahitsissä leveys/syvyys-suhde on 1, niin UCS-arvo yli 20 merkitsee halkeiluvaaraa. Tämä raja-arvo voi olla päittäishitsissä suurempi, jopa 25.

Palkomuoto (leveys) vaikuttaa hitsiaineen jäähmettymisrintamien suuntaan, kuva alla. Jos palko on kapea ja syvä, niin sulan jäähmettymi-

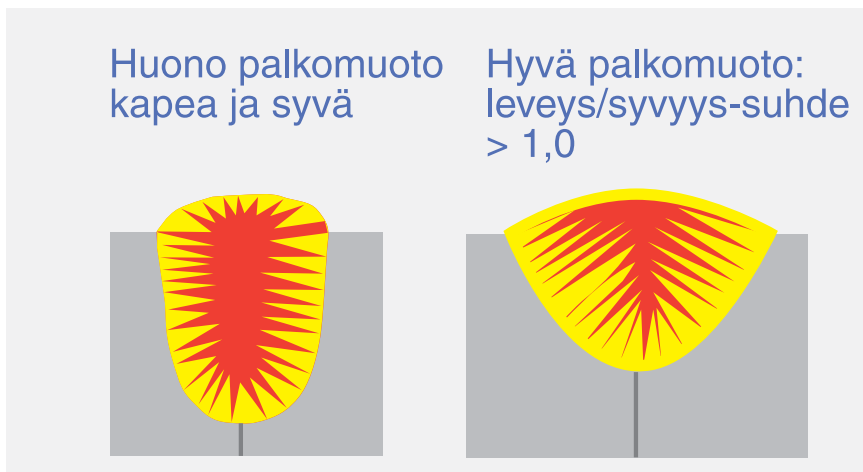


nen pylväsmäisten kiteiden muodossa tapahtuu korostetusti reunoilta (sularajoilta) kohti keskilinjaa eli jäähmettymisrintamat etenevät toisiaan kohti. Tämä luo otollisen tilanteen sille, että hitsin keskilinjalle suotautuu jäähmettymisen viime vaiheessa epäpuhtauksista rikas seos matalalla sulavine yhdisteineen. Repeämiä syntyy helposti keskilinjalle, jossa on osittain vielä sulia kalvoja raerajoilla, kun jännitykset alkavat vaikuttaa. Jos palko on leveä, niin jäähmettyminen suuntautuu enemmän ylöspäin.

Kuumahalkeilu liittyy usein hitseihin, joissa tunkeuma on suuri. Suuri tunkeuma lisää sekoittumisastetta (sulaneen perusaineen osuus/koko hitsiaine) ja tekee helposti hitsistä kapean ja syvän. Tällainen hitsausprosessi on tyypillisesti jauhekaarihitsaus. Tyypillinen hitsi on pienahitsi ja viistetyt railon pohjapalko. Puikkohitsissä kuumahalkeamat lienevät melko harvinaisia, mutta niitä esiintyy joskus MIG/MAG-hitseissä, erityisesti pienahitsissä.



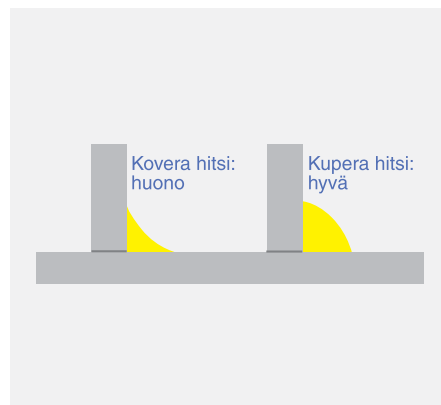
Hitsausnopeus vaikuttaa hitsisulan muotoon ja jäähmetyksen suuntaan.



Palon leveyden pitää olla suurempi kuin syvyyden.

Austeniittisten ruostumattomien terästen hitseissä kuumahalkeamia voi esiintyä helpommin myös puikko-, TIG ja MIG/MAG-hitsauksessa, koska tällainen hitsiaine varsinkin ilman ferriittiä on asemi halkeamille kuin seostamaton tai niukkaseosteinen hitsiaine.

Suuri hitsausnopeus aiheuttaa puolestaan pitkänomaisen hitsisulan, mikä edistää epäpuhtauksien suotaumista hitsin keskilinjalle, ylin kuva. Tämä koskee lähinnä vain mekanisoitua hitsausta hyvin suurilla nopeuksilla, esim. yli 1 m/min pienahitsauksessa jauhekaarella, jolloin hitsausnopeuden alentaminen voi poistaa kuumahalkeilun.



Pienahitsin muoto vaikuttaa myös halkeilutaipumukseen.

Jännitykset liitoksessa syntyvät hitsauskohdan ympäristön epätasaisesta kuumenemisestä ja jäähtymisestä sekä hitsiaineen kutistumisesta. Jos on valittu lisäaine, hitsin koko ja raito sekä hitsausjärjestys oikein, niin on mahdollista hitsata jäykkääkin rakennetta ilman kuumahalkeamia.

Syitä:

- hitsin leveys/syvyys-suhde liian pieni (alle 1: musta teräs ja alle 1,5: ruostumaton teräs)
- korkea hiilipitoisuus hitsissä (musta teräs)
- korkeat epäpuhtauspitoisuudet (mm. rikki ja fosfori) hitsissä
- liian vähän ferriittiä austeniittisessa hitsiaineessa (ruostumaton teräs)
- liian suuri ilmarako railossa
- hyvin kovera pienahitsi
- hyvin suuri hitsausnopeus

Estäminen:

- valitse sellaiset hitsausarvot, että hitsin leveys/syvyys-suhde on yli 1 (musta teräs) ja yli 1,5 (ruostumaton teräs)
- puhdista hitsattavat pinnat epäpuhtauksista
- valitse vähähiilisempi perusaine (musta teräs)
- valitse vähemmän epäpuhtauksia sisältävä perusaine
- ferriitti estää kuumahalkeamia austeniittisessä hitsiaineessa (ruostumaton teräs)
- pienennä tunkeumaa ja sekoittumista
- paranna sovitusta, jotta ilmarako olisi pienempi
- suunnittele hitsaus niin, että jännitykset olisivat pienet
- hitsaa pienahitsi hieman kuperaksi, alin kuva
- pienennä hitsausnopeutta.

Hitsien laatu ja hitsausvirheet

Osa 3

Tämä artikkelisarja antaa tietoa hitsaukseen liittyvistä hitsiluokista sekä hitsausvirheistä, niiden syistä ja korjausmenpiteistä.

Vety- eli kylmähalkeamat

Vetyhalkeama on vedyn aiheuttama halkeama, joka voi syntyä jännitysten myötävaikuttamana hitsauksen tuottamaan karsinointialueella. Ne syntyvät yleensä hitsin jäähtyttyä alle n. 150 ½C tai vasta huoneenlämpötilassa jopa vuorokauden kuluttua.

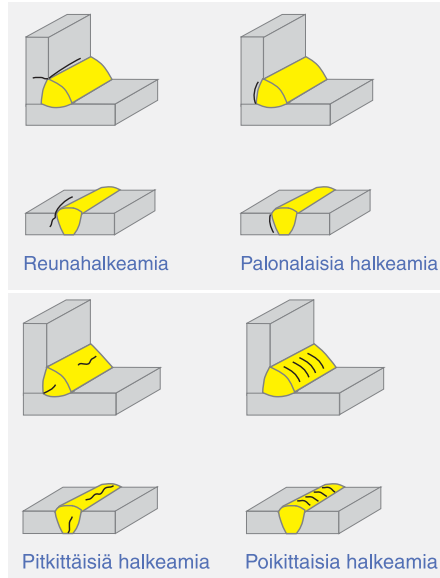
Vetyhalkeamasta käytetään montaa eri nimitystä: vetyhalkeama, kylmähalkeama, karsinointihalkeama ja viivästynyt halkeama. Lisäksi erotellaan halkeaman sijainnin mukaan erinimisiä halkeamia.

Vetyhalkeama voi esiintyä mm. perusaineen muutosvyöhykkeellä hitsin pituussuunnassa palonalaisena halkeamana (Nro 1013), hitsin juuressa juurihalkeamana (Nro 1011), hitsin reunaviivalla (sularajalla) reunahalkeamana (Nro 1012) ja poikittaisena halkeamana hitsin muutosvyöhykkeellä (Nro 1023) tai hitsiaineessa poikittaisena halkeamana (Nro 1021) ja pitkittäisenä halkeamana (Nro 1011).

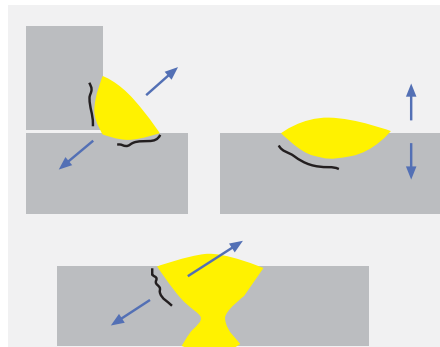
Vetyhalkeamia voi syntyä karsinointiin teräksiin, joissa voi hitsauksessa muodostua martensiittia. Tällaisia teräksiä ovat mm. seostamattomat teräkset, hienoraeteräkset, lujat teräkset, nuorrutusteräkset ja kuumalujat teräkset. Vetyhalkeamien syntyminen edellyttää usean tekijän samanaikaista olemassaoloa.

Vetyhalkeamien syntytekijät ovat:

- mikrorakenne: hauras mikrorakenne, so. karsinointi (martensiittinen) rakenne
- vetytekijä: riittävästi vetyä liuenneet hitsiin
- jännitystekijä: hitsiin kohdistuu riittävästi jännityksiä.



Vetyhalkeamia hitsin alueella.



Kutistumisjännitykset lisäävät halkeilua.

Teräksen kemiallisesta koostumuksesta laskettava hiiliekvivalentti CE (C-ekv, Ceqv) kuvaa teräksen karsinointia ja epäsuorasti myös vetyhalkeilutaipumusta sekä siten hitsattavuutta. Yleisin laskentakaava on seuraava ns. IIW-kaava:

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

Tämän CE-luvun perusteella voidaan arvioida hitsattavuutta karkeasti seuraavasti:

- CE: < 0,40 %: yleensä ei esikuumentusta
- CE: 0,40–0,50 %: yleensä ei esikuumentusta ohuilla aineilla ja niukkavetyisillä lisäaineilla sekä esikuumentusta yleensä paksuilla aineilla
- CE: > 0,50 %: esikuumentusta ja niukkavetyä

tyiset lisäaineet, mahdollisesti vielä jälkikuumentusta

Vety on tavallaan ”pääsyöllinen” vetyhalkeiluun, mikä on saanut nimensäkin tästä ”syillisestä”. Vety tulee mm. lisäaineista olevien vetyä sisältävien yhdisteiden hajotessa valokaareissa. Hitsauslisäaineissa lähteet ovat kosteus ja vetyä sisältävät yhdisteet puikon päällysteessä, täytelangan täyteessä ja jauhekaarihitsausjauheessa sekä epäpuhtaudet hitsauslankojen pinnalla. Tästä syystä lisäaineet on säilytettävä asianmukaisesti kuivassa ja lämpimässä varastossa, jotta ne eivät pääsisi kostumaan. Ne on myös tarvittaessa kuivattava ennen käyttöä.

Hitsausmenetelmät ja niiden lisäaineet eroavat huomattavasti toisistaan tuotetun hitsiaineen vetypitoisuuden suhteen.

Eurooppalainen standardi SFS-EN 1011-2 luokittelee hitsiaineen vetypitoisuudet HD (H_D, HDM, H_{DM}, Hdm) määritettynä elohopeakokeella tai vastaavalla muulla kokeella seuraavasti:

A:	> 15	ml/100 g
B:	>10–15	ml/100 g
C:	>5–10	ml/100 g
D:	3–5	ml/100 g
E:	<3	ml/100 g

Esikuumentusta on usein käytetty keino halkeamien estämiseksi. Sen määrittämiseen on olemassa tänä päivänä useita hyviä tapoja, esim. standardin SFS-EN 1011-2 esikuumentuskäyrät. Ne perustuvat useampaan tekijään kuin vain yhteen: mm. hiiliekvivalentti, lämmöntuonti, vetypitoisuus ja levynpaksuus. **SFS-EN 1011-2: Hitsausuusitukset metallisten materiaalien kaarihitsaukseen. Osa 2. Ferritisten terästen hitsaus.**

Esikuumentusta on käsitelty laajemmin seuraavassa artikkelissa:

Miksi ja miten esikuumentusta? Osat 1 ja 2, Juha Lukkari, Risto Karppi ja Pekka Nevasmaa. Hitsaustekniikka-lehti No 2/1996 ja 3/1996

Hitsiaineen vetypitoisuusluokka (EN 1011-2)

Lisäaine	erittäin matala D	matala C	keski B	runsas A
Rutiilipuikot				
Täytelangat				
Jauhekaari-aineet				
Emäspuikot				
Umpilangat				
Hitsiaineen vetypitoisuus HD (ml/100 g)				

Hitsiaineen vetypitoisuus eri menetelmillä ja lisäaineilla.

Saksalaiset ovat kehittäneet laajojen koekiden perusteella esikuumentuksen määrittämiseen myös kaavan, jossa ovat mukana eri osatekijät (lukuunottamatta jäykkyyttä) hienolla tavalla:

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh(t/35) + 62 \times HD^{0,35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328 \quad (1/2C)$$

jossa

$$T_p = \text{esikuumentuslämpötila } (1/2C)$$

$$CET = \text{”saksalainen” hiilielkivivalentti} \\ = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40 \quad (\%)$$

$$t = \text{levynpaksuus (mm)}$$

$$\tanh = \text{hyperbolinen tangetti}$$

$$HD = \text{hitsiaineen vetypitoisuus (ml/100 g)}$$

$$Q = \text{lämmöntuonti (kJ/mm)}$$

Jos esikuumentus on määritetty hitsausta varten, niin se on tehtävä myös silloitusta ja muita tilapäisiä hitsejä varten. Se on tehtävä myös oikein, riittävän leveältä alueelta railon kummallakin puolella ja mitattava sopivalla laitteella. Esikuumentuksen tekemistä ja mitausta varten on myös julkaistu eurooppalaisen standardi:

SFS-EN 13916: Esikuumentuslämpötilan, välipalkkolämpötilan ja ylläpitölämpötilan mittaussohjeet

Standardissa määritellään mm. esikuumentuslämpötilan mittausta paikaksi 75 mm railon reunasta kuumentetun levyn vastakkaisella puolella.

Jos esikuumentus on mahdoton tehdä tai se ei auta, niin voidaan käyttää austeniittista (ruostumatonta) lisäainetta. Vedyn liukoisuus austeniittiseen hitsiaineeseen on huomattavasti suurempi kuin ferriittiseen (so. seostamattomaan ja niukkaseosteiseen teräkseen) hitsiaineeseen, minkä ansiosta vety jää hitsiaineen puolelle tuottamatta siinä harmia eikä se diffundoidu (kulkeudu) karenteelle muutosvyö-

hykkeelle aiheuttamaan vetyhaurautta ja -halkeilua. Hitsiaineeseen ei muodostu hauraita mikrorakenteita, vaan se säilyttää austeniittisen tai austeniittis-ferriittisen sitkeän rakenteen.

Tällaisia lisäaineita ovat erilaiset yliseostetut ruostumattomat lisäaineet, esim. OK 67.60 (23%Cr-13%Ni), OK 67.70 (23%Cr-13%Ni-3%Mo) ja OK 68.82 (29%Cr-9%Ni, korjaushitsausten yleispuikko) sekä nikkelipohjaiset lisäaineet, esim. OK 92.26 (”Inconel”).

Tällainenkaan lisäaine ei mikään ”idiotivarma” ja esikuumentuskin voi olla tarpeen, kun teräksen paksuus on suuri (so. suuri jäykkyys) ja hiilipitoisuus korkea.

Syitä:

- korkeat hiili- ja/tai seosainepitoisuudet perusaineessa
- niukkaseosteinen hitsiaine, esim. suuriluja tai kuumaluja hitsiaine
- liian pieni hitsausenergia/lämmöntuonti
- suuri levynpaksuus ja jäykkyys
- liian matala esikuumentus ja välipalkkolämpötila
- liikaa vetyä hitsiaineessa, joka on peräisin lisäaineesta ja/tai hitsattavien pintojen epäpuhtauksista

- raiilu, joka lisää jännityksiä hitsin juuressa

Estäminen:

- valitse vähemmän seostettu teräs, mikäli se on mahdollista
- esikuumentus riittävästi
- käytä riittävän suurta hitsausenergiaa/lämmöntuontia
- käytä kuivia ja puhtaita lisäaineita
- uudelleenkuivaa lisäainetta
- käytä vähävetäisempää ja kuivaa lisäainetta
- puhdista railopinnat
- lievennä raiiluvalinnalla jännityksiä hitsin juuressa

Yhteenvetona voidaan antaa seuraava luettelo keinoista estää vetyhalkeilua:

- valitse teräs, jolla on riittävän matala hiilielkivivalentti ja joka sopii rakenteen vaatimukseen (jos mahdollista)
- käytä riittävän niukkavetyistä hitsausprosessia/lisäainetta
- huolehdi hitsauslisäaineiden asiallisesta käsittelystä, varastoinnista ja uudelleenkuivauksesta

- puhdista hitsattavat railopinnat liasta, kosteudesta yms.
- käytä riittävän suurta lämmöntuontia, mikäli se sopii kohteeseen ja vaatimukseen (mm. prosessi, hitsausasento, levynpaksuus, iskutkeys ja kuumahalkeilu)
- käytä pehmeätä eli alilujaa lisäainetta (jos mahdollista)
- käytä austeniittista lisäainetta (jos mahdollista)

- käytä esikuumentusta
- suorita vedynpoistohehkus (hieman korkeampi kuin esikuumentuslämpötila) heti hitsauksen jälkeen
- suorita jälkilämpökäsittely

Pintaan asti ulottuvat halkeamat ovat löydettävissä usein jo silmämääräisessä tarkastuksessa tai varmemmin piontata tarkastusmenetelmillä (tunkeumaneste tai magneettijauhe) Sisäiset halkeamat vaativat ultraääni- tai radiografista tarkastusta, joista ultraääni on parempi halkeamien havaitsemiseen.

Hitsien laatuluokat eivät salli halkeamia, koska ne ovat teräväkärkinä virheinä vaarallisia. Halkeamat on poistettava sopivalla tavalla, esim. hiilikaaritaltauksella. Taltaussyvyys on oltava varmuuden vuoksi hieman syvempi kuin näkyvä halkeama. Avattu kohta hitsataan täyteen. Hitsauksessa on käytettävä riittävää esikuumentusta ja lämmöntuontia ottaen huomioon teräksen koostumus ja paksuus. Koska korjaushitsin jäykkyys on todennäköisesti suurempi kuin tuotantohitsin jäykkyys, niin mahdollisen esikuumentuksen on oltava jonkin verran korkeampi kuin tuotantohitsissä, esim. 50 1/2C.

Kraatterihalkeamat (Nro 104)

Tällä halkeamalla tarkoitetaan hitsipalon päätteessä olevaa halkeamaa, joka esiintyy joskus myös säteittäisenä.

Kraatterihalkeamiin kuuluu mm. pitkittäinen kraatterihalkeama (Nro 1045), poikittainen kraatterihalkeama (Nro 1046) ja tähtimäinen kraatterihalkeama (Nro 1047).

Syitä:

- virheellinen palon lopetustapa

Estäminen:

- kuljeta valokaarta hieman taaksepäin ja lopeta valmiin hitsin päällä tai railokyljellä
- täytä kraatteri

Hitsien laatu ja hitsausvirheet

Osa 4

Tämä artikkelisarja antaa tietoa hitsaukseen liittyvistä hitsiluokista sekä hitsausvirheistä, niiden syistä ja korjaustoimenpiteistä.

Ryhmä 2: Ontelot

Onteloihin kuuluvat kaasuntelot (Nro 201), joita usein kutsutaan pelkästään myös huokosiksi. Ne ovat hitsiaineeseen sulkeuksiin jääneiden kaasujen muodostamia ja täyttämiä, pallomaisia onteloita hitsiaineessa. Huokokset voivat esiintyä hitsissä yksittäisinä, jonossa, ryhmissä tai tasaisena huokoisuutena.

Erilaisia huokosia ovat:

- yksittäinen huokonen (Nro 2011): kaasuntelo, joka on oleellisesti pallomainen
- tasainen huokoisuus (Nro 2012): lukuisia huokosia, jotka ovat jakautuneet tasaisesti
- huokosryhmä (Nro 2013): useiden huokosten muodostama paikallinen ryhmä
- huokosjono (Nro 2014): hitsin suuntaisesti sijaitsevien huokosten muodostama jono
- pitkänomainen huokonen (Nro 2015): hitsin pituussuuntaan oleva pitkänomainen suuri huokonen
- madonreikähuokonen (Nro 2016): vapautuvan kaasun aiheuttama putkimainen huokonen, joka voi sijaita vaak- tai pystysuunnassa ja nousta hitsin pintaan asti
- avohuokonen (Nro 2017): hitsin pintaan avautuva huokonen.

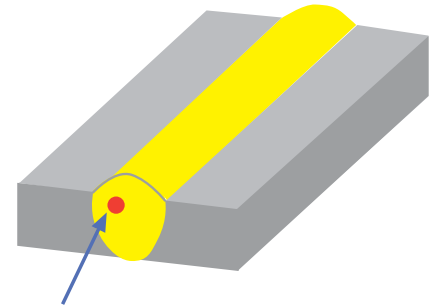
Huokosia aiheuttavia kaasuja ovat seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen hitsauksessa vety, typpi ja happi sekä ruostumattoman teräksen ja alumiinin hitseissä vety.

Syitä:

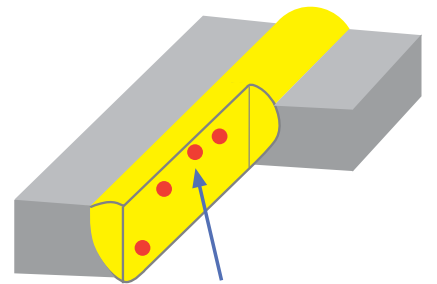
- hitsiin jäänyt kaasu, joka voi olla peräisin kosteudesta, ruosteesta, rasvasta tai muista epäpuhtauksista lisäaineessa ja perusaineessa
- kostea lisäaine
- liian suuri maalikalvon paksuus hitsattavilla pinnoilla
- huono kaasusuojaus kaasukaarihitsauksessa: vetoisuus, liian pieni kaasunvirtaus, liian suuri kaasunvirtaus, roiskeita kaasusuuttimessa yms.
- vuoto kaasunvirtausjärjestelmässä kaasukaarihitsauksessa, minkä tuloksena suoja-kaasun tulee vettä tai ilmaa
- liian pieni hitsausvirta
- liian pitkä valokaari
- liian hitsin nopea jäähtyminen
- liian suuri hitsausnopeus
- madonreikähuokokset rutiiliamentolangoilla: kosteus ja epäpuhtaudet langassa, liian suuri hitsausvirta ja liian lyhyt vapaalanka.

Estäminen:

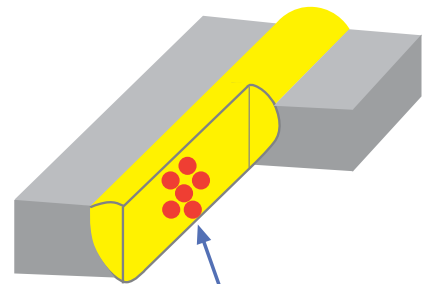
- eliminoi kosteus ja muut epäpuhtaudet lisäaineessa ja perusaineessa
- uudelleenkuivaa lisäaineet
- puhdista railopinnot tai tarkista maalikalvon paksuus
- tarkista kaasunvirtaus
- suojaa hitsauspaikka vedolta
- tarkista kaasunvirtausjärjestelmä
- suurennä hitsausvirta riittäväksi
- pienennä liian suurta kaasunvirtausta
- hitsaa sopivalla valokaaren pituudella
- esikuumenna
- pienennä hitsausnopeutta
- rutiiliamentolangoilla: säilytä lanka kuivassa ja lämpimässä tilassa, vaihda uusi lanka, pienennä hitsausvirtaa ja käytä piempää vapaalankaa.



Yksittäinen huokonen



Tasainen huokoisuus



Huokosryhmä

Lisäksi onteloihin kuuluu erilaisia kutistumisenteloita: kutistumisentelo (Nro 202 ja sen alalajit Nro 2021, 2024 ja 2025) ja mikrokutistumisentelo (Nro 203 ja sen alalajit Nro 2031 ja 2032), joita voi syntyä jähmettymisen yhteydessä.

Ryhmä 3: Sulkeumat

Sulkeumalla (Nro 300) tarkoitetaan hitsiaineeseen jäänyttä kiinteän kuonan tai muun vieraan aineen palasta. Virhe on muodoltaan säännötön ja poikkeaa ulkonäöltään huokosesta. Se voi olla yksittäinen tai sulkeumat voivat olla jonomuodostelmassa ja sijaita hitsin pituus-suuntaan.

Sulkeumiin kuuluvat mm. :

- kuonasulkeuma (Nro 301): hitsiaineeseen jääneen kuona muodostama sulkeuma
- juoksutesulkeuma (Nro 302): hitsiaineeseen jääneen juoksutteen muodostama sulkeuma
- oksidisulkeuma (Nro 303): jähmettymisen aikana hitsiaineeseen jääneen metallioksidin muodostama sulkeuma
- metallisulkeumat (Nro 304) hitsiaineeseen jääneen vieraan metallipartikkelin muodostama sulkeuma: volframisulkeuma (Nro 3041), kuparisulkeuma (Nro 3042) ja muut metallisulkeumat (Nro 3043).

Sulkeumat voivat olla jonossa (esim. Nro 3011), hajallaan (esim. Nro 3012) ryhmässä (Nro 3014).

Kuonasulkeumat (Nro 301)

Syitä:

- puutteellinen kuonanpoisto
- riittämätön juurenavaus molemmilta puolilta hitsattavassa, avattavassa hitsissä
- monipalkohitsissä palot korkeita ja koloja palkojen välissä tai palon ja railokyljen liittymäkohdassa
- virheellinen suoritustekniikka (lisäaineen kuljetus)
- kuonan vyöryminen valokaaren eteen
- liian pieni hitsausvirta
- liian kapea ja syvä railo.

Estäminen:

- poista kuona huolellisesti
- tee juurenavaus puhtaaseen hitsiaineeseen saakka
- hitsaa palot niin, etteivät palot ole liian korkeita ja ettei synny pahoja koloja palkojen väliin tai palon ja railokyljen väliin
- kohdista valokaari oikein railossa
- huolehdi siitä, ettei kuona vyöry valokaaren eteen
- käytä riittävää hitsausvirtaa
- paranna railomuotoa.

Volframisulkeumat (Nro 3041)

Volframisulkeumat ovat volframista muodostuneita metallisulkeumia hitsiaineessa TIG- tai plasmahitsauksessa, joissa käytetään volframi-putkua elektrodina.

Syitä:

- elektrodi koskettanut hitsisulaa
- elektrodin kärki sulanut
- raapaisusytytys
- väärä suojakaasu, esim. happipitoinen kaasu.

Estäminen:

- vältä elektrodilla kosketusta sulaan
- alenna hitsausvirtaa, jotta elektrodi ei sula
- käytä paksumpaa elektrodia
- käytä sytytyslaitetta valokaaren sytyttämiseen
- käytä vain inertistä suojakaasua.

Kuparisulkeumat (Nro 3042)

Kuparisulkeuma on kuparista muodostunut metallisulkeuma hitsiaineessa esimerkiksi MIG/MAG-hitsauksessa tai jauhekaarihit-sauksessa.

Syitä:

- kuparinen kosketussuutin sulanut ylivirran, vesijähdytyksen keskeytymisen tai liian lyhyen vapaalangan (suutinetäisyyden) takia.

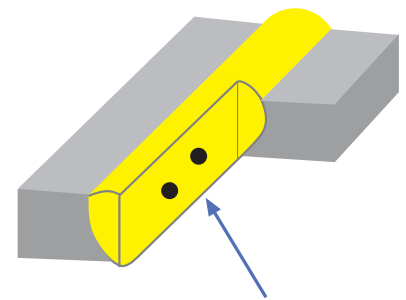
Estäminen:

- vaihda kestävämpään suuttimeen
- tarkista jäähditys
- pidennä vapaalangan pituutta.

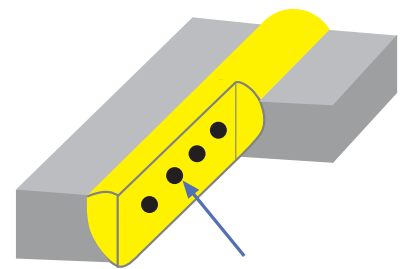
Ryhmä 4: Liittymisvirheet (Nro 400)

Liitosvirhe (Nro 401)

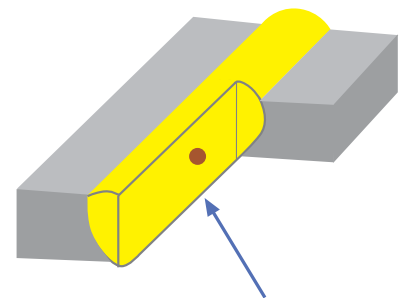
Liitosvirheellä tarkoitetaan epätäydellistä liittymistä hitsiaineen ja perusaineen välillä tai usean palon välillä. Se voi esiintyä railokyljessä eli liitosvirhe railokyljessä (Nro 4011) tai palkojen välissä monipalkohitsissä eli liitosvirhe palkojen välissä (Nro 4012). Se voi esiintyä myös sulamattomana juuripintana hitsin juuressa eli liitosvirhe hitsin juuressa (Nro 4013). Liitosvirhettä kutsutaan joskus myös kylmäjuoksuksi.



Sulkeumat hajallaan



Sulkeumat jonossa



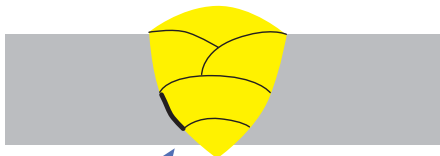
Kuparisulkeuma

Syitä:

- sulan vyöryminen valokaaren eteen kylmän perusaineen päälle, mihin voi olla syynä liian pieni hitsausnopeus, liian suuri hitsausvirta suhteessa nopeuteen, lisäaineen virheellinen kuljetus tai liian kapea railo
- liian pieni hitsausenergia, mihin voi olla syynä liian pieni hitsausvirta ja/tai liian suuri hitsausnopeus
- liian pitkä valokaari
- magneettinen puhallus vie valokaaren sivuun
- epäpuhtaudet railopinnoilla tai edellisissä paloissa.

Estäminen:

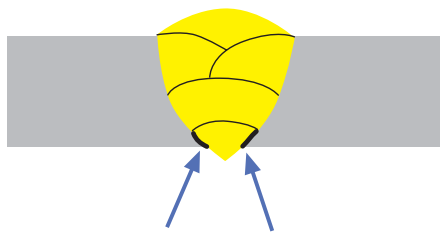
- korjaa hitsauksen suoritustapaa: virta, nopeus ja kuljetus
- käytä riittävän avaraa railoa
- käytä riittävän suurta hitsausenergiaa
- hitsaa lyhyemmällä valokaarella
- korjaa maadoituksen paikkaa
- puhdista railopinta ja edelliset palot.



Liitosvirhe railokyljessä



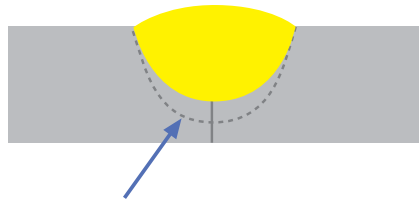
Liitosvirhe palkojen välissä



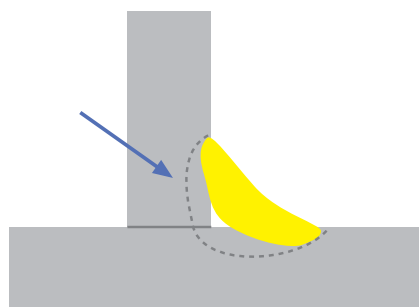
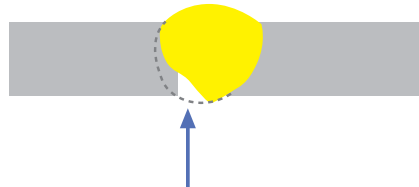
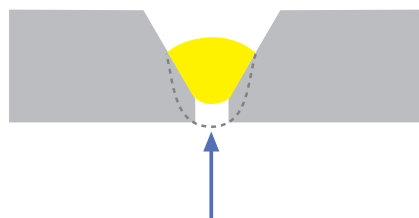
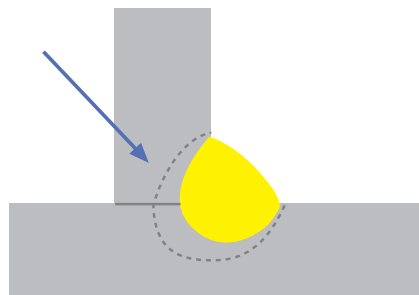
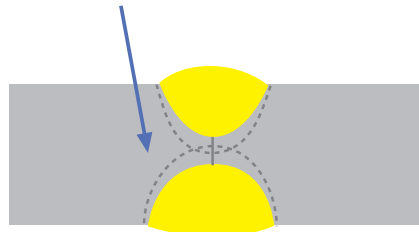
Liitosvirhe hitsin juuressa

Vajaa hitsautumissyvyys (Nro 402)

Tämä virhe on todellisen ja nimellisen hitsautumissyvyyden välinen ero. Hitsi ei ole tunkeutunut riittävän syväälle railossa. Kun vajaa hitsautumissyvyys esiintyy hitsin juuressa, jolloin toinen railon kylki tai molemmat railon kyljet eivät ole sulaneet hitsin juuressa, niin siitä käytetään myös nimitystä vajaa hitsautumissyvyys juuressa (Nro 4021). Joskus virheestä käytetään myös nimitystä vajaa tunkeuma.



Vaadittu hitsautumissyvyys



Yhdeltä puolen läpihitsattavassa railossa vajaa hitsautumissyvyys eroaa vajaasta juuresta (Nro 515) siinä, että juurisärmät eivät sulaneet. Nämä kaksi virhettä sekoitetaan joskus keskenään. Kuitenkin on syytä muistaa, että hitsiluokkien antamat raja-arvot (so. sallittavuus) ovat aivan erilaiset.

Syitä:

- virheellinen railomuoto: liian korkea juuripinta, liian pieni ilmarako, liian pieni railolokulma tai sovitusvirhe
- liian pieni hitsausvirta ja/tai hitsausenergia
- liian paksu lisäaine
- palon virheellinen sijoitus päittäishitsin toisen puolen hitsauksessa ("palot eivät kohtaa toisiaan")
- kuona vyörynyt valokaaren eteen
- riittämätön juurenavaus.

Estäminen:

- korjaa railomuotoa
- käytä riittävän suurta hitsausvirtaa ja/tai hitsausenergiaa
- käytä ohuempaa lisäainetta, ainakin pohjapalossa
- huolehdi siitä, että vastapuolen palko tulee oikeaan kohtaan ("palot kohtaavat toisensa riittävästi")
- huolehdi oikealla kuljetustekniikalla, ettei kuona vyöry valokaaren eteen
- tee juurenavaus riittävän syväälle.

Hitsien laatu ja Osa 5 hitsausvirheet

Artikkelisarja on antanut laajasti tietoja hitsien laadusta sekä hitsausvirheistä, niiden syistä ja toimenpiteistä, joilla voidaan estää niiden syntymistä.

Ryhmä 5: Muoto- ja mittavirheet

Virheellinen muoto (Nro 500)

Tällä virheellä tarkoitetaan hitsin ulkopinnan virheellistä muotoa tai liitoksen epätäydellistä geometriaa. Tähän virheryhmään kuuluvat seuraavat virheet.

Reunahaava (Nro 501)

Reunahaava on palon vieressä perusaineessa tai edellisessä palossa hitsauksen aiheuttama (sulattama) jatkuva tai epäjatkua pitkittäinen syvennys eli ura, jota sula metalli ei ole täyttänyt.

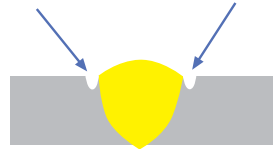
Reunahaavoja ovat jatkuva reunahaava (Nro 5011), katkonainen reunahaava (Nro 5012), juurenpuoleinen reunahaava (Nro 5013), palkojen välinen reunahaava (Nro 5014) ja paikallinen reunahaava (Nro 5015).

Syitä:

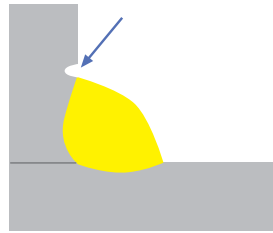
- liian suuri hitsausvirta
- virheellinen lisäaineen kuljetus
- lisäaineen suuntaus alapienahitsissä liikaa pystylevyyden
- liian laaja levitysliike ja liian lyhyt tai pitkä pysähtyminen reunoilla

Estäminen:

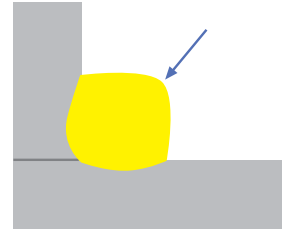
- pienennä hitsausvirtaa
- käytä oikeata kuljetustekniikkaa
- suuntaa lisäaine alapienassa hiukan nurkasta ulospäin
- tee levitysliike oikein



Reunahaava



Korkea kupu



Korkea kupu pienahitsissä



Korkea juurikupu

Juurenpuoleinen reunahaava (Nro 5013)

Juurenpuoleinen reunahaava eli reunahaava hitsin juuressa tarkoittaa pohjapalon toisella tai molemmilla reunoilla olevia näkyviä uria juuren puolella.

Syitä:

- liian korkea juuripinta
- liian pieni ilmarako
- liian pieni hitsausenergia
- juurikaasun paine liian suuri (jos käytetään juurikaasua)

Estäminen:

- käytä oikeankokoista juuripintaa ja ilmarakoa
- käytä riittävän suurta hitsausenergiaa pienennä juurikaasun painetta

Korkea kupu (Nro 502)

Virheellä tarkoitetaan liian suurta kuvun korkeutta päittäishitsissä eli päittäishitsin pinnalla on liikaa hitsiainetta.

Syitä:

- liian hidus kuljetusnopeus verrattuna hitsiaineentuottoon
- liian matala railon tilavuus tai viistämäton railo
- liian paksu lisäaine

Estäminen:

- käytä riittävää kuljetusnopeutta

- käytä oikeata railomuotoa
- käytä sopivan kokoista lisäainetta

Korkea kupu pienahitsissä (Nro 503)

Tällä virheellä tarkoitetaan liian suurta kuvun korkeutta pienahitsissä eli pienahitsin pinnalla on liikaa hitsiainetta.

Syitä ja estäminen:

ks. Nro 502

Korkea juurikupu (Nro 504)

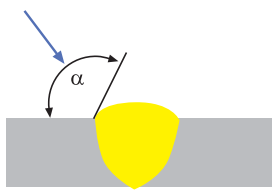
Virheellä tarkoitetaan liian suurta juuren kuvun korkeutta eli pohjapalko ulkonee juuren puolella liian paljon perusaineen tasosta. Virhettä kutsutaan joskus myös juuren valumaksi. Sitä on kolmea lajia: paikallinen korkea juurikupu (Nro 5041), jatkuva korkea juurikupu (Nro 5042) ja läpivaluma (Nro 5043).

Syitä:

- liian suuri ilmarako
- liian matala juuripinta
- liian suuri hitsausenergia
- liian pieni kuljetusnopeus

Estäminen:

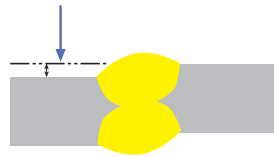
- käytä oikeankokoista ilmarakoa ja juuripintaa
- pienennä hitsausenergiaa
- nosta hitsausnopeutta



Jyrkkä liittyminen



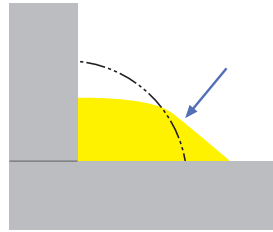
Valuma



Tasomainen sovitusrvirhe



Kulmapoikkeama



Kateettipoikkeama



Vajaa kupu



Vajaa juuri

Jyrkkä liittyminen (Nro 505)

Jyrkkä liittyminen tarkoittaa sellaista virhettä, jossa hitsipalko liittyy liian jyrkästi perusaineeseen. Tällöin perusaineen tason ja hitsipalon rajaviivalla olevan tangenttitason välinen kulma on liian pieni. Erityisesti dynaamisesti kuormitetuissa rakenteissa edellytetään, että hitsipalot liittyvät perusaineeseen juohevasti.

Valuma (Nro 506)

Hitsin reunassa perusaineen pinnalle valunut hitsiaine, joka ei ole kuitenkaan sulanut kiinni siihen. Se voi esiintyä hitsin pinnan puolella, jolloin sitä kutsutaan pintapalon valumaksi (Nro 5061) tai juuren puolella, jolloin sitä kutsutaan pohjapalon valumaksi (Nro 5062).

Syitä:

- liian hidas kuljetusnopeus suhteessa hitsiaineentuottoon
- liian suuri a-mitta hitsattavaksi yhdellä pallolla pienahitsissä
- virheellinen lisäaineen kuljetus

Estäminen:

- käytä oikeata kuljetusnopeutta suhteessa tuottoon
- käytä monipalkohitsausta suurissa pienahitseissä
- kuljeta lisäainetta oikein

Tasomainen sovitusrvirhe (Nro 507)

Hitsattavien kappaleiden sovituksessa syntynyt virhe tasomaisuudessa (suuntaispoikkeama) niin, että päittäisliitoksessa kappaleiden pintojen tasot ovat samansuuntaiset, mutta ovat eri tasossa. Kun virhe esiintyy levyillä, niin sille on tunnus Nro 5071. Putkilla tunnus on Nro 5072.

Syitä:

- epätarkka osien sovitus
- levyjen ja osien muoto-poikkeamat
- aikaisempien hitsien aiheuttamat vetelyt

Estäminen:

- paranna sovitustarkkuutta

- tarkista levyjen tasomaisuus
- valvo hitsausjärjestystä
- kiinnitä osat hyvin

Kulmapoikkeama (Nro 508)

Hitsattavien kappaleiden sovituksessa syntynyt virhe niin, että kappaleiden pintojen tasot eivät ole yhdensuuntaiset.

Syitä:

- huono osien sovitus
- hitsin aiheuttama kulmamuodonmuutos

Estäminen:

- paranna sovitustarkkuutta
- muuta hitsausjärjestystä
- aseta osat ennakkokulmaan tai esitaivuta osat

Vajonnut hitsi (Nro 509)

Vajonnut hitsi tarkoittaa hitsiaineen valumisesta johtuvaa hitsin pinnan tai juuren virheelistä muotoa. Hitsausasennon ja paikan mukaan sille on vielä omat tunnuksensa: vajoaminen vaaka-asennossa (Nro 5091), vajoaminen jalok- tai lakiasennossa (Nro 5092), vajoaminen pienahitsissä (Nro 5093) ja vajoaminen hitsin reunassa (Nro 5094).

Syitä:

- virheellinen suoritus
- liian pieni teho
- liian suuri nopeus

Estäminen:

- täytä hitsi kunnolla ja suuntaa lisäaine oikein
- käytä riittävää tehoa
- hidasta nopeutta

Läpivalunut hitsi (Nro 510)

Virheellä tarkoitetaan hitsisulan läpivalumista, kun hitsiin on syntynyt läpimenevä reikä.

Vajaa kupu (Nro 511)

Vajaa kupu tarkoittaa riittämättömästä railon täyttymisestä johtuvaa uraa tai painumaa hitsin pinnalla tahi koko hitsin pinnan alimittaisuutta hitsin pituus suunnassa.

Syitä:

- virheellinen suoritus
- liian pieni tuotto
- liian suuri nopeus

Estäminen:

- täytä hitsi kunnolla ja suuntaa lisäaine oikein
- suurennä tuottoa
- hidasta nopeutta

Kateettipoikkeama (Nro 512)

Pienahitsin kyljet eli kylkimitat ovat liikaa epäsymmetrisiä olettaen, että hitsi ei ole suunniteltu epäsymmetriseksi. Virhettä kutsutaan joskus myös epäsymmetriseksi pienahitsiksi.

Syitä:

- virheellinen lisäaineen suuntaus
- liian suuri ja valuva hitsisula

Estäminen:

- suuntaa lisäaine oikein
- pienennä hitsiaineentuottoa

Epäsäännöllinen hitsin leveys (Nro 513)

Hitsin leveys vaihtelee liian paljon.

Epäsäännöllinen hitsin pinta (Nro 514)

Hitsin pinta on liian epätasainen.

Vajaa juuri (Nro 515)

Vajaa juuri tarkoittaa kutistumisen aiheuttamaa laakeata uraa hitsin juuressa, jossa juurisärmät ovat kuitenkin sulaneet.

Syitä:

- liian korkea juuripinta
- liian pieni ilmarako
- liian pieni hitsausenergia
- juurikaasun paine liian suuri (jos käytetään juurikaasua)

Estäminen:

- käytä oikeankokoista juuripintaa
- käytä ilmarakoa
- käytä riittävää hitsausenergiaa
- pienennä juurikaasun painetta

Huokoisuus hitsin juuressa (Nro 516)

Hitsiaineen jähmettymisen aikana tapahtuvan kaasujen kuplimisen aiheuttama sienimäisyys hitsin juuressa.

Uudelleenaloitusvirhe (Nro 517)

Paikallinen pinnan epäsäännöllisyys uudelleenaloituskohdassa eli palkojen jatkoskohdassa: pintapalossa (Nro 5171) tai pohjapalossa (Nro 5172).

Liian suuri muodonmuutos (Nro 520)

Hitsien kutistumisten ja vetelyiden aiheuttama liian suuri mittamuutos.

Virheellinen hitsin mitta (Nro 521)

Hitsin mitta voi olla virheellinen usealla tavalla: liian suuri hitsin paksuus (Nro 5211), liian suuri hitsin leveys (Nro 5212), liian pieni a-mitta (Nro 5213) tai liian suuri a-mitta (Nro 5214).

Liian suuri hitsin paksuus (Nro 5211)

Hitsin paksuus on liian suuri.

Liian suuri hitsin leveys (Nro 5212)

Hitsin leveys on liian suuri.

Liian pieni a-mitta (Nro 5213)

Pienahitsin todellinen a-mitta on liian pieni.

Syitä:

- liian nopea kuljetus verrattuna hitsiaineentuottoon
- hyvin kovera muoto työntävästä kuljetusasennosta johtuen

Estäminen:

- hidasta kuljetusnopeutta tai lisää hitsiaineentuottoa
- käytä pystympää tai vetävää kuljetusasentoa

Liian suuri a-mitta (Nro 5214)

Pienahitsin todellinen a-mitta on liian suuri.

Syitä:

- liian hidasta kuljetusnopeutta verrattuna hitsiaineentuottoon
- virheellinen lisäaineen/hitsauspistoolin kuljetusasento (liian vetävä)

Estäminen:

- käytä suurempaa kuljetusnopeutta
- käytä oikeata kuljetusasentoa (vähemmän vetävä)

Ryhmä 6: Muut virheet

Tähän ryhmään kuuluvat kaikki muut virheet, jotka eivät kuulu edellisiin ryhmiin.

Sytytysjälki (Nro 601)

Paikallinen jälki hitsin vieressä perusaineen pinnalla, joka johtuu valokaaren sytyttämisestä tai palamisesta railon ulkopuolella.

Syitä:

- valokaari sammutettu tai sytytetty väärässä paikassa
- huono maadoitus (pieniä valokaaria maadoittimessa)

Estäminen:

- sammuta valokaari sellaisessa kohdassa, joka jää hitsin alle
- tarkista maadoitus

Roiskeet (Nro 602)

Lisäaineesta tai hitsiaineesta sinkoutuneet pienet sulapisararat, jotka ovat tarttuneet kiinni perusaineen tai jähmettyneen hitsiaineen pinnalle.

Syitä:

- virheelliset hitsausarvot, esim. liian suuri virta
- virheelliset hitsausarvot, esim. MIG/MAG-hitsauksessa virta ja jännite eivät ole oikeassa suhteessa toisiinsa tai virheellinen induktanssin arvo
- kosteat puikot
- väärä napaisuus
- magneettinen puhallus

Estäminen:

- korjaa hitsausarvoja
- kuivaa puikot
- käytä oikeata napaisuutta
- vähennä magneettista puhallusta sijoittamalla maadoitin toiseen paikkaan

Vioittunut pinta (Nro 603)

Työkappaleen pinnan vaurioituminen, kun tilapäiset hitsatut kiinnikkeet on poistettu muramalla eikä murtopintaa ole korjattu.

Hiontajälki (Nro 604)

Hionnan aiheuttama pinnan paikallinen vaurioituminen.

Taltausjälki (Nro 605)

Taltan tai muun työkalun aiheuttama pinnan paikallinen vaurioituminen.

Liiallinen hionta (Nro 606)

Työkappaleen hionta niin paljon, että sen paksuus jää liian pieneksi.

Silloitusvirhe (Nro 607)

Virheellisen silloituksen aiheuttama virhe, joka voi olla murtunut hitsi tai puuttuva tunkeuma (Nro 6071) ja hitsaus virheellisen siltahitsin päälle (Nro 6072).

Kohdistusvirhe (Nro 608)

Mailon molemmilta puolilta hitsattujen palkojen keskilinjat eivät ole kohdakkain.

Päästöväri (Nro 610)

Oksidoitunut ja väritynyt pinta hitsausvyöhykkeellä, mikä esiintyy erityisesti ruostumattomissa teräksissä.

Oksidoitunut pinta (Nro 613)

Voimakkaasti oksidoitunut pinta hitsausvyöhykkeellä.

Juoksutejäänne (Nro 614)

Hitsin pinnalle jäänyt juoksute, jota ei ole poistettu riittävän hyvin.

Kuonajäänne (Nro 615)

Hitsin pinnalle jäänyt kuona, jota ei ole poistettu riittävän hyvin.

Sovitusvirhe pienahitsissä (Nro 617)

Liian suuri tai pieni rako liitettävien osien välissä.

Turpoama (Nro 618)

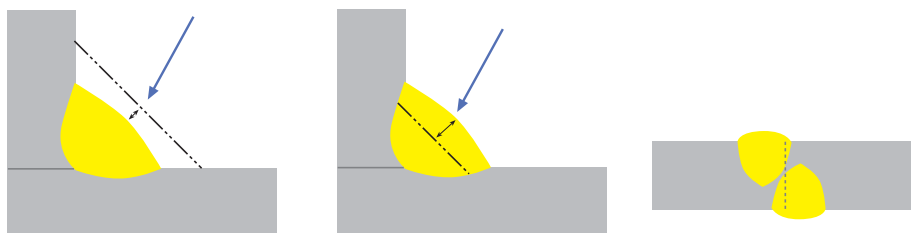
Kevytmetallien hitsausliitoksissa esiintyvä virhe, johon on syynä liian pitkä pitoaika jähmettymisvaiheessa.

Miten paljon virheitä sallitaan hitsiluokissa?

Standardi SFS-EN 25817 antaa raja-arvot hitsausvirheille eli miten suuria ja paljon virheitä voi olla eri hitsiluokissa B (vaativa), C (hyvä) ja D (tyydyttävä).

JUHA LUKKARI

Teknisen palveluosaston päällikkö
☎ (09) 547 7890 tai 0500 414 045



Liian pieni a-mitta

Liian suuri a-mitta

Kohdistusvirhe