

B.3 Terästen hitsattavuus

B.3.1 Hitsattavuus käsite

International Institute of Welding (IIW) määrittelee hitsattavuuden näin:

"Hitsattavuus ominaisuutena metallisessa materiaalissa, joka annetun hitsausprosessin käytössä annettua tarkoitusta varten tekee sen, että jatkuva metallinen liitos voidaan saada aikaiseksi sopivalla menettelyllä, jolloin hitsin pitää täyttää paikalliset vaatimukset ja niiden vaikutus rakenteeseen, johon se sisältyy. "

Tästä määritelmästä ei hitsaaja tule paljoakaan viisaammaksi. Mitä siinä yritetään sanoa on, että hitsaamalla materiaalia hyvillä tuloksilla, niin materiaali on sopivaa hitsattavaksi.

Käytännöllisesti katsoen kaikki metallit ovat hitsattavissa, mutta eri syistä vältetään hitsaamasta useita metalleja. Tulee liian kalliiksi tai tulokset ovat huonoja ja siksi valitaan muita liittämismenetelmiä liitoksen tekemiseksi.

Suurelta osin seuraavat tekijät määräävät materiaalin sopivuuden hitsattavaksi:

- kemiallinen koostumus
- metallin rakenne
- lämpötila hitsattaessa
- aineenpaksuus
- hitsausprosessi
- hitsausparametrit ja asento
- rakenteellinen muotoilu

Kemialliset analyysit, joissa on paljon epäpuhtauksia ja seosaineita, jotka esimerkiksi lisäävät karkenevuutta, tekevät hitsauksen vaikeaksi. Hyvin hitsattavien terästen hiilipitoisuus ei saisi ylittää 0,25%. Erytystä huomiota on kiinnitettävä hitsausmenetelmään ja lisäaineeseen, lämpökäsittelyyn jne (katso kohta hiiliekvivalentista tässä kappaleessa).

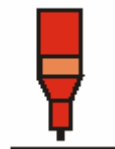
Metallin mikrorakenne voidaan tietyssä määrin liittää kemialliseen analyysiin.

Lämpötila hitsauksessa riippuu hitsausprosessista. On yleisesti tunnettua, että mitä "kylmemmällä" hitsausprosessilla työskennellään, sitä enemmän lämpöä leviää materiaaliin, josta seuraa hitsin hitaampi jäähtyminen.

Kaasuhitsaus ja jauhekaarhitsaus ovat hitsausprosesseja, jotka antavat suurimman lämmönleviämisen, seuraavaksi puikko, MIG/MAG, TIG, plasma ja laser tässä järjestyksessä. Kaksi viimeksi mainittua antavat vain muutaman millimetrin lämmönleviämisen ja ovat siitä syystä lempeitä materiaalille. (Katso kohta: Lämmöntuonti)



Kaasuhitsaus aiheuttaa suuren lämmönleviämisen



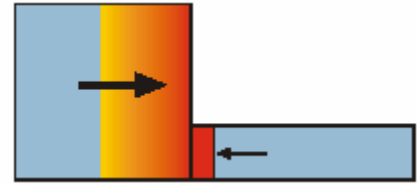
TIG-hitsaus pienemmän

Hitsattavan kappaleen aineenpaksuudella on tietty rooli hitsauksessa. Suhteellisen ohut materiaali voi tietyissä tapauksissa olla suhteellisen helppoa hitsata, mutta sama materiaali paksuna voi vaatia sekä erilaisia lämpökäsittelyjä että hyvin suunnitellun hitsaustapahtuman.

Paksut materiaalit tarvitsevat lyhyesti sanottuna enemmän aikaa jäähtymiseen.

Hitsausprosessi: katso lämpötila hitsauksessa.

Hitsausparametrit ja asento: Suuret hitsausparametrit (virta, jännitys, langansyöttö, induktanssi) lisäävät tosin hitsiaineentuottoa kg/tunti, mutta ne voivat olla suorastaan tuhoisia herkkien materiaalien hitsauksessa.



Paksut hitsit jäähtyvät hitaammin kuin ohuet.

Hitsauksen vaikutus perusaineeseen

Hitsauksen sulassa tilassa ollut aine kutsutaan hitsiaineeksi. Hitsiaineen ja sulamattoman perusaineen välillä oleva raja kutsutaan sularajaksi. Hitsiaineen vieressä on lämpövyöhyke. Lämpövyöhykkeen osa, jossa on tapahtunut mikrorakennemuutoksia kutsutaan muutosvyöhykkeeksi (HAZ).

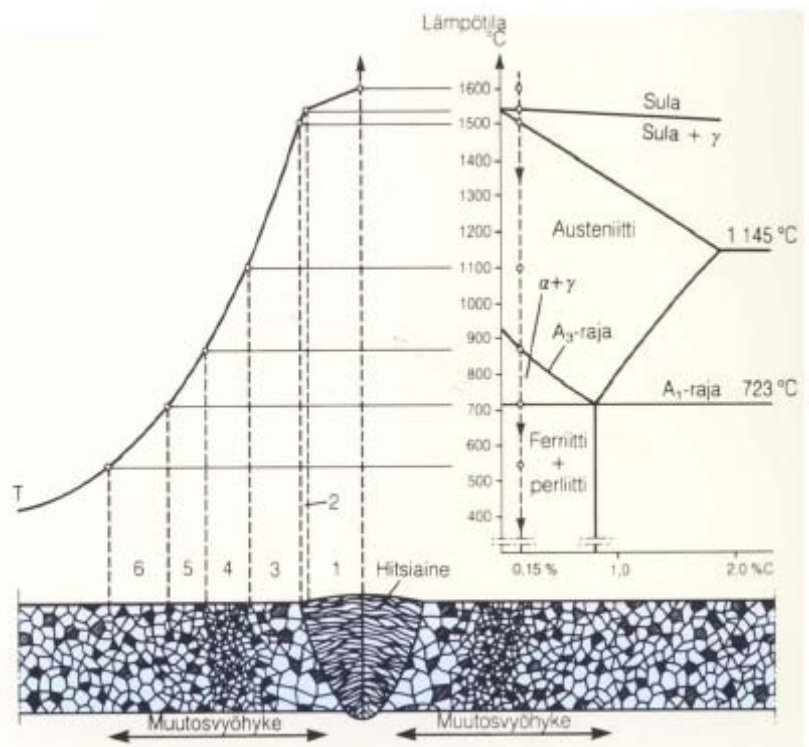
Muutosvyöhykkeessä välittömästi hitsiaineen vieressä on ylikuumentunut eli karkearakeinen vyöhyke (3), jossa on isoksi kasvaneita kiteitä. Tämä vyöhyke voi olla rakenteelle haitallinen, koska siellä kiteet ovat suuria ja hauraita. Tällä alueella lämpötila on ollut välillä 1100...1500° C.

Sitä seuraa normalisoitunut hienorakeinen vyöhyke (4), jonka lämpötila on ollut välillä 870...1100° C ja sitten siitä aina 720° C asti alue, jota kutsutaan osittain austenitoituneeksi vyöhykkeeksi (5).

Lämpötiloissa 720...550° C käynyt alue on karbidien palloutumis- vyöhyke ja sen jälkeen perusainetta vastaava rakenne eli hitsauslämpö ei ole muuttanut rakennetta lainkaan.

Tämä jähmettyminen tapahtuu suhteellisen nopeasti. Mitä paksumpi materiaali, sitä nopeampi jäähtyminen. Riski on silloin, että materiaali muuttaa rakennettaan ja saa aikaan epätoivotut ominaisuudet.

Kuva esittää hitsausliitoksen vyöhykkeet teräksessä, jonka hiilipitoisuus on 0,15%. Raekoko on esitetty huomattavasti suurennettuna.



1 Hitsiaine, 2 Sularaja, 3 Karkearakeinen vyöhyke, 4 Hienorakeinen vyöhyke, 5 Osittain austenitoitunut vyöhyke, 6 Karbidien palloutumisvyöhyke

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

B.3.2 Analyysin, lämpötilan ja levyn paksuuden (hitsin paksuuden) vaikutus

Lämmöntuonti

Suuri merkitys teräksen ominaisuuksille hitsauksen jälkeen on sillä lämpömäärällä, mikä tuodaan materiaaliin. Mitä suurempi lämpömäärä tuodaan, sitä enemmän lämpöä leviää materiaaliin. Muutosvyöhykkeessä rakeenkasvualue (hauras) kasvaa ja materiaalin lujuusarvot heikkenevät vastaavasti.

Hitsiin tuotu lämpömäärää pituusyksikköä kohti kutsutaan lämmöntuonniksi

Lämmöntuonti ilmoitetaan kJ/mm. Lämmöntunti lasketaan kaavasta:

$$\text{Lämmöntuonti} = k \times Q = \frac{k \times U \times I \times 10^{-3}}{v} \quad (\text{KJ/mm})$$

jossa

- k = terminen hyötysuhde
- Q = hitsausenergia (kaarienergia)
- U = kaarijännite
- I = hitsausvirta
- v = hitsausnopeus (mm/s)

Lämmöntuonti lasketaan ennen hitsausta ja annetaan hitsausohjeessa hitsausparametrien muodossa eli kaarijännite, hitsausvirta, hitsausnopeus ja puikon koko. Terästen hitsauksessa pääasiassa pyritään välttämään halkeaminen syntymistä hitsiin. Kun materiaali on usein karkenevaa, hitsauksen täytyy tapahtua oikealla tavalla halkeamien välttämiseksi. Halkeilualttiutta voidaan arvioida tietyille teräksille laskemalla hiiliekvivalentti. (Katso seuraava sivu.)

Terminen hyötysuhde

Terminen hyötysuhde kertoo paljonko hitsausenergiasta menee hitsattavaan kappaleeseen eri hitsausprosesseilla. Jauhekaarihitsauksessa terminen hyötysuhde on 1. Jauhekaarihitsauksessa lämpöä ei häviä yhtään säteilemällä kuten muissa hitsausprosesseissa.

Termiset hyötysuhteet:

Jauhekaarihitsaus	1
MIG/MAG-hitsaus	0,8
Puikkohitsaus (MMA)	0,8
TIG-hitsaus	0,6

Lämmöntuonnin laskeminen

Lämmöntuonnin tulee olla sopiva käytettävälle materiaalille. Useimmat terästen valmistajat antavat neuvoja, kuinka heidän materiaalejaan pitää hitsata.

Esimerkki: Lämmöntuonti puikkohitsaukseen 15 mm:n paineastiateräkselle P235GH, lisäaine OK 48.00, $\phi 2,5$ mm.

terminen hyötysuhde = 0,8

kaarijännite = 21 V

hitsausvirta = 80 A

hitsausnopeus = 1,2 mm/s

Kaavaan sijoittamalla saadaan lämmöntuonniksi:

$$0,8 \times 21 \times 80 / (1,2 \times 1000) = 1,12 \text{ kJ/mm}$$

Kaarijännite ja hitsausvirta luetaan hitsauksen aikana. Hitsausnopeus voidaan laskea, kun tiedetään kaariaika ja palon pituus. Kaariaika löytyy annettuna puikkoluetteloista ja palon pituus saadaan hitsausrailosta mitattuna, kun koko hitsauspuikko on käytetty.

Hiiliekvivalentti *CE*

Toinen tärkeä huomioitava tekijä laskettaessa työlämpötilaa on hiiliekvivalentti. Se voi löytyä annettuna terästehtaiden materiaalitodistuksessa (sulatusanalyysi). Jos sitä ei ole annettuna todistuksessa, niin se voidaan laskea materiaalianalyysin perusteella. Hiiliekvivalentin laskelma voidaan tehdä seuraavalla tavalla, kun kemiallinen koostumus kokonaisuudessaan tunnetaan:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Esimerkki: Paineastialevy SFS-EN 10028-2 P235GH – aineenpaksuus 30 mm, jonka kemiallinen analyysi on seuraavanlainen:

Hiili = C =	0,16%
Mangaani = Mn =	1,2%
Kromi = Cr =	0,30%
Molybdeeni = Mo =	0,08%
Vanadiini = V =	0,02%
Nikkeli = Ni =	-
Kupari = Cu =	0,3%

$$CE = 0,16 + 1,28/6 + (0,30 + 0,08 + 0,02)/5 + 0,30/15$$

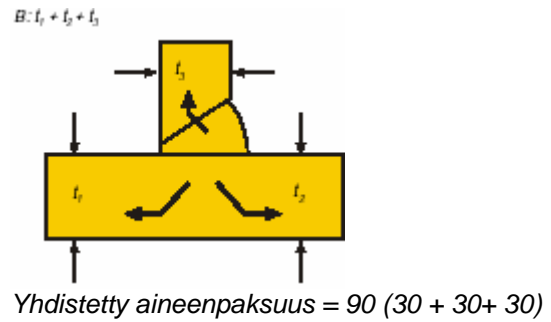
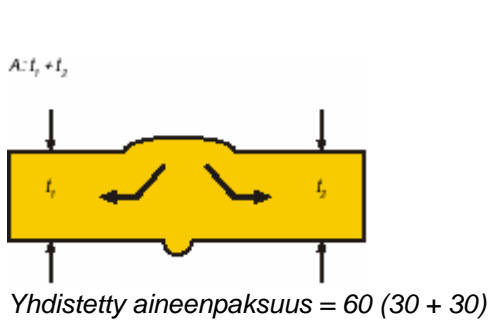
$$CE = 0,46$$

CE-arvoja käytetään arvioitaessa korotetun työlämpötilan tarvetta. Katso käsite korotettu työlämpötila seuraavalta sivulta.

Aineenpaksuuden (hitsin paksuus) vaikutus

Kuten aikaisemmin olemme maininneet, on aineenpaksuudella suuri vaikutus hitsaukseen. Laskettaessa esikuumennuslämpötilaa pitää kaikki mahdolliset lämmön poistumisreitit ottaa huomioon. Mitä enemmän lämmön poistumisreittejä on, sitä nopeammin jäähtyminen tapahtuu. Kuvassa A nähdään kaksi poistumisreittiä lämmölle. Kuvassa B poistumisreittejä on kolme.

Tästä seuraa, että tapauksessa B jäähtymisnopeus on suurempi. Normaalisti käytetään yhdistettyä levyn paksuutta laskelmissa. Yhdistetty aineenpaksuus tapauksessa A ja B on luettavissa kuvatekstistä, kun aineenpaksuus on 30 mm.



Yhteenvedo esikuumennuslämpötilan tarpeesta

Esikuumennustarve määritetään lämmöntuonnin, analyysin (hiilikvivalentin), yhdistetyn aineenpaksuuden ja hitsiaineen vetypitoisuuden perusteella.

Esimerkki:

Materiaali teräslevy SFS-EN 10028-2 P235GH, aineenpaksuus 30 mm
Hitsausprosessina on puikkohitsaus, puikkona OK 48.00 ϕ 2,5 mm

Lämmöntuonti = terminen hyötysuhde X kaarienergia (Puikkohitsaus) = $0,8 \times 21 \times 80 / (1,2 \times 1000)$
= 1,12 kJ/mm

Hiilikvivalentti $CE = 0,46$

Yhdistetty aineenpaksuus 30 mm + 30 mm = 60 mm

Alla olevassa taulukossa nämä arvot on tuotu esille (ote standardista SFS-EN 1011-2).

Esikuumennuslämpötilan valinta

Alin suositeltava esikuumennuslämpötila (katso myös välipalkolämpötilat) on annettu taulukossa, joka pätee puikoille, joiden vetypitoisuusluokka on H5. Kovia sisäisiä jännityksiä sisältäville hitsausliitoksille ja korjaushitsauksissa nostetaan lämpötilaa vähintään 25° C.

$CE^{1)}$	Lämmöntuonti kJ/mm ²⁾	Yhdistetty aineenpaksuus, mm. Katso yllä olevat kuvat.							
		20	30	40	50	60	70	90	100
0,44	1	R ³⁾	R	R	R	R	R	R	R
	2	R	R	R	R	R	R	R	R
	3	R	R	R	R	R	R	R	R
0,46	1	R	R	R	R	R	R	50	50
	2	R	R	R	R	R	R	R	R
	3	R	R	R	R	R	R	R	R
0,48	1	R	R	R	R	R	75	100	100
	2	R	R	R	R	R	R	R	R
	3	R	R	R	R	R	R	R	R
0,50	1	R	R	R	50	75	100	125	125
	2	R	R	R	R	R	R	R	50
	3	R	R	R	R	R	R	R	R

1) Eripariliitoksissa, joissa hiilikvivalentin arvot poikkeavat toisistaan, käytetään korkeinta.

2) Palkokohtainen

3) R = huoneenlämpötila

Taulukosta voidaan katsoa alin työlämpötila, jota voidaan käyttää. Esimerkissämme riittää huoneen lämpötila. Jos hiiliekvivalentti olisi ollut 0,50, niin työlämpötila olisi ollut 75°C. Jos yhdistetty aineenpaksuus olisi ollut 100 mm, niin tarvittava työlämpötila olisi ollut 50°C. Yksinkertaistettu yhteenveto kuuluu siis: korkea hiiliekvivalentti, pieni lämmöntuonti ja paksut kappaleet vaativat korkeamman työlämpötilan. Yleensä esikuumennuslämpötila vaihtelee välillä 20°C...250°C Hyvien hitsaustulosten saavuttamiseksi voi olla tarpeen tutustua teräs- ja puikkovalmistajien ohjeisiin.

Hitsattavuuskokeet

On olemassa suuri määrä hitsattavuuskokeita ja sen vuoksi niitä ei ole helppoa esittää selventävästi lyhyesti. Hitsattavuuskokeet voidaan jaotella kylmä- ja kuumahalkeamakokeisiin. Kylmähalkeamakokeita esitetään standardissa EN ISO 17642-1/3 ja kuumahalkeamakokeet standardissa EN ISO 17641-1/3. Tietyt kokeet ovat hyvin monimutkaisia ja toiset taas huomattavasti yksinkertaisimpia. Vaikeusaste ja testin valinta täytyy soveltaa siihen rakenteeseen, jota hitsataan tai muutoin kaikki esitestit ovat hukkaan heitettyä rahaa.

Tulokset jostakin näistä kokeista ohjaavat hitsausohjeen (= WPS) laadintaa. Hitsaajana voi käydä niin, että sinä pääset mukaan tekemään jotakin näistä hitsattavuuskokeista.