

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET

1.	Johdanto .....	6
1.1.	Työn taustaa ja tavoite.....	6
1.2.	Plymac Oy .....	7
1.3.	UPM - Kymmene Wood Oy, Savonlinnan tehdas .....	7
2.	MEKAANINEN METSÄTEOLLISUUS .....	9
2.1.	Mekaaninen metsäteollisuus yleensä .....	9
2.2.	Vanerin valmistus .....	9
3.	KUNNOSSA- JA KÄYNNISSÄPITO .....	11
3.1.	Kunnossapito .....	11
3.2.	Kunnossapidon eri muodot .....	14
3.2.1.	Ennakoiva kunnossapito .....	14
3.2.2.	Kehittävä kunnossapito .....	15
3.2.3.	Korjaava kunnossapito .....	15
3.3.	Käynnissäpito .....	15
3.4.	Mittarit .....	16
3.5.	Miksi kunnossapidossa hitsataan? .....	17
4.	HITSATTAVUUS .....	18
4.1.	Määritelmiä .....	18
4.2.	Rakenteellinen hitsattavuus .....	27
4.3.	Valmistusteknillinen hitsattavuus .....	29
4.4.	Perusaineen hitsattavuus .....	33

5.	KUNNOSSAPIDOSSA KÄYTETTÄVIÄ MATERIAALEJA .....	38
5.1.	Teräkset .....	39
5.1.1.	Seostamattomat teräkset .....	39
5.1.2.	Ruostumattomat teräkset.....	42
5.2.	Alumiinit .....	45
5.3.	Valuraudat ja - teräkset .....	47
6.	MUODONMUUTOKSET HITSUKSESSA .....	50
7.	HITSAUSPROSESSIT .....	54
7.1.	Kaarihitsaus .....	54
7.2.	Puikkohitsaus .....	59
7.3.	MIG/MAG - hitsaus .....	64
7.4.	TIG - hitsaus .....	68
7.5.	Kaasuhitsaus .....	71
7.6.	Juotto .....	73
7.7.	Kaarijuotto .....	74
8.	TERMISET POLTTOLEIKKAUSMENETELMÄT .....	76
8.1.	Polttoleikkaus .....	76
8.2.	Plasmaleikkaus .....	76
8.3.	Laserleikkaus .....	77
8.4.	Hiilitaltaus .....	77
8.5.	Kaasutaltaus .....	78
9.	TERMINEN RUISKUTUS .....	78
10.	LAATU .....	80
10.1.	Laatu .....	80
10.2.	Palosuojelu tulitöissä .....	91
10.3.	Työsuojelu tulitöissä .....	92

11. KÄYTÄNNÖN KORJAUS - / KUNNOSSAPITOHIITSAUS- ESIMERKKEJÄ .....	96
11.1. Hitsaus normaaliolosuhteissa .....	98
11.2. Kosteat olosuhteet .....	103
11.3. Kylmät olosuhteet .....	108
11.4. Kovahitsaus .....	117
11.5. Valuraudan ja silumiinin hitsaus .....	120
11.6. Päällehitsaus .....	122
12. JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSIA .....	125
13. YHTEENVETO .....	126
Lähteet .....	129
Liitteet .....	133

## KÄYTETYT LYHENTEET

A	amperi, virran yksikkö
Ac	eräs metallin jähmettymisen lämpötilaraja
BS	brittiläinen standardijärjestelmä
C	hiili
°C	lämpötilayksikkö, Celsius
Cr	kromi
cm, mm	pituusmitta
Cu	kupari
dB	melun määrän yksikkö
DIN	saksalainen standardijärjestelmä
E	hitsausenergia
EN	eurooppalainen standardijärjestelmä
Fe 37	teräksen yleistunnus ja vetolujuuden vähimmäisarvo
Fe 50	
Fe 52	
HAZ	muutosvyöhyke = Heat Affected Zone
I	hitsausvirta
ISO	brittiläinen standardijärjestelmä
k	terminen hyötysuhde
kJ	energiasuure
KNL	tuotannon kokonaistehokkuus
K	käytettävyys
N	nopeus
L	laatu
K'	käytettävyys, jossa huomioitu suunnitellut seisokit
LVL	viilupalkki ( Laminated Veneer Lumber ), havupuusta sorvatuista viiluista valmistettu järeä palkki- tai puulevytuote /1/
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
mm <sup>2</sup>	pinta - alayksikkö

Mo	molybdeeni
MPa	paineyksikkö
Ms - lämpö-	austeniitin muodostuvat ensimmäiset martensiittilinssit austeniitin
tila	jatkuvasti jäähtyessä /2/
n	hyötysuhde
Ni	nikkeli
OHSAS	turvallisuusstandardi
OK	Esabin hitsauspuikkotyypin
Q	hitsauksessa syntyvä lämpömäärä
S355J2G3	teräksen laatumerkintä
355	myötölujuus N / mm <sup>2</sup>
J2	iskutitkeysluokka, testauslämpötila -20 °C
G3	toimitusluokka, normalisoitu tai normalisointivalssattu
SFS	suomalainen standardijärjestelmä
t	ainepaksuus
t <sub>8/5</sub>	kuvaa jäähtymisaikaa lämpötila - alueella t <sub>800 °C</sub> - t <sub>500 °C</sub>
TIG	Tungsten Inert Gas
TQC	kokonaisvaltainen laadunohjaus = Total Quality Control
U	kaarijännite
V	vanadiini

## JOHDANTO

## 1.1. Työn taustaa ja tavoite

Tähänastisella työurallani olen toiminut mekaanisen metsäteollisuuden kunnossapidon piirissä kymmeniä vuosia. Usein on tuntunut siltä, että kunnossapidon alue yrityksissä on välttämätön paha, joka aiheuttaa vain kustannuksia. Tehtaat eivät kuitenkaan pysy käynnissä ilman kunnossapitoa ja tämän alueen sisällä olevaa korjaus- ja kunnossapitohitsausta. On vaikea kuvitella, että suurta osaa kunnossapitotöistä voitaisiin tehdä ilman kyseistä osa - aluetta. Hitsausta on monenlaista kuten uuden rakentamista, vanhan korjausta, korjaavaa ja " hätäapuhitsausta ", joka tapahtuu koneen tai laitteen luona tehtaalla särkymisen tapahduttua.

Kunnossapitohitsausta ei ole tutkittu eikä ohjeistettu tarpeeksi. Isoilla yrityksillä saattaa olla pidemmälle vietyjä järjestelmiä, mutta koska valtaosa yrityksistä on pienehköjä, niin puutteita on.

Diplomityöni tavoitteena on selvittää mekaanisen puunjalostuksen kunnossapitohitsauksessa huomioitavat asiat ja laatia niiden pohjalta vaneritehtaan käyttöön kunnossapitohitsauksen ohjeistus.

Konepajateollisuudessa hitsausta käytetään tuotteiden päävalmistusmenetelmänä. Muussa teollisuudessa se on lähinnä korjaus- ja kunnossapitomenetelmä ja pienemmässä määrin uuden rakentamisessa käytetty menetelmä.

Käytännön kokeet on valittu niistä jokapäiväisistä hitsauksista, joita vaneritehtaassa tehdään. Tarkoituksena oli katsoa, mitä eri osa - alueilla hitsaus vaikuttaa lopputulokseen.

Työn olen tehnyt Plymac Oy:lle Hollolaan ja käytännön hitsauskokeet on suoritettu UPM - Kymmene Wood Oy:n Savonlinnan tehtaalla.

## 1.2. Plymac Oy

Nykyinen Plymac Oy on perustettu v.1994, mutta sitä edeltäneet yhtiöt ovat toimineet samoilla alueilla, joten yhtiön historia ulottuu jo kahdenkymmenenviiden vuoden päähän.

Yhtiö valmistaa ja toimittaa yksinkertaisia ja käyttövarmoja, automatisoituja mekaanisen puunjalostusteollisuuden tuotantolinjoja ja -koneita erikoisesti asiakaslähtöisesti vaneriteollisuuteen.

Yhtiö on toimittanut vaneriteollisuuteen tukkien katkaisulaitteita, sorviliinjoja XY - keskittäjineen, telakuivauslinjoja, viilun jatkoslinjoja, viilun kuivaleikkauslinjoja, viilun ladontalinjoja sekä LVL - palkkilinjoja.

Tänä päivänä yritys on verkostoitunut siten, että se hoitaa tuotekehittelyn ja suunnittelun, markkinoinnin ja käyttöönoton. Valmistus ja asennus tapahtuu alihankintana.

Konsultointi asiakkaille on myös merkittävä osa yhtiön toimintaa.

Plymac Oy:llä on Kanadassa markkinointiyritys, Plymac Inc., yhdessä paikallisen valmistuspartnerin kanssa.

Kotimaan lisäksi Plymac Oy on toimittanut tehdaskokonaisuuksia mm Ruotsiin ja Yhdysvaltoihin.

/3/

### 1.3. UPM - Kymmene Wood Oy, Savonlinnan tehdas

Wilhelm Schauman perusti Jyväskylään Suomen ensimmäisen vaneritehtaan v.1912.

Savonlinnaan olivat eräät liikemiehet perustaneet v.1916 Itä-Suomen Kutomo Oy:n tarkoituksena aloittaa kankaiden valmistus. Ensimmäinen maailmansota aiheutti ongelmia koneiden hankinnassa. Tämä johti niin suuriin vaikeuksiin, että v.1920 tehdasrakennukset ja maa-alueet tulivat Schaumanin omistukseen. Rakennuksia muuteltiin ja rakennettiin voimalaitos ja sitten v.1922 alkoi vanerin valmistus. Tuotanto

jatkuu opetellen aina v.1929, jolloin tehdas paloi. Palo sai alkunsa hitsauskipinästä, joka joutui ilmastointikanavaan. Kaikeksi onneksi tehtaalle oli tilattu uudet koneet ja ne saapuivatkin seuraavana palon jälkeisenä päivänä. Tuotanto alkoi uudelleen v.1930 ja tällöin tehdas oli Suomen suurin.

Savonlinnan tehdasta kehitettiin voimakkaasti ja v.1938 aloitettiin rakentaa rimalevytehtaan rakennuksia. Seuraavana vuonna rakennukset olivat valmiit, mutta tiloihin majoitettiin konelaatikoiden joukkoon sotilaita, koska oli syttynyt toinen maailmansota. Välirauhan aikana rimalevyn tuotanto alkoi ja se jatkui aina v.1989 asti, jolloin sen valmistus Savonlinnassa loppui.

Seuraava merkittävä vaihe tehtaan historiassa oli kuitulevytehtaan ensimmäisen vaiheen käynnistyminen v.1952. Toinen rakennusvaihe oli valmis v.1956. Kuitulevyn valmistus loppui Savonlinnassa v.1985 vuoden lopussa.

Savonlinnan tehtaalla oli myös saha, joka sahasi sekä rimalevylautaa että lautaa vientiin. Vientisahaus loppui v.1982 ja rimalevylaudan sahaus v.1988.

Suurin työntekijämäärä tehtaalla oli 1970-luvulla ja se oli 1426 henkeä. Tällä hetkellä tehtaan henkilömäärä on noin 370.

Eräs kauaskantoisimpia päätöksiä tehtaan historiassa oli rakentaa Savonlinnaan jalostustehtas. Tämä käyttää vaneritehtaan omaa vaneria ja suurin tehtävä levykoko on 2800\*13500 mm. Tänä päivänäkään ei Suomesta eikä koko Euroopasta löydy näin suuren vanerin valmistajaa. Tehdas aloitti tuotannon v.1973.

Schaumanin ja Kymmene Oy:n fuusio toteutui 31.8.1988, jolloin vanha perinteikäs Oy Wilh. Schauman Ab siirtyi historiaan. Vappuna v.1996 Kymmene Oy fuusioitui UPM - Kymmeneksi ja näin tehdas oli yhtenä osana erästä maailman suurinta metsäteollisuuskonsernia. Vuoden 2004 alusta tehtaan nimi kuuluu UPM - Kymmene Wood Oy, Savonlinnan tehdas.



Muutoksia tehtaalla tapahtuu jälleen lähinnä raaka-ainepohjan puolella. Tehdas palaa tämän vuoden loppuun mennessä puhtaaksi koivuvaneritehtaaksi, jona se oli 1970-luvulle asti.

/4/

## 2. MEKAANINEN METSÄTEOLLISUUS

### 2.1. Mekaaninen metsäteollisuus yleensä

Metsäteollisuus Suomessa jaetaan yleensä kahteen osaan, kemialliseen ja mekaaniseen. Edellinen sisältää sellu- ja paperiteollisuuden. Jälkimmäiseen luetaan sahat sekä lastulevy-, vaneri- ja kuitulevyteollisuus.

Mekaanisen metsäteollisuuden alakohtana on mekaaninen puunjalostus / puutuoteteollisuus. Nämä käsittävät mm puun höyläystoimintaa, puun lämpökäsittelyä ja puusepänteollisuutta.

### 2.2. Vanerin valmistus

Vanerin valmistuksessa voidaan erottaa seuraavat osa-alueet:

- raaka-aineen käsittely
- viilun valmistus
- vanerin valmistus
- viimeistely, pakkaus ja lähetys
- jatkojalostus

Raaka-aineen käsittely

Tukkien saavuttua tehtaalle suoritetaan sattumanvaraiset koemittaukset. Sitten tukit menevät joko välivarastoon tai suoraan haudontaan. Siellä nippuja pidetään noin

vuorokausi 35 - 40 °C lämpöisessä vedessä.

Seuraava vaihe on tukkien kuorinta. Täältä kuori menee polttoon ja tukit katkaisuun. Katkaisupituudet vaihtelevat tarpeen mukaan 1350 - 2750 mm välillä.

Sorvit sorvaavat pölleistä tarvittavia viilun paksuuksia, jotka vaihtelevat 0,6 - 3,6 mm välillä.

Sorvauksen jälkeen viilut kuivataan noin 180 °C ilmavirrassa yhtenäisenä mattona tai jo valmiiksi leikattuina arkkeina. Viilut pyritään kuivaamaan 3 - 6 prosentin kosteuteen. Jos viilu tulee yhtenäisenä mattona, niin se leikataan ja lajitellaan eri laatuihin automaattisesti. Viiluja voidaan vielä lajittelun jälkeen jatkaa ja paikata.

Varsinainen vanerin valmistus alkaa liimauksesta, jossa muodostetaan useamman viilun ladelma. Ladelmat menevät nipussa esipuristukseen ja sen jälkeen kuumapuristukseen ja täällä varsinainen vaneri syntyy. Lämpötilat vaihtelevat 120 - 150 °C ja paineet 1 - 2 MPa välillä.

Viimeistelyssä valmiita levyjä sahataan, hiotaan, paloitellaan ja pakataan sekä lähetetään maailmalle.

Jalostusosastolla levyjä voidaan pinnoittaa erilaisilla pinnoitteilla sekä työstää monenlaisiksi muodoiksi. Ostajat haluavat tänä päivänä yhä enenevässä määrin levynsä valmiiksi työstettyinä.

Liitteenä 1 on vanerin valmistuskaavio

### 3. KUNNOSSA- JA KÄYNNISSÄPITO

#### 3.1. Kunnossapito

Kunnossapidolle voidaan antaa kaksi eri määritelmää, joista toinen on standardin mukainen. Standardi SFS-EN 13306 /5/ määrittelee kunnossapidon seuraavasti: Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. /6, s.10/

Monbray net määrittelee kunnossapidon kansanomaisemmin kuin standardi. Siinä on tavoitteena tuotantovälineiden toiminnan varmistaminen niiden koko elinkaaren aikana siten, että

- varmistuu omistajien, käyttäjien ja yhteiskunnan tyytyväisyys
- valitaan ja käytetään kaikkein sopivimpia kunnossapitomenetelmiä, joilla hallitaan tuotantovälineiden vikaantumista ja vikaantumien seurauksia
- saadaan kaikkien kunnossapitoon vaikuttavien ihmisten aktiivinen tuki kunnossapidon toimille

/7, s.10/

Kunnossapidon yleiset tavoitteet ovat

- varmistaa tuotteen hyvä laatu
- pitää yllä tuotannon hyvää hyötysuhdetta
- pitää koneet käytössä ja käyntivalmiina
- pitää yllä turvallisia työolosuhteita
- käyntivarmuus / käyntiaikaa minikustannuksin / ammattitaidolla
- varmistaa osaltaan yhteistoiminnassa tuotannon kanssa omistajille hyvä tulos
- toimia ympäristöystävällisesti

/6, s.17/

Kunnossapidon valittaviin strategioihin vaikuttavat monet tekijät, joita ovat mm.

- kilpailutilanne ja asema markkinoilla
- teknologian taso
- koneiden monimutkaisuus
- kapasiteetin käyttöaste
- pääomavaltaisuus / työvaltaisuus
- saako työvaiheen ulkoa
- avainkone
- seisokkikustannukset
- koneen hinta

Koneet ja laitteet sekä niiden tekniikat ovat monimutkaistuneet viimeisten vuosien aikana. Tämä lisää kunnossapitohenkilöstön osaamistarvetta. Samaan aikaan kunnossapito on muuttunut yhä enemmän liiketoiminnaksi. Myös oman kunnossapidon on toimittava liiketaloudellisesti hyväksyttävästi. /6, s.7/ On suunniteltava vikojen ennaltaehkäisyä, mutta sallittava tietty määrä vikoja ja korjattava ne.

Kunnossapito on siis käyttöomaisuudesta huolehtimista. /6, s.8/ Tähän alueeseen kuuluvat koneet, laitteet, rakennukset, maa-alueet, tiet, tietoverkot eli kaikki ne osa-alueet, joilla yritys tekee tuotteitaan. Kunnossapito ei riipu toimialasta, vaan se kattaa kaikki teollisuudet alat. Kun mukaan otetaan vielä laajemmin laitteiden ja ympäristön kehittäminen, vartiointi, materiaalin hallinto, palosuojelu, puhtaanapito, niin voidaan puhua tehdaspalvelusta.

Tänä päivänä kunnossapidossa korostuu myös ympäristökysymykset. Viranomaiset asettavat omat määräyksensä, joita jatkuvuuden turvaamiseksi on noudatettava.

Kuluttajat karsivat päätöksillään huonosti ympäristöään hoitavat yritykset. /6, s.15/

Turvallisuuskysymykset ovat kautta aikojen olleet osa kunnossapitoa. Yhteiskunta säättää ja valvoo, että työpaikat ovat turvallisia työskennellä. Kuitenkin yhä enenemässä määrin on jokaisen työpaikan itsekin kiinnitettävä huomiota turvallisuuteen. Kunnossapitotöitä

tehdään usein vaikeissa olosuhteissa sekä kiireellä ja täten henkilöstö on alttiina tapaturmille.

Kunnossapito vaikuttaa välillisesti yrityksen tulokseen. Usein on vaikea mitata, mikä parantuneen tuloksen osa johtuu kunnossapidosta. /8, s.35/ Tämän johdosta saattaa käydä niin, että jokin muu osasto mittaa hyödyn itselleen. Muutamia esimerkkejä niistä alueista, joilla kunnossapito voi vaikuttaa yrityksen kannattavuuteen:

- mitä parempi tuotteiden laatu saadaan kunnossa olevilla koneilla, sitä korkeampi hinta tuotteella on mahdollista saada
- kunnossa olevilla koneilla saadaan suurempi tuotanto, josta seuraa toimitusvarmuus, mahdollinen lisämyynti ja tyytyväiset asiakkaat
- saadaan raaka-aine- ja energiasäästöjä
- turvallisuus, ympäristö ja imago paranee
- kun koneet ja laitteet on pidetty hyvässä kunnossa, niin investointien tarve vähenee ja niiden elinikä pitenee, josta seuraa, että rahaa voidaan käyttää mahdollisesti tuottavimpiin kohteisiin

Kuvasta 1 käy ilmi kunnossapidon vaikutus yrityksen kannattavuuteen.



Kuva 1. Kunnossapidon vaikutus yrityksen kannattavuuteen /6, s.16/

Suomessa on viime vuosina panostettu voimakkaasti laatujärjestelmiin. Nämä koostuvat useimmiten ISO 9000 -, ISO 14001 - ja OHSAS 18001 - järjestelmistä, joista on tehty yksi kokonainen iso toiminnanhallintajärjestelmä. /9/

### 3.2. Kunnossapidon eri muodot

Kun ajatellaan parhaita vaihtoehtoja kunnossapidon toteuttamiseksi, niin on esitettävä itselleen muutama kysymys. Halutaanko ylipäänsä kunnossapitoa ja jos, niin minkä tasoista. Suorittaako tuotantohenkilöstö kunnossapitotöitä? Harrastetaanko jonkin asteista tarkastustoimintaa? Mikä on haluttu käyttövarmuuden taso? Kysymyksiä on paljon muitakin, mutta näidenkin perusteella voidaan päätyä jäljempänä olevaan järjestelmään.

#### 3.2.1. Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito on säännöllistä toimintaa, jossa avainkoneille on laadittu aikataulut huolloille. Tälle alueelle sisältyy kunnonvalvonta, testaaminen, ennakkosuunnitelmat huolloille ja vikojen analysointi. Päämääränä on vikaantumisten vähentäminen ja toimintakyvyn parantaminen. Tätä tehdään sekä seisokkiaikoina että normaalin käynnin yhteydessä siten, että kone pysäytetään hallitusti määrätyksi ajaksi huoltoa varten. Voidaan puhua tekijästä, jolla pyritään ylläpitämään käyttöominaisuuksia.

Kunnonvalvonta käsittää toiminnot, joilla todetaan kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittelemiseksi. /10/

Kunnonvalvonta on osa tätä toimintaa. Valvonta voi olla joko subjektiivista, jossa tulos riippuu tarkastajasta tai objektiivista, jossa käytetään erilaisia instrumentteja ja apuvälineitä. /11, s.35/

### 3.2.2. Kehittävä kunnossapito

Kehittävä kunnossapito voi kohdistua tuotantokoneisiin, prosessiin tai jopa itse kunnossapitoon. Kehitetään korjausmenetelmiä ja tuotantolaitteita. Jos kohteen suorituskykyä ei muuteta, voidaan sitä parantaa asentamalla uudempia komponentteja. Samoin voidaan parantaa koneen luotettavuutta muuttamalla joitakin koneen ominaisuuksia. Jos muutetaan kohteen suorituskykyä, niin silloin voidaan puhua modernisoinnista, jolla pääsääntöisesti pyritään kilpailukyvyn parantamiseen. Tämä tapahtuu, kun arvioidaan, että koneella on vielä elinikää jäljellä ja silloin modernisointi on järkevämpää kuin uusinvestointi.

### 3.2.3. Korjaava kunnossapito

Korjaavalla kunnossapidolla hoidetaan yleensä satunnaiset konerikot. Voidaan tehdä myös suunnitellut koneiden kunnostukset. Usein suoritetaan väliaikainen korjaus ja lopullinen korjaus sitten esimerkiksi huoltopäivänä.

### 3.3. Käynnissäpito

Viime vuosina on oivallettu, että kunnossapidolla ja tuotannolla on samat päämäärät. Tästä oivalluksesta on päästy siihen, että tuotanto ja kunnossapito työskentelevät rintarinnan yhteisen päämäärän hyväksi. Siksi tänä päivänä puhutaan käynnissäpidosta, joka on laitteiden hallintaa ja kunnossapitoa. Käyttöhenkilöstön tehtäviin kuuluu käytön lisäksi kunnossapidollisia töitä, kuten puhdistuksia, voitelua, säätöjä, kunnonvalvontaa ja pieniä korjauksia. /8, s.26/ Tämä ajatusmalli on ollut vaikea ajaa sisään, koska nyt tuotantokin joutuu seuraamaan omia tekemisiään eli sisäisiä häiriöitä. Satunnaisia seisokkeja kunnossapidosta voi johtua 4 %. Tuotannon vastaava osuus voi olla 30 %. Tästä johtuen tuotannon henkinen asennemuutos on vaikeaa tälle ajattelu- ja toimintatavalle.

Suomessa kunnossapidon osuus on 2 - 3 miljardin euron luokkaa, mutta jos otetaan koko kansantalouden infrastruktuuriin sisältyvä kunnossapito, niin voidaan puhua lähes 12 miljardin euron arvosta. /6, s.19/

### 3.4. Mittarit

Kunnossapidon keskeisiä tavoitteita ovat hyvä käyttövarmuus ja tuotannon korkea kokonaistehokkuus. Laitoksen tehokkuutta voidaan seurata ja mitata erilaisilla tunnusluvulla. Usein mittarina pidetään saavutettua tuotantomäärää, kun sen pitäisi todellisuudessa olla, mitä olisi voitu saavuttaa. /12/ Jos mittarit on sidottu aikaan, niin tulokset saadaan näyttämään paremmilta jättämällä kirjaamatta häiriöitä. Tällöin on kehittäminen vaikeaa, kun ei tiedetä tarkasti, mihin pitäisi panostaa.

Kokonaistehokkuuden tarkastelussa voidaan käyttää apuna KNL - lukua. Tämä ei kuitenkaan ota huomioon kustannuksia.

Käytettävyys (K) kuvaa kunnossapidon tehokkuutta. Laittevat ja suunnitellut huollot pienentävät tätä arvoa ja siten tehokkuus huononee.

$K = 8760 \text{ h} - \text{Laittevat} - \text{Suunnitellut seisokit} / 8760 \text{ h}$  (= vuositason kokonaistehokkuus)  
(= kokonaistehokkuus suunniteltuna kuormitusaikana) /12/

K' antaa oikeamman kuvan silloin, kun laitoksen käynti on keskeytyvä.

$K' = \text{Suunniteltu kuormitusaika} - \text{Laittevat} - \text{Ennakkohuolto} / \text{Suunniteltu kuormitusaika}$   
/12/

Nopeus (N) kuvaa tuotannon ohjauksen kykyä minimoida jalostamaton tuotantoaika.

$N = \text{Toteutunut tuotanto} / \text{Nimellistuotantokyky} * \text{Käyttöaika}$  /12/

Laatu (L) kuvaa onnistumisen astetta.

$L = \text{Tuotantomäärä} - \text{Laatutappio} / \text{Tuotantomäärä}$  /12/



Yhteenvedona voidaan todeta, että kokonaistehokkuuteen sisältyy

- tuotantolinjan linjanopeus, kunnossapito, asetusajat, ympäristö, kunnossapidettävyys
- operaattorin motivaatio, koulutus, huolellisuus, terveys
- tuotteen eräkkö, rakenne, dimensiot, tuotannonohjaus
- raaka - aineen laatu, dimensiot
- oheislaitteiden luotettavuus, kunnossapito

/12/

Häiriö seurannan on oltava tarkka, mikäli linjan käynnistä halutaan luotettava kuva. Se toimii kehitystoimien mittarina ja tuo esille kehityskohteet sekä antaa palautetta.

#### 3.4. Miksi kunnossapidossa hitsataan?

Kuten kaikessa konepajateollisuudessa hitsaus on kunnossapidossakin nopein ja usein edullisin tapa liittää metallisia osia yhteen. Tämä voi tapahtua joko uutta rakennettaessa tai vanhaa korjattaessa. Varsinkin korjattaessa ei useinkaan ole muita mahdollisuuksia. Rakenne saattaa alunperinkin olla hitsattu. Kiire aiheuttaa myös hitsaustarpeen, kun ei ole aikaa suunnitella eikä rakentaa muita vaihtoehtoja.

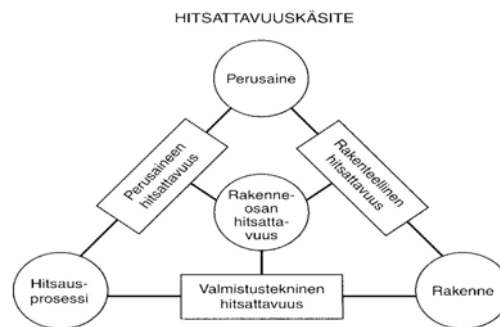
Hitsaus on usein taloudellisin tapa hoitaa korjaus tai osan vaihto. Kulunut osa voidaan korjaushitsata ja sen jälkeen koneistaa oikeisiin mittoihin. Täten korjaus on halvempi ja nopeampi vaihtoehto kuin uuden osan hankinta.

Laitteet saattavat olla hankalissa paikoissa tai niin isoja, että ne on korjattava paikallaan. Tällöin hitsaus on usein ainoa vaihtoehto. Hitsauslaitteet, raaka-aineet ja lisäaineet ovat kehittyneet nykyisin sellaisiksi, että hitsauksissa ei tule ongelmia, jos perusasia - koulutus - on kunnossa.

## 4. HITSATTAVUUS

Kun määritetään hitsattavuutta, on otettava huomioon tuotteen kokonaisuus. Tämä käsittää rakenteelliset vaatimukset, perusaineen ominaisuudet, valmistuksen asettamat vaatimukset ja rajoitukset. Jos hitsausmenetelmä voidaan valita vapaasti, niin silloin saadaan parempi hitsattavuus. Standardi DIN 8528 /13/ jakaa hitsattavuuden kolmeen osaan eli perusaineen, rakenteelliseen ja valmistekniseen hitsattavuuteen, kuva 2.

/14, s.37/



Kuva 2. Hitsattavuuskäsite voidaan ilmaista näin. /14, s.37/

### 4.1. Määritelmiä

#### Hitsaus

Hitsaus on valmistusmenetelmä, jolla osia liitetään tai päällystetään käyttämällä hyväksi lämpöä ja / tai puristusta siten, että kappaleet muodostavat jatkuvan yhteyden. /15/ Jos hitsauksessa käytetään lisäainetta, niin sen sulamispisteen tulee olla liki sama kuin perusaineen. Hitsausta voidaan käyttää metallien, muovien ja keraamien liittämiseen. Tämä on liitoshitsausta. Lämpöä ja lisäaineita käyttäen voidaan kappaleiden pintoja käsitellä eli päällystää. Tällöin puhutaan päällehitsauksesta tai ruiskutuksesta.

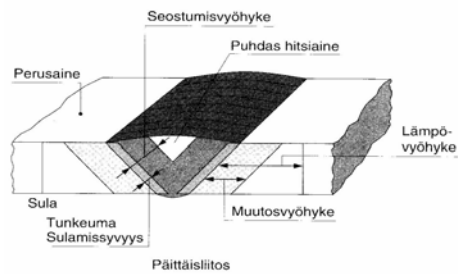
#### Hitsaustekniikka

Monet suomenkieliset sanat ovat käännöksiä englannin kielestä ja siksi voi tulla erilaisia miellejohdotuksia. Useissa maissa Welding technology tarkoittaa hitsaustekniikkaa tekniikan

alana. Welding technique puolestaan tarkoittaa hitsauksen suoritustekniikkaa, joka käsittää suunnittelun, hitsausmetallurgian, hitsausprosessit, työympäristön ja laadunvarmistuksen. /16, s.11/

### Hitsausliitos

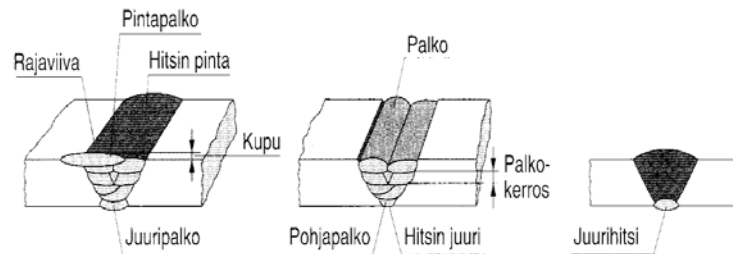
Hitsausliitos on se lopputulos, joka syntyy liittämällä kaksi kappaletta toisiinsa hitsaamalla. /14, s.27/ Hitsin osat ilmenee kuvasta 3.



Kuva 3. Hitsin osat /17/

Railo on se valmistettujen osien välinen tila, johon hitsaus suoritetaan. /18, s.4/ Sen muodon valintaan vaikuttavat liitosmuoto, ainepaksuudet, rakenteen vaatimukset ja käytävissä olevat hitsausmenetelmät. /19, s.28/ Yleisimpiä kunnossapitohitsauksessa käytettäviä railomuotoja ovat I -, V -, 1/2V - railo ja tulpparailo.

Palko on yhdellä kertaa sulatettu hitsiaine. /16, s.26/ Hitsissä voi olla useita palkoja kuten kuvasta 4 näkyy.



Kuva 4. Hitsin osien nimitykset /14, s.31/

Tunkeuma on hitsin railon kohdalla mitattuna perusaineen tasosta. /14, s.30/

Muutosvyöhyke on se osa perusainetta, johon hitsaus on aiheuttanut mikrorakennemuutoksia.

Lämpövyöhyke on se osa perusainetta, jonka lämpötila on ollut hitsauksen takia työlämpötilaa korkeampi.

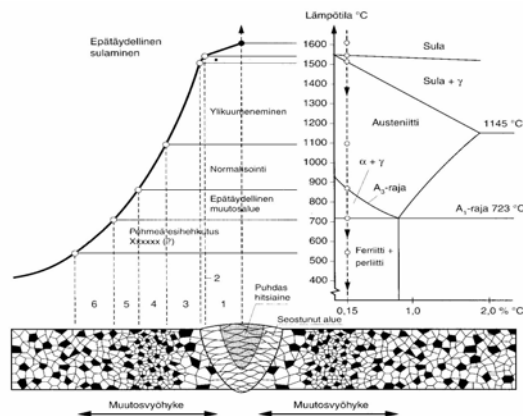
Perusaine on yhteen liitettävien kappaleiden aine. /18/

Lisäaine on liitoskohtaan lisättävä sulassa tilassa oleva aine. /18/ Yleensä lisäaine tulisi valita siten, että hitsiliitoksen lujuus olisi yhtä suuri tai suurempi kuin perusaineen. Lisäaineen valinta tapahtuu yleensä tapauskohtaisesti hitsausliitokselle vaadittavien mekaanisten ominaisuuksien mukaan.

## Hitsi

Hitsi on hitsauksen tulos. /16,s.25/ Hitsiä voidaan tarkastella seostamattomien, vähähiilisten ja karkenemattomien terästen kohdalla rauta-hiilitasapainopiirroksen avulla. Piirros on esitetty kuvassa 5.

Metallin jähmettyminen hitsissä alkaa ydintymisenä sularajalta ja jatkuu rakeen kasvuna keskusta päin. Kasvu pyrkii seuraamaan suurimman lämpötilamuutoksen suuntaa. /20/ Hitsi on aina kuumin keskilinjalla. Kuvasta 5 ilmenee hitsausliitoksen vyöhykkeet.



Kuva 5. Hitsausliitoksen vyöhykkeet, kun teräksen hiilipitoisuus on 0,15%. /14, s.33/

Likviduskäyrän yläpuolella ( yli 1500 °C ) oleva alue on täysin sulassa tilassa ja jäähmettyessä siitä muodostuu yleensä hienorakeinen, austeniittinen valurakenne. Jäähtyminen tapahtuu lämpötilagradientin mukaisesti. Tällöin syntyy orientoitunut rakenne, joka vaikuttaa hitsin mekaanisiin ominaisuuksiin. Hitsiaineessa muodostuu dendriittinen rakenne, koska lämpö johtuu hitsiaineesta perusaineeseen. Tällöin dendriitit kasvavat kohtisuorasti sularajaa vastaan. Liitoksen keskelle muodostuu kapea suotautumisvyöhyke, koska dendriitit kohtaavat siinä. Tälle alueelle kerääntyvät epäpuhtaudet ja ne haurastuttavat hitsiä. /21, s.3/

Osittaisen sulamisen eli muutosvyöhykkeen alueella perusaine on osittain sulassa tilassa. Lämpötila on hitsauksen aikana nopeasti kohonnut ja laskee hitsaamisen jälkeen. Tälle alueelle syntyy verkkomaisia mikrosuotautumia, koska diffuusion avulla ei voida tasoittaa paikallisesti suurempia pitoisuuksia jäähtymisnopeuden johdosta. Mikrosuotautumat ovat jäljellä jäähtymisenkin jälkeen. Jos tällä alueella olevat ei - metalliset epäpuhtaudet alkavat sulaa, hitsin kuumahalkeiluvaara lisääntyy. /21, s.4/

Lämpötila A<sub>3</sub>:n yläpuolella olevalla ylikuumentuneella vyöhykkeellä ( 1100 - 1500 °C ) syntyy Widmannstättenin rakenne ja austeniitin raekoko hitsauksen yhteydessä kasvaa suureksi. Rakenne kovenee nopean jäähtymisen seurauksena. Heti tämän rajan alapuolella ( 900 - 1100 °C ) on hienorakeinen kiderakenne, koska faasimuutosten johdosta voi tapahtua normalisoitumista. Tätä aluetta kutsutaan normalisoituneeksi vyöhykkeeksi. Tällä alueella on hyvät mekaaniset ominaisuudet. /21, s.4/

Lämpötilojen A<sub>1</sub> ja A<sub>3</sub> välillä perliitti muuttuu austeniitiksi ja faasimuutos on täydellinen. Kun jäähtyminen alkaa, niin hajaantumista tapahtuu takaisin perliitiksi. Austeniitin hiilipitoisuus on 0,8 %. Yleensä osittain austenitisoituneet vyöhykkeet eivät ole kriittisiä. Jos jäähtyminen on nopeaa, niin seurauksena on martensiittia ja tämä aiheuttaa haurastumisen vaaran. /21, s.5/

Osittain austenitisoituneella alueella ( 750 - 900 °C ) hitsin ominaisuuksien kannalta avainasemassa on jäähtymisnopeus välillä 800 - 500 °C. Termi t<sub>8/5</sub> kuvaa tätä nopeutta, joka on jäähtymiseen kuluva aika sekunteina. /14, s.440/ Tällä alueella vain

runsashiilisimmät komponentit austenitisoituvat. Jos jäähtymisnopeus on lyhyt, niin tuloksena on hauras rakenne.

Kun lämpötila on alle  $A_1$  eli välillä 500 - 700 °C, austenitisoitumista ei tapahdu eikä muitakaan merkittäviä faasimuutoksia. Karbideja palloutuu ja voi tapahtua rakeenkasvua. Rakennemuutokset ja sisäiset jännitykset vähenevät noin 600 °C:ssa. /21, s.5/ Tämän vyöhykkeen ominaisuudet muistuttavat perusaineen ominaisuuksia. Teräksen sitkeys kasvaa.

Lämpötila - alueella alle 500 °C ei tapahdu mikrorakennemuutoksia. Hitsausjännitykset voivat synnyttää plastisia muodonmuutoksia eli tapahtuu vetelyä. /22, s.284/

Teräksen hitsattavuus määräytyy sen karkenevuuden perusteella eli kuinka nopeasti jäähtyminen tapahtuu lämpötila - alueella 800 - 500 °C. Teräs karkenee, kun muodostuu martensiittia. Martensiitin kovuus riippuu siinä olevasta hiilen määrästä eli austeniittiin liuenneen hiilen määrästä. Kovuus aiheutuu edellisen lisäksi martensiitin hienosta raekoosta ja siihen muodostuvan hienojakoisen karbidierkauman aiheuttamasta erkaumakarkenemisestä. /20/ Martensiittireaktio pysähtyy, kun lämpötilan aleneminen pysähtyy. Pienillä hiilipitoisuuksilla ( $< 0,1 \%$ ) syntyy hauraan levymartensiitin asemesta sitkeää sälemartensiittia. /2, s.8/

Austeniitin hajautuessa syntyy alle 0,8 % hiilipitoisuuksilla ferriittis - perliittinen mikrorakenne, jossa perliitin osuus lisääntyy hiilipitoisuuden kasvaessa. /18/

Hiilipitoisuuden ollessa 0,8 % on mikrorakenne kokonaan perliittistä. /18/

Hiilipitoisuuden ollessa yli 0,8 % sementiittiä esiintyy paitsi perliittisessä perusrakenteessa myös raerajoilla raerajasementiittinä. Tämä on kovaa ja haurasta sekä se on lämpökäsiteltävä ennen käyttöä. /18/

Yhteenvedon todettakoon, että sulahitsauksessa voidaan erottaa seuraavat mikrorakennevyöhykkeet:

- kun lämpötila on yli 1500 °C, niin rakenne on sula
- 1500 °C kohdalla on tunkeumaraja, joka on ollut osittain sulassa tilassa hitsauksen aikana
- 1500 - 1100 °C väliltä löytyy karkearakeinen vyöhyke, jossa perusaineen lämpötila nousee ja esiintyy rakeenkasvua. Tämä alue määrää yhdessä lisäaineen kanssa hitsausliitoksen mekaaniset ominaisuudet.
- 1100 - 900 °C välillä on hienorakeinen vyöhyke. Tällä alueella ei ole tapahtunut rakeenkasvua, koska lämpötila ei ole noussut tarpeeksi korkeaksi, on tapahtunut normalisoituminen
- 900 - 750 °C väli on osittain austenitisoitunut vyöhyke.
- 750 - 700 °C välillä on palloutuneiden karbidien vyöhyke. Tällä vyöhykkeellä tapahtuu myös erkautumista. Tämä vyöhyke on perusainetta pehmeämpää.
- 700 - 100 °C vyöhyke on perusaineen lämpövyöhyke. Mikrorakenteessa ei ole havaittavia muutoksia.

/22, s.284/

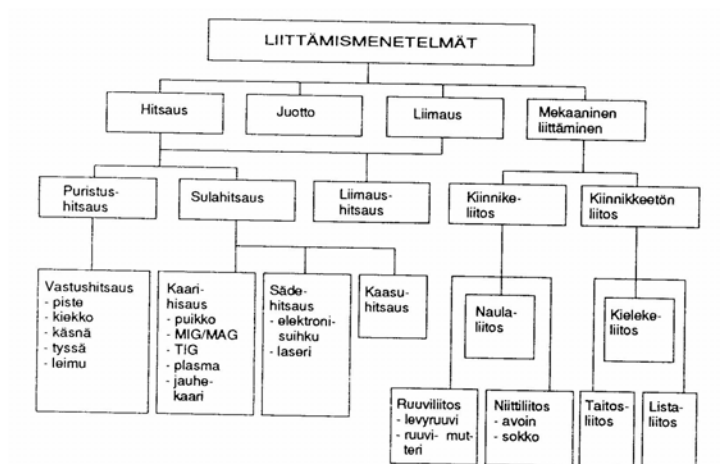
### Hitsausprosessi

Hitsausprosessi on erityinen tapa hitsata, johon sisältyy tiettyjen metallurgisten, sähköisten, fysikaalisten, kemiallisten ja mekaanisten periaatteiden soveltaminen.

/16, s.26/

Hitsausmenetelmä on hitsauksessa noudatettava eritelty sarja toimenpiteitä. Se sisältää tiedot hitsausprosessista, materiaaleista, railoista, esikumennuksesta, hitsausarvoista, suoritustavasta, jälkilämpökäsittelystä ja käytettävistä laitteista. /16, s.26/

Hitsausmenetelmät jaetaan kahteen pääryhmään. Kuvasta 6 näkyy myös muut liittämismenetelmät.



Kuva 6. Liittämismenetelmien ryhmittely /16, s.15/

Hitsausmenetelmää valittaessa on huomioitava mm materiaalin paksuus ja koostumus, hitsausasento, hitsauspaikka ja liitoksen sijainti. /23/

### Puristushitsaus

Puristushitsaus on menetelmä, jossa ei käytetä lisäaineita. Liitoskohdat kuumennetaan tahdasmaiseen lämpötilaan ja osat puristetaan yhteen. /18/ Menetelmiä on mm:

- a. Vastushitsaus, johon kuuluu pistehitsaus, kiekkohitsaus, käsnahitsaus ja leimuhitsaus.
- b. Muita ovat kylmäpuristushitsaus, kitkahitsaus, pajahitsaus, räjähdyshitsaus, diffusiohitsaus, ultraäänihitsaus, induktiohitsaus ja kaaritappihitsaus. /18/

### Sulahitsaus

Sulahitsaus on menetelmä, jossa liitospinnat kuumennetaan sulaan tilaan. /18/ Liitos syntyy ilman puristusta. Menetelmässä voidaan käyttää lisäaineita tai sitten ei. Metallin jäähtyessä syntyy hitsi.

Prosesseilla ei ole yhteistä nimijärjestelmää. Nimi voi johtua suojaustavasta, energialähteestä, lisäaineesta tai hitsistä itsestään. Eurooppalaisessa standardissa on viralliset nimet ja numerotunnukset. /16, s.23/



Hitsausmenetelmiä ovat mm. kaarihitsaus, metallikaarihitsaus, puikkohitsaus, MIG - hitsaus, MAG - hitsaus, MAG - täytelankahitsaus, TIG - hitsaus ja kaasuhitsaus. Lisäksi on vielä leikkaus, talttaus ja juotto, jotka eivät kuitenkaan ole hitsausmenetelmiä.

### Hitsauslajeja

Sula- ja puristushitsauksen lisäksi puhutaan seuraavista lajeista:

- liitoshitsauksessa osat liitetään yhdeksi kokonaisuudeksi
- päällehitsauksessa hitsaus suoritetaan kappaleen päälle, jotta saavutettaisiin tietyt ja halutut ominaisuudet sekä mitat
- tuotantohitsaus tapahtuu valmistuksen yhteydessä ennen kuin tavara toimitetaan asiakkaalle
- asennushitsaus tehdään asennuspaikalla

/16, s.24/

Korjaushitsauksesta voidaan puhua, kun osat tuodaan " pajalle " korjattaviksi. Korjaus voi tapahtua myös paikan päällä, jos kappaleet ovat niin isoja, ettei niitä voida siirtää. Kun osalle halutaan jokin erikoinen ominaisuus, se on korjaushitsattava. Usein vaihto - osat korjataan hitsaamalla ja tarvittaessa koneistetaan. Huomioitavaa on , että korjaushitsauksen jälkeen ei usein ole riskejä eikä rajoitteita laitteiden käytölle. Korjaushitsaus tulee monesti halvemmaksi. Korjattu osa saadaan nopeammin käyttöön kuin uusi osa tai laite.

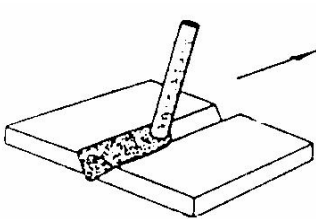
Korjaushitsaukseen kuuluu oleellisena osana vaurioanalyysi, koska jokainen korjaushitsaus on erikoistapaus.

Kunnossapitohitsaus on rakenteiden pikaista ja joskus väliaikaista korjaamista. Pääsääntöisesti tämä tapahtuu paikan päällä koneiden luona. Vauriot ovat usein pienehköjä. Näitä hitsauksia suorittavat vuorolaitos- ja laitoshmiehet. Hitsaus on suoritettava nopeasti, jotta tuotanto saadaan toimimaan mitä pikimmiten. Olosuhteet ovat monesti vaikeat. On pölyä, kuumuutta ja hitsausasennot vaikeita. Hitsauksen

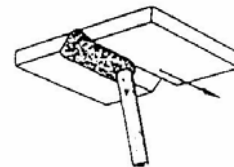
alkuvalmistelut ovat useasti puutteelliset ja hitsauksia tekevät vähemmän hitsausammattitaitoiset henkilöt.

## Hitsausasentoja

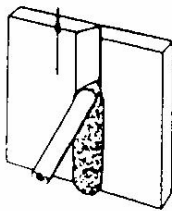
Alla olevista kuvista selviää eri hitsausasennot.



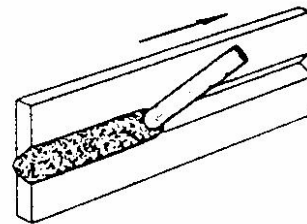
Kuva 7. Jalkohitsi /22, s.282/



Kuva 8. Lakihitsi /22, s.282/



Kuva 9. Pystyhitsi /22, s.282/



Kuva 10. Vaakahitsi /22, s.282/

## Hitsien merkitseminen

Hyvin harvoin hitsit merkitään piirustuksiin tai niistä sovitaan kunnossapitohitsauksia tehtäessä. Ulkopuolelta tulevissa piirustuksissa saattaa olla merkintöjä, joten niiden periaate on tunnettava myös kunnossapidossa.

Hitsausmerkit muodostuvat eri osista. Perusmerkki kuvaa railoa tai liitoksen poikkileikkausta. Jos ilmenee tarvetta, niin perusmerkkejä voidaan yhdistellä. Kun on kysymys suuremmista kokonaisuuksista, niin perusmerkkejä voidaan täydentää lisämerkeillä. Nämä merkit kuvaavat hitsin pinnan muotoa. Seikat ilmenevät kuvasta 11.

Merkki koostuu viitenuolesta, merkintäviivoista, perusmerkistä, mahdollisista lisämerkeistä, mittatiedoista ja hitsausprosessin numerosta. Kuva 11 selventää hitsausmerkin rakenteen.



Kuva 11. Esimerkki hitsausliitoksen merkitsemisestä /16, s.28/

Merkinnät tarkoittavat:

- a	a - mitta
- 3	a - mitta on 3
- □	pienahitsi
- )	hitsin pinnan muoto on kupu
- 400	hitsin pituus
- ———— - - - - -	hitsi on nuolen puolella
- 135	hitsausprosessi on MAG –

#### 4.2. Rakenteellinen hitsattavuus

Rakennetta pidetään rakenteellisesti hyvin hitsattavana, kun perusaineesta valmistettu rakenneosaa pystyy rakenteellisen muotoilunsa perusteella toimimaan. /15/

Rakenteellisessa hitsattavuudessa ovat vaikuttavina tekijöinä rakenteen muodot, rakenteen tuleva käyttö, rakenteen kuormitukset, hitsausliitosten sijoittelu ja aineen paksuudet. /14, s.37/

Rakenteellinen hitsattavuus, joka on lähinnä konstruktio - ominaisuus, riippuu olennaisesti hitsattavasta perusaineesta ja vain vähän valmistustekniikasta. /24/

Hitsit tulisi sijoittaa vähiten rasitettuihin kohtiin, koska liitoksen reunat aiheuttavat jännityskertymiä. Niitä voi pienentää muotoilemalla liitokset juoheviksi. On huomioitava, että korkea hitsikupu kasvattaa jännityshuippuja. Siksi kovera pienahitsi on väsymisen kannalta paras.

#### Staattinen kuormitus

Staattinen kuormitus on jatkuvasti samaan suuntaan vaikuttavan kuormituksen aiheuttamaa. Myötölujuus ja sitkeys ovat sitkeiden materiaalien vaatimuksia. Hauraille materiaaleille murtolujuus on tärkeä. Muodonmuutoksen vaikuttaessa kestävyys alenee. /25/

Kimmainen muodonmuutos on lineaarista ja kappale palaa alkuperäiseen muotoonsa kuormittavan voiman poistuttua. /25/

Plastinen muodonmuutos on pysyvää. Jännityksen ja myötymän välinen yhteys on epälineaarinen. Kohtaa, missä kimmainen muodonmuutos muuttuu plastiseksi, sanotaan myötörajaksi. Myötäminen on plastista muodonmuutosta. /25/

Muodonmuutoskykyyn vaikuttavat kuormitusnopeus ja lämpötila. Kun lämpötila nousee, niin lujuus laskee. Pieni raekoko lisää lujuutta. Suuri raekoko pudottaa sitkeyttä. Myös jännityskeskittymät heikentävät sitkeyttä. /25/

#### Dynaaminen kuormitus

Dynaaminen kuormitus on usein väsyttävää iskumaista ja aina vaihtelevaa. Kun kuormitusnopeus kasvaa, niin muodonmuutos vaikeutuu ja korostaa haurasmurtumataipumusta. Siksi iskumaiset kuormitukset ovat vaarallisia. Haurasmurtumataipumusta edistää raekoon kasvu, epäpuhtaudet ja lämpötilan lasku yhdessä jännityskeskittymien kanssa. /25/

Epäpuhtaudet suotautuvat raerajoille ja aiheuttavat myötövanhenemistä. Hitsattaessa korotetulla työlämpötilalla tilanne korostuu. Iskusitkeys on tarkistettava ennen hitsausta. /25/

Viruminen tapahtuu korkeissa lämpötiloissa jo pienillä kuormilla vakiojännityksen tai -kuormituksen alaisena. Se on hidasta, ajasta riippuvaa muodonmuutosta. Mekanismeina voivat olla dislokaatioiden liikkeet, diffuusio tai raerajaliukuma. /25/

Väsyminen on hitsatuissa rakenteissa tavallinen vaurioitumistapa. /15, s.1/ Hitsatussa rakenteessa on aina alkusäröjä. Väsymisessä materiaali murtuu, kun säröt kasvavat toistuvan vaihtosuuntaisen kuormituksen, jännityskorroosion tai korroosiojännityksen seurauksena. Väsymislujuuteen vaikuttavat murtolujuus, keskijännitykset, sitkeys, pinnan laatu, mikrorakenne, lämpötila ja raekoko lujuuden kautta. /20/

Jännitysvaihteluita voi aiheutua kuormituksen suuruudesta, suunnasta tai sijainnista, rakenteen kiihdytyksistä, värähtelyistä ja lämpöjännityksistä. /26/

Hitsausliitokset ovat geometrisiä epäjatkuvuuskohtia ja aiheuttavat jännityshuippuja ja siksi heikentävät väsymiskestävyyttä. /27, s.2/

#### 4.3. Valmistusteknillinen hitsattavuus

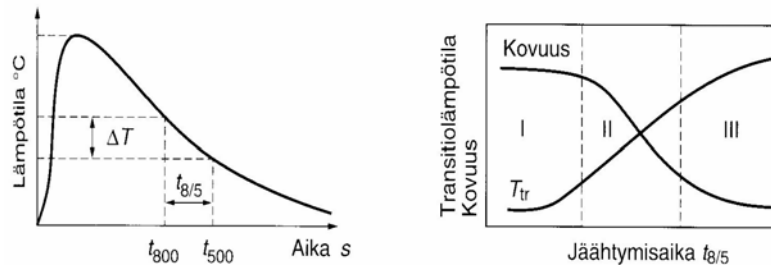
Rakenteen ja rakenneosan valmistustekninen hitsattavuus on sitä parempi, mitä vähemmän valmistuksen määräämiä tekijöitä on otettava huomioon rakennetta suunniteltaessa. /15/ Näitä ovat hitsauksen esivalmistelu, hitsausmenetelmät ja hitsauksen jälkeen tehtävät toimenpiteet. Esivalmisteluihin kuuluu liitosmuoto, railomuoto sekä mahdolliset esilämmitykset. Hitsausta suunniteltaessa on huomioitava hitsausmenetelmä, lisäaineen laatu, ympäristöolosuhteet, lämmöntuonti ja hitsausjärjestys. Hitsauksen jälkeisiä toimenpiteitä ovat mm. lämpökäsittelyt, työstöt, peittaukset jne. /14, s.38/

Valmistusteknillinen hitsattavuus, joka on valmistusominaisuus, riippuu lähinnä konstruktiosta ja vain vähän perusaineesta. /24/

Railoja voidaan muotoilla sen mukaan, mikä on liitettävien kohtien keskinäinen sijainti, millä menetelmällä aiotaan hitsata tai mikä on liitettävien kappaleiden paksuus. Railoja valmistetaan polttoleikkaamalla, hiomalla, talttaamalla tai jyrsimällä. Tärkeintä kunnossapitohitsauksissa on, että tehdään jonkinlainen railo. Yleisimmät muodot ovat I -, V - ja 1/2V - railo.

Lämmöntuonti ja hitsausenergia kuvaavat hitsauksen tuomaa lämpömäärää ja sen vaikutusta hitsin jäähtymisnopeuteen. Hitsin jäähtymisnopeus ei saa olla liian nopea eikä hidas. Liian suuri lämmöntuonti heikentää liitoksen iskusitkeysominaisuuksia seostamattomien tai niukkaseosteisten terästen hitsauksessa. Jäähtymisnopeuteen vaikuttaa lämmöntuonti, levyn paksuus, esikuumennus ja välipalkojen lämpötila. Merkittävimmät mikrorakennemuutokset tapahtuvat 800 - 500 °C välillä. /28, s.3/

Jäähtymisnopeutta kuvaavana suureena käytetään jäähtymisaikaa  $t_{8/5}$ , jota kuva 12 esittää.



Kuva 12. Jäähtymisaika  $t_{8/5}$  ja sen vaikutus hitsausliitoksen muutosvyöhykkeen kovuuteen ja iskusitkeyden transitiolämpötilaan /14, s.441/

Suure  $t_{8/5}$  tarkoittaa 800 - 500 °C lämpötila - alueen ohittamiseen kuluvaa aikaa sekunteina. Hidas jäähtyminen heikentää mekaanisia ominaisuuksia, lujuutta ja iskusitkeyttä. Nopea jäähtyminen aiheuttaa karkenemista eli kovuus nousee ja kylmähalkeilutaipumus kasvaa.

Hitsausenergia eli kaarienergia tarkoittaa valokaaren tuottamaa lämpöenergiaa. Se ilmoitetaan hitsin pituusyksikköä kohti ( kJ/mm, kJ/cm ). Koska osa lämmöstä menee hukkaan eli valokaaren säteilyinä, roiskeina, johtumisena, niin se pitää ottaa huomioon termisellä hyötysuhteella. /28, s.3/ Kuva 13 esittää lämpövirtoja.

Lämmöntuonti ja kaarienergia määritetään hitsauksen hitsausparametreista seuraavien kaavojen avulla.

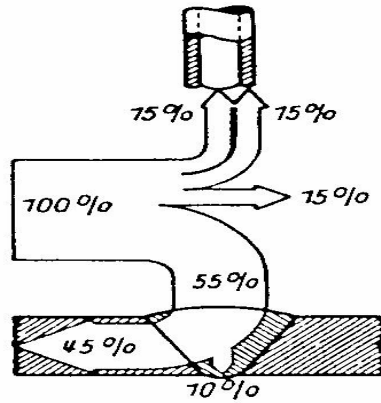
Kaarienergia on valokaaren tuottama lämpöenergia, joka ilmaistaan yleensä hitsin pituusyksikköä kohti.

Hitsausenergia ( E ), ( kaarienergia ) =  
Hitsausvirta ( I ) \* Kaarijännite ( U ) / hitsausnopeus ( v )  
eli hitsaukseen käytetty energia /28, s.4/

Lämmöntuonti on hitsin saama lämpömäärä ja ilmaistaan hitsin pituusyksikköä kohti.  
/28, s.4/

Lämmöntuonti ( Q ) =  
Terminen hyötysuhde ( k ) \* kaarienergia ( E )            /28, s.4/

Kaikki lämpö ei siirry hitsiin, vaan osa katoaa säteilyinä ympäristöön. Terminen hyötysuhde kuvaa lämpöhäviöitä hitsauksessa, joita ovat mm valokaaren säteily, johtuminen ja roiskeet. Se on TIG - hitsauksessa 0,6 sekä MIG / MAG - ja puikkohitsauksessa 0,8. /28, s.4/ Kuvasta 13 näkyy puikkohitsauksen lämpötase.



Kuva 13. Lämpötase puikkohitsauksessa /16, s.68/

Lämmöntuonnin vaikutus on suuri pienillä lämmöntuonneilla ja välipalkolämpötiloilla. Suositeltavat jäähtymisajat ovat yleensä 10 - 30 sekuntia, mutta teräslaji tarkentaa arvoja. Ohuilla levyillä jäähtymisnopeus voi kasvaa liian suureksi. Asia on hoidettava, jotta varmistetaan liitoksen laatu. /28, s.4/

Lämmöntuontia on rajoitettava enemmän vaativamman iskutitkeysluokan ja korkeamman lujuusluokan teräksillä ja ohuimmilla levyillä. /28, s.4/

Esikuumennustarve määritetään hiilielkvivalentin, aineenpaksuuden ( yhdistetty ), hitsiaineen vetypitoisuuden ja lämmöntuonnin mukaan.

Liian suuri lämmöntuonti heikentää hitsausliitoksen lujuutta ja iskutitkeyttä sekä muutosvyöhykkeellä että hitsiaineessa. Sen vaikutus riippuu teräslajista ja lisäaineesta. Sitkeys on herkempi suurille lämmöntuonneille kuin lujuus. Pieni lämmöntuonti aiheuttaa karkenemista ja siten kovuuden kasvua, johon liittyy kylmähalkeiluvaara. Kestävyyttä voidaan parantaa sopivilla seosaineilla. Nikkeli ja molybdeeni sallivat korkeamman lämmöntuonnin. Mitä korkeampi on hitsausenergia, sitä seostetumpi puikon pitää olla, jotta saadaan riittävä iskutitkeys. /28, s.4/

Työlämpötila on hitsattavassa kappaleessa hitsauksen aikana vallitseva lämpötila. /14, s.438/ Se vaikuttaa voimakkaasti hitsauksen jälkeen kappaleen ja hitsin jäähtymiseen. Tällöin tapahtuu muutoksia perusaineen mikrorakenteessa.



Jäähtymisnopeuteen vaikuttaa käytetyt parametrit, hitsausprosessin terminen hyötysuhde, esikuumennus, palkojen välinen lämpötila, liitosmuoto ja levyn paksuus.

Muutosvyöhykkeellä tapahtuvat rakennemuutokset vaikuttavat teräksen ominaisuuksiin. Muutosvyöhykettä pitää pystyä hallitsemaan. Karkeneminen tapahtuu teräksen jäähtyessä ja samalla muodostuu martensiittia. Tähän vaikuttaa teräksen hiilipitoisuus ja muu kemiallinen koostumus. /14, s.438/

Jos lämpöä tuodaan liian vähän, niin kappale jäähtyy nopeasti ja karkenee. Kun hiiltä on yli 0,25 %, niin sitä kovempaa ja hauraampaa on syntynyt martensiitti. Tätä voidaan estää lisätyllä lämmöntuonnilla. Alarajana voitaneen pitää noin 1 kJ / mm, jolloin teräs ei karkene. Ylärajana voi olla noin 2 kJ / mm hitsausvetelyiden ehkäisemiseksi. /14, s.441/

Hitsauskaaren energia vaikuttaa jäähtymisnopeuteen, koska suurempi lämpömäärä poistuu hitaammin. Hitsausvirralla säädetään sulatuslämpöä. Alarajan määrää levyn sulatus ja kaaren pitäminen vakaana. Todellisuudessa pyritään välttämään lämpenemisvyöhykkeiden halkeamien syntyminen. Suurin virta riippuu työolosuhteista. Suurella virralla saadaan suurempi kuljetusnopeus ja tätä kautta kustannukset alenevat. Ylärajaa rajoittaa hitsausasento. Suurilla virroilla saadaan alhaisia iskusitkeyksiä. Virta valitaan myös elektrodin halkaisijan mukaan. /29/

Jäähtymisen aikana kuuma metalli kutistuu hitsausvyöhykkeessä ja täten myös koko liitos. Tilavuuden pienenemistä estää kylmä metalli, joka ympäröi liitosta ja tästä seuraa jännityksiä. Ne voivat aiheuttaa lommahduksia tai käyrityksiä. /29/

Kun plastinen deformaatio on loppunut, niin liitokseen jää jäännösjännityksiä. Nämä ovat vetäviä hitsissä ja muutosvyöhykkeissä sekä puristavia ympäröivässä teräksessä. /29/

#### 4.4. Perusaineen hitsattavuus

Metallista ainetta voidaan pitää hitsaukseen soveliaana, kun voidaan aikaansaada hitsausliitos, joka täyttää kulloinkin aineen kemiallisten, metallurgisten ja fysikaalisten

ominaisuuksien perusteella asetettavat vaatimukset. Samoin sen hitsattavuus on hyvä silloin, kun onnistuneen liitoksen tekeminen on helppoa ja rajat hitsausmenetelmän ja lisäaineen valinnalle ovat väljät. /24/

Ennen hitsauksen aloittamista on tiedettävä perusaineen ominaisuudet. Kun ne tiedetään, niin voidaan valita sopiva hitsausmenetelmä, lisäaineet, mahdolliset suojakaasut, lämpökäsittelyt ja työturvallisuus. /14, s.37/

Perusaineen kemialliseen koostumukseen liittyy mm. väsymislujuus, sulan käyttäytyminen, karkenemis-, kuumahalkeilu-, ja haurasmurtumataipumus. Metallurgiset ominaisuudet pitävät sisällään kiderakenteet, suotautumat ja sulkeumat. Fysikaalisia ominaisuuksia ovat sulamispiste, lujuus - ja sitkeysominaisuudet, perusaineen lämmönjohtavuus ja perusaineen lämpöpiteneminen. /14, s.38/

Kaikissa teräksissä on seosaineita ja niiden määrällä sekä keskinäisillä suhteilla on merkittävä vaikutus hitsattavuuteen. Seosaineiden vaikutus otetaan huomioon hiiliekvivalentin avulla ja samalla voidaan tarkastella teräksen karkenevuutta. Kaavaan sijoitetaan prosentuaaliset arvot. Tunnusluku kuvaa hitsattavuutta.

$$C_{ekv} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad /30, s.39/$$

Kaavassa olevat lyhenteet tarkoittavat:

C = hiili, Mn = mangaani, Cr = kromi, Mo = molybdeeni, V = vanadiini, Ni = nikkeli ja Cu = kupari.

Jos hiiliekvivalentti on alle 0,41 %, niin hitsattavuus on hyvä ja hitsaus ei vaadi ylimääräisiä toimenpiteitä ja se voidaan suorittaa tavanomaisin menetelmin ja yleensä ilman esikuumennusta. Jos se on 0,41 - 0,45, niin on käytettävä esikuumennusta, kuivia ja niukkavetyisiä lisäaineita sekä yleensä ei tarvita esikuumennusta ohuilla levyn paksuuksilla. Kun arvo on yli 0,45 tai ainepaksuus on suuri, niin esikuumennus ja jälkilämpökäsittely ovat välttämättömiä, on käytettävä niukkavetyisiä lisäaineita ja

mahdollisesti jälkikuumennusta. Kun hiiliekvivalentti on yli 0,8, niin perusaine ei ole normaalisti hitsattavissa. /31, 22/

Nuorrutusteräksillä, kun hiiliekvivalentti on yli 0,35 % suositellaan korotettua työlämpötilaa ja hitsaus on edullisinta tehdä hieman Ms - lämpötilan yläpuolella. Lämpötila on ylläpidettävä hitsauksen jälkeen vähintään kaksinkertaisesti bainiittireaktion tarvitsema aika. Tämä saadaan isotermisestä S - käyrästä. /32, s.168/ Jos korotusta ei tehdä, niin hitsi pitää lämpökäsitellä.

Perusaineen hitsattavuus, joka on materiaaliominaisuus, riippuu itse perusaineen ohella lähinnä valmistuksesta ja hieman konstruktiosta. /24/

Seosaineilla saadaan aikaan myös erittäin hienojakoisia, koherentteja hiukkasia. Nämä parantavat teräksen lujuutta. Hiukkaset ovat yleensä joko nitridejä tai erikoiskarbideja. Sopivasti jakautuneena ne estävät rakeenkasvua ja lisäävät kitkajännitystä liukutasoilla kohottaen näin myötörajaa ja parantaen sitkeyttä.

Kaikki seosaineet liukenevat tietyssä määrin teräkseen ja muodostavat raudan kanssa jähmeän liuoksen. Suurin määrä, minkä rauta pystyy liuottamaan seosaineita, riippuu seosaineen laadusta, lämpötilasta ja muista seosaineista. Toisilla seosaineilla on liukoisuus rajoittamaton. /20/ Seosaineiden merkitys lujuusominaisuuksiin on, että ne tekevät edullisen mikrorakenteen saavuttamisen mahdolliseksi lämpökäsittelyllä.

Tietoa eräistä teräksissä olevista seosaineista:

Hiili ( C )

Hiili sulaa 3632 °C ja kiehuu 4800 °C. Hiili lisää teräksen lujuutta. Jäähtymistä voidaan hidastaa ja karkenemistä estää esilämmityksellä ja jälkilämpökäsittelyillä. /14, s.40/

## Mangaani ( Mn )

Mangaanin sulamispiste on 1260 °C. Se ei muodosta karbideja ja on liukeneva. /14, s.41/  
Laajentaa austeniittialuetta laskemalla eutektoidista lämpötilaa. Mangaani sitoo rikkiä ja parantaa lastuttavuutta. Tällä pyritään poistamaan ylimääräinen happi. Mangaani lisää teräksen kovuutta ja lujuutta. /33/

## Kromi ( Cr )

Kromin sulamispiste on 1616 °C. Se on voimakas karbidien muodostaja ja osittain liukeneva. Kromi lisää teräksen kulumiskestävyyttä, vetolujuutta ja kovuutta, mutta vähentää sitkeyttä. Se lisää myös tulenkestävyyttä pitoisuuksilla 25 - 30 % asti. Kromi voi muodostaa teräksen pinnalle oksidikerroksen korroosiota vastaan. Jos kromia on yli 12 %, niin silloin puhutaan ruostumattomista teräksistä. /14, s.42/

## Nikkeli ( Ni )

Nikkelin sulamispiste on 1455 °C. Nikkeli on täysin liukeneva ja ei muodosta karbideja. Nikkelillä parannetaan teräksen sitkeyttä alhaisissa ja korkeissa lämpötiloissa. Nikkeli lisää lujuutta ja hieman karkaisusyvyttä. Se parantaa myös syöpymiskestävyyttä. Samoin sillä voidaan laajentaa austeniittialuetta kuten mangaanillakin. /14, s.42/

## Molybdeeni ( Mo )

Molybdeenin sulamispiste on 2610 °C. Tällä saadaan teräkseen lisää lujuutta ja sitkeyttä. Molybdeeniä käytetään varsinkin kuumalujissa teräksissä. Jos austeniittiseen ruostumattomaan teräkseen lisätään noin 2,5 % molybdeeniä, niin silloin voidaan puhua haponkestävästä teräksestä. /14, s.42/

### Alumiini ( Al )

Alumiini sulamispiste on 658 °C. Tällä sidotaan tehokkaasti sekä happea että typpeä, jolloin teräs ei ole herkkä myötövanhenemiselle. Alumiini tiivistää terästä, estää rakeenkasvua ja haurasmurtuma - alttiutta. /14, s.42/

### Kupari ( Cu )

Kuparin sulamispiste on 1083 °C. Kuparilla on suuri lämmönjohtavuus ja sitä kautta noin 50 % suurempi lämpöpitäenemiskerroin kuin teräksillä. Kun teräksiin lisätään pieniä määriä kuparia, nikkeliä ja kromia, niin teräksen säänkestävyys paranee. Kupari ei muodosta karbideja. /14, s.43/

### Wolframi ( W )

Wolframi on voimakas karbidien muodostaja ja ei liukene. Se parantaa karkenevuutta ja kulumiskestävyyttä. Sitä käytetään erityisesti työkaluteräksissä. /34/

### Pii ( Si )

Pii liukenee ja lisää lujuutta karkaisun sekä päästön jälkeen. Parantaa tulenkestävyyttä ja päästönkestävyyttä. Samoin se huonontaa muovattavuutta. Sitä käytetään myös teräksen tiivistämiseen. /34/

### Vanadiini ( V )

Vanadiini muodostaa karbideja ja ei liukene sekä estää rakeenkasvua ja haurasmurtumaa. Se lisää karkenevuutta ja päästönkestävyyttä ja sitä käytetään ennen kaikkea hienoraeteräksissä. /34/

Aineenpaksuuden kasvaessa jäähtymisnopeuskin kasvaa, koska hitsaukseen tuotu lämpö johtuu suurempaan massaan. Jäähtymiseen vaikuttaa myös, kuinka moneen suuntaan

lämpö voi poistua. Jos tarvitaan korotettua lämpötilaa, niin aineenpaksuuteen on laskettava yhdistetty levyn paksuus. Työlämpötila vaikuttaa perusaineen muutosvyöhykkeen mikrorakenteisiin ja jäähtymisnopeuteen. Täten jäähtymisnopeus, parametrit ja hitsausprosessin terminen hyötysuhde, levyn paksuus, esikuumennus ja palkojen välinen lämpötila vaikuttavat hitsausliitoksen ominaisuuksiin. Koska työlämpötila vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin muutosvyöhykkeellä tapahtuvien rakennemuutosten kautta, niin sen on oltava oikea. /35/

Koska teräksien lujuuksia nostetaan seosaineilla, niin hitsauksesta on tullut yhä vaikeampaa karkenemisvaaran takia. Karkeneminen tarkoittaa rakenteen muuttumista martensiittiseksi jäähtymisen aikana. Mitä suurempi hiilipitoisuus on, sitä kovempaa ja hauraampaa se on. Lisätyllä lämmöntonulla tai esilämmityksellä tilannetta voidaan parantaa.

## 5. KUNNOSSAPIDOSSA KÄYTETTÄVIÄ MATERIAALEJA

Yleisesti materiaalin valinta on prosessi, joka tähtää tiettyjen toimintojen toteuttamiseen mahdollisimman tehokkaasti, turvallisesti ja taloudellisesti. Materiaalien ominaisuudet kehittyvät nopeasti, taloudellisuuden painoarvo kasvaa ja ympäristötekijät korostuvat. Materiaaliominaisuudet rajoittavat materiaalien toimivuutta monissa käyttökohteissa. Toimivuus on usein yhdistelmä kahdesta tai useammasta ominaisuudesta. Materiaaliominaisuudet jaetaan useimmiten mekaanisiin ominaisuuksiin, jotka kuvaavat materiaalin käyttäytymistä voiman aiheuttamiin pysyviin muodonmuutoksiin sekä fysikaalisiin ominaisuuksiin, joihin kuuluvat mm sähköiset, magneettiset, elastiset ja lämpötekniset ominaisuudet. Materiaalin valintaprosessi kulkee yleensä siten, että

- laaditaan vaatimusprofiili
- päätetään valintastrategia
- esivalitaan materiaali
- suoritetaan tarkempi tarkastelu
- suoritetaan lopullinen valinta

- käyttöseuranta

/25/

## 5.1. Teräkset

### 5.1.1. Seostamattomat teräkset

Standardin EN 10020 /36/ mukaan teräs on materiaali, joka sisältää painonsa puolesta enemmän rautaa kuin muita yksittäisiä aineosia. Hiilimäärä on yleensä pienempi kuin kaksi prosenttia. /29/ Teräkset jaetaan niukkahiilisiin, joiden hiilipitoisuus on 0,05 - 0,25 %, keskihiilisiin, joiden hiilipitoisuus on 0,25 - 0,60 % ja runsashiilisiin, joiden hiilipitoisuus on 0,60 - 1,7 %. /19, 55/ Teräksen hiilipitoisuus on aina alle 2,11 %.

Teräksiä arvostellaan hitsattavuutensa puolesta kylmähalkeilutaipumuksen ja lämpövyöhykkeen iskutkeyden perusteella. Hitsattavuus paranee raekoon pienentyessä, mutta huononee lisäaineita lisättäessä. Täten vetolujuuden kasvaessa hitsattavuus huononee, koska seosaineita on lisätty. Teräksen lujuutta lisätään helpoimmin nostamalla sen hiilipitoisuutta. Lujuutta voidaan nostaa myös lisäaineilla ja valssaustekniikalla.

Hitsaaminen on kahden kappaleen yhteen liittämistä pienen valutapahtuman avulla. Kun hitsataan rakenneteräksiä, niin perusaineella ei ole useinkaan sama koostumus kuin lisäaineella, sillä lisäaineilla on yleensä matalampi hiilipitoisuus kuin perusaineella. Näin vältetään jäähtymisen aiheuttama kova ja hauras mikrorakenne. /35/

Hitsattaessa perusmetalli sulan vieressä kuumenee austeniittifaasiin. Tämän vyöhykkeen jäähtyessä nopeasti muodostuu bainiittia ja martensiittia. Tätä vyöhykettä nimitetään HAZ ( Heat Affected Zone ). Kyseiseen vyöhykkeeseen vaikuttavat perusmetallin koostumus, hitsauksen aikainen lämpeneminen ja vyöhykkeen jäähtymisnopeus. On muistettava, että perusmetallin koostumus määrittää HAZ:n karkenevuuden. HAZ:n raekokoon vaikuttaa lämpenemisnopeus. Raekoko on sitä suurempi, mitä kauemmin lämpö pysyy karkenemislämpötilan yläpuolella. /35/

Sementtiitti ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) on esimerkki metallin ja hiilen välisestä välisijayhdisteestä, joita sanotaan yhteisellä nimellä karbideiksi. Karbidit muodostavat tärkeän teräksen rakenneosan. /20/

Niukkahiilisen teräksen, joka on jäähtynyt hitaasti, rakenne on ferriittiä ja perliittiä. Tämän teräksen lujuus koostuu ferriitin ja perliitin lujuudesta, perliitin suhteellisesta määrästä ja erkaumista sekä kuonasulkeumista.

Yleisiä rakenneteräksiä voidaan verrata niukkaseosteisiin teräksiin ja näitä voidaan hitsata kaikilla tavallisilla hitsausmenetelmillä. Karkenemistaipumus on hyvin pieni. Hitsauksen suoritukseen vaikuttaa aineen paksuus, lisäaine, hitsausenergia ja hiilielkvivalentti.

Jos normalisoitujen terästen aineenpaksuus on yli 25 mm, niin on syytä käyttää esikuumennusta 100 - 200 °C. Toisaalta jos hiilielkvivalentti on alle 0,41, niin esikuumennustarve on vain yli 40 mm ainevahvuuksilla. /32, s.95/

Seostetut teräkset ovat voimakkaasti karkenevia ja tarvitsevat siksi esikuumennusta ja hitsauksen jälkeen lämpökäsittelyn.

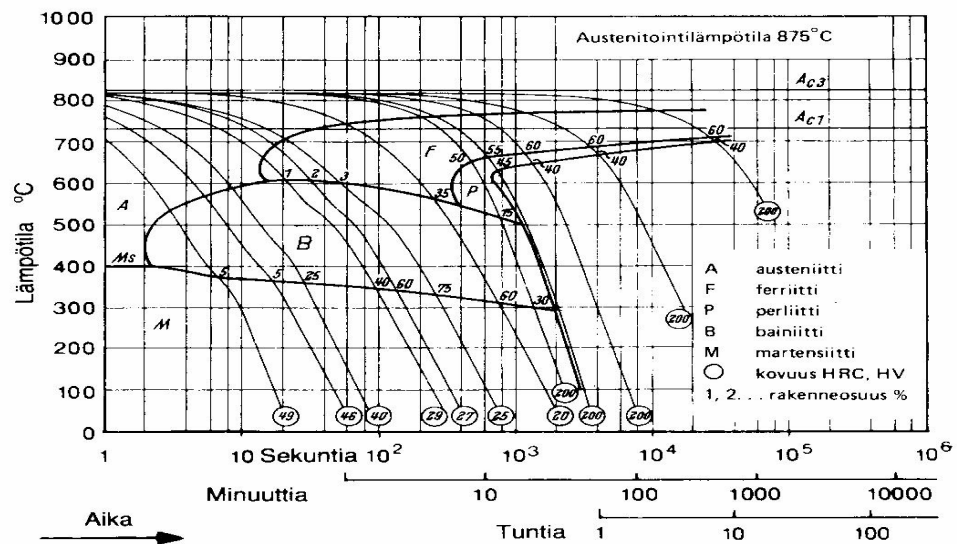
Koneteräksiä käytetään erityisesti hydraulisylinterien männän varsissa. Näihin joudutaan hitsamaan erilaisia päitä kiinnitystä varten. Näiden terästen hiilipitoisuus on yleensä noin 0,20 % ja hiilielkvivalentti noin 0,45, kun puhutaan ainepaksuuksista alle 40 mm. Terästen hitsaukseen suositellaan mangaanipitoisia puikko ja normaalia hieman pienempää hitsausvirtaa. /32, s.52/

Lujilla hitsattavilla teräksillä tarkoitetaan teräksiä, joiden myötöraja on suurempi kuin  $355 \text{ N} / \text{mm}^2$ . Näitä voidaan hitsata kaikilla tavanomaisilla menetelmillä. /32/ Hitsauksessa on otettava huomioon, että käytetään seostamattomia lisäaineita, kuivia puikkoja, hitsataan keskeltä reunoille, hitsaus suoritetaan yhtäjaksoisesti, jotta levy ei pääse jäähtymään sekä vältetään liian nopeaa jäähtymistä.



Nuorrutusteräksiä käytetään kunnossapidossa erilaisiin akselisiin, joihin joudutaan hitsaamaan esimerkiksi laippoja, kun tehdään teloja. Näillä teräksillä on hitsattaessa karkenemisvaara suuri korkean hiilipitoisuuden ja seostuksen johdosta. Hiiliiekvivalentti voi olla yli yhden. Lisäaineen on oltava samaa tyyppiä kuin perusaine, jotta saavutettaisiin vastaava lujuus kuin perusaineella. Puikot on kuivattava hieman ennen hitsausta. Näin vältetään vetyhalkeamat. /32, s.168/

Teräksen käyttäytymistä hitsauksessa voidaan tarkastella jatkuvan jäähtymisen S - käyrien avulla. Ne näyttävät austeniitin hajaantumisen ajan funktiona teräksen jäähtyessä. Käyrien avulla voidaan arvioida muutosvyöhykkeen mikrorakenne, kun se jäähtyy hitsauksen jälkeen huoneenlämpötilaan. /37/ Kuvasta 14 käy ilmi erään teräksen S - käyrä.



Kuva 14. Teräksen 25CrMo4 jatkuvan jäähtymisen S - käyrä /32, s.150/

Kunnossapidossa käytettäville paineastiateräksille Fe 38.8 teräksille ei tarvitse suorittaa esikuumennusta, koska käytetyt ainevahvuudet ovat yleensä alle 30 mm.

Joskus kunnossapidossa joudutaan suorittamaan musta - / ruostumaton - hitsauksia. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi paineestiat, putkistot ja jotkut päällehitsaukset. Näissä pitää oikealla lisäaineen valinnalla varmistaa, että hitsiaineen mikrorakenne ei ole

halkeilualtis eikä hauras. Yleensä hitsaus suoritetaan joko yliseostetulla ruostumattomalla tai nikkelpohjaisella puikolla. Yliseostettu lisäaine on seostettu riittävästi kromilla ja nikkelillä, jotta se voi laimeta hitsiaineessa seostamattoman teräksen kanssa. /38, s.16/

Eripariliitoksissa voidaan käyttää apuna puskurointia. Tässä pinnoitetaan railon pinta ennen varsinaista liitohitsausta. Tätä käytetään erityisesti ferriittisille teräksille ja silloin puskurointi suoritetaan nikkelpohjaisella lisäaineella. Puskuroinnilla pyritään sopivaan välikerrokseen, koska usein käytetään hitsin jälkihehkutusta. Puskurointi poistaa usein jälkihehkutustarpeen. /37/

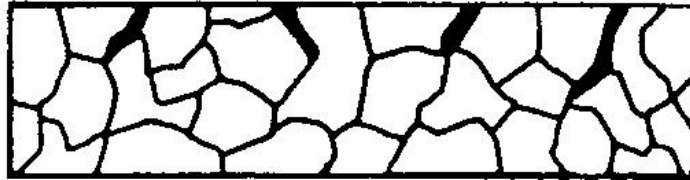
Jos teräkset ovat suojamaalattuja tai maalattuja, niin varmin tapa estää huokokset, on poistaa maali hitsausalueelta. Jos näin ei haluta tai voida menetellä, niin pitää pyrkiä hitsausparametrien valinnalla vaikuttamaan, että huokosia syntyisi mahdollisimman vähän. Kunnossapitohitsauksia joudutaan usein tekemään maalin päälle, koska sen poisto on usein jo tulipalovaaran takia mahdotonta.

#### 5.1.2. Ruostumattomat teräkset

Ruostumattomien terästen pääasiallinen seosaine on kromi ja sitä pitää olla vähintään 10,5 % ja hiiltä enintään 1,2 %, jotta voidaan puhua ruostumattomista teräksistä. Korroosionkestävyys on näiden terästen keskeinen ominaisuus. Muina seosaineina käytetään mm. molybdeenia ja nikkeliä. /39, s.3/

Valtaosa ruostumattomista teräksistä on austeniittisia. Niiden mikrorakenne on austeniittinen ja ne sisältävät kromia vähintään 18 %, nikkeliä 8 % sekä usein molybdeenia 1 - 4 %. /39, s.4/ Näiden terästen lämpölaajenemiskerroin on suurempi kuin seostamattomien. Samoin lämmönjohtavuus on huomattavasti pienempi. Näistä syistä johtuen muodonmuutokset ovat myös suurempia. Jos näitä teräksiä hehkutetaan pitemmän aikaa 600 - 800 °C, kuten hitsauksessa tapahtuu, niin hiili ja kromi muodostavat kromikarbideja. Nämä erkautuvat austeniittikiteiden raerajoille. Rajalle muodostuu kromivajaa - alue ja seurauksena on syöpyminen. Tätä kutsutaan raerajakorroosioksi. Korkea hiilipitoisuus altistaa tälle ilmiölle. Austeniittisia

ruostumattomia teräksiä käytetään erityisesti puunjalostusteollisuudessa. /39, s.19/  
Kuvasta 15 selviää raerajakorroosion esiintymispaikat.



Kuva 15. Raerajakorroosio /39, s.10/

Muita ruostumattomia teräksiä ovat:

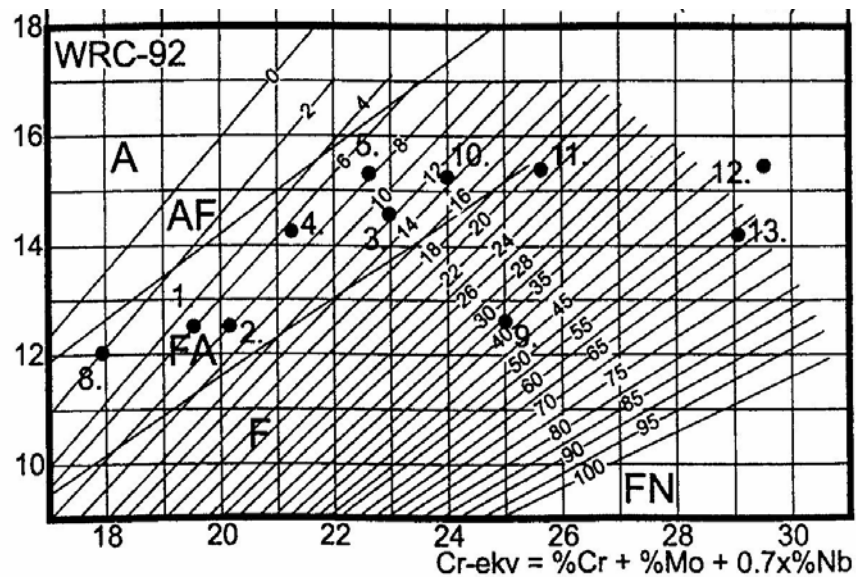
- Ferriittiset, joissa hiiltä on alle 0,08 % ja pääseosaineet ovat kromi ja molybdeeni. Näiden hitsattavuus ei ole erityisen hyvä. Kriittinen lämpötila - alue raerajakorroosion kannalta on 900 - 1000 °C. /39, s.5/

- Austeniittis - ferriittiset eli ns duplex - teräkset tarkoittaa, että niissä on kaksifaasinen mikrorakenne. Näiden hitsattavuus on melko huono. /39, s.5/

- Martensiittiset teräkset ovat pääkoostumukseltaan kromiteräksiä, joissa on muutama prosentti nikkeliä. Teräkset ovat karkenevia, josta johtuen hitsattaessa tarvitaan esikuumennusta ja jälkilämpökäsittelyä. /39, s.6/

- Tulenkestävät teräkset eivät ole varsinaisesti ruostumattomia teräksiä, mutta ne muistuttavat tyyteiltään ja koostumukseltaan niitä. /39, s.6/

Hitsiaineen ferriittipitoisuus vähentää kuumahalkeilua, nostaa lujuutta, tekee magneettiseksi ja huonontaa sitkeyttä. Tätä pitoisuutta hitsiaineessa voidaan määrittää mm. Schaefflerin tai WRC - 92 - diagrammeilla. Jälkimmäinen on nykyisin enemmän käytössä. Alla olevasta kuvasta 16 selviää WRC - 92 periaate. /39, s.21/

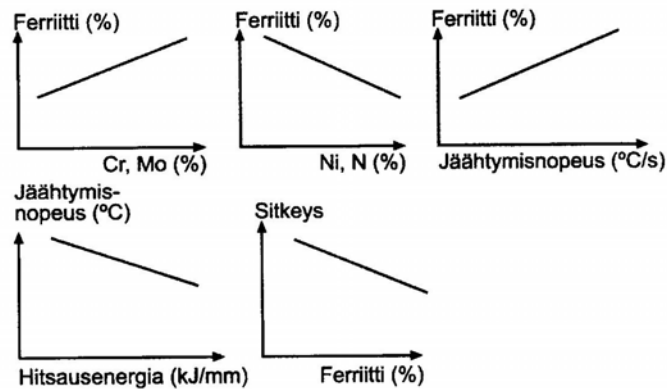


Kuva 16. Hitsiaineen ferriittipitoisuuden määrittäminen WRC - 92 diagrammin avulla /39, s.22/

Austeniittisen teräksen hitsaus pitää suorittaa pienellä lämmöntuonnilla. On vältettävä lämpötila - aluetta 500 - 900 °C. Lisäaine tulee valita niin, että se vastaa perusainetta. Hitsaus on suoritettava ohuilla paloilla ja hitsausjärjestyksen pitää olla jännityksiä estävä. /14, s.246/ Hitsauksen jälkeen on suoritettava mekaaninen jälkikäsittely tai peittäminen hyvän lopputuloksen varmistamiseksi, koska hitsauksen tuloksena passiivikalvo on rikkoutunut, teräspinta hapettunut ja muodostunut uusi hauras ja ei - tiivis oksidikerros. /39, s.32/ Peittäyksessä hitsi ja sen ympäristö käsitellään happoliuoksella tai - tahnalla. /14, s.249/

Hitsaus edellyttää huolellisuutta, puhtautta, lämpökäsittelymahdollisuuksia ja hitsien sijoittelua kohtiin, joissa ei vaadita suurta lujuutta.

Kuvasta 17 ilmenee eri tekijöiden vaikutukset hitsiin.



Kuva 17. Eri tekijöiden vaikutus hitsin ferriittipitoisuuteen, sitkeyteen ja jäähtymisnopeuteen /39, s.31/

## 5.2. Alumiinit

Alumiini on kevyttä, lujaa ja kestävä. Puhdas alumiini on pehmeää ja sillä on pieni lujuus ja siksi sitä käytetään pääsääntöisesti taloustavaroissa, kuljetussäiliöissä, sähköjohtimina jne. /40, s.8 - 9/

Seosaineita lisäämällä alumiiniin saadaan sille erilaisia ominaisuuksia. Kupari tekee seoksista karkenevia lisäten lujuutta ja kovuutta, mutta heikentää samalla korroosionkestävyyttä. Magnesium parantaa lujuutta ja kovuutta, mutta ei heikennä hitsattavuutta eikä korroosionkestävyyttä. Mangaani pienentää raekokoa. /40/

Alumiinia voidaan hitsata kaikilla tunnetuilla hitsausmenetelmillä. Nykyisin yleisesti käytetään MIG - ja TIG - menetelmiä. Alumiiniseokset ovat suhteellisen hyvin hitsattavia. Lisäaineiden valinta perustuu yleensä lujuuteen ja sitkeyteen, jotta vältetään halkeilua. Alumiinilla ja sen seoksilla on alhainen sulamispiste ( 660 - 565 °C ), mutta pinnan oksidikerroksen sulamispiste on korkea, yli 2000 °C. Alumiini johtaa hyvin lämpöä ja siksi tarvitaan hitsattaessa suurta lämmöntuontia. Muutosvyöhyke muodostuu laajaksi ja lujuus saattaa laskea ja vetelyt yleistyä hitsauksen seurauksena. /14, s.250/

Lämpölaajenemiskerroin on myös suuri. Vety liukenee helposti alumiiniin ja aiheuttaa huokoisuutta. Hitsauskohta tulee puhdistaa huolellisesti, koska ilma aiheuttaa railon kylkiin hapettumista. Oksidikalvo on poistettava ennen hitsausta. /25, s.7/

Hitsattaessa alumiinia TIG - menetelmällä käytetään pääsääntöisesti vaihtovirtaa. Käyttöalue on 0,7 - 10 mm. Paksuja kappaleita voidaan hitsata tasavirralla. Valokaaren pitää puhdistaa oksidikerros työkappaleen pinnasta. Puhdistusvaikutus johtuu kaasuionien törmäämisestä työkappaleen pintaan kovalla vauhdilla ja ne rikkovat oksidikalvon. Hitsaus voidaan suorittaa joko lisäaineella tai ilman. /40, s.193/

Puikkohitsauksessa käytetään päällystettyjä puikkoja. Tätä menetelmää ei suositella karkeneville laaduille eikä tuotantohitsaukseen. Hitsaus tehdään tasavirralla ja puikko on plusnavassa. Jotta ei tulisi huokosia, on lisäaineiden oltava kuivia. Puikkoja on vain kahta laatua käytettävissä. Tunkeuma on huono. Esilämmitys 150 - 200 °C on usein tarpeen. /40, s.192/

MIG - menetelmää käytetään yli 1,0 mm ainepaksuuksille ja kaikille hitsausasennoille. /14, s.256/ Tällä saadaan hyvä hitsin laatu. Koska menetelmän hitsausnopeus on suurempi kuin muiden menetelmien, niin lämpövaikutukset ovat pienempiä. Tunkeuma on hyvä.

Alumiinia ei voi leikata happi - asetyleenillä, koska sen sulamispiste on matala ja hapessa palamista ei tapahdu.

Silumiini on alumiinin ja piin seos, jossa piitä on noin 13 % ja loput alumiinia. Silumiinin sulamispiste on 570 °C. Sillä on hyvät valuominaisuudet, kohtalainen lujuus sekä hyvä korroosionkestävyys. Silumiinia voidaan hitsata. Sitä käytetään painevalussa monimutkaisiin, ohutseinäisiin valuosiin. Hyvänä esimerkkinä silumiinista on AlSi12. /40, s.60/

### 5.3. Valuraudat ja -teräkset

Valurautoja ovat rauta - hiiliseokset, joissa hiiltä on yli 2,11 %. /31, s.21/ Yleisesti koneenrakennuksessa käytettävät valuraudat sisältävät hiiltä 2,4 - 4,5 %. Valurauta sisältää myös muita seosaineita kuten nikkeliä, kuparia, molybdeeniä, kromia, mangaania, fosforia ja rikkiä . /33, s.1/

Valuraudan rakenteessa hiili voi olla sitoutuneena sementtiittiin, muihin karbideihin tai olla vapaana. Valuraudassa tapahtuu grafitoitumista jäähtymisen aikana. Hiili erkanee sementtiitistä ja siirtyy grafiittikiteisiin. Jäähtymisnopeus lämpötila - alueella 1100 - 1150 °C määrää grafiittikiteiden muodon, määrän ja jakautumisen. Kun jäähtyminen on edennyt 780 °C:een alapuolelle, niin austeniitin muuttumistuloksena syntyy perliittiä eli ferriittiä ja sementtiittiä. Perliitin sementtiitti hajoaa noin 580 °C asti. Muutoslämpötilan alapuolella on rakenteena ferriitti ja grafiitti. Valuraudan ominaisuudet määräytyvät siitä, kuinka paljon ferriittiä ja grafiittia muodostuu. Pii on välttämätön grafiitin muodostumiselle. Suuret hiili- ja piipitoisuudet suosivat pehmeämpiä rakenteita ja mangaani- ja kromipitoisuudet kovempia. /33, s.1-2/

Suomugrafiittirauta sisältää normaalisti hiiltä 3 - 4,5 % ja piitä noin 13 %. /41, s.3/ Sen mikrorakenne koostuu grafiittisuomuista ferriitti- tai perliittimatriisissa. Grafiitilla ei ole lujuutta ja siksi esim. halkeamat kulkevat usein suomuja pitkin. Se on myös haurasta. Tämä on paljolti käytettyä, koska se on halpaa sekä helppo valaa ja työstää.

Suomugrafiittirauta soveltuu huonosti liitoshitsauksiin, koska sen mikrorakenne ottaa hitsauksessa syntyviä jännityksiä huonommin vastaan kuin teräkset ja pallografiittirauta. /42, s.57/ Tälle voidaan tehdä vain pieniä vikakohtien viimeistelyhitsauksia, jotka suoritetaan kylmähitsauksena. Kylmähitsauslisäaineena käytetään nikkeli- tai kromipitoisia puolikuuma- tai kuumana. /41, s.9/

Pallografiittirauta sisältää hiiltä 3,4 - 3,8 %. Matriisi on yleensä joko ferriittinen tai perliittinen. Koska grafiitti on pallomaista, niin tämän valuraudan sitkeys on parempi

kuin suomugrafiittiraudan /41, s.4/. Jos perusaineen rakenne on ferriittinen, niin se kykenee ottamaan vastaan hitsauksen aiheuttamia jännityksiä paremmin kuin ferriittis - perliittinen ja perliittinen.

Valkoista valurautaa käytetään kohteissa, joissa tarvitaan suurta kovuutta ja kulumisenkestävyyttä. Mikrorakenne sisältää karbideja martensiitti- tai perliittipohjalla. Tämä on yleensä ei - hitsattavaa. Se soveltuu pinnoitukseen, mutta ei liitoksiin. /41, s.4/ Adusoitu eli tempervalurauta valmistetaan lämpökäsittelmällä valkoista valurautaa. /19, s.161/ Tätä valurautaa voidaan hitsata, vaikka hitsaus tuottaa ohuen vyöhykkeen valkoista valurautaa hitsiin ja muutosvyöhykkeelle. Hiilenpoistolämpökäsittely parantaa hitsattavuutta. Seostetut valuraudat ovat yleensä huonosti hitsattavia. /41, s.4/

Hitsiaine kutistuu jäähtymisen aikana ja aiheuttaa näin ollen jännityksiä. Koska valurautoilla on muodonmuutoskyky huonompi kuin teräksillä, niin jännitykset, jotka aiheutuvat hitsauksesta, eivät pääse tasaantumaan hitsiä ympäröivään perusaineeseen. Siksi pitää pyrkiä keskittämään kutistumisjännitykset hitsiaineeseen. /43, s.2/

Jotta jäähtymisjännitykset olisivat pienemmät, niin käytetään pientä hitsausenergiaa. Muutosvyöhykkeen pitää olla kapea. Kylmähitsaus tapahtuu siten, että hitsataan lyhyitä, kapeita palkoja, pienellä virralla ilman levityслиikkettä. Hitsauskohdan on annettava jäähtyä riittävästi. Samoin vasarointi pyöreäpäisellä vasaralla kuumana poistaa jännityksiä. Palkojen välinen lämpötila pitää olla alle 100 °C /41, s.9/. Hitsausjärjestyksellä on myös suuri merkitys syntyviin jännityksiin.

Kylmänä tehdyn hitsin lujuus on 70 - 80 % perusaineen lujuudesta varsinkin pallografiittiraudalla. /42, s.119/ Kylmähitsaus edellyttää nikkelivaltaisten lisäaineiden käyttöä. Jäähtymisjännityksiä voidaan vähentää myös matalan myötölujuuden lisäaineilla. Nikkelipuikot ovat tällaisia.

Materiaalin myötöraja pienenee, kun lämpötila nousee. Kappaleen esilämmityksellä voidaan vähentää jäähtymisjännityksiä, koska kutistumisjännitykset voidaan keskittää korkeammassa lämpötilassa hitsiin.



Valuraudan korkeasta hiilipitoisuudesta johtuen muutosvyöhykeen mikrorakenne karkenee hitsauksessa ja sularaja - alueelle muodostuu hauraita karbideja. /44, s.1/ Sama tapahtuu, kun hitsi jäähtyy nopeasti. Jos hitsaus suoritetaan kylmänä, niin hitsausliitoksessa voidaan muutosvyöhykkeellä, erottaa seuraavat vyöhykkeet: martensiitti ja bainiitti, ledeburiitti ja martensiitti sekä martensiitti. Muutosvyöhyke on kova ja hauras. /44, s.1/ Kovuus muutosvyöhykkeellä riippuu jäähtymisnopeudesta. Muutosvyöhykkeen laajuus ja kovuus riippuu huippulämpötilasta, hitsausenergiasta ja jäähtymisnopeudesta.

Jos halutaan alentaa muutosvyöhykkeen kovuutta, niin pitää suorittaa esikuumennus. Tämän tulisi kuitenkin olla lähes 500 °C, jotta saavutettaisiin todellista kovuuden alenemista.

Hiili erkanelee perusaineesta hitsauksen aikana ja näin hiilipitoisuus hitsissä nousee. Täten halkeilutaipumus lisääntyy. Tätä haitallista ilmiötä voidaan vähentää korkealla esikuumennuksella tai käyttämällä nikkelivaltaisia lisäaineita. /45, s.6/

Tehtäessä korjaushitsauksia lisäongelmia aiheuttavat lika ja öljy. Lika voidaan usein poistaa huolellisella puhdistuksella. Öljy puolestaan imeytyy helposti grafiittiin ja mikrohuokosiin. Hitsattaessa öljy höyrystyy ja aiheuttaa huokosia. Pienet määrät öljyä voidaan poistaa liuottimilla, mutta täydellisesti vain kuumentamalla kappale noin 500 °C ja pitämällä sitä tässä lämpötilassa jopa useita tunteja. Jos tämä ei ole mahdollista, niin taltauspuikko on hyvä apuväline. /41, s.7/

Pieniä valuvikoja voidaan korjaushitsata ilman esilämmitystä perusainetta vastaavalla lisäaineella. Suurempien vikojen korjaus vaatii hidasta ja tarkasti suunniteltua esikuumennusta. /44, s.1/

Pallografiittiraudan hitsauksessa käytetään usein puolikuumaa hitsausta. Kun esikuumennus suoritetaan vain noin 250 °C:een, niin kovuuden väheneminen ei ole suurta. Lisäaineet ovat nikkelivaltaisia. Palkojen välinen lämpötila pidetään 250 °C:ssa. Hitsataan lyhyitä palkoja taka - askelhitsausjärjestyksellä /41, s.9/.

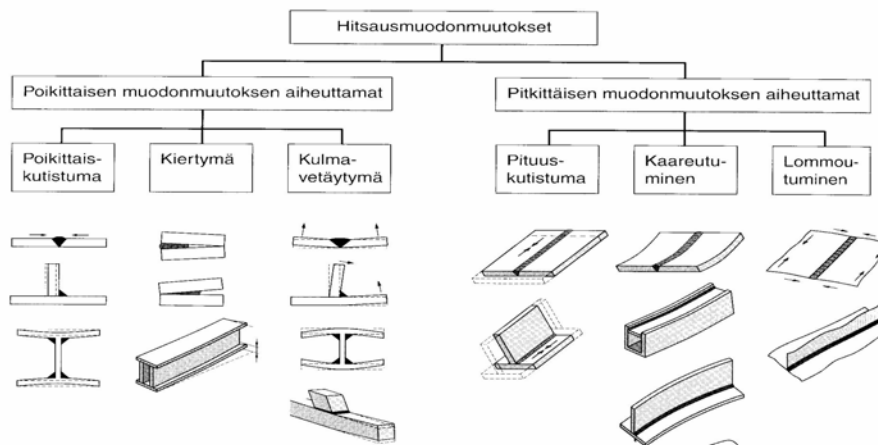
Pieniä valukappaleita voidaan hitsata kuumahitsauksena. Esikuumennuslämpötila ei saa nousta yli 350 °C:een. Lisäaine voi nyt olla valurautaa vastaava. Jäähdytymisen on oltava todella hidasta. /41, s.9/

Jännityksenpoistohehkutus voidaan suorittaa hitsauksen jälkeen. Liitoksen sitkeys paranee, kun jälkihehkutus suoritetaan 900 °C:ssa ja pitoaika on noin 1 h / 25 mm. Lämpötilaa ei saa nostaa kuin 50 °C / tunti. /14, s.277/

Hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi hitsatun kappaleen on jäähdyttävä hitaasti.

## 6. MUODONMUUTOKSET HITSAUKSESSA

Teräksen ja muiden materiaalien valmistus ja sen jälkeinen epätasainen jäähdyminen aiheuttaa sisäisiä jännityksiä. Hitsaus tuo epätasaisen lämpöjakauman myötä kappaleessa eri suuntiin vaikuttavia jännityksiä. Muodonmuutosten oikominen aiheuttaa myös lisäjännityksiä, jotka usein ovat haitallisia. Nämäkin ovat sisäisiä. Kuva 18 selventää havainnollisesti hitsauksen aiheuttamia muodonmuutoksia.



Kuva 18. Hitsauksessa syntyvät muodonmuutosten lajit ja esimerkkejä /14, s.452/

Jännityksistä osa on ja pysyy sellaisina, että niitä ei havaita. Toisaalta on jännityksiä, jotka havaitaan. Näkymättömät voivat laueta aikojen kuluttua ja aiheuttaa vaurioita.

Näitä ovat mm. haurasmurtuma, väsyminen, nurjahdus ja jännityskorroosio. Näkyviä haittoja ovat mm. kieroutuminen, taipuminen ja lommahdus. Näiden korjaaminen voidaan aloittaa heti havaittua. /14, s.446/

Lämpöpiteneumistä ilmenee, kun lämpötila nousee yli 100 °C:een. Raaka - aine laajenee ja kylmät alueet pyrkivät estämään laajenemista. Lämpimän alueen myötöraja laskee ja tästä seuraa tyssäntymistä ja lujuuden heikkenemistä. Tälle alueelle syntyy puristusjännitystä. Kylmillä alueilla esiintyy puolestaan vetojännitystä. Hitsin pituussuunnassa kylmemmät alueet estävät jäähtymisen aikana tyssäntyneen alueen kutistumisen alle alkuperäisen. /14, s.447/ Pitkittäiset muodonmuutokset aiheuttavat pituuskutistumaa, kaareutumista ja lommahtamista. Kiderakenne alkaa muuttua noin 700 °C:ssa. Hitsin jähmettyessä alkaa syntyä lämpökutistumista ja lujuus palautuu vähitellen. Puristusjännitys alkaa muuttua vetojännitykseksi. Jännitykset saavuttavat raaka-aineen myötörajan ennen huoneen lämpötilaa. Myötöraja palautuu lämpötilan laskiessa.

Hitsaus aiheuttaa molemmissa liitettävissä levyissä muodonmuutoksia. Hitsattavaan reunaan tulee vetojännitystä ja tätä kautta pyrkimystä kummankin levyn taipumiseen. Kun hitsi jäähtyy, niin se pyrkii kutistumaan pituussuunnassa. Levyn päihin syntyy puristusjännityksiä. Koska ympäröivä aine vastustaa näitä, niin ohuille aineille syntyy lommahdus ja paksummat kaareutuvat. Pituussuuntaisten jännitysten seurauksia ovat hitsiin syntyvät poikittaiset jännitykset. /14, s.449/

Hitsaustapa, tuotu lämpöenergia ja sen poistuminen vaikuttavat hitsiin nähden poikittaisiin jännityksiin. Vaikuttavia tekijöitä ovat lisäksi palkojen lukumäärä, railomuoto, materiaali ja rakenteen jäykkyys. Poikittaiset muodonmuutokset aiheuttavat poikittaiskutistumaa, kiertymää ja kulmavetäymää. /14, s.450/

Kulmamuodonmuutos V - hitsissä ilmenee siten, että levy kiertyy, koska suurin osa hitseistä on levyn neutraaliakselin toisella puolen ja tähän aiheutuu suurempi kutistuma. Tätä voidaan ehkäistä kiinnityksillä.

Paksuja materiaaleja hitsattaessa pohjapalot ovat kylmempiä ylempiä palkoja hitsattaessa, koska alempien lämpö on päässyt leviämään ympäristöön. Tällöin syntyy kulmavetäytyminen. Eräillä railomuodoilla levy vetäytyy tiettyyn kulmaan. Tähän auttaa vain yksipalkohitsaus.

Käyritymistä voidaan pienentää oikeilla railon muodoilla. Voidaan käyttää jopa epäsymmetrisiä railoja levyn molemmin puolin. /35/

Pistemäisen kuumentamisen seurauksena lämpö leviää ympäröiville alueille. Kun kohtaa lämmitetään lisää, vastustaa ulkopuolella oleva alue, joka on kylmempi, lämmitetyllä alueella tapahtuvaa kiderakenteen laajenemista. Tästä syystä syntyy puristusjännitystä. Jos lämpötila vielä nousee, alkaa alue tyssäntyä ja pehmetä. /14, s.452/

Jäähtymisen alettua, tulee vetojännityksiä. Näiden suuruus seuraa raaka-aineen myötörajan sen hetkistä suuruutta. Se kasvaa jäähtymisen mukana myötörajan nousun myötä. Lämmön noususta alkanut metallin laajentuminen muuttuu jäähtymisvaiheessa kutistumaksi. Näistä syntyy jäännösjännityksiä. Niitä tasapainottaa perusaineen puristusjännitykset. /14, s.453/

Laskelmilla ja kokemuksella voidaan vähentää muodonmuutosten vaikutuksia. Suunnittelussa voidaan huomioida kaareutumisen ja vinoutumisen poistaminen hitsien symmetrisellä sijoittelulla rakenteen keskiakseliin nähden, kulmavetäymät railo- ja hitsipalkovalinnoilla, pienahitsin osalta hitsin a - mitan ja levyn vahvuuden suhteella sekä palkkien hitsauksessa tulevat lommutumat uumalevyn ja laippojen keskinäisillä vahvuussuhteilla tai hitsin a - mitalla. Yleispäteviä ohjeita ei ole, vaan on harkittava aina tapauskohtaisesti. /14, s.453/

Silloituksen tarkoituksena on pitää kappale niissä ennalta määritellyissä asetuksissa, joihin hitsauksen jälkeen toivotaan päästävän. Silloituksessa on huomioitava tarvittavat ennakot. Silloitusjärjestyksellä voidaan myös saada aikaan muodonmuutoksia. Nurkkakohtiin siltahitsejä ei saa sijoittaa. /14, s.461/

Hitsausjärjestys on suunniteltava sellaiseksi, että rakenne saavuttaa lopullisen jäykkyytensä mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa. Tällöin hitsin sisäisestä kutistumisesta aiheutuvat jännitykset jäävät pieniksi. Hitsauslämpö ja jännitykset on pyrittävä jakamaan tasaisesti pituussuunnassa. /14, s.462/ Näin pyritään saamaan kappale elämään keskeltä reunuille. Hitsaus pitäisi aloittaa kappaleen keskipisteestä ja tulevien hitsien tulisi kulkea keskeltä laitoja kohti. Näin kutistuma tapahtuu vapailla laidoilla.

Esijäännityksessä rakenne taivutetaan päinvastaiseen suuntaan kuin hitsaus tulee vetämään. Näille voidaan tehdä laskelmia. Oikaisu voidaan saada aikaan myös siten, rakenteen kuorma oikaisee rakenteen. /14, s.467/

Vääntyneitä rakenteita voidaan oikoa. Oikomiseen vaikuttaa lujuusvaatimukset, tuotteen ulkonäkö, hitsauksen jälkeisten työvaiheiden onnistuminen ja standardit ja asetukset. Oikomiseen käytettäviä tekniikoita ovat mm:

Mekaanisessa oikomisessa käytetään ulkoista voimaa taivuttamiseen. Tällöin pintakerros joko venyy tai puristuu. Taivutusta jatketaan kunnes raaka-aineen myötöraja saavutetaan. Tällöin pintakerroksissa tapahtuu plastista muokkaantumista. Se etenee kappaleen keskiosaan neutraaliakselia kohti. Siellä raaka-aine muokkautuu elastisesti. Ulkoisen ja sisäisen pinnan plastiset muodonmuutokset estävät palautumista alkuperäiseen asemaan. Nyt kappale on sisäisesti tasapainossa ja jää tähän jäännösjännitystilaan. /14, s.471/

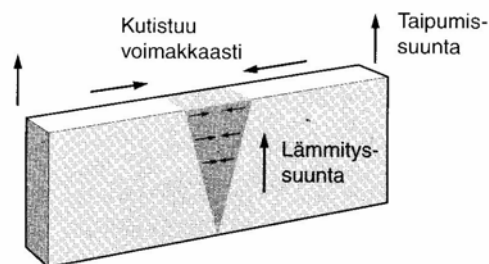
Lämmöllä oikaistaessa kuumennetaan kappaletta paikallisesti, jolloin se osa pyrkii laajenemaan. Kylmempi osa vastustaa ja kuumennettu osa alkaa tyssääntyä ja syntyy puristusta. Jäähdytymisen aikana teräs kutistuu, mutta kylmempi osa vastustaa tätä ilmiötä. Tulee vetojäännitystä. /14, s.472/

Lämpötiloilla 650 - 800 °C liikutaan mustilla teräksillä myötörajalla. Paras tulos saavutetaan kuitenkin alueella 825 - 1025 °C. /14, s.472/

Levyn paksuus on huomioitava, koska helposti ilmenee ylioikaisua. Oikaisuissa tapahtuu mikrorakennemuutoksia, joista osa voi olla varsin haitallisia. Uudelleen kuumennettaessa

kertaalleen oikaistua kappaletta tapahtuu uusi muodonmuutos, koska tällöin laukaistaan jäännösjännitykset. /14, s.473/

Tarkistettavia alueita ovat kuumien sijoittelu ja laji, jota käytetään. Yleensä edetään jäykästä rakenteesta vähemmän jäykkään. Kantavien rakenteiden oikaisussa on oltava varovainen. Kun oiotaan muototeräksiä, niin on ajateltava lähtöpiste ja liikesuunta. Yleensä lämmitetään kolmiomaisesti. Kutistuminen alkaa kiilan kärjestä, koska se alkaa ensin jäähtyä. /14, s.476/ Kuva 19 esittää tätä tapahtumaa havainnollisesti.



Kuva 19. Kiilakuuman käyttö lattateräkselle /14, s.476/

Vasarointi venyttää vasaroitavaa kohtaa. Tässä menetelmässä tulee helposti säröjä ja pintanaarmuja. /14, s.479/

Hiekkapuhallus venyttää tai laukaisee jännityksiä. Tätä menetelmää ei ole paljoa tutkittu. /14, s.479/

## 7. HITSAUSPROSESSIT

### 7.1. Kaarihitsaus

Kaarihitsaus perustuu sähkövirran käyttöön valokaaren aikaansaamiseksi. Tällä tuotetaan tarvittava hitsauslämpö. Siihen liittyy virtapiiri, joka saadaan aikaan käyttäen hyväksi virtalähdettä, hitsauskaapelia, elektrodiä / hitsauslisäainetta, valokaarta, työkappaletta ja maadoitusta.

Hitsausvirtalähde muuttaa verkosta tulevan sähkön sopivaksi. Hitsausvirta voi olla tasa- ( DC ) tai vaihtovirtaa ( AC ).

## Valokaari

Sähköenergia muutetaan hitsauksessa tarvittavaksi lämmöksi valokaaren avulla.

Valokaari on kaasussa tapahtuva sähköpurkaus, kun kaarivälissä on riittävästi sähköisesti varautuneita hiukkasia. Valokaaren tiheys on suuri. /16, s.66/

Elektronien liike - energia riippuu jännitteestä. Ne törmäävät liikkeessaan kaasumolekyyleihin ja hajoavat atomeiksi. Törmäily ja hajoamisprosessi jatkuvat ja kaasu tulee sähköä johtavaksi eli ionisoituu ja tästä johtuen virta alkaa kulkea hitsauspiirin valokaarella. Myös metallikappale lähettää elektroneja. /16, s.66/

Jos jännitehäviö mitataan valokaarella virranvoimakkuuden pysyessä vakiona, niin voidaan huomata, että heti elektrodien vieressä sähköinen kenttävoimakkuus on melko suuri. Se on valokaaren keskiosassa sitä vastoin pieni. Valokaari voidaan jakaa kolmeen osaan, jotka ovat jännitehäviö katodilla, jännitehäviö anodilla ja jännitehäviö valokaarella. /21, s.10/

Katodin kuumentamiseen käytettävä energia on pienempi kuin vastaava energia anodilla. Siksi anodi on kuumempi kuin katodi. Tämä vaikuttaa virtalajin ja napaisuuden valintaan. /21, s.10/

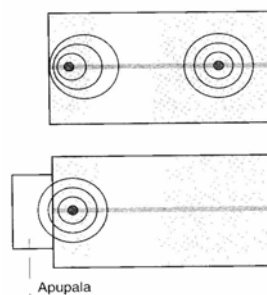
Pienillä virran voimakkuuksilla valokaaren poikkipinnan kasvaessa pienenee virtatiheys valokaaren ytimessä ja täten jännitehäviö myös pienenee. Jos virran voimakkuus kasvaa, niin valokaaren poikkipinta lisääntyy. /17, s.10/

Katodin jännitehäviön suuruus riippuu katodiaineesta, katodipinnasta, lämmön poisjohtumisesta, jännitehäviön suuruudesta valokaaren ytimessä, valokaarikaasujen ionisaatiopotentiaalista ja lämpötilasta valokaaren ytimessä. /21, s.11/

Kaasu, joka koostuu vapaasti liikkuvista varauksen kantajista ja johtaa sähköä, on plasma. Terminen plasma muodostuu, kun atomit hajoavat elektroneiksi ja ioneiksi kaasun korkean lämpötilan johdosta. Kirkkaasti loistava plasmakanava muodostaa valokaaren ytimen. Tässä lämpötila alenee hitaammin tai nopeammin huoneen lämpötilaan keskiakselilta ympäristöön edetessä. Lämpötilan muutoksen mukana muuttuu myös kaariplasman koostumus. Kun lämpötila pienenee, pienenee myös sähkönjohtavuus. /21, s.12/

Valokaari voi hitsauksen aikana taipua mihin tahansa. Sähkövirta aiheuttaa magneettikentän sähköä kuljettavan johtimen ympärille. Valokaaren kohdalla sisäpuolelle syntyy magneettisten voimaviivojen tihentymä ja ulkopuolelle laajentuma. Tästä johtuu epätasainen magneettikenttä. Tihentymä voimistaa kenttää ja tästä seuraa, että valokaari taipuu heikomman kentän suuntaan. Tämä ilmiö on magneettinen puhallus. /16, s.75/

Puhallukseen vaikuttaa hitsausvirran suuruus ja virran kulkureitti. Puhallus on voimakkainta suurilla virroilla, koska magneettiset voimat ovat verrannollisia virran toiseen potenssiin. Puhallus suuntautuu yleensä maadoituksesta poispäin, koska valokaari on molempien johtimien ainoa liikkuva osa. Hitsauspuikkoa kallistamalla siten, että se ei muodosta suoraa kulmaa perusaineen kanssa, saadaan puhallus kulkemaan puikon kärjen suuntaisesti. Levyn reunassa voidaan käyttää apupalaa, koska puhallus on voimakkainta reunassa. Pienet virrat ja ohuet puikot pienentävät puhallusta. Vaihtovirta ja lyhyt valokaari pienentää myös puhallusta. /16, s.75/ Alla olevasta kuvasta 20 ilmenee magneettinen puhallus ja eräs tapa estää se.



Kuva 20. Apupalojen avulla saadaan magneettikenttä symmetriseksi. /14, s.109/

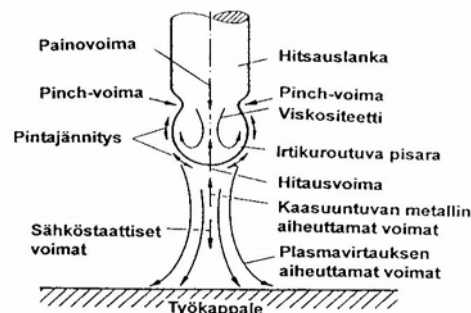


Puhalluksen seurauksena esiintyy usein reunahaavaa, huokoisuutta, valokaaren sammumista ja hitsi voi jäädä vajaaksi. Hitsialueelle voi tulla roiskeita, hitsistä tulee kupera ja sen pinta on epätasainen. /16, s.76/

Vaihtovirralla hitsattaessa puhallusta ei esiinny juuri nimeksikään. Vaihtovirta aiheuttaa pyörrevirtoja työkappaleessa. Näiden aiheuttamat magneettikentät kompensoivat puhallusta aiheuttavat magneettikentät. /16, s.76/

### Aineen siirtyminen

Hitsauslisäaineet sulavat valokaaren, kaasuliekin tai kuonasulan avulla. Aine siirtyy pääasiallisesti pisaramuodossa. Lisäaineen kärki sulaa valokaaren tuoman lämmön vaikutuksesta ja muuttuu pisaroiksi. Pisarat siirtyvät tiettyjen voimien vaikutuksesta tarkoitettuun paikkaan. /16, s.71/ Kuvassa 21 on esitetty aineen siirtyminen ja vaikuttavat voimat.



Kuva 21. Aineen siirtyminen ja vaikuttavat voimat lisäainetta käytettäessä /16, s.72/

Koska neste pyrkii pitämään tilavuutensa sellaisena, että ulkopinta - ala on mahdollisimman pieni, sen muoto on pisara. Viskositeetti ja pintajännitys vaikuttavat lisäainelangan kärjessä syntyvien pisaroiden kokoon. Suuri pintajännitys ja viskositeetti pienentävät pisarakokoa. Painovoima vetää jalkoasennossa pisaroita alaspäin. Tämä ei kuitenkaan estä hitsaamista lakiasennossa. /16, s.72/

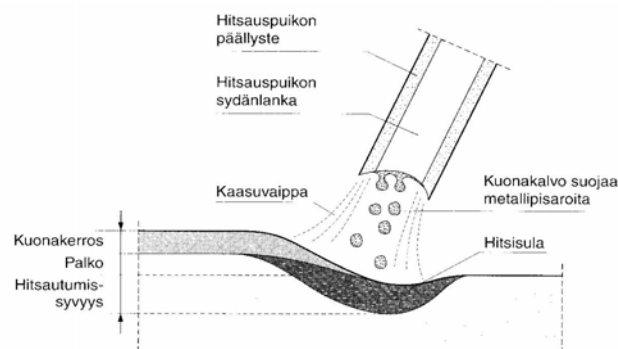
Valokaari on muodoltaan kartiomainen, koska virtatiheys on suurempi kartion yläosassa lähellä lisäainelankaa. Tästä johtuen magneettikentän kurova voima aiheuttaa langan

suuntaisen voiman valokaareissa. Tämä taas aiheuttaa voimakkaan kaariplasman virtauksen valokaaren sisällä. Sisällä olevat kaasut laajenevat voimakkaasti ja tilavuus kasvaa moninkertaiseksi. Tästä seuraa plasmasuihku, jonka nopeus on lähellä äänen nopeutta. Tällöin tulee imuvaikutus ja se nopeuttaa pisaran irtoamista. /16, s.72/

Lisäainelangassa kulkeva virta saa ympärilleen poikittaisen magneettikentän, joka kuroo langan sulaa kärkeä. Tätä voimaa sanotaan Lorentz - eli pinch - voimaksi. Tämä voima on suoraan verrannollinen hitsausvirran neliöön. Tämän voiman ansiosta pisarat ovat pieniä ja siirtymisen tapahtuu suihkumaisesti ilman oikosulkua. /16, s.72/

Puikkohitsauksessa puikon kärjestä muodostuvaan sulapisaraan liukenee happea, vetyä ja typpeä. Pisanan lämpötilan laskiessa kaasut erkautuvat rakkuloiksi ja alkavat kasvaa. Pian ne räjähtävät paineen alla ja tällöin pisarat hajoavat hyvin pieniksi, tulee suihkumainen siirtymä. Ne saattavat lentää jopa ulos valokaaresta. Hitsauspuikon kraatterissa tapahtuu myös kaasun muodostumista ja se kiihdyttää aineen siirtymistä kohti perusainetta.

/16, s.72/ Periaate selviää kuvasta 22.



Kuva 22. Aineen siirtyminen puikkohitsauksessa /13, s.15/

Roiskeet syntyvät, kun pisaran kohdalla alapuolella valokaari kohdistaa siihen nostavan voiman ja siksi pisara ei irtoa. Valokaari saattaa kuumentaa pisaraa niin voimakkaasti, että se höyrystyy ja höyry estää pisaraa irtoamasta. /16, s.73/

## 7.2. Puikkohitsaus

Puikkohitsaus on vanhin ja tunnetuin sulahitsausprosessi. /18, s.1/ Tässä hitsauslämpö kehitetään perusaineen ja elektrodin välillä palavan valokaaren avulla. Elektrodina käytetään päällystettyä sulavaa hitsauspuikkoa, jonka sydänlanka sulaa. Sula metalli lentää kuonan ympäröimänä pisaroina valokaaren läpi hitsisulaan. Päällysteestä tulevat kaasut ja kuona suojaavat hitsaustapahtumaa. Kuona suojaa myös hitsisulaa perusaineen puolella ilman hapen vaikutuksilta. /45/

Puikkohitsaus on käsin hitsaamista lyhyen määrämittaisen lisäaineen takia. Hitsausnopeus on vaatimatonta luokkaa. Tästä huolimatta menetelmää käytetään paljon pienteollisuudessa, kunnossapidossa, laivateollisuudessa, korjauksissa, hitsattaessa ulkona, asennuksissa ja monimutkaisia kappaleita hitsattaessa. /45/

Menetelmä soveltuu erinomaisesti kaikille teräslaaduille. Samoin kaikki hitsausasennot ovat mahdollisia. Ainepaksuuksilla ei ole ylärajaa, mutta alaraja on noin 1 mm. Hitsaus voidaan suorittaa kaikissa työolosuhteissa ja ulottuvuus on hyvä, samoin siirrettävyys. Lyhyen lisäaineen takia mekanisoitavuus on jopa mahdotonta. /16, s.91/

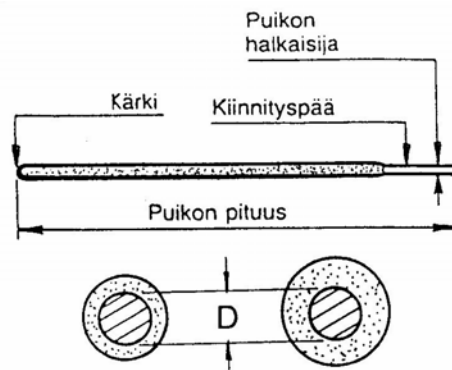
Laitteisto koostuu virtalähteestä ja virtapiireistä. Virtalähde voi olla tasasuuntaaja, inverteri, muuntaja tai muuttaja. Virtalähde on vakiovirtalähde eli sen ominaiskäyrä on laskeva tai jyrkästi laskeva. Näin se estää kaaren pituuden muutosten aiheuttamat voimakkaat muutokset hitsausvirrassa. /16, s.92/

Virtapiiri muodostuu ensiö- ja toisiopiireistä. Ensiöpiiri käsittää korkeajännitteisen verkkovirtapiirin. Toisiopiirissä jännite on laskettu hitsaukseen sopivaksi matalajännitteeksi. Tällä puolella on hitsauskaapeleille omat navat ulosottoa varten. Hitsauskaapeli yhdistetään puikon pitimeen ja maadoituskaapeli työkappaleeseen. /14/

## Hitsauslisäaineet

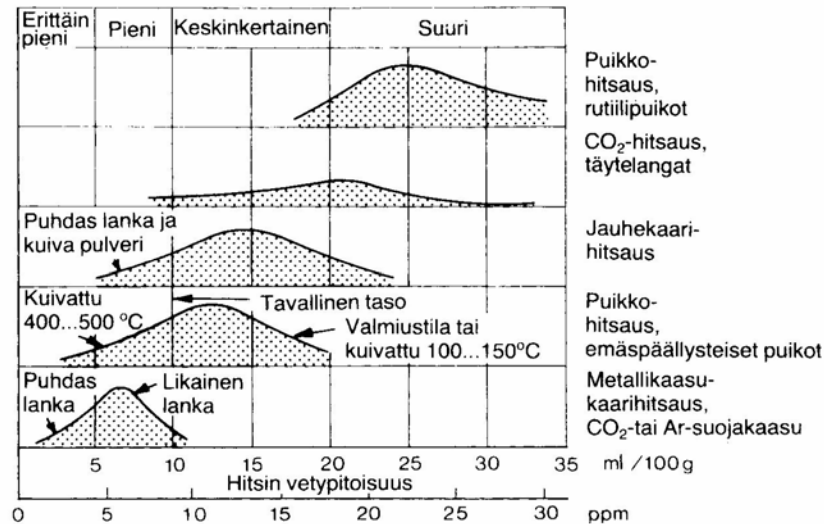
Hitsauspuikko on puikkohitsauksen lisäaine. Puikko on määräpituinen, suora ja päällystetty lisäainelanka.

Sydänlanka on yleensä samaa metalliseosta kuin sillä hitsattava perusaine. Sydänlangan ympärille on puristettu päällystemassa. Päällysteen seosaineiden koostumus ja päällysteen paksuus antavat puikoille hitsausominaisuudet. Näillä ominaisuuksilla tarkoitetaan mm. syttymistä, virrankestävyyttä, valokaaren vakavuutta, roiskeiden muodostumista, hitsisulan hallittavuutta ja kuonan käyttäytymistä. Laatuominaisuuksiin kuuluu päällystetyyppi ja tällöin puhutaan vetypitoisuudesta, iskutitkeydestä, koostumuksesta ja lujuudesta. Päällysteen tehtävänä on suojata sulaa metallia ilmalta, muotoilla ja tukea sulaa sekä vakavoittaa valokaarta ja helpottaa sen syttymistä. Jos päällysteeseen on lisätty rautajauhetta, niin riittoisuus kasvaa. Päällyste sisältää yleensä kuonaa muodostavia aineita, kaasuja kehittäviä aineita, sideaineita, pursotusaineita ja seosaineita. /14, s.97/ Puikon rakenne selviää kuvasta 23.



Kuva 23. Hitsauspuikon rakenne /16, s.95/

Hitsauslisäaineiden vetyä aiheuttavat seikat selviävät kuvasta 24.



Kuva 24. Hitsin vetytitoisuuksia /32, s.89/

Puikot ryhmitellään hitsausvirran, käytön, päällysteen paksuuden ja päällystetyypin mukaan. Päällystetyyppi määräytyy päällysteen koostumuksesta.

Päällystetyyppejä ovat

A = hapanpäällyste

Päällysteessä on kvartseja ja runsaasti rauta- ja mangaanioksideja. Päällysteen metallien oksidit hajoavat matalissa lämpötiloissa. Tällöin vapautuu happea ja se puolestaan vähentää sulan pintajännitystä, jolloin juoksevuus paranee ja aineen siirtyminen on hienopisaraista. Hitsin pinta on tasainen. Hitsiaine on runsasvetyistä. /16, s.99/

Puikot soveltuvat hitsaukseen jalko- ( PA ) ja alapiena - asennoissa ( PB ). Kuona irtoaa itsestään ja hitsi on tasainen ja hyvälaatuinen. Nykyään hapanpuikkoja käytetään vähän. /14, s.98/

C = selluloosapäällyste

Päällysteessä on suuri määrä selluloosaa, joka palaa. Päällysteen kosteus on korkea ja siksi kehittyy paljon vetyä, joka palaa voimakkaasti ja saa aikaan suuren tunkeuman.

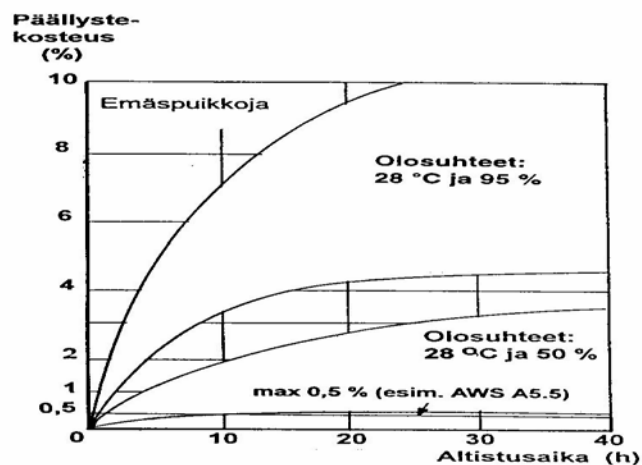
Koska savua muodostuu paljon, puikkoja pitäisi käyttää vain ulkona. Yleensä niitä käytetään suurien putkilinjojen hitsaukseen. /16, s.100/

R = rutiilipäällyste

Päällysteessä on runsaasti luonnon rutiilia tai titaanioksidia tai sen yhdisteitä. Koska puikot ovat kylmästi hitsattavia, niin tunkeuma on pieni. Puikoilla on hyvä syttyvyys, vakaa valokaari, kuona irtoaa helposti ja hitsin pinta on sileä ja juoheva. Teollisuudessa puikkoja käytetään vähän ja lähinnä ohuiden levyjen hitsaukseen. /14, s.99/

B = emäspäällysteinen

Päällysteessä on kalkkia ja fluorisälpää. Päällyste muodostaa emäksistä kuonaa. /14, s.99/ Koska kalkki hajoaa valokaarella hiilidioksidiksi, niin valokaarelle tulee hyvä kaasusuoja. Päällysteeseen voidaan laittaa rautajauhetta, jolloin puikon riittoisuus kasvaa. /16, s.101/ Seosaineiden suotautuminen hitsin keskelle on vähäistä ja siksi kuumahalkeiluvaara on myös vähäinen. Hitsiaineen vetypitoisuus on pieni. Matalissa lämpötiloissa iskutkeys on hyvä. Puikko on kylmästi hitsattava ja siksi aineen siirtyminen on suuripisaraista. Puikkotyyppejä on eniten käytetty Suomessa. Puikko sopii hyvin asentohitsauksiin. /16, s.100/ Kuvasta 25 selviää, kuinka paljon ja missä ajassa emäspäällysteinen puikko kostuu.



Kuva 25. Emäspuikkojen kostuminen erilaisissa olosuhteissa /16, s.109/

Muuta puikoista

Jotta pystyttäisiin varmistamaan hitsauksen laatu, pitää hitsauslisäaineiden varastointi ja käsittely olla asianmukaista. Puikkojen päällysteet imevät ilmasta kosteutta ja kosteus aiheuttaa huokoisuutta sekä vetyhalkeiluvaaraa hitsausliitokseen. Siksi on varmistettava, että puikot eivät pääse kostumaan.

Varastosta puikot tulisi ottaa ja säilyttää säilytys- tai kuivauskaapissa. Kaapin lämpötilan tulisi olla 120 - 150 °C. Säilytysaika puolestaan vain kahdestakymmenestä neljästä tunnista kolmeen kuukauteen. Työpaikalle puikot tulisi viedä puikkosäiliöissä. Tämän lämpötilan tulisi olla vähintään 70 °C ja säilytysaika vain neljästä kahdeksaan tuntiin.  
/46/

Puikkoja voidaan uudelleen kuivata 3 kertaa. /46, s.4/

Kun valitaan hitsauspuikkoa, tärkein kriteeri on, että sen koostumus vastaa perusainetta. Täten hitsausliitos tulee täyttämään perusaineelle asetetut lujuus-, sitkeys- ja korroosiovaatimukset. /14, s.100/

Rutiilipuikolla hitsataan yleensä ohuita ainepaksuuksia. Emäspäällysteisillä puikoilla puolestaan hitsataan paksummat aineet. Tärkeää on myös huomioida, että suurilla ainepaksuuksilla on päästävä viistetyin railon pohjaan asti. Siksi pohjapalkkoa hitsattaessa on käytettävä ohuempaa puikkoa. /14/

Hitsausvirran säädössä on otettava huomioon perusaineen paksuus, railomuoto, puikon halkaisija ja hitsausasento.

Hitsin ja kuonan on annettava hetki jäähtyä. Sitten kuona on poistettava huolellisesti palon päältä.

Puikkohitsauksella on alhainen tuottavuus. Kuitenkin etuina ovat alhaiset pääomakustannukset, voidaan hitsata kaikissa asennoissa ja sopii sekä rakenne - että ruostumattomille teräksille. /23, s.3/

### 7.3. MIG / MAG - hitsaus

MIG /MAG - hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi. Tässä valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. Menetelmä on puoliautomaattinen, jossa lisäainelankaa syötetään automaattisesti vakionopeudella hitsauskohtaan. Valokaari sulattaa sekä perus- että lisäainetta. Sula metalli siirtyy pisaroina langan kärjestä hitsisulaan. Suojakaasu suojaa kaaritilaa ja hitsisulaa ympäröivältä ilmalta. /45/

Valokaari syttyy, kun lanka koskettaa työkappaletta. Kosketushetkellä syntyy oikosulku ja sen ansiosta valokaari syttyy. Aineen siirtymisessä vaikuttaa eniten pinch - voima. Kun virtaa lisätään, niin lisäaineen siirtyminen muuttuu pisaravirraksi, joka kaaren sähkömagneettisten voimien johdosta pyörii kaaren ympäri. Tämä on suihkusiirtyminen ja tällä voidaan hitsata gravitaatiota vastustaen. /23, s.5/

Suojakaasu voi olla joko aktiivinen tai inertti. Kun puhutaan MAG - hitsauksesta, niin suojakaasu on aktiivinen ja se reagoi sulassa metallissa olevien aineiden kanssa. Tämä kaasu on yleensä hiilidioksidikaasu, argonin ja hiilidioksidikaasun seos tai argon. Inerttisuojakaasu ei reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa ja silloin puhutaan MIG - hitsausprosessista. Yleensä MAG - prosessi on terästen ja MIG - prosessi ei – rautametallien hitsausprosessi. /45/

Suojakaasun tehtävänä on suojata hitsisulaa, elektrodiä, langan päätä ja pisaroita ilman hapelta ja typeltä. Se jäähdyttää myös polttimen osia. Jos suojakaasu puuttuu, niin tulee huokosia ja seosaineita palaa pois. /47/

Teräksille ei voida käyttää suojakaasuna puhdasta argonia, koska hitsisulan pinta johtaa hyvin sähköä. Tällöin valokaari tulee rauhattomaksi ja sen kohdentaminen on vaikeaa. Hiilidioksidikaasu on yleisesti käytössä kunnossapidossa, koska siellä usein hitsataan



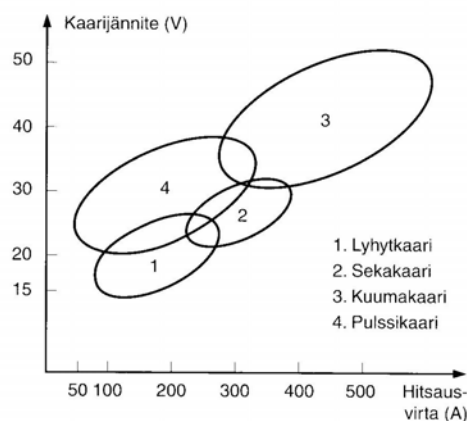
likaisia ja ruosteisia teräksiä.  $\text{CO}_2$  - kaasu on aktiivinen ja se reagoi sulassa metallissa olevien aineiden kanssa. Se on myös halvempi. Lisäaineen siirtyminen tällä kaasulla on pisaramaista. /45/

Argon on inerttisuojakaasu, joka ei reagoi sulan aineiden kanssa. Se soveltuu erityisesti ei - rautametallisten aineiden hitsaukseen. /45/

MAG - menetelmä sopii erityisen hyvin pienahitseille, mutta se ei salli vetoa.

### Kaarityypit

Kun säädetään hitsauksessa parametrejä ja käytetään eri suojakaasuja, voidaan hitsata eri kaarityypeillä. Kaarityypit ja niiden alueet ilmenevät kuvasta 26.



Kuva 26. Kaarityyppien alueet virtajännityskentässä /14, s.140/

### Lyhytkaari

Valokaari sammuu jaksoittain lisäainelangan ja perusaineen välillä syntyvien oikosulkujen aikana. Hitsisulan lämpö on suhteellisen matala ja sula pieni. Tästä johtuen hitsisula on hyvin hallittavissa kaikissa asennoissa. Lisäainelangan syöttönopeus on niin suuri verrattuna kaarijännitteeseen, että valokaari ei ehdi sulattaa lankaa, vaan se törmää perusaineeseen ja aiheuttaa oikosulun. Oikosulun aikana virta nousee ja jännite pysyy vakiona. Lanka sulaa nopeasti ja valokaari syttyy uudelleen. /14, s.140/

Hitsaustapahtuma on suhteellisen kylmä, koska valokaari palaa vain osan aikaa. /16, s.169/ Hitsisula on hyvin hallittavissa kaikissa asennoissa. Lyhytkaarta käytetään asentohitsauksiin, päittäisliitosten pohjapalkoihin ja ohutlevyille. /14, s.140/

#### Kuumakaari

Valokaari palaa jatkuvasti, koska kaariteho on suuri. Oikosulkuja ei ole ja lisäainepisarakoko on pieni sekä pisarat siirtyvät suihkumaisesti hitsisulaan. /14, s.141/ Tärkein voima tässä tapahtumassa on pinch - voima. Koska tämä kaari vaatii suuren hitsaustehon, niin tarvitaan suuri lisäainemäärä aikayksikössä. Näin saadaan suuri tunkeuma. /16, s.169/

Kuumakaari ei sovellu asentohitsauksiin eikä päittäisliitosten pohjapaloille. Sula on suuri. Tätä kaarta käytetään paksuille aineille välipalkojen hitsaukseen jalko- ja alapienahitsauksessa. /16, s.171/

#### Sekakaari

Tämä on lyhyt - ja kuumakaaren välinen alue. Oikosulkuvaiheet ovat harvinaisia ja kaariaika on pitkä. Lisäaine siirtyy oikosulussa isoina pisaroina ja kaariaikana suihkuna. /14, s.141/ Tässä kaaressa syntyy runsaasti roiskeita ja siksi pyritään tätä kaarta välttämään. Jos on pakko käyttää, niin hitsataan vaakatasossa tai ylhäältä alaspäin. /16, s.169/

#### Pulssikaari

Lisäainepisara irtoaa langan päästä virtapulssilla eli sykkivällä virralla. Oikosulkua ei käytetä. Perusvirran päälle syötetään virtapulsseja ja näin syntyy pulssikaari. Perusvirta pitää langan pään ja hitsisulan sulana. Lisäaine siirtyy suihkuna virtapulssin aikana. /14, s.142/

Käytetään inerttiä suojakaasua, jolloin voidaan hitsata alumiinia ja kuparia tällä kaarella. Vetelyt ovat vähäisempiä ja siksi voidaan käyttää paksumpia lankoja. Käytetään myös paksujen teräksien asentohitsauksissa. /16, s.171/

#### Pitkäkaari

Tämä on tyypillistä hiilidioksidihitsaukselle, kun hitsataan suurilla tehoilla. Hitsistä tulee useasti karkeapintainen ja roiskeita on paljon. Kaarta käytetään jalkohitsien väli- ja pintapalkoihin ja alapienahitsaukseen, koska aineen siirtyminen ei ole aina langan suuntaista. /15/

#### Laitteisto

Virtalähteenä MIG / MAG - hitsauksessa käytetään joko inverteriä tai tasasuuntaajaa. Virtalähteet ovat vakiovirtalähteitä, joilla on lievästi laskeva ominaiskäyrä. Näin saadaan itsestään säätyvä valokaari. Valokaaren pituus pysyy vakiona, vaikka hitsauspistoolin korkeutta hieman muutettaisiinkin. Virtalähteissä säädetään jännitettä ja hitsausvirta säätyy automaattisesti lisäainelangan syöttönopeuden mukaan. /16, s.177/

Langan syöttölaitteisto syöttää lankaa valokaareen johdinputkea pitkin hitsauspistoolin kosketussuuttimen kautta. Lanka on kelalla. Lankaa voidaan syöttää työntävällä tai vetävällä laitteistolla. Jos välimatka on pitkä, niin käytetään lankakelan ja pistoolin välillä välisyöttöjärjestelmää.

Hitsauspistoolilla käynnistetään ja pysäytetään hitsaustoiminnot. Suuttimen tulee olla hyvin sähköä johtava, kulumista ja kuumuutta kestävä.

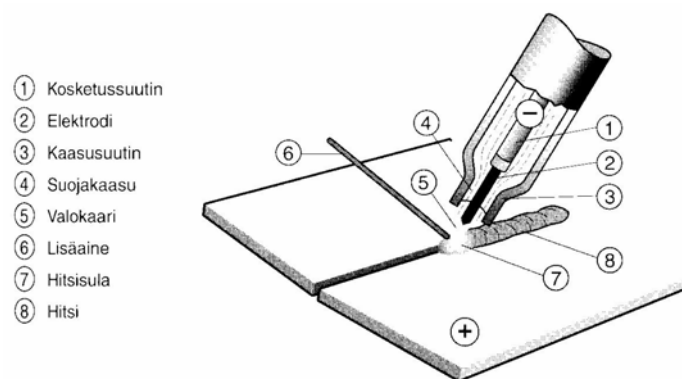
Pistoolin asennolla on tärkeä merkitys palon muodostumiseen ja tunkeumaan. Jos pistoolin asento on pysty, niin tunkeuma pienenee ja hitsikupu mataloituu. Vetävällä asennolla saadaan suuri tunkeuma ja liitosvirheiden vaara on pieni. Työntävällä on sama kuin pystyllä, mutta ohuita levyjä ilmaraolla hitsattaessa työ on helpompaa. Kaaripaine

vaikuttaa hitsisulaan langan suuntaisesti. Jos pistoolia kallistetaan liikaa, niin suojakaasu ei enää pysty suojaamaan hitsisulaa ja näin tulee roiskeita ja huokosia. /14, s.152/

Tässä prosessissa esiintyy normaalia enemmän sovitus- ja liitosvirheitä. Nämä johtuvat yleensä väärästä tekniikasta tai huolimattomuudesta. Liitosvirheet heikentävät liitoksen kantokykyä. Näitä virheitä aiheuttavat liian pieni tai suuri lämpö, samoin tunkeuman pienuus.

#### 7.4. TIG - hitsaus

TIG - hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi. Tässä valokaari palaa sulamattoman volframielektroodin ja työkappaleen välillä. Inerttisuojakaasu suojaa hitsaustapahtumaa ja samalla elektrodiä. Suojakaasuina käytetään argonia ja heliumia. Valokaaren lämpö sulattaa perusainetta. /18, s.2/ TIG - hitsauksen periaate selviää kuvasta 27.



Kuva 27. TIG - hitsauksen periaate /14, s.197/

Koska TIG - menetelmää voidaan käyttää kuten kaasuhitsausta, niin hitsaus voidaan suorittaa lisäaineella tai ilman. Tällä menetelmällä hallitaan hyvin sula ja tunkeuma. Siksi se soveltuu hyvin kaikkiin asentoihin. Hitsausenergiaa ja lisäaineen syöttöä voidaan säädellä tarpeen mukaan ja toisistaan riippumatta. Menetelmä soveltuu erinomaisesti ohuille aineen paksuuksille ja pohjapaloille. /45/

Prosessi soveltuu liki kaikkien metallien hitsaukseen kuten alumiinin ja sen seosten, kuparin ja sen seosten, nikkelin ja sen seosten, ruostumattomien ja haponkestävien ja muiden terästen. /45/

Käyttö rajoittuu suhteellisen pieniin aineen paksuuksiin kuten 0,5 - 6 mm. Paksuimmille aineenpaksuuksille prosessi on hidaskäyttö. Kuitenkin paksumpien aineiden juuripalot voidaan taloudellisesti ja turvallisesti hitsata tällä prosessilla. /16, s.249/

Lisäainelanka on noin 1000 mm pitkä suora paljas lanka. Koostumuksen pitää vastata hitsattavan perusaineen koostumusta. /18/

Tämän prosessin käyttö kunnossapidossa on lisääntynyt viime aikoina. Siellä sitä käytetään korjaus- ja kunnossapitohitsauksissa. Tämän on mahdollistanut laitteiden kehittyminen yhä pienemmiksi ja keveimmiksi. Samassa laitteessa voi olla mahdollisuus myös puikolla hitsaukseen. Menetelmä on syrjäyttänyt puikkohitsausta erityisesti höyrykattila- ja lämmönvaihdinhitsauksissa. TIG - hitsausta käytetään myös ilman lisäainetta, jolloin saadaan metallurgisesti puhdas ja hyvä hitsi. /45/

#### Laitteisto

TIG - hitsauksen virtalähde on tasavirta-, vaihtovirta- tai kaksoisvirtalähde. Teräkset hitsataan tasavirralla ja alumiini vaihtovirralla. Ominaiskäyrä on jyrkästi laskeva, joten se on vakiovirtalähde. /16, s.250/ Koska hitsaus tehdään käsin, niin kaaren pituus vaihtelee jatkuvasti ja tällainen virtalähde pyrkii estämään hitsausvirran voimakkaita vaihteluita.

Ohjausyksikkö voi olla joko kiinteä virtalähteen yhteydessä tai erillisenä siirrettävissä. Tämä säätelee hitsausvirtaa ja suojakaasun virtausta. Tällä sytytetään myös valokaari. Aloitusvirran nousuaikaa voidaan säätää, jotta saataisiin hallittu aloituskohdan lämmitys. Näin voidaan varmistaa parempi hitsin laatu. Kun säädetään lopetusvirtaa, niin estetään hitsipalon pään halkeaminen tai loppukraatterin syntyminen. /16, s.254/

## Valokaaren sytyttäminen

Raapaisusytytyksessä valokaari sytytetään koskettamalla jännitteellisen elektrodin kärjellä työkalualetta. Tällöin kärki kuumenee, kun virta nousee ja jännite laskee. Metallia alkaa kaasuuntua, kun kärkeä nostetaan hieman perusaineesta irti. Raapaisusytytyksen etuna on sen yksinkertaisuus, mutta elektrodin kärki vaurioituu helposti ja hitsiin tulee volframisulkeumia. Hitsin laatuvaatimukset eivät saa olla kovin korkeat. /16, s.253/

Kontaktisytytyksessä eli liftrac - sytytyksessä virrattomalla elektrodilla kosketetaan työkalualetta ja samalla painetaan liipaisinta ja elektrodin läpi kulkee pieni virta. Tällöin syttyy pieni valokaari, joka ei vahingoita elektrodin kärkeä. Kun elektrodin kärkeä nostetaan, saadaan aikaan varsinainen valokaari. Tässä ei tarvita kipinää, joka näin ollen on etu. /16, s.253/

Kipinäsytytys on yleisesti käytetty tapa. Tämä vaatii erityisen sytytyslaitteen. Tässä elektrodin ei tarvitse koskettaa työkalualetta, jotta saataisiin valokaari aikaiseksi. /16, s.253/

Suojakaasuna käytetään argonia ja heliumia tai näiden seoksia. Kaasun virtaukselle on etu- ja jälkivirtausaikojen säätömahdollisuus.

Hitsain toimii elektrodin pitimenä, johtaa virtaa elektrodiin, ohjaa suojakaasun virtausta valokaareen ja hitsin alueelle. Hitsainta kuljetetaan hieman työntävässä asennossa tasaisella nopeudella. Suuri tunkeuma saadaan, kun on suuri virta ja hitsain on pystyssä ja kuljetusnopeus on hidas. Lisäainetta käytettäessä hitsainta on kallistettava enemmän. Railoina voidaan käyttää samoja railomuotoja kuin muissakin hitsausprosesseissa. /14, s.229/

Etuna on sulan ja tunkeuman hyvä hallinta, hyvämuotoinen hitsi, kaikki liitosmuodot ja asennot käy, metallurgisesti puhdas hitsi, ei kuonaa eikä roiskeita, lämmöntuonti voidaan hallita ja hitsata ilman lisäainetta.

Haittoja on arka vedolle ja epäpuhtauksille, juuri on yleensä suojattava, hitsausnopeus on pieni. /16, s.257/

#### 7.5. Kaasuhitsaus

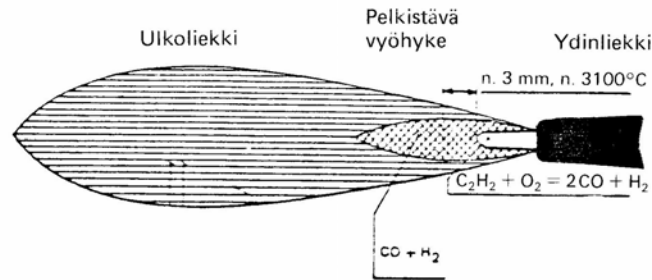
Kaasuhitsaus oli yleinen paljon aikaisemmin, ennen kuin muut prosessit kehittyivät. Kaasuhitsaus on sulahitsausprosessi, jossa perusaine sulaa. Tarvittava hitsauslämpö saadaan siten, että asetyleeniä poltetaan puhtaassa hapessa. Hitsattavaan liitokseen voidaan syöttää lisäainetta. Prosessi soveltuu liki kaikille metalleille. Lämpö määrä on suuri ja se leviää epätasaisesti. Tällöin on suuri vaara tulla muodonmuutoksia, joiden korjaaminen on työlästä. /14, s.290/

Kaasuhitsausmenetelmä on joustava ja siksi soveltuu hyvin moniin tarkoituksiin. Nykyään sen käyttö on vähentynyt.

Asetyleeni on hieman ilmaa kevyempää ja ei sinänsä myrkyllistä. Se muodostaa räjähtävän seoksen ilman ja hapen sekä kuparin ja hopean kanssa. Asetyleeni saavuttaa ilmassa 2325 °C ja hapessa 3160 °C lämpötilan. Hitsauspolttimessa kaasut sekoitetaan liekin säätöä varten. Laitteisto on varustettava takaiskusuojalla, jonka tehtävänä on estää läpimenevän takaiskun eteneminen kaasupulloon. /14, s.286/

Happi - asetyleeniseoksen palaminen tapahtuu tiettyjen reaktioiden tuloksena.

Kaasuliekissä on erilaisia vyöhykkeitä. Normaalil liekki jakautuu kolmeen vyöhykkeeseen. Ydinliekissä palaa happi ja asetyleeni. Tämän palamistuloksena syntyy pelkistävä vyöhyke eli valaiseva huntu. Ulompi vyöhyke suojaa hitsiä ilman vaikutuksilta. Kuvassa 28 on esitetty eri vyöhykkeet.



Kuva 28. Normaalin polttoliekin vyöhykkeet /22, s.288/

Hiilettävä liekki on asetyleenivoittoinen ja sen väri on valkokeltainen. Tämä ei sovi teräksen hitsaukseen, mutta kylläkin valuraudan, alumiinin ja lyijyn. Tätä käytetään myös juotossa. /14, s.293/

Hapettava liekki on happivoittoinen ja sitä voidaan käyttää messingin, kuparin ja valuraudan juottoon. /14, s.293/

Myötähitsauksessa liekki on railon suuntainen eli hitsistä poispäin. Tätä käytetään 3 mm ja sitä ohuemmille aineille. /14, s.294/

Vastahitsauksessa liekki on valmista hitsiä päin. Tätä käytetään yli 3 mm aineille. Tässä menetelmässä voidaan käyttää liitos-, päällehitsaus-, kovahitsauslankoja.

Käytettävän lisäainelangan halkaisija on yleensä noin puolet perusaineen paksuudesta. /14, s.294/

Kun hitsataan valurautaa tai ei - rautamalleja, niin liekin pelkistävä vaikutus ei saata riittää pitämään hitsisulaa vapaana hapettumiselta. Juoksutteen käytöllä saadaan mahdolliset oksidit ja nitridit liukenemaan. Juoksute koostuu mm booraksista, boorihaposta ja litiumsuoloista.

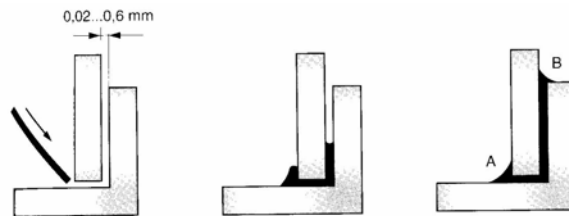


## 7.6. Juotto

Juottaminen eli juotto on metalliosien yhteen liittämistä lisäaineella, jonka sulamislämpötila - alue tai piste on alempi kuin perusaineen. Juotettaessa perusaine kuumennetaan työlämpötilaan ja juoksute sulatetaan. Menetelmässä käytetään apuna juotetta, jolla on alhaisempi sulamislämpötila kuin juotettavalla aineella. /15/ Menetelmä soveltuu sekä metallisille että ei - metallisille osille. Lujuudet eivät ole samaa luokkaa kuin hitsauksessa.

Pehmeässä juotossa juotteen lämpötila on alle 450 °C ja siinä käytetään yleensä lyijyä tai tinaa. Ilmarako saa olla vain 0,05 - 0,2 mm. Juotto suoritetaan yleensä kolvin avulla. /14, s.298/

Kovajuotossa lämpötila on yli 450 °C. Juote on yleensä kevyt-, hopea-, metalli-, messinki- tai kuparijuote. Ilmarako ei saa olla kuin 0,05 - 0,2 mm, koska kapillaarin on imettävä juote liitokseen. /14, s.299/ On myös valittava oikea juote ja juoksute. Liekillä lämmitetään liitettävä alue. Juottoaika ei saa olla yli kolmea minuuttia, koska juote voi menettää tehonsa. Kapillaari - ilmiön periaate selviää kuvasta 29.



Kuva 29. Kapillaari - ilmiön periaate /14, s.299/

Hitsausjuotto on eräänlainen kovajuoton muunnos. Raitojen pinnat lämmitetään juotteen sulamislämpötilan yläpuolelle. Valurautakappaleita korjataan usein näin ja siksi messinkijuote on sopiva. /14, s.301/

Liekkijuotto on eniten käytetty menetelmä, koska laitteet ovat kunnossapidossa pääsääntöisesti olemassa. Menetelmä muistuttaa kaasuhitsausta.

## 7.7. Kaarijuotto

Tämä menetelmä muistuttaa MIG / MAG - hitsausta. Erona on lisäainelangan laatu ja perusaineen sulamattomuus. Perusaineen pinnat kostuvat. /48, s.3/ Tästä menetelmästä käytetään myös nimityksiä lankajuotto, MIG - juotto tai MIG - lankajuotto.

Menetelmässä käytetään normaalia MIG / MAG - laitteistoa. /49/

Lämmöntuonti on kaarijuotossa hyvin matala, noin puolet MIG - hitsauksen lämmöntuonnista. Tästä syystä vetelyt ovat vähäisempiä. /49, s.1/ Juotettaessa palaa normaaliin tapaan valokaari. Tällä ei sulateta perusainetta, vaan ainoastaan lisäainetta, jolla on matala sulamispiste. Sula kostuttaa liitospinnat ja tunkeutuu osien väliseen rakoon. Juotosliitos syntyy, kun sula jähmettyy.

Menetelmää käytetään erikoisesti sinkkipinnoitetuille ohuille levyille.

Normaalihitsauksessa sinkki sulaa ja höyrystyy, koska sen sulamispiste on noin 420 °C ja höyrystymislämpötila 906 °C. /50, s.6/ Hitsaus aiheuttaa hitsin viereen sinkittömän alueen ja tästä seuraa korroosiovaara. Kaarijuotossa sinkki ei pala muutosvyöhykkeellä, joten kyseinen vaara on pienempi. Samalla juuren puoli jää siistiksi ja täten liitos on kerralla valmis. /14, s.302/

MIG - juottamisessa käytetään lisäaineena kupariseoksia ja erilaisia pronssseja. Näiden sulamislämpötila - alue on noin 900 - 1100 °C. Sinkki liukenee kuparisulaan ja siksi juote kostuttaa liitettävät pinnat paremmin. Sulalla kuparilla ja pronssilla on taipumus tunkeutua perusaineen raerajoille juotteen alla. Tämä on juotehauraus, mutta se ei heikennä paljoakaan liitoksen lujuutta. Kuparinen lisäaine leviää hyvin. /49, s.2/

Suojakaasut ovat seoskaasuja, joissa on happea 0,5 - 1 % tai hiilidioksidia 1 - 2 % argonin lisäksi. Happi vakavoittaa valokaaren ja pienentää sulan pintajännitystä.

Kaasuiksi käy myös puhdas argon tai argonin ja heliumin seos. Jos seoskaasussa on argonin lisäksi happea 1 - 2 % tai hiilidioksidia, niin voidaan puhua MAG - juotosta.

/49, s.3/

Railoina käytetään I - tai pienarailoa. Hyvin yleinen tapa on käyttää limitystä. Tyypilliset levypaksuudet ovat 1 - 3 mm. Normaalit hitsausliitosmuodot ovat mahdollisia kuten päittäis-, kulma- ja pienaliitokset. Päittäisliitoksessa on käytettävä ilmarakoa, jotta juote pääsee liitoksen takapuolelle. Ohjearvona voisi käyttää 0,5 \* aineenpaksuus. /49, s.3/

Juotossa voidaan käyttää joko lyhytkaari- tai kuumakaarialuetta. Koska lisäaineen tulee siirtyä pisaramuodossa, niin kuumakaarialue on varmempi. Lyhytkaarella sulavat pisarat eivät välttämättä kostuta liitettäviä pintoja riittävästi. Näillä kaarilla saadaan valokaari vakaaksi, kun käytetään sen lyhyttä pituutta. Pulssitus on myös mahdollista ja tämä on hyvä varsinkin ohuille aineille. Kun pulssitetaan juottovirtaa, niin roiskeista päästään eroon. /51/

Langan syöttö voi olla 6 - 12 m/min ja mekanisoidussa juotossa juottonopeus 1 - 4 m/min. /49, s.3/

Juotetut liitokset vastaavat lähes hitsausliitoksia. Korroosionkestävyys on hyvä, vaikka sinkki sulaa pieneltä alueelta pois. Se ei kuitenkaan höyrysty. Viereinen sinkkipinnoite antaa tälle alueelle katodisen suojan. Liitoksen rajakohta on juoheva. /51/

Jos menetelmää verrataan MAG - hitsaukseen, niin etuja ovat pieni lämmöntuonti, sinkki palaa vain pieneltä alueelta, ei juurikaan roiskeita, hyvä korroosionkestävyys, suurempi nopeus ja soveltuu ohuemmille levyille. /50, s.6/

Huonompina ominaisuuksina voidaan mainita hieman huonommat mekaaniset ominaisuudet, kalliimpi lisäaine ja herkempi isolle ilmaraoille. /50, s.6/

Juotossa syntyy sinkkihöyryjä ja siksi on huolehdittava hyvästä ilmanvaihdosta korvausilmoineen. Mekanisoinnilla työntekijä saadaan kauemmaksi kohteesta. /51/

Autoteollisuus käyttää tätä menetelmää sekä uusien autojen valmistuksessa että käytettyjen korjauksessa.

## 8. TERMISET POLTTOLEIKKAUSMENETELMÄT

### 8.1. Polttoleikkaus

Nykyaikainen kunnossapito ja metalliteollisuus eivät tule toimeen ilman polttoleikkausta. Kun tehdään hitsattuja rakenteita, niin pääsääntöisesti osat on katkottava tai muotoiltava tällä menetelmällä. Polttoleikkaus soveltuu erinomaisesti seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen leikkaamiseen. Menetelmää käytetään usein myös halkeamien, hitsausvirheiden ja silloitusten poistoon. /52, s.57/

Polttoleikkauksen edellytyksenä on, että metalli pystyy palamaan puhtaassa hapessa. Happi puhaltaa myös syntyvät oksidit pois. /22, s.261/ Metallin on johdettava huonosti lämpöä. Seostamattoman teräksen hiilipitoisuuden tulee olla alle 0,3 %, muuten tarvitaan esikuumennusta noin 300 °C. /14, s.303/

Kaasuleikkaukspoltin liitetään normaaliin kaasuhitsauslaitteistoon. Yleisesti käytetään asetyleenin paineena 0,05 - 0,8 baaria ja hapella 1,5 - 4,5 baaria. Suuttimen etäisyys levyn pinnasta tulee olla noin 2 mm. Jotta saataisiin hyvä leikkausjälki, niin kaasujen paineiden tulee olla oikeat, suuttimen etäisyys ei saa olla liian suuri eikä likainen ja leikkausnopeuden oltava oikea. /53, s.15/

Koneellisen leikkauksen jälki on niin hyvä, että pääsääntöisesti edes railoille ei tarvitse tehdä parantavia toimenpiteitä. Kunnossapidossa usein liitettävät palat leikataan alihankintana valmiiksi ja siten ne ovat hitsausta vaille valmiit.

### 8.2. Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on sulatusleikkausta, missä leikattava aine ei pala, vaan kuumen plasman energian avulla sulatetaan jopa 30000 °C lämmössä. Plasmasuihku puhaltaa sulatetun ja höyrytetyn aineen pois. Aineen on johdettava sähköä. /22, s.321/

Tällä menetelmällä voidaan leikata myös ruostumattomia teräksiä, alumiinia, kuparia, tinaa ja valurautaa. Leikkaus voi tapahtua myös veden alla. /14, s.317/

Laitteiston varusteisiin kuuluu leikkauspoltin letkuineen ja kaapeleineen, ohjausyksikkö, taajuusjakolaite, veden jäähdytyslaite ja kaasua. Virtalähteenä on tasavirtalähde. /21, s.243/

Leikkausjälki on hivenen leveämpi yläreunasta kuin alareunasta. Viistous on yleensä alle 5 °C. /30, s.243/ Kuumentaminen rajoittuu pienelle alueelle. Ainevahvuudet ovat tavallisesti 1 - 70 mm teräksillä ja alumiinilla 100 mm. /30/

Näitä laitteita on alettu käyttää kunnossapidossa yhä enenemässä määrin niiden käytettävyyden takia.

### 8.3. Laserleikkaus

Laserleikkauksessa on lämmönlähteenä infrapuna - alueella toimiva lasersäde. Säde johdetaan leikkauskohtaan peilien kautta ja kohdistus tapahtuu linssien avulla. Syntynyt polttopiste kuumentaa ja höyrystää leikattavan aineen. Railosta tulee kapea ja hyvälaatuinen säteen ansiosta. Muodonmuutokset ovat vähäisiä. Voidaan leikata teräviä kärkiä. Leikkausnopeus on suuri. /14, s.313/ Maksimi ainevahvuus on noin 15 mm, alumiinilla 8 mm ja ei metalleilla 30 mm. /30/

Kunnossapidossa näitä laitteita ei ole, mutta hyvän leikkausjäljen takia palvelut ostetaan ulkopuolelta.

### 8.4. Hiilitaltaus

Hiilikaaritaltauksella voidaan suorittaa tehokkaasti juuren avauksia, hitsausvirheiden poistoa ja railon valmistuksia.

Kohteeseen tulee suuri lämpömäärä ja paineilma jäädyttää kohteen, niin karkenevilla aineilla uran pinta tulee karkeaksi. Karennut kerros voi olla 0,1 - 0,15 mm syvä. Se sulaa kuitenkin hitsauksen aikana. Jos talttauksessa käytetään riittävää ilmasuihkua, niin uraa ei tarvitse enää hioa ja muodonmuutokset jäävät vähäisiksi. /31/

Virtalähteenä käytetään tasasuuntaajaa. Talttaushiili laitetaan plusnapaan. Paineilman paineen tulee olla 5 - 7 baaria, koska sen pitää puhaltaa metalli pois railosta. Puikot ovat kuparipäällysteisiä, joten ne johtavat hyvin sähköä. /31/

#### 8.5. Kaasutalttaus

Kaasutalttaus on polttoleikkauksen sovellutus. Erona on polttimen muotoilu ja kuljetusnopeus. Työssä tarvitaan happi- ja asetyleenikaasua sekä kaasutalttaussuuttimet. Talttaus voidaan tehdä joko jatkuvana tai askelittaisena. Menetelmä soveltuu hyvin hitsausliitoksen avaukseen, koska sula voidaan puhaltaa tarkasti pois. /47/

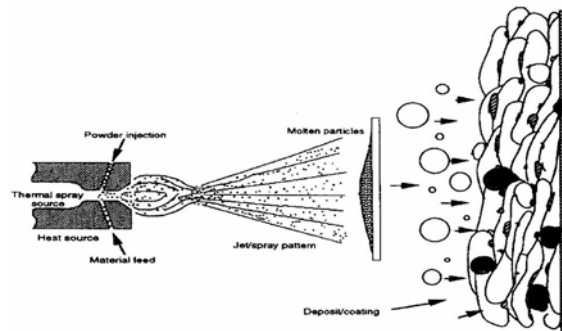
Menetelmän haittana on, että muodostuu typpioksideja ja täten on rakennemuutosvaara. Lämmön tarve on myös suuri.

### 9. TERMINEN RUISKUTUS

Tässä menetelmässä pinnoitemateriaali tuodaan työkappaleen pintaan ruiskuttamalla sulia materiaalipisaroita esivalmistellun työkappaleen pinnalle suurella nopeudella. Kun pisarat jähmettyvät alustaansa, niin ne muodostavat yhtenäisen pinnan. Pisaroiden koko on mikrometrejä ja pinnoitteen paksuus 50 - 1000 mikrometriä. Pinnoite ja perusmateriaali eivät sekoitu keskenään. Tapahtuu vain mekaaninen kiinnittyminen. Pinnoittaminen tapahtuu normaaleissa konepajan työolosuhteissa. Työkappaleen lämpötila nousee harvoin yli 250 °C. /54, s.3/

Pinnoitteina voidaan käyttää liki kaikkia sulavia materiaaleja. Pinnoitteen mekaaninen lukittuminen perusaineeseen on pääsääntöisesti " löysä " sidos. Se on kuitenkin niin luja,

että se oikein tehtynä kestää koneistuksen ja käytön. /54, s.3/ Kuva 30 esittää ruiskutustapahtumaa.



Kuva 30. Ruiskutustapahtuma termisessä ruiskutuksessa /54, s.4/

Laitteisto käsittää ruiskun, kaasunjakojärjestelmän, jolla säädetään polttokaasua. Lisäaineen syöttölaite syöttää materiaalin liekkiin, josta se menee työkappaleeseen. Pinnoittaminen tapahtuu pieni alue kerrallaan ja siksi pinnoitesuihkua tulee liikutella. Tämä toimenpide voidaan tehdä joko käsin tai mekanisoidusti. /54, s.7/

Pyörähdyskappaleita voidaan pinnoittaa sorvissa. Tällöin ruisku voidaan kiinnittää teräkelkkaan. Muita kappaleita käännellään joko käsin tai apuvälineillä. /54, s.7/

Pinnoituksessa syntyy melua, lämpöä ja pölyä. Melu syntyy, kun kuuma kaasu purkautuu suurella nopeudella aiheuttaen kohinaa. Pöly taas on hienorakeista ja siksi se on imettävä pois kohdeimuilla. /54, s.8/

Liekkiruiskutusta ovat jauhe- ja lankaliekkiruiskutus. Tässä happea ja asetyleeniä poltetaan ja siihen syötetään pinnoitemateriaalia /21, s.249/. Tämä sulaa ja sinkoutuu työkappaleen pintaan. Liekki palaa avoimena ja siksi sinkoutumisnopeus on pienempi kuin suljetuilla järjestelmillä. Pinnoite sulaa kuitenkin hyvin, vaikka pinta jää hieman karkeaksi. Pinnoitepisaroilla pitää olla oikea lämpötila, koska alhainen tuottaa pinnoitteeseen huokoisuutta ja korkea taas oksideja. /54, s.7/

Asetyleeni on hallitseva polttokaasu kuuman liekkinsä ansiosta varsinkin, jos aineilla on korkea sulamispiste. /55/

Liekkiruiskun hyviä puolia ovat edullinen hankintahinta ja käyttö, luotettava ja yksinkertainen, helppo käyttää, kevyt siirtää paikasta toiseen ja helppo automatisoida. /54, s.7/

Ruiskutusta voidaan käyttää korjaustöissä, kun osat on tehty väärin mittoihin, ne ovat kuluneita tai on valuvirheitä. Menetelmällä vältetään sisäisiä jännityksiä ja muodonmuutoksia sekä metallurgisia muutoksia. Jos tarvitaan huokoista pintaa esimerkiksi voitelun takia, niin menetelmä on käyttökelpoinen tähänkin. /21, s.248/

## 10. LAATU, PALOSUOJELU JA TYÖSUOJELU HITSAUKSESSA

### 10.1. Laatu

Käsitteenä laatu on kehittynyt vuosikymmenten aikana työnjohtajista ja tarkastusosastoista laatu-, ympäristö- ja turvallisuusjohtamiseen. Laadun yhteydessä puhutaan jatkuvasta parantamisesta. Tämä on ikään kuin ympyrä, jossa on suunnittelu-, tee-, tarkasta - ja toimintavaihe. /56, s.5/ Se on ongelmien havaitsemista ja niiden ratkaisemista. Tätä sovelletaan yleisesti yritystasolla, mutta se sopii myös kunnossapitoon. Yleensä kunnossapito on yhdistetty osaksi koko yrityksen toimintajärjestelmää.

Kokonaisvaltainen laadun ohjaus eli Total Quality Control ( TQC ) kattaa tuotteet, palvelut ja muut yrityksen toiminnot. Tämän ajattelun lähtökohtana on asiakas, koska hän määrittelee ja mittaa laadun. Voidaan puhua asiakastyytyväisyydestä /56, s.5/. Kunnossapidolle lähin asiakas on oman tehtaan tuotanto. Jo näinkin läheisessä toiminnassa pitäisi pystyä ylittämään asiakkaan odotukset, jotta voidaan saavuttaa kilpailuetua. On siis tehtävä oikeita asioita oikein kaiken aikaa.



Viime aikoina on yhdistetty toimintajärjestelmäksi niin laatu-, ympäristö- ja turvallisuusjohtaminen. Järjestelmässä käsitellään standardeja ISO 9001, ISO 14001 ja OHSAS 18001 /9/, joiden pohjalta toimintajärjestelmä on rakennettu. /57/

Suomessa on aina puhuttu laadusta. Laatu jakautuu moneen osaan. Tekemisen laatu oli ensimmäinen, johon kiinnitettiin huomiota. Seuraavassa vaiheessa tuli kaupallinen ja palvelun laatu. Kun mentiin yhä lähemmäksi asiakaslähtöistä toimintaa, niin tällöin alkoi korostua toiminnan laatu, joka on kaikkien edellä mainittujen yhdistelmä. Tämä on tapa toimia ja sillä ohjataan ja varmistetaan, että toimittaja tuottaa sovittua laatua tai palvelua toistettavasti myös poikkeavissa olosuhteissa.

Kaikki lähtökohdat ja tavoitteet liittyvät asiakkaisiin ja sidosryhmiin, tehokkaaseen toimintaan, osaamiseen, ympäristöön ja turvallisuuteen. Nykyinen suuntaus on, että yrityksellä on vain yksi toimintajärjestelmä, joka pitää sisällään kansainväliset ympäristö-, laatu- ja turvallisuusvaatimukset. Kansainväliset standardit ovat laadun osalta ISO 9001, ympäristön osalta ISO 14001 ja turvallisuuden osalta OHSAS 18001 tai BS 8800 /58/.

Laatupuutteen korjaaminen maksaa aina enemmän mitä kauempana tuotantoketjussa ollaan /59/. Laatupuutteisiin on aina suhtauduttava vakavasti ja siksi niiden poistamiseksi täytyy olla luotettava järjestelmä. Laatu kuuluu tuotantokokonaisuuteen. Laatua ei voi erottaa tuotantoprosessista. Jokainen henkilö vaikuttaa osaltaan tuotantoketjussa lopulliseen laatuun eli siihen, miten asiakas sen kokee. Kunnossapitoa on aina pidetty omana osana tuotantoa siten, että se vaikuttaa sisäisesti sekä tekniseen että palvelun laatuun. Kunnossapidon laatu on pitkälti osaamisen laatua, jota ei useinkaan tiedosteta eikä ymmärretä ennen kuin tulee vaikeuksia. Se on palvelun koettu laatu ja siksi kunnossapidon tulee osata markkinoida tätä osa - aluetta. Pitää muistaa, että tekniikka on usein helpompi hallita kuin palvelu. Palvelu on toimintaa. Kunnossapidon on sitouduttava kokonaisuuteen eli kulloisenkin tehtaan hyvinvointiin. /6, s.83 - 88/

Yhä enenemässä määrin kunnossapidossakin ollaan siirtymässä tietyillä alueilla ulkopuolisten toimittajien käyttöön. Tällöin tulee myös hitsauksen laadunvarmistus

merkittävään osaan yhteistyökumppaneita valittaessa. Ennen kaikkea tämä ilmenee paineellisten laitteiden kunnossapidossa. Kunnossapitohitsauksissa on pyrittävä aina kuten muussakin toiminnassa " kerralla oikein " - päämäärään siitä huolimatta, että sille ei ole asetettu suuria vaatimuksia. /60, s.5/

Kunnossapitohitsaus vaikuttaa aina tuotantoon, sen määrään ja laatuun. Siksi osaava hitsaava henkilöstö on tärkeä. Laatuvaatimukset tulevat kiertoteitse eli asiakas ei salli tuotteessa virheitä eikä myöhästymisiä.

Hitsin teknisessä laadussa metallurgia on tärkeä tekijä. Hitsin on täytettävä sille asetetut vaatimukset. Näitä voivat asettaa viranomaiset, lait ja asetukset, asiakkaat ja jopa yritys itse. Mikrorakenteen on oltava tarpeeksi sitkeä ja sularajan vieressä reaktion kasvu ei saa olla liian voimakasta, jottei menetetä sitkeyttä. Seosaineiden jakautuminen hitsissä on myös huomioitava, jottei tulisi pistekorrosionkestävyyden alenemista. Visuaalinen laatu huomioi, että hitsin on oltava sileä ja ei saa olla reunahaavaa eikä pintahuokosia. Hyvä konepajalaatu tarkoittaa huolellisuutta ja ammattitaitoa. Hitsiluokkalaatu tulee kysymykseen eritoten paineastiahitsauksissa.

Hitsauksen toiminnan laatu on kokonaisuus johtamisesta lopputulokseen. Tähän laatuun ja sen hallintaan vaikuttavat toimenpiteet ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja hitsauksen jälkeen. Näiden tuloksena syntyy saavutettu laatu. /59/

Hitsauksen laatuvaatimukset on selvitetty standardissa SFS - EN 729. /61/ Tämä on yleensä hitsaavan teollisuuden yksi alaosa toimintajärjestelmässä. Sitä voidaan käyttää joko kokonaisuutena tai soveltuvien osien. Tämä käsittää laadun, ympäristön ja turvallisuuden. Standardi SFS - EN 729 jakautuu neljään osaan, joista kolme käsittelee eri vaatavuusasteisia vaatimuksia. Usein tämän standardin käyttöönotto johtuu asiakkaiden vaatimuksista, tuotestandardeista, EU - direktiiveistä, viranomaisten määräyksistä tai päähankkija on laittanut ehdoksi omille yhteistyökumppaneilleen. Näin saadaan hankintaketju puhumaan samaa kieltä. /59/ Kunnossapidossa useinkaan ei ole tämä käytössä, koska kunnossapito on osa koko tehtaan toimintajärjestelmää eikä sille ole näiltä osin asetettu varsinaisia vaatimuksia.

Hitsauksen laadun hallintaan kuuluu hitsauskoordinaattori, hitsaajan pätevyys, hitsausohjeet, menetelmäkokeet, hitsausluokat, aineenkoetukset ja tarkastukset sekä rikkovalla ja rikkomattomalla menetelmällä, hitsauslisäaineet, hitsauslaitteet, poikkeamien käsittely, dokumentointi, suunnittelu, valmistus ja logistiikka. /59/ Hitsaajien kouluttaminen ja osaamisen taso on tärkeää myös kunnossapidossa. Tätä asiaa ei ole vielä täysin tiedostettu. Hitsaus on ollut vain nopea korjaustapa.

Erityisen tärkeää on kunnossapitohitsauksissa tuntea korjattava kohde. Vaurioanalyysillä selvitetään syyt vaurioon. Yksinkertaisimmillaan analyysi voi olla kokeneiden henkilöiden silmämääräinen tarkastus. Tämän tuloksena tehdään korjaussuunnitelma, jonka tarkoituksena on estää samanlaisen vaurion uusiutuminen. Kunnossapidossa, jos kysymyksessä eivät ole painelaitteet, niin tarkastus tapahtuu silmämääräisesti tai sitten ei ollenkaan.

Olosuhteet on järjestettävä hitsaajille edullisiksi, jottei pakkanen, sade, tuuli, valoisuus tai kuumuus häiritse suoritusta. Kunnossapitohitsauksissa nämä vaatimukset ovat usein liian suuria.

Yrityksen kannattavuutta seurataan erilaisin tunnusluvuin. Nykyään yhä tärkeämmiksi luvuiksi ovat tulleet laatutasoa, laatuutteita ja laaduttomuutta kuvaavat luvut. Tällaisia ovat esimerkiksi korjauskustannukset, poikkeamat, reklamaatioiden määrä, hukkaprosentit, asiakastyytyväisyys ja toimitusvarmuus. /62/

Kunnossapidossa hitsauksen tuottavuudella ei ole suurta painoarvoa kunhan hitsaustyö tulee suoritettua nopeasti.

Tapaturmien määrää ja menetettyä työaikaa seurataan nykyisin suurella mielenkiinnolla.

### Hitsausvirheet

Hitsausliitosten pitää olla riittävän lujia kestääkseen käytön aikana niihin kohdistuneet rasitukset. /27, s.2/ Hitsaukseen liittyy nopeat lämpötilojen muutokset, jotka vaikuttavat

materiaalien ominaisuuksiin sekä rakenteen jännityksiin. Tällöin syntyy usein muodonmuutoksia. On aina muistettava, että paras hitsi on hitsaamaton hitsi.

Standardi SFS 3052 /17/ määrittää hitsausvirheen siten, että se on epäjatkuvuus hitsissä tai poikkeama hitsin muodossa. /27, s.3/

Hitsausvirheet syntyvät valmistuksen tai korjauksen yhteydessä. Nämä heikentävät rakenteen kestävyyttä ja muita ominaisuuksia. Käytön myötä voi rakenteissa ilmetä virheitä, joiden osa syynä voi olla jo valmistuksen yhteydessä syntyneet hitsausvirheet. Huomionarvoista on , että suuri joukko hitsausvirheistä ei tee rakenteista käyttökeltvottomia. Sallitut laatutaso ilmaistaan hitsiluokilla. /27, s.3/

Virheet ryhmitellään joko sisäisiin tai ulkoisiin tai kaksi- ja kolmiulotteisiin virheisiin. Kaksiulotteinen virhe on tasomainen eli halkeamatyyppinen ja sillä on terävä kärki ja siksi todella vaarallinen. Kolmiulotteinen virhe on pallomainen tai lieriömäinen ja siltä puuttuu terävä kärki ja tästä johtuen se ei ole yhtä vaarallinen kuin kaksiulotteinen. /27, s.4/

### Kuumahalkeama

Yleensä halkeama on vaarallinen virhe. Jos sellaisia esiintyy, niin silloin on syytä tarkastaa materiaali ja mahdollinen hitsausohje. Yleensä halkeamia esiintyy samassa hitsissä useampia. Niiden syyt on selvitettävä välittömästi.

Kuumahalkeilua voi esiintyä alumiinilla, seostamattomissa, niukkaseosteisissa ja jopa ruostumattomissa teräksissä /27, s.6/. Varsinkin jos ne sisältävät karbideja muodostavia aineita kuten kromia, molybdeeniä ja vanadiinia. Toisaalta seoskarbidien mukanaolo estää raerajaliukumia ja pienentää sitkeyttä korkeissa lämpötiloissa. /35, s.8/ Halkeamatyyppi syntyy matalissa lämpötiloissa sulavien yhdisteiden vaikutuksesta niiden ollessa vielä sulassa tilassa. Perusaineissa olevat epäpuhtaudet rikki ja fosfori edesauttavat tämän halkeamatyyppin syntymistä, kun ne suotautuvat hitsin keskelle. /32, s.35/

Hitsauksen aiheuttamat jännitykset laukeavat plastisiin muodonmuutoksiin ja tästä seuraa halkeilu. Jännitykset syntyvät hitsauskohdan ympäristön epätasaisesta kuumenemisestä, jäähtymisestä ja hitsiaineen kutistumisesta. Näitä voidaan estää lämpökäsittelyillä. Vetävät jäännösjännitykset edesauttavat halkeilua. Ne voivat kerääntyä hetkellisiin lämpöjännityksiin. Näitä syntyy nopeasta ja epätasaisesta kuumenemisestä. /35, s.8/

Kuumahalkeama esiintyy useimmiten hitsin keskilinjalla pitkittäisenä. Tämä syntyy heti hitsisulan jähmettymisen yhteydessä. /63, s.13/ Se voi esiintyä myös sularajalla tai poikittaisena muutosvyöhykkeellä. Halkeamat voivat tulla hitsin pintaan asti. Jos ne jäävät hitsin sisään, niin niitä on vaikea havaita ja ne tulevat esiin joskus myöhemmin käytön tai jäännösjännitysten seurauksena.

Kuumahalkeiluun vaikuttaa

- palon leveys vaikuttaa jähmettymisrintaman suuntaan
    - kun palko on syvä ja kapea, niin jähmettyminen tapahtuu pylväsmäisten kiteiden muodossa keskilinjaa kohti /63, s.17/
    - keskilinjalle suotautuu epäpuhtauksia ja nämä luovat pohjan halkeilulle jännitysten avulla
  - leveällä palolla jähmettyminen suuntautuu ylöspäin
  - suuri tunkeuma lisää sekoittumisastetta eli perusaineen osuutta koko hitsissä
  - rakenteen jäykkyys
  - ainepaksuus
  - metallurgiset tekijät
    - hitsin ja teräksen korkea hiilipitoisuus
    - korkea epäpuhtauden määrä hitsissä ( rikki ja fosfori )
    - liian vähän ferriittiä hitsiaineessa, tämä varsinkin ruostumattomalla teräksellä
- /27, s.7/

Puikkohitsauksessa kuumahalkeilu on harvinainen, mutta MIG / MAG - menetelmällä hitsattaessa sitä esiintyy.

Seuraavilla seikoilla voidaan vaikuttaa estävästi kuumahalkeilun syntyyn:

- valitaan oikea hitsin leveys / syvyyssuhde ( alle 1,5 )
- käytetään vähähiilisempiä teräksiä ja lisäaineita sekä vähemmän epäpuhtauksia sisältäviä perusaineita
- hallitaan tunkeuman suuruutta
- hitsausjännitykset saatetaan mahdollisimman pieniksi
- pienennetään hitsausnopeutta
- valitaan emäspäällysteinen puikko pohjapalon hitsaukseen

/27, s.6/

### Kylmä- eli vetyhalkeama

Vety aiheuttaa tämän halkeamatyyppin, kun se liukenee hitsisulaan kosteasta lisäaineesta tai ympäristöstä. Halkeilua edistää hitsausliitoksen kareneeseen alueeseen vaikuttavat jännitykset, nopea jäähtyminen, pienet palot, suuret ainepaksuudet, kosteat ja likaiset olosuhteet sekä liitoksen jäykkyys. Halkeamat syntyvät suhteellisen matalissa lämpötiloissa noin 150 °C alaspäin ja kiinteään aineeseen. /27, s.8/

Halkeama voi esiintyä perusaineen muutosvyöhykkeellä ( HAZ ) hitsin pituussuunnassa palon alaisena, hitsin juurihalkeamana, hitsin sularajalla tai muutosvyöhykkeellä poikittaisena tai poikittaisena hitsiaineessa. Samoin se voi olla pintaan asti tai sisällä. /27, s.8/ Muutosvyöhykkeen mikrorakenteella on suuri vaikutus kylmähalkeamataipumukseen. /64, s.17/

Karkenevia teräksiä hitsattaessa voi syntyä martensiittia. Näitä teräksiä ovat seostamattomat teräkset, nuorrutusteräkset, hienoraeteräkset, lujat teräkset, kuumalujat teräkset. Jotta vetyhalkeama syntyisi, pitää samaan aikaan toteutua useampi tekijä. Mikrorakenteen pitää olla karennut eli hauras. Vetyä on pitänyt liueta jostakin runsaasti hitsiin. Hitsiin kohdistuu tarvittavat jännitykset. Jos halutaan saada käsitys teräksen karkenevuudesta, on syytä laskea hiiliekvivalentti (  $C_{ekv}$  ). /30, s.39/

Vety tulee hitsiin pääsääntöisesti lisäaineista, jotka voivat jo itsessään sisältää vetyä tai sitten kosteus on imeytynyt niihin. Epäpuhtaudet ja kosteat olosuhteet aiheuttavat myös vetyongelmia. Valokaareissa vetyä sisältävät lisäaineet hajoavat ja joutuvat hitsisulaan.

Vetyhalkeamiin voi olla syynä

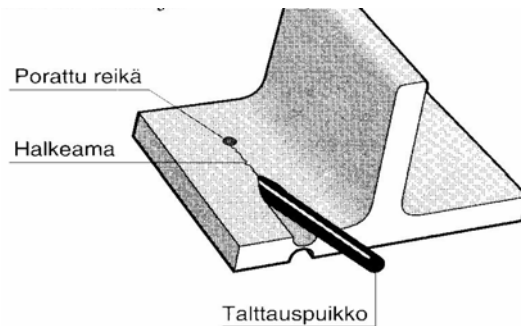
- korkeat hiilipitoisuudet perus- tai lisäaineissa
- käytetään niukkaseosteista lisäainetta
- suuri levynpaksuus ja käytetään liian pientä lämmöntuontia
- jännityksiä lisäävä railomuoto
- esikuumennus puutteellinen
- hitsiaineeseen joutunut liikaa vetyä, on saattanut olla kostea lisäaine /27, s.9/
- hauras mikrorakenne  
/63, s.4/

Kun halutaan varmistaa, että vetyhalkeilua esiintyy mahdollisimman vähän

- valitaan, jos mahdollista, vähemmän seostettu teräs eli matala hiiliekvivalentti alle 0,41  
/35/
- suoritetaan riittävä esikuumennus /53, s.4/
- käytetään riittävän suurta lämmön tuontia huomioiden kuitenkin hitsausasento, levyn paksuus ja kuumahalkeilu /27, s.9/
- käytetään kuivia ja niukkavetyisiä lisäaineita /63, s.4/
- railopinnat pitää olla kuivat ja puhtaat /27, s.9/
- suoritetaan jälkilämpökäsittely /63, s.4/
- jos on mahdollista, niin suoritetaan vedynpoistohehkusutus heti hitsauksen jälkeen  
/63, s.4/
- huolehditaan rakenteen oikeasta muotoilusta /63, s.4/

Hiilikaaritaltaus on sopiva halkeamien poistomenetelmä. On taltattava tarpeeksi syväälle, jotta koko halkeama poistuu. Samoin sillä voidaan poistaa hiilettyä pintaa ennen hitsausta. Talttauksen periaate selviää kuvasta 31. Korjaushitsauksessa on oltava

erikoisen tarkkana. Pitää huomioida esikuumennus hieman korkeammaksi kuin tuotantohitseissä ja jälkilämpökäsittely. /27, s.9/



Kuva 31. Hiilikaaritalttauksen periaate /14, s.275/

### Lamellirepeily

Lamellirepeily on hitsin aiheuttama levyn pinnan suuntainen murtuma hitsipalon alla. Jos levyn paksuuden suuntainen sitkeys on pienempi teräksessä olevien pinnan suuntaisten levymäisten sulkeumien takia, syntyy helposti halkeilua. Sulkeumat sisältävät ei-metallisia aineita. Repeily esiintyy useimmiten perusaineessa lähellä muutosvyöhykkeen ulkorajaa. /35, s.7/ Halkeamat seuraavat valssauksen aiheuttamia sulkeumarajoja ja ovat portaittaisia. Jos levyn hitsit ovat molemmilla puolin, voi halkeilu esiintyä levyn keskellä paksuussuunnassa. Paksuussuuntainen kuormitus aiheuttaa tätä. /63, s.26/ Repeilyä esiintyy usein lujilla teräksillä kuten S355.

Herkkiä lamellirepeilylle ovat jäykät piena- ja päittäishitsatut L - ja T - liitokset. Näissä esiintyy suuria paksuussuuntaisia jännityksiä. /63, s.24/

Repeytymistä voidaan estää suunnittelemalla rakenne siten, että paksuussuuntaiset jännitykset ovat vähäisiä. Pyritään käyttämään taottuja materiaaleja ja matalalujuuksisia lisäaineita. /63, s.24/

Kraatterihalkeamat esiintyvät usein hitsipalon päässä ja jopa säteittäisenä. Tämän saa aikaan väärä hitsipalon lopetustapa. /27, s.9/



### Sulamishalkeilu eli palaminen

Sulamishalkeilua esiintyy silloin, kun lämpötila voi olla sulan reunalla niin korkea, että muodostuu paikallista sulamista raerajoilla, koska seosaineilla on alhaisempi sulamispiste kuin ympäröivällä matriisilla. Muutosvyöhykkeellä perusaine ei sula kokonaan. Tällä alueella voi esiintyä hienoja halkeamia, kun jäännösjännitykset ovat suuria. Halkeamat voivat suureta käytön tai valmistuksen yhteydessä. /35, s.9 - 10/

### Huokokset

Huokokset aiheutuu, kun kaasu ei pääse poistumaan hitsiaineesta ja täten se muodostaa onkalon. Kaasu on voinut muodostua epäpuhtauksista, kosteudesta, lisäaineesta tai perusaineesta. Lisäksi valokaari on voinut olla liian pitkä ja hitsausvirta liian pieni. On voitu käyttää liian suurta hitsausnopeutta. Samoin jäähtyminen on voinut olla liian nopeaa. Usein hitsataan maalatuille pinnoille ja silloin maalikalvo voi olla liian paksu. /27, s.10/

Kun huokosia halutaan välttää, on syytä poistaa epäpuhtaudet ja kosteus. Pitää tarkistaa valokaaren pituus, käyttää esikuumennusta, vähentää hitsausnopeutta ja suurentaa hitsausvirta riittäväksi. /27, s.10/

### Sulkeumat

Kun hitsiaineeseen jää kuonaa tai muita epäpuhtauksia, niin tällöin muodostuu sulkeumia /27, s.11/. Yleisin kunnossapidossa esiintyvä on kuonasulkeuma. Suurin syy tähän on väärä suoritustekniikka, jossa kuona pääsee vyörymään valokaaren eteen. Muita syitä voi olla liian pieni hitsausvirta tai liian kapea ja syvä railo. Kuonanpoisto voi olla myös puutteellinen.

Sulkeumia voi estää tekemällä yllä olevat asiat paremmin.

Liitosvirhe on epätäydellinen liittyminen hitsi - ja perusaineen välillä. Usein puhutaan kylmäjuoksusta. Syitä tämän virheen syntymiseen voi olla, että sula vyöryy valokaaren eteen kylmän perusaineen päälle, liian pitkä valokaari, liian pieni hitsausenergia, railon pinnat ovat likaiset, liian suuri hitsausnopeus tai magneettinen puhallus siirtää valokaaren sivuun. /27, s.11/

Vajaassa hitsautumissyvytydessä hitsi ei ole tunkeutunut tarpeeksi syvälle railossa. Voidaan puhua myös vajaa tunkeumasta. Syynä voi olla, että on käytetty liian paksua lisäainetta, kuona on vyörynyt valokaaren eteen, juuren avaus on ollut riittämätön, railo ei ole sopiva ja on käytetty liian pientä hitsausvirtaa. /27, s.12/

Korjaamalla yllä olevat, päästään tästä virheestä eroon.

Reunahaava on yleensä palon vieressä oleva ura, jota sula metalli ei ole täyttänyt. On voitu käyttää liian suurta hitsausvirtaa, kuljetettu lisäainetta väärin tai lisäaine on liian paksu suhteessa levyyn. /27, s.11/

Korkeassa kuvussa päittäishitsissä on hitsiainetta liikaa. /27, s.13/ Tällöin on railomuoto voinut olla väärä, kuljetusnopeus on ollut liian hidas tai on käytetty liian paksua lisäainetta.

Hitsin perusaineen pinnan puolella voi esiintyä valumaa. Tämä ei ole sulanut kiinni perusaineeseen. Jotta tämä saadaan aikaan, tulee kuljetusnopeuden olla liian pieni, käytetään liian suurta a - mittaa yhdellä palolla hitsattaessa tai lisäainetta on kuljetettu väärin. /27, s.14/

Tasomainen sovitusvirhe esiintyy usein kunnossapitohitsauksissa. Tällöin tasot ovat samansuuntaiset, mutta eri tasossa. Tähän voi olla syynä sovitusvirhe, aikaisempien hitsien vetelyt tai levyjen muoto poikkeamat. Näitä esiintyy päittäisliitoksissa. /27, s.14/

Kulmapoikkeamassa pintojen tasot eivät ole samansuuntaiset. Syyt tähän ovat samat kuin edellä lisättyinä väärällä hitsausjärjestyksellä ja heikolla silloituksella. /27, s.14/

Muita yleisiä hitsausvirheitä kunnossapitohitsauksissa ovat mm uudelleenaloitusvirhe, sytytysjälki, roiskeet, väärä a - mitta, hiontajälki tai kohdistusvirhe.

Kunnossapidossa hitsejä ei useinkaan tutkita muuten kuin tunkeumanesteellä.

Paineastioiden korjauksen yhteydessä viranomaiset voivat vaatia ultraääni- tai röntgentutkimuksia.

Ympäristövastuu määräytyy aiheuttamisperiaatteen mukaisesti eli joka pilaa, se maksaa. Ympäristöjärjestelmässä elinkaariajattelu on keskeisessä asemassa. Tuotteen elinkaari on raaka - aineesta jätteeksi. Täten pyrkimyksenä tulisi olla ympäristövaikutusten vähentäminen ja tuotteita tulisi kehittää ympäristöystävällisemmiksi. Elinkaariajattelulla voidaan määrittää myös tulevia vastuukustannuksia. /60, s.9/

Kaikesta toiminnasta syntyy jätteitä. Lait ja asetukset säätelevät yritysten toimintaa ja näillä pyritään jätteiden synnyn ehkäisyyn ja minimointiin, hyödyntämiseen raaka - aineeksi tai energiaksi. Jätteiden lajittelun myötä ne voidaan jakaa kolmeen osaan hyöty-, ongelma- ja sekajätteiksi.

Hitsauksen tuloksensa syntyy myös jätteitä. Näitä ovat mm poistettavat ja rikkoutuneet koneen osat, puikon pätkät, pakkaukset ja vikaantuneet tuotteet. Kuten jo aikaisemmin todettiin, jos ympäristöjärjestelmä on osa toimintajärjestelmää, niin silloin kunnossapitokin tietää, mitä jätteille tulisi tehdä.

## 10.2. Palosuojelu tulitöissä

Tulitöillä tarkoitetaan töitä, joissa esiintyy kipinöintiä. Tällaisia ovat mm. käsihionta, hitsaus, polttoleikkaus, liekillä lämmittäminen ja kuumailmapuhallukset. Suomessa on otettu käyttöön muutamia vuosia sitten tulityökortti. Tämä oikeuttaa tekemään tulitöitä tilapäisillä tulityöpaikoilla.

Jokaisen teollisuuslaitoksen on tehtävä tulityövalvontasuunnitelma. Suunnitelma pitää sisällään ohjeistuksen tulitöitä varten. Siitä on selvittävä, miten tulityöluvut saadaan ja annetaan, mitä toimenpiteitä vaaditaan tilapäisillä tulityöpaikoilla hitsattaessa, miten niiden noudattamista valvotaan, miten suhtaudutaan ulkopuoliseen työvoimaan näiden töiden osalta, miten tehdään paloilmoitus mahdollisen vahingon sattuessa.

Tulityöalueet on jaettu kahteen osaan. Varsinaisella tulityöpaikalla työskenneltäessä ei vaadita kuin, että se on varusteltu asianmukaisin välinen ja työskentelyssä noudatetaan varovaisuutta. Tilapäisellä tulityöpaikalla työskenneltäessä täytyy olla asianmukainen lupa, suojarusteet ja esimiehen suorittama tarkastus ennen tulityöluvan antamista. Näillä alueilla on vältettävä yksin työskentelyä, sillä palovahtina on oltava jonkin henkilön. Kunnossapitohitsauksissa on aina otettava huomioon mekaanisen puunjalostuksen erikoisolosuhteet. Näitä on mm kiire, melu, pöly, kuumuus ja kylmyys.

Pyrkimyksenä on pidettävä, että koulutusta on annettu kaikille niille henkilöille, myös ulkopuolisille, jotka joutuvat työskentelemään tilapäisillä tulityöpaikoilla.

Kaasupullot aiheuttavat oman vaaransa. Niiden kuljetus, käsittely ja oheislaitteiden on oltava asianmukaisessa kunnossa sekä niitä on käsiteltävä huolellisesti. Kaasupulloihin liittyy sekä räjähdys- että tulipalovaara.

Hitsausvirta saattaa kulkea arvaamattomia teitä ja aiheuttaa tulipalovaaran kaukana hitsauskohteesta varsinkin, jos maadoitus tulee kiertoteitse. Lämpö voi toimia samoin johtuessaan rakenteita pitkin. Erikoisesti maadoitus voi aiheuttaa vaaratekijöitä ja laitteiden vioittumisia. Nämä taas voivat johtaa henkilövahinkoihin tai tulipaloihin. Maadoitusjohdin on pyrittävä kiinnittämään suoraan työkappaleeseen. Koskaan maajohdinta ei saa käyttää putkistoissa tai rakennuksen osissa.

### 10.3. Työsuojelu tulitöissä

Työsuojelu on ensiarvoisen tärkeä osa - alue koko teollisessa toiminnassa. Yritykset ovat viime aikoina oivaltaneet, että kannattaa panostaa kokonaisturvallisuuteen, sillä

henkilökunta ei ole enää pelkästään kustannustekijä vaan voimavara. Kustannukset tapaturmista ovat nousseet, imago kärsii ja tuottavuus laskee. Turvallisuustekijät ovat nykyisin merkittävä osa kilpailukykyä. Kun ne on otettu toimintajärjestelmän osaksi laadun ja ympäristön rinnalle, niin ne ovat saaneet lisää painoarvoa. Varsinkin kunnossapidossa olosuhteet ovat usein vaikeat ja arvaamattomat. Kunnossapitotöitä joudutaan tekemään koneen särkymisen tai muun häiriötilanteen takia vaikeissa olosuhteissa. Siksi luodun turvallisuusjärjestelmän tulee sisältää oleellisena osana työnopastus ja perehdyttäminen.

Riskien arviointi on prosessi, jossa järjestelmällisesti tunnistetaan vaarat, riskien suuruus, merkitys ja parantaminen. Prosessi etenee asteittain ja päämääränä on tunnistaa kaikki vaaratekijät ennen kuin ne ennättävät aiheuttaa vahinkoa. /60/

Läheltäpiti tilanteiden selville saaminen on tärkeää. Silloin voidaan poistaa heti vaaran aiheuttaja. Vaaratilanteita esiintyy aina moninkertainen määrä tapaturmiin verrattuna. Kunnossapitohenkilöstö joutuu usein työskentelemään yksin, hankalissa olosuhteissa ja tuotannon painostuksen alla. Monesti hitsaustarve tulee kesken kiivaimman käynnin. Kiire on ainainen huoli vikojen lisäksi ja siksi hitsaus tehdään nopeasti, koska ei ole aikaa miettiä parasta vaihtoehtoa. /60/

Häiriötilanne syntyy, kun toiminta ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. Jotta pystyttäisiin jollain tavalla varautumaan etukäteen mahdollisiin häiriötilanteisiin, on tehtävä riskikartoitus. Näissä ei riitä yksin, että otetaan huomioon tapaturmavaara, vaan samaan aikaan on ajateltava tapaturman mahdollisuus. /60/

Suomessa on otettu käyttöön työturvallisuuskortti ja se tulee virallisesti voimaan vuoden 2005 alusta. Tällä järjestelmällä pyritään varmistamaan työsuojelutietämystä ja oikeaa suhtautumista työturvallisuuteen. Yritysten yhteistyökumppaneille tämä on myös ensiarvoisen tärkeää, sillä heille vaaratilanteet ja olosuhteet tulevat harvoin eteen kyseisessä yrityksessä. /60/

Tällä hetkellä vallitsee 0 - tapaturma - ajattelu, joka tarkoittaa, että vahinkoja ei hyväksytä. Tällä ajattelulla voidaan vaikuttaa koko tehtaan toimintatapaan. Tavoitteiden toteutuminen lähtee liikkeelle jokaisen omasta tahdosta ja pyrkimyksestä tehdä työ niin hyvin kuin mahdollista. /60/

Huomioitavaa on, että kaikkiin hitsausmenetelmiin liittyy aina terveyttä ja turvallisuutta vaarantavia tekijöitä. Hitsaussavut koostuvat kiinteistä hiukkasista ja kaasumaisten aineiden seoksesta. Näihin sekoittuu pölyä, maalia, rasvaa ja likaa. Hitsauksissa, joita tehdään pajalla, voidaan käyttää hyviä kohdepoistoja. Paikan päällä tapahtuvissa hitsauksissa useinkaan tämä ei ole mahdollista.

Tapaturmien kirjo on moninainen ja niitä voivat olla kuumat raudat, erilaiset kolhut, putoamiset, putoavat esineet ja kuumat roiskeet. Hitsausasennot ovat varsinkin paikan päällä tapahtuvissa hitsauksissa huonot. Vaikeat asennot rasittavat lihaksia ja niveliä.

Kun puhutaan hitsauksesta, niin silloin merkittävänä asiana on myös sähköturvallisuus. Useinkin laitteet ovat yhteisiä ja silloin saattaa puuttua henkilö, joka vastaa niiden kunnosta. Kun hitsauksia suoritetaan paikan päällä, niin ympäristö pitää kastella ja tämän seurauksena hitsaajan vaatteetkin saattavat kastua. Sähkölaitteiden pitää olla kunnossa. Maadoituksen kanssa on usein vaikeuksia, koska sitä ei useinkaan saada suoraan kappaleeseen, vaan se tulee kiertoteitse. Tällöin vaikeutena on lika, maali, rasva huono kiinnitys ja pitkä matka. Hitsattavien pintojen puhdistaminen hitsausalueen ympäriltä ehkäisee tehokkaasti epäpuhtauksien syntymistä hitsauksen aikana. /21, s.259/

Hitsattaessa vaihtovirralla vaara on suurempi kuin tasavirralla hitsattaessa. Vaihtovirta voi aiheuttaa lihaskouristuksen, jonka seurauksena irrottautuminen jännitteisestä laitteesta on vaikeaa /21, s.259/. Virta voi kulkea sydämenkin kautta. Laitteiden ja varusteiden on oltava kunnossa. Vaihtovirta on pidettävä aina niin alhaisena kuin se on hitsausteknisesti mahdollista.

Hitsattaessa ahtaissa tiloissa tai säiliöissä tulisi käyttää tasavirtaa. Tämä ei aiheuta kouristusta, joten irrottautuminen onnistuu.

Hitsausvirta voi olla vaarallinen myös apumiehelle. Aina tehtaalla hitsattaessa ympäristö on kasteltava laajalta alalta. Jos laitteet ovat vioittuneet hän saattaa joutua kosketuksiin jännitteellisten osien kanssa.

Melu tulee usein kunnossapitohitsauksissa muualta kuin itse hitsaustoiminnasta. Hitsauksen aiheuttama melu on yleensä alle 85 dB, mutta ympäristömelu saattaa olla huomattavasti korkeampi. Verstaalla hitsattaessa melu tulee yleensä vasaroinnista, talttauksesta tai hiomisesta. Melun takia on tärkeää käyttää hitsausmaskin kanssa kuulosuojaimia.

Ergonomia kunnossapitohitsauksissa on huono siksi, että hitsausasentoa ei voi valita. Se on tehtävä laitteen särkymiskohdan vaatimassa asennossa. Hitsaus rasittaa henkilöä yleensä staattisesti, mutta myös selkä ja polvet joutuvat rasitukselle alttiiksi. /16, s.291/ Kiinteällä hitsauspaikalla hitsattaessa voidaan käyttää erilaisia apulaitteita.

Siisteys ja järjestys hitsauspaikalla ovat tärkeitä. Useinkaan siihen ei ole mahdollisuuksia hitsattaessa koneen äärellä. Kuitenkin on pyrittävä mahdollisimman hyvään siisteyden tasoon. Järjestys on taas hitsaajan omissa käsissä. Hitsauspaikan järjestäminen hitsauksen edellyttämään kuntoon on myös palosuojelukysymys. /16, s.291/

Hitsaushuurujen määrään vaikuttaa hitsausprosessi, lisäainetyypit, perusaine, suojakaasu, hitsausarvot, roiskeet ja hitsattavan kappaleen pinnalla olevat aineet. Huurut leijailevat hitsaajan ympärillä haitallisesti. Huurut sisältävät kaikkia seosaineita kuten kromia, kuparia, nikkeliä, sinkkiä ja mangaania. Hitsaushuuruja ja savuja ja niiden vaikutuksia voidaan vähentää kohdeimuilla. Hitsaaja voi suojata itseään myös käyttämällä raitisilmatai paineilmamaskeja. Pöly muodostuu pääasiallisesti roiskeista. /16, s.287/

Erikoisesti on kiinnitettävä huomiota ruostumattomia teräksiä hitsattaessa syntyviin huuruihin. Kyseiset huurut sisältävät kromia ja nikkeliä. Nämä luokitellaan syöpäsairauksien vaaraa aiheuttavien aineiden luetteloon. / 14, s.36/

Hitsauksen yhteydessä syntyvät kaasut ovat vaikeasti havaittavissa. Tästä syystä on tiedettävä, millaisten kaasujen kanssa joudutaan tekemisiin. Alla on muutama tyypillisin ja yleisimmin esiintyvä haitallinen kaasu.

Hiilimonoksidia eli häkää muodostuu suojakaasun hiilidioksidin hajaantumisen seurauksena. Mitä enemmän suojakaasu sisältää hiilidioksidia, sitä enemmän tulee hiilimonoksidia. Hiilimonoksidi estää veren hapenkuljetuksen ja seurauksena voi olla tukehtuminen. Varsinkin CO<sub>2</sub> - kaasua käytettäessä on huolehdittava tarpeellisesta ilmanvaihdosta. /21, s.269/

Typpimonoksidi muodostuu ilman hapesta ja tpestä. Sitä syntyy lähellä valokaarta ja eniten puikkohitsauksessa. Mitä enemmän kaaritulassa on ilmaa, sitä enemmän syntyy typpimonoksidia. Ultraviolettisäteily laajentaa tätä aluetta. Suurimpia pitoisuuksia syntyy kaasuhitsauksessa ja -leikkauksessa. Tästä syystä on noudatettava erityistä varovaisuutta varsinkin kaasuliekillä oiottaessa. /21, s.269/

TIG - ja MIG - hitsauksessa syntyy otsonia runsaasti, joka on myrkyllinen kaasu. Varsinkin argon suojakaasuna synnyttää sitä paljon. /21, s.270/ Otsonia muodostuu ilman hapesta valokaaren synnyttämän ultraviolettisäteilyn kohdatessa happimolekyylin. Tämä jakautuu sitten happiatomeiksi. Otsoni ärsyttää hengityselimiä. /14, s.36/

Ultraviolettisäteily on vaarallista myös lähistöllä oleville, koska näillä ei ole tarpeellista suojavarustusta. Silmät pitää suojata suojalaseilla, koska halutaan ehkäistä sekä näkyvän että näkymättömän ultravioletti- ja infrapunavalon haittavaikutukset. Iholle säteily aiheuttaa punoitusta, kirvelyä ja jopa palovammoja. Työvaatetuksen on oltava ihoa suojaava.

## 11. KÄYTÄNNÖN KORJAUS-/KUNNOSSAPITOHITSAUSESIMERKKEJÄ

Kunnossapidossa joudutaan hitsaamaan hyvin usein kosteissa olosuhteissa, koska ei ole aikaa rakentaa suoja eikä hankkia lämmittimiä. Samoin on laita pakkasolosuhteissa,



joissa on luntakin haittana. Hitsaukset ovat pääsääntöisesti pienehköjä ja sen tähden suojaushalukkuuskin on vähäistä. Koehitsauskohteiksi valittiin olosuhteiltaan vaikeimmat. Siksi suoritettiin useampia koehitsauksia sekä kosteissa että pakkasolosuhteissa. Vertailuun otettiin kunnossapidon normaaliolosuhteissa suoritettut hitsaukset.

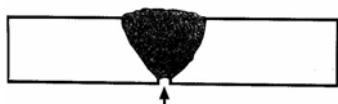
Käytännön hitsaukset suorittivat Savonlinnan tehtaan kunnossapidon työntekijät ja nämä olivat yhtä lukuun ottamatta vuorolaitosmiehiä. Samalla kartoitettiin heidän tämän hetkisen osaamisensa tason. He joutuvat suorittamaan hitsauksia harvakseltaan ja kaikkein vaikeimmissa olosuhteissa, joihin kuuluu myös kiire ja kuumuus. Hitsaukset suoritettiin ilman opastusta siten, että jokainen valittu hitsaaja teki työn parhaalla mahdollisella tietämyksellään. Samoin työ pyrittiin tekemään nopeasti, jotta tilanne vastaisi käytäntöä. Hitsausparametrien säätöä varten ei ajettu koehitsejä, vaan jokainen valitsi ja säätöi parametrit mielensä mukaan.

Perusaineena oli yleisin meillä käytössä oleva Fe 37. Ainevahvuudet valittiin sellaisiksi, joita pääsääntöisesti käytämme.

Hitsauskoneena oli normaali kunnossapidon käytössä oleva kone, joka oli varustettu kaukosäädöllä ja sitä sai käyttää, jos halusi. Vuorolaitosmiehistä sitä ei käyttänyt kukaan.

Railojen valmistukset ja tarvittavat avaukset jokainen työn suorittaja teki ennen hitsausta omatoimisesti.

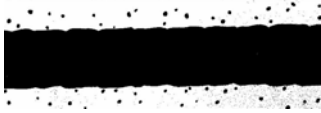
Alla on esitetty yleisimmin koepaloissa esiintyneet hitsausvirheet.



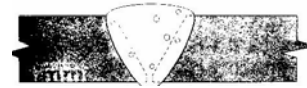
Kuva 32. Vajaa hitsautumissyvyys



Kuva 33. Vetely



Kuva 34. Roiskeita



Kuva 35. Huokosia



Kuva 36. Kuonasulkeumia

Makrohietutkimukset tehtiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa. Koekappaleet hiottiin karkeuksilla 60, 80, 100, 120, 180 kuivana ja 220, 320, 500 ja 800 vettä apuna käyttäen. Hiottu pinta pestiin saippualliuoksella ja huuhdottiin alkoholilla sekä kuivattiin kuumailmapuhaltimella. Syövytys tehtiin viisiprosenttisella Nitalilla. Syövytysaika oli 15 sekuntia.

Kappaleille suoritettiin tehtaalla tunkeumanestetarkastus.

Kappaleet kuvattiin ja lakattiin. Näin on helpompi hitsaajien kanssa tarkastella tuloksia sekä itse kappaleesta että tietokoneruudulta.

### **11.1. Hitsaus normaaliolosuhteissa**

Korjaus- ja kunnossapidon normaaliolosuhteet tarkoittavat, että raudat ovat ruosteisia, likaisia ja osassa on maalia pinnassa. Tässä kokeessa käytimme sekä kuivattuja puikkoja että avonaisesta paketista otettuja.

Koe 1 / 1 Tämä koe tehtiin hitsaamossa kaiken sen tietämyksen mukaan, joka oli olemassa.

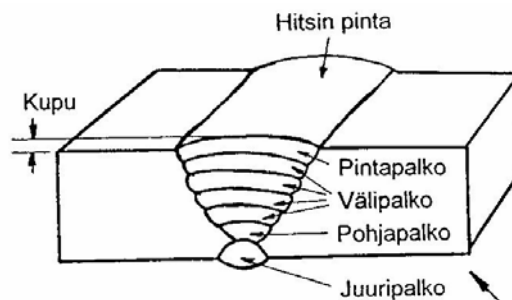
#### Lähtötilanne

- aineenvahvuus oli 20 mm ja teräkset olivat konepohjamaalattuja

- käytettiin V - railo ja ilmarako noin 2 mm
- hitsauspuikko oli OK 48.00 / 2,5 mm / 3,25 mm
  - puikko on emäspäällysteinen, hitsiaine on sitkeää ja halkeamisriski on pieni
  - hiilipitoisuus 0,07 %, piipitoisuus 0,5 % ja mangaanipitoisuus 1,2 %
  - puikko on tunteeton perusaineen epäpuhtauksille

### Kokeen suoritus

Kuvasta 37 näkyy palkojen hitsaustapa ja -järjestys



Kuva 37. Molemmilta puolin hitsattu hitsausliitos

Ensin hitsattiin pohjapalkko.

- 1 kpl
- hitsauspuikon halkaisija 2,5 mm
- hitsausvirta 90 A

Pohjapalon hitsauksen jälkeen hitsattiin muut palot peräjälkeen.

- 5 kpl
- hitsauspuikon halkaisija 3,25 mm
- hitsausvirta 120 A

Viimeiseksi hitsattiin juuren avauksen jälkeen juuripalkko.

- hitsauspuikon halkaisija 2,5 mm
- hitsausvirta 90 A

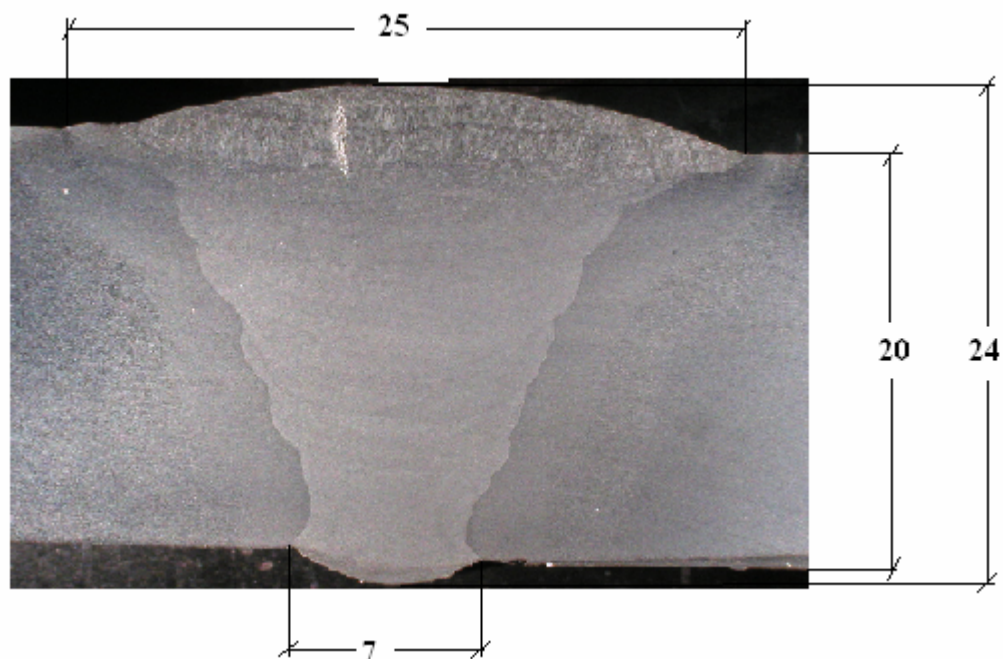
Hitsaukset suoritettiin hitsaamossa sisätiloissa.

### Tutkimukset

Tutkimukset tehtiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohietutkimuksena.

### Tulokset

Kuvassa 38 on esitetty ensimmäisen kokeen makrohietulos



Kuva 38. Parhaan tietämyksen mukaan normaaliolosuhteissa hitsattu V - railollinen hitsausliitos.

Kappaleen pinnasta löytyi muutama roiskepisara, mutta muuten hitsaus oli erinomainen. Kuvassa näkyvä vaalea kohta ei ole virhe, vaan syövytyksen jälkeen tullut jälki.

### Johtopäätökset

Normaaliolosuhteissa ja huolellisesti suoritettu hitsaus tuo hyvän lopputuloksen. Tulos osoittaa, että kyseinen hitsaaja suoriutuu moitteettomasti vaativistakin hitsauksista.

### Suositus

On huolehdittava edelleen kyseisen henkilön hitsaustaidon ylläpitämisestä. Tämä tarkoittaa vaativimpien hitsauksien suorittamista ja tarvittaessa koulutuksen antamista.

Koe 2 / 1 Tässä kokeessa hitsattiin piena normaaliolosuhteissa

### Lähtötilanne

- aineenvahvuudet olivat 10 / 10 mm
- hitsauspuikkona käytettiin OK 48.00 / 2,5 mm
- hitsausvirta oli 90 A

### Kokeen suoritus

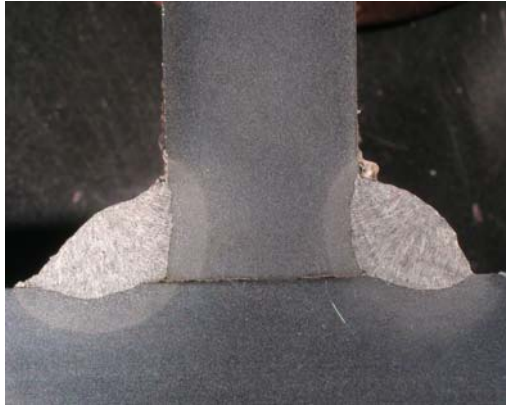
Vuorolaitosmies hitsasi avonaisesta paketista otetuilla puikoilla sisätiloissa. Muilta osin koeolosuhteet vastasivat normaaleja.

### Tutkimukset

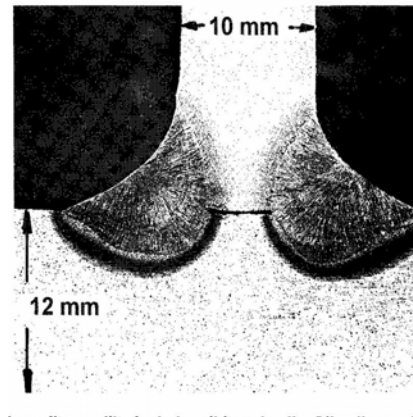
Tutkimukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohietutkimuksena.

### Tulokset

Kuvasta 38 näkyy koehitsauksen tulos ja kuvasta 39 vertailukohta, millainen tuloksen tulisi olla.



Kuva 38. Pienakoehitsauksen tulos normaaliolosuhteissa



Kuva 40. Malli tunkeumasta normaaliolosuhteissa

Tunkeumaa pitää olla enemmän. Terävät hitsin nurkat tehtävä juoheammiksi, jotta välttyttäisiin väsymisen aiheuttamilta vaurioilta. Samoin tulee kiinnittää huomiota hitsin pinnan muotoiluun. Muuten hitsi oli hyvä.

### Johtopäätökset

Silmämääräisesti tarkasteltuna hitsaustulos oli hyvä. Tunkeuman vähäisyys yllätti, joten tämän kaltaisiin hitsauksiin tulee kiinnittää huomiota enemmän kuin tähän asti. Valokaaren oikealla suuntauksella voidaan vaikuttaa tunkeuman syvyyteen.

### Suositus

Tehdaskohtaisen hitsausohjeen tekeminen on tärkeää. Samoin koehitsaustulosten tarkastelu työn suorittajan kanssa on paikallaan. Lisää koulutusta on syytä antaa ja sen jälkeen tarkastella lopputulosta uudelleen.

## 11.2. Kosteat olosuhteet

Hitsattaessa kosteissa olosuhteissa joudutaan ottamaan huomioon erityisiä seikkoja. Kunnossapitohitsauksissa kosteat olosuhteet ovat hyvin yleisiä, sillä laitteita on paljon ulkona. Kosteat lisäaineet ja kosteat teräkset aiheuttavat huomattavasti huokoisuutta. Siksi esilämmitys tulisi tehdä 75 - 150 °C ennen hitsausta ja säilyttää lämpötila koko hitsauksen ajan. Lisäaineiden käsittelyn ja säilytyksen on oltava ohjeiden mukaisia. On huolehdittava myös hitsattavan kohteen kuivauksesta ennen hitsausta ja hitsauksen aikana.

Suoritettiin kaksi erilaista koetta.

Koe 3 / 2 Tehtaalla esiintyy joskus tilanteita, joissa pitäisi pystyä korjaamaan veden alla rikkoutunut osa. Tällöin tulee kysymykseen lähinnä rautarakenteet hautomolla ja laitureissa. Tähän asti menetelmänä on ollut joko veden pinnan alentaminen tai nosturilla laitteiden nostaminen vedestä pois.

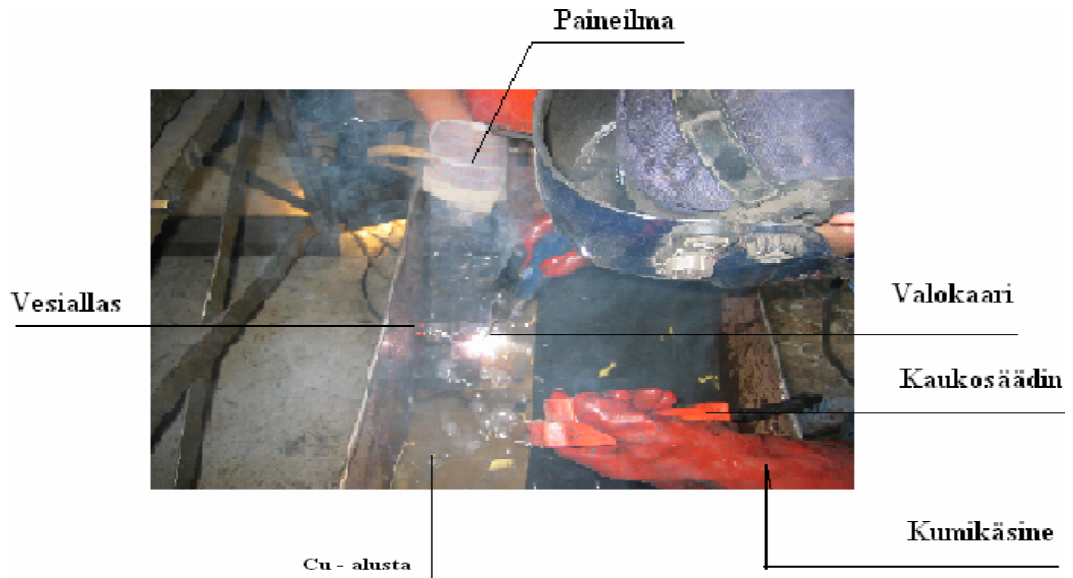
### Lähtötiedot

Koe suoritettiin siten, että hitsauspuikot maalattiin Miranol - maalilla ja Tikkurilan huonekalulakalla N:o 1460. Puikkojen annettiin kuivua siten, että Miranolin kuivui noin kuusi tuntia , kun taas huonekalulakka oli noin 10 minuutissa käyttövalmis. Hitsaukset suoritettiin kuvassa 40 ilmenevässä paikassa ja astiassa.

Puikkona käytimme rutiilipäällysteistä, halkaisijaltaan 2,5 mm OK 46.00. Tämä puikko on kylmästi hitsaava ja siten sula voidaan hallita. Kaari syttyy helposti ja se ei ole herkkä ilmaraoille. Se soveltuu hyvin ruosteisten terästen hitsaukseen. Puikko sisältää hiiltä 0,08 %, piitä 0,3 % ja mangaania 0,4 %. /65/

## Kokeen suoritus

Hitsaus suoritettiin kuvan 41 mukaisesti ja tasavirralla. Vain osa puikosta oli veden alla. Hitsaajalla oli kumikäsineet.



Kuva 41. Koehitsauksen suoritus veden alla

### a. Miranolilla päällystetyt puikot

Aineenvahvuutena oli 10 mm ja V – railo sekä railoon hitsattiin kolme palkoa. Hitsausvirta oli 120 A, jota säädettiin kaukosäätimellä.

## Tulokset

Puikot syttyivät huonosti. Näkyvyyden ollessa huono, palot " luikertelivat ", kuten kuvasta 42 näkyy. Hitsissä ilmeni huokosia ja vajaata hitsautumissyvyyttä. Kuonansulkeumia oli hitsin ja muutosvyöhykkeen rajalla jopa puoleen aineen paksuudesta. Tämä johtui siitä, että kuonan poisto on vaikeaa vesiolosuhteissa näkyvyyden ollessa huono.



b. Huonekalulakka

Ainevahvuus tässä hitsauksessa oli 8 mm. Käytettiin V - railoa ja hitsattiin kaksi palkoa. Hitsausvirta oli 90 A.

Tulokset

Tässä kokeessa oli samat vaikeudet näkyvyyden kanssa kuin Miranol - päällysteisillä puikoilla hitsattaessa. Puikot syttyivät hyvin ja paloivat rauhallisesti. Hitsin rajalla oli myös kuonasulkeumia. Samoin esiintyi vajaata hitsautumissyvyyttä ja huokosia.

Koealtaassa hitsattaessa huomattiin, että valon suuntaus on tärkeää ja sitä tulee olla runsaasti. Hitsattaessa tuli katsoa railon suuntaisesti, jotta voitiin nähdä, mihin hitsataan. Railon näkyvyyttä vaikeutti runsas kuplinta ja syntyneet kaasut, joita ilmiöitä poistimme sekoittamalla vettä pienellä paineilmasuihkulla. Pitkällä valokaarella näkyvyys oli parempi.

Puikot syttyivät hyvin ja paloivat rauhallisesti. Kuona hakattiin veden alla pois ja sen jälkeen hitsi puhdistettiin teräsharjalla.

Muut tulokset

Vaihtovirralla hitsattaessa ja paljaan käden koskettaessa vettä, hitsaaja sai sähköiskuja, jotka kuitenkin eivät aiheuttaneet vahinkoja.

Kuvasta 42 näkyy veden alla suoritettujen hitsausten tulokset.



Kuva 42. Veden alla suoritettujen hitsauksien tulokset

Vasemman puoleinen on hitsattu Miranol - päällysteisillä puikoilla. Keskimmaisessä on hitsattu kolme alimmaista palkoa Miranol - päällysteisellä ja kaksi pintapalkoa huonekalulakka - päällysteisillä puikoilla. Oikean puoleinen on hitsattu huonekalulakka - päällysteisillä puikoilla.

#### Johtopäätökset

Hitsaustulokset olivat sellaisia, että niitä ei tarvinnut tutkia kuin paljaalla silmällä. Tuloksia ei voi kutsua hitsausliitoksiksi.

#### Suositus

Ei suoriteta vedenalaista hitsausta, vaan pitäydytään aikaisemmissa korjaustavoissa, kunnes tietämyksessä on päästy pidemmälle.

Koe 4 / 2 Teräkset ja lisäaineet märkiä

#### Lähtötilanne

Tässä kokeessa hitsattavat kappaleet kasteltiin ennen hitsausta. Puikot olivat olleet ulkoilmassa useita päiviä. Nähdäksemme oletetun tuloksen kastoimme puikot

vesilätäkössä. Hitsaus suoritettiin noin 10 minuutin kuluttua kastamisesta ja se tehtiin sisätiloissa.

- aineenvahvuus oli 10 mm
- käytettiin V - railoa ja ilmarako oli noin 2 mm
- hitsauspuikko oli OK 48.00 / 2,5 mm
- hitsausvirta oli 100 A

### Kokeen suoritus

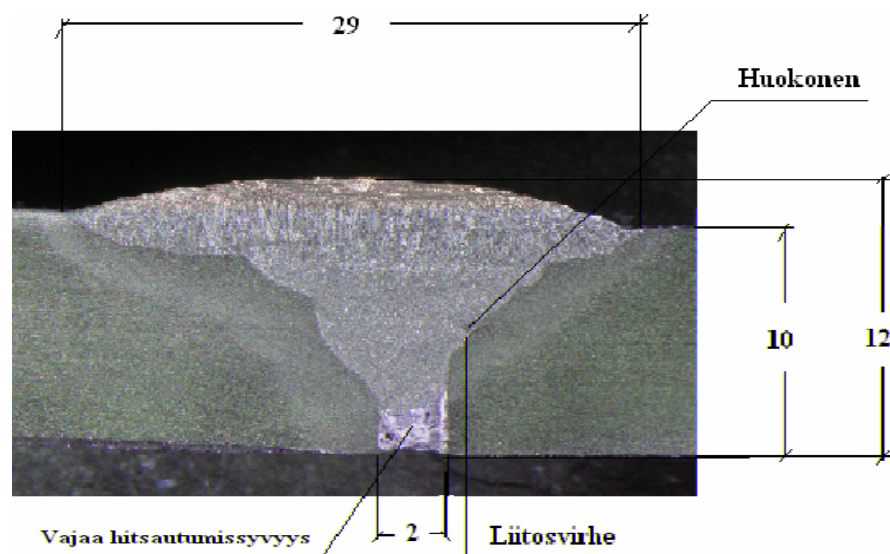
Koehitsaus suoritettiin yhdeltä puolen sisätiloissa hitsaamalla kaksi palkoa

### Tutkimukset

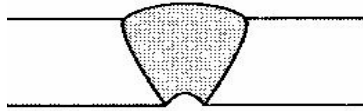
Tutkimukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohietutkimuksena.

### Tulokset

Kuvassa 43 on makrohie hitsistä ja kuvassa 44 periaate ilmenevästä hitsausvirheestä.



Kuva 43. Teräkset ja lisäaineet olivat märkiä ja hitsattiin kaksi palkoa.



Kuva 44. Periaatekuva vajaasta juuresta

Hitsissä havaittiin liitosvirhe, vajaata hitsautumissyvyyttä ja huokonen. Liitosvirheen syntymistä tässä tapauksessa olisi voinut estää suuntaamalla valokaari paremmin railon kylkiin.

### Johtopäätökset

Pohjapalon hitsauksessa on puikon koolla suuri merkitys, jotta voidaan päästä läpihitsautumiseen.

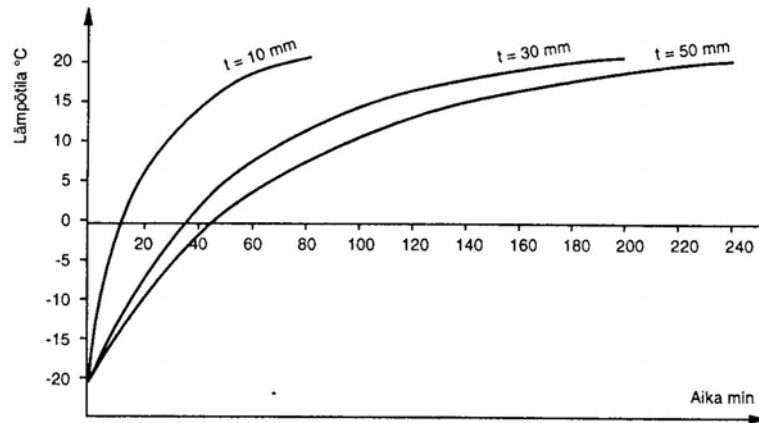
### **11.3. Kylmät olosuhteet**

Koska kokeita tehtäessä oli kesäaika eikä ollut aikaa odotella talven ja pakkasten tuloa, niin järjestettiin pakkasolosuhteet. Teräkset ja puikot laitettiin useaksi päiväksi pakastelokeroon. Hitsaus jouduttiin suorittamaan pajaolosuhteissa. Esivalmistelut ennen hitsausta tehtiin sellaisiksi, että työnsuoritus voitiin suorittaa välittömästi kappaleiden pakkasesta poisoton jälkeen.

Puikkojen ja koekappaleiden lämpötilat mitattiin ennen hitsausta.

Yleispätevänä ohjeena voidaan todeta, että työolosuhteet on järjestettävä sopiviksi. Hitsattava kohta pitää suojata tuulelta, sateelta ja lumelta. Hitsausta ei tulisi suorittaa, jos kappaleen tai ympäristön lämpötila on alle  $-5\text{ °C}$ . /32/ Kunnossapidossa tämä on mahdoton vaatimus, koska laitteita on ulkona. On myös otettava huomioon hitsauksen suorittajan olosuhteet. Jos hänellä on kylmä tai märkyys vaivaa, niin ei voi olettaakaan, että lopputulos on hyvä.

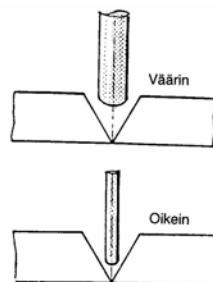
Jos levyjä säilytetään ulkona varastossa, niin varsinkin talvella ne tulisi ottaa sisälle hyvissä ajoin ennen hitsausta, jotta ne ehtivät lämmetä ja kuivua. Jos käytetään kosteita perus- ja lisäaineita, niin huokoisuusvaara on suuri. Kuvasta 45 selviää levyjen lämpenemisajat.



Kuva 45. Levyjen lämpeneminen pakkasesta - 20 °C:sta betonilattialla hallissa, jonka lämpötila on + 20 °C /32, s.42/

Koehitsaukset suoritti kaksi eri henkilöä.

Kuvasta 46 selviää koehitsauksen yleisin virhe. Koehitsauksissa käytettiin liian suurta puikon halkaisijaa pohjapalon hitsauksessa. Kun hitsattiin yhdellä palolla, niin ilmarakokin oli liian pieni.



Kuva 46. Puikon oikea koko pohjapalkkoa hitsattaessa

### Koe 5 / 3 Teräkset lämpimiä ja lisäaineet pakkasessa olleet

Koska oli kesäaika, jouduttiin pakkasolosuhteet tekemään keinotekoisesti. Käytimme hyväksemme pakastinta.

#### Lähtötilanne

- aineenvahvuus oli 15 mm
- teräkset olivat + 21,2 °C
- puikkona käytettiin OK 48.00 / 2,5 mm ja - 17,3 °C:een lämpötilassa
- käytettiin I - railoa ja ilmarako oli noin 2 mm
- hitsausvirta oli 80 A / 70 A

#### Kokeen suoritus

Kosteissa ja kylmissä olosuhteissa joudutaan usein käyttämään I - railoa, koska railon valmistus ei ole mahdollista. Siksi se valittiin tähän kokeeseen. Kunnossapitohitsauksia joudutaan näissä olosuhteissa tekemään hyvin usein kuljettimille ja niillä ainevahvuudet ovat 5 - 15 mm. Hitsauskohta on usein sellainen, että ei päästä suorittamaan juuren avausta eikä tekemään toiselta puolen juuripalkoa. Kuitenkin tässä kokeessa haluttiin juuri avata, koska se jäi vajaaksi alun perin ja halusimme nähdä tuloksen. Juuren avaus tehtiin käsihiomakoneella.

#### Tutkimukset

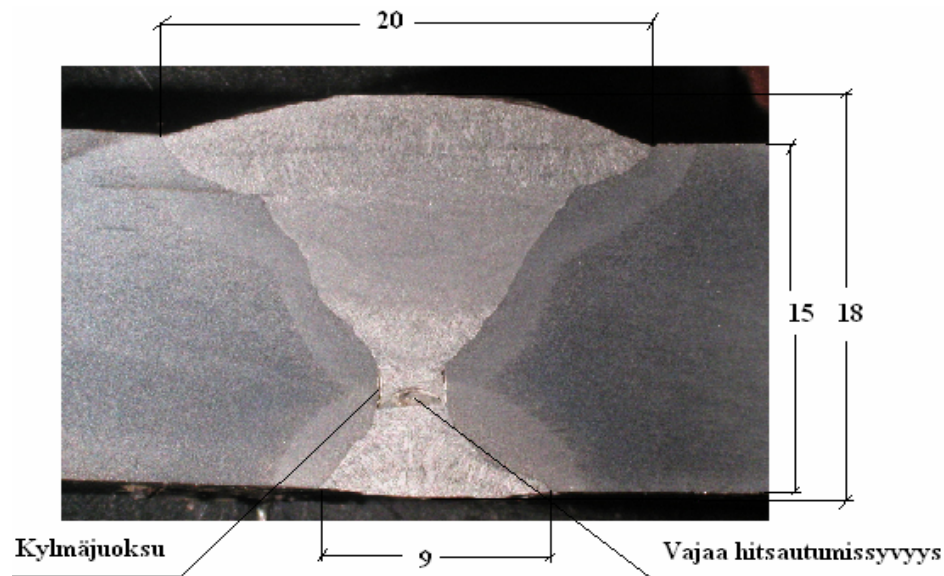
Tutkimukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohietutkimuksena.

## Tulokset



Kuva 47. Hitsin kylmäjuoksu

Kuvasta 48 näkyy, miten juuren avaus on onnistunut.



Kuva 48. Juuren avauksen ja juuren hitsauksen tulos

Hitsissä esiintyi joitakin pieniä huokosia. Roiskeita oli jonkin verran. Vajaa hitsautumissyvyyttä oli keskellä hitsiä, koska avattua juurta ei ole hitsattu tarpeeksi syvältä tai juuren avaus on jäänyt vajavaiseksi. Kylmäjuoksua oli myös havaittavissa

## Johtopäätökset

Vajaa hitsautumissyvyys ja roiskeet toistuvat kokeesta toiseen.

## Suositus

Keskustellaan ja katsotaan hieitä hitsaajien kanssa. Suunnitellaan lisäkoulutusta.

## Koe 6 / 3 Teräkset ja lisäaineet pakkasessa

Pakastinta käytettiin tässäkin tapauksessa apuna.

## Lähtötilanne

- aineenvahvuus oli 8 mm
- teräkset olivat - 6,3 °C
- puikot olivat OK 48.00 / 3,25 mm / 2,5 mm ja - 16,2 °C:een lämpötilassa
- käytettiin I - railoa ja ilmarako oli noin 2 mm
- hitsausvirta oli 100 A

## Kokeen suoritus

Vuorolaitosmies suoritti sisätiloissa normaali hitsauksen.

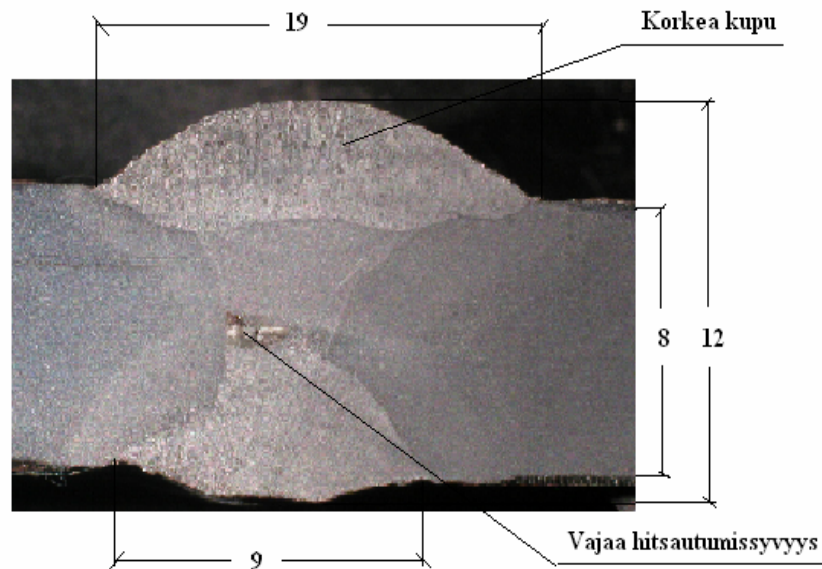
## Tutkimukset

Tutkimukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohioetutkimuksena.

## Tulokset

Kuvasta 49 selviää koehitsauksen tulos. Kuvissa 50 ja 51 on esitetty esiintyvät virheet.

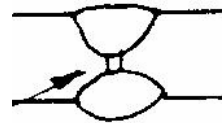




Kuva 49. Teräkset ja lisäaineet olivat olleet pakkasessa



Kuva 50. Korkea kupu



Kuva 51. Vajaa hitsautumissyvyys

Juuri avattiin tässäkin tapauksessa, koska hitsautumissyvyys oli vajaa. Tilanne ei parantunut, sillä juuren avaus oli suoritettu vajavaisesti tai juuripalko oli hitsattu liian suurihalkaisijaisilla puikoilla. Vajaa hitsautuminen jäi kappaleen keskelle. Roiskeita esiintyi runsaasti molemmin puolin kappaletta. Pintapalko oli liian korkea.

Koe 7 / 3. Teräkset ja lisäaineet pakkasessa

### Lähtötilanne

- aineenvahvuus oli 8 mm
- teräkset olivat - 6,4 °C
- puikot olivat OK 48.00 / 3,25 mm ja - 4,9 °C:een lämpötilassa

- käytettiin V - railoa ja ilmarako oli noin 2 mm
- hitsausvirta oli 90 A

### Kokeen suoritus

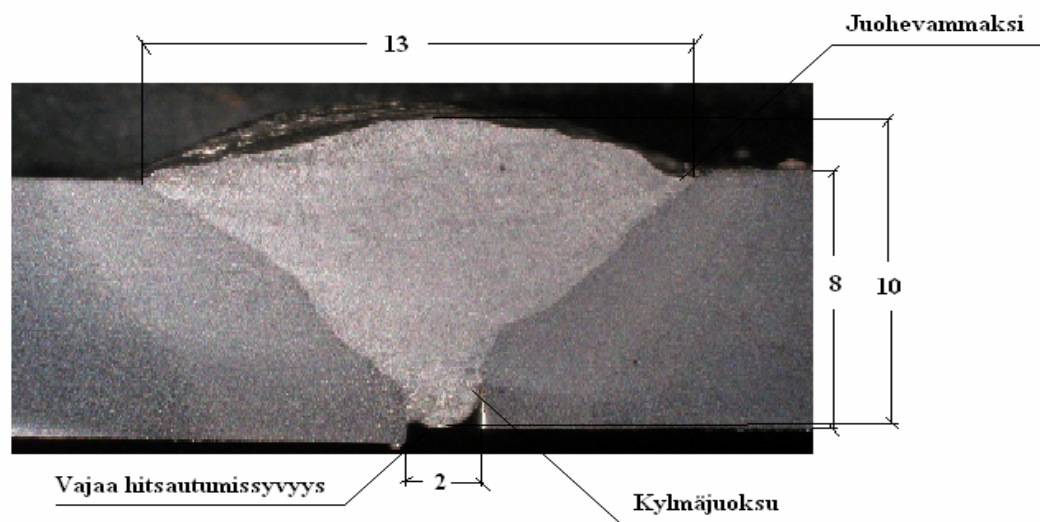
Haluttiin kuvata tilannetta, että ei päästä avaamaan juurta eikä hitsaamaan sitä. Valittiin isohalkaisijainen puikko. Käytettiin vain yhtä palkoa.

### Tutkimukset

Tutkimukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohietutkimuksena.

### Tulokset

Kuvasta 52 näkyy hitsauksen tulos.



Kuva 52. Isohalkaisijaisella puikolla hitsattu palko V - railoon

Tuloksesta huomattiin, että ilmarako oli liian pieni, koska kauttaaltaan jäi vajaa hitsautumissyvyys. Toisen puolen muutosvyöhyke oli laajempi kuin toinen. Oikean puolen liittymän pitäisi olla juohevampi. Se oli ikään kuin reunahaava.

### Johtopäätökset

Tulos osoitti, että parempaan tulokseen olisi päästy pienempihalkaisijaisella puikolla. Kuitenkin usein tilanne on se, että otetaan ensimmäiseksi käteen osuva puikko.

### Suositus

Jos yhdeltä puolen hitsattaessa halutaan estää vajaa hitsautumissyvyys, tulee käyttää suurempaa ilmarakoa tai ohuempaa puikkoa. Hitsausnopeuden pienentäminen auttaa myös asiaa.

### Koe 8 / 3. Teräkset ja lisäaineet pakkasessa

#### Lähtötilanne

- aineenvahvuus oli 15 mm
- teräkset olivat - 7,8 °C
- puikot olivat OK 48.00 / 2,5 mm / 3,25 mm ja - 7,4 °C:een lämpötilassa
- käytettiin V - railo ja ilmarako oli noin 2 mm
- hitsausvirta oli 100 A / 80 A

#### Kokeen suoritus

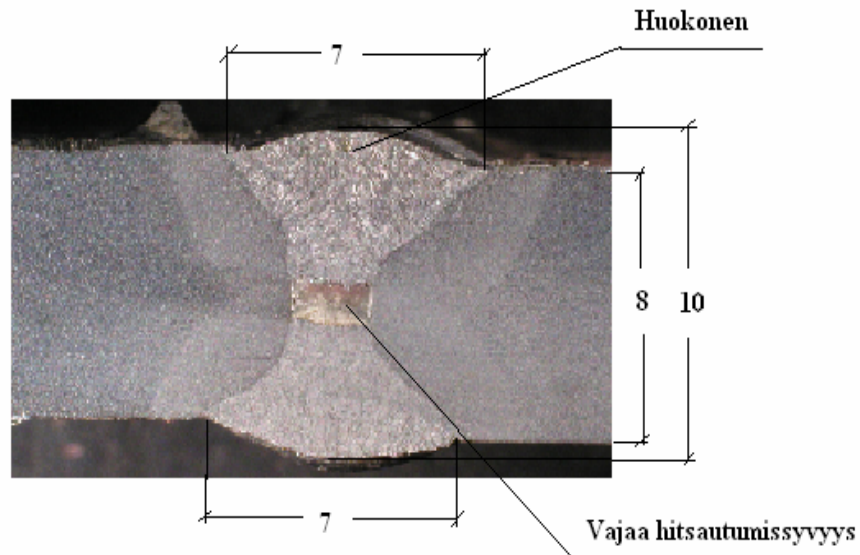
Hitsaus suoritettiin normaalisti.

#### Tutkimukset

Tutkimukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohietutkimuksena.

## Tulokset

Juuri avattiin tässäkin tapauksessa, koska jäi vajaata hitsautumissyvyyttä.



Kuva 53. Teräkset ja puikot olivat olleet pakkasessa

Hitsin keskellä oli vajaata hitsaussyvyyttä kuten kaikissa edellisissäkin. Roiskeita oli hieman molemmilla pinnoilla. Huokonen löytyi hitsin yläosasta.

## Johtopäätökset

Sama virhe toistuu kokeesta toiseen. Turha kiire on aiheuttanut uuden virheen eli liitosvirheen.

## Suositus

Rauhallisempi työskentely, juuren avaus syvemmältä juuri- / pohjapalon hitsaus pienempihalkaisijaisella puikolla.

## 11.4. Kovahitsaus

### Koe 9 / 4

#### Lähtötilanne

Kovahitsauksessa hitsataan kappaleen päälle kovalla ja kulutusta kestäväällä lisäaineella. /14, s.279/ Kovahitsausta käytetään tehtaalla pääasiassa kuluneiden osien kunnostukseen. Sitä voidaan käyttää myös uusien osien kulumiskestävyyden parantamiseksi. Kunnostuksella pyritään saattamaan kulunut osa alkuperäisiin mittoihin. Uusi osa voi olla kallis tai sen toimitusaika on pitkä, joten kunnostus on ainoa vaihtoehto.

Ennen kunnostukseen ryhtymistä on tiedettävä muutama perusasia. On tiedettävä, mistä kulumisen johtui, tiedettävä perusaineen materiaali, mitat ja pinnan viimeistelyn vaatimukset. /31, osa3, s.3-2/ Näiden jälkeen voidaan valita hitsausmenetelmä ja lisäaineet. On muistettava, että saman kovuiset pinnat koskettaessaan toisiaan aiheuttavat suuremman kulumisen, siksi olisi käytettävä eri kovuuksia. Yleensä ensimmäiseen palkokerrokseen ei saada haluttua kovuutta, koska perusaine / lisäaine saattavat sekoittua keskenään. Täten kovakerros laimenee.

Jos tarvitaan korotettua lämpötilaa, niin sen on kestettävä koko hitsaustapahtuman ajan. Lämpötila määräytyy lisä- ja perusaineen mukaan. /14, s.279/

Pinnan viimeistelytapa on huomioitava jo ennen työn aloittamista. Tämä siksi, että lisäaineita valittaessa on tiedettävä, tuleeko esimerkiksi koneistusta vai ei. Jos seosaine on korkeasti seostettu, niin syntyy helposti halkeamia jäähtymisen yhteydessä. Tämä ei aina ole pahasta, sillä se voi laukaista jännityksiä ja silloin hitsi pysyy paremmin perusaineessa. Useinkaan halkeilu ei heikennä kovahitsin ominaisuuksia.

Halkeilutaipumus kasvaa hitsattaessa suurella kuljetusnopeudella ja pienellä virralla. /31, osa3, s.3-6/

Kaksoisketjukuljettimen taittopyörän hampaat olivat kuluneet voimakkaasti. Uuden pyörän toimitusaika oli niin pitkä, että ei ollut aikaa sitä odottaa. Tästä syystä päätettiin suorittaa korjaushitsaus. Pyörät olivat polttoleikatut ja materiaali oli Fe 52. Oli pyrittävä tekemään kompromissi kohteiden kulumisen suhteen. Annetaanko pyörän kuluja edelleen vai kulutetaanko ketjua. Koska kuluminen oli ollut suurta, niin päätimme täyttää kuluman normaalilla perusaineella ja päälle yksi kerros kovahitsausta. Näin halusimme varmistaa kovahitsin luotettavan kiinnittymisen ilman esilämmitystä. Samoin sallimme pintasäröt ja siksikin ei tarvittu esilämmitystä eikä korotettua työlämpötilaa.

Kovahitsien muodonmuutoskyky on huono, mutta muodonmuutosvoimat ovat suuria. Tästä syystä vääntymiset ovat suuria.

Koska lisäaineet ovat runsaasti seostettuja, niin niitä on säilytettävä ja käsiteltävä kuivissa olosuhteissa.

### Kokeen suoritus

Täyttäminen suoritettiin MAG - menetelmällä, jossa käytettiin lankana OK Autrod 12.51. Langan halkaisija oli 1,0 mm. Kaasuna käytettiin Mison 25, joka sisältää mm. CO<sub>2</sub> 25 %, argonia 25 % ja NO 0,03 %. Hitsain oli + navassa ja hitsattiin kuumakaarialueella.

Koska kulumat olivat suuria, jouduttiin hitsaamaan useita palkoja päällekkäin.

Hitsattavia hampaita oli 5 kappaletta. Hitsauksessa ei käytetty esi- eikä jälkilämmitystä.

OK Autrod 12.51 on seostamaton yleislanka, jonka hiilipitoisuus on 0,1 %, piipitoisuus 0,85 % ja mangaanipitoisuus 1,5 %. Tämä soveltuu hyvin seostamattomille teräksille.

/65/

Viimeisen hampaan hitsauksen jälkeen aloitettiin hitsattujen hampaiden hiominen.

Hitsien jäähtyminen tapahtui hampaiden osalta muita hiottaessa. Hiottiin hieman lopullisen mitan alapuolelle.

Kovahitsaus suoritettiin emäspäällysteisillä kovahitsauspuikoilla OK 85.65 ja niiden halkaisijat olivat 2,5 mm. Virta oli 80 A. Puikon koostumus on hiiltä 0,9 %, kromia 4,5 %, molybdeeniä 7,5 %, wolframia 1,8 % ja vanadinia 1,5 %. Kovuus hitsauksen jälkeen on noin 60 HRC. Hitsattiin yksi kerros poikittain. Käytettiin yksi puikko / hammas. Lopuksi hampaat hiottiin lopulliseen muotoonsa ja mittaansa käsihiomakoneella.

Puikolla OK 85.65 on suuri hankauksen kestävyys, se kestää kohtuudella korroosiota, mutta iskusitkeys on pieni. /65/ On huomioitava, että puut tulevat hautomosta, jonka veden lämpötila on 35 - 40 °C ja pH 4 - 5.

### Tutkimukset

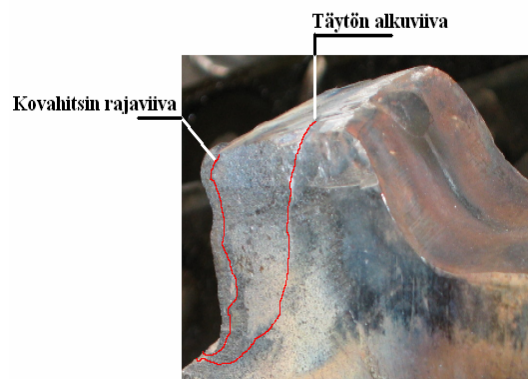
Tutkimukset tullaan suorittamaan silmämääräisesti kulumisen edistyessä. Katsotaan, kuinka kauan tällä tavalla korjattu pyörä kestää.

### Tulokset

Kuvista 54 ja 55 selviää, mitkä olivat työvaiheet ja millaisena pyörä vietiin käyttöön.



Kuva 54. Täytetty hammas



Kuva 55. Valmis hammas

Johtopäätöksiä tai suosituksia on vielä liian aikaista tehdä. Pyörä on ollut käytössä vasta kahdeksan viikkoa. Pyörä on toiminut moitteettomasti eikä näin lyhyen käytön jälkeen siinä ole vielä havaittavia kulumia. Tilannetta tullaan seuraamaan jatkossakin.

## 11.5. Valuraudan ja silumiinin hitsaus

### Koe 10 / 5

#### a. Valurauta

### Lähtötilanne

Kokeessa käytettiin sähkömoottorin laakerikilpeä, joka puristettiin halki. Käsihiomakoneella tehtiin V - railo. Valurauta oli tuntematonta laatua.

### Kokeen suoritus

Kappaleen puhdistus suoritettiin vain trasselilla, koska haluttiin nähdä tulos, joka vastaa käytäntöä. Tehtaalla on sorveilla valurautaisia koneen osia ja tarpeelliset kunnossapitohitsaukset suoritetaan koneen äärellä.

Koehitsaus suoritettiin Certanium 889 SP puikolla, joka on tarkoitettu kaikkiin asentoihin ja erityisesti korjaushitsauksiin kaikille valurautoille. Puikon koostumus on piitä 1,07 %, mangaania 0,70 %, nikkeliä 47,71 %, alumiinia 2,19 %, kuparia 0,56 % ja rautaa 47,76 %. Hitsaus suoritettiin kylmänä. Samoin hitsaaja teki työn omien oppiensä mukaan.

Hitsausvirta oli 80 - 90 A ja ainevahvuus noin 4 mm. Hitsauksen aikana laipassa ollut jäännösöljy kiehui sulan edessä. Hitsauksen jälkeen kappale jäähdytettiin hitaasti, koska lämpötila oli päässyt nousemaan liian korkeaksi hitsauksen aikana. Samoin hitsaus tapahtui liian suurilla paloilla.

### Tutkimukset

Tutkimukset suoritettiin vain silmämääräisesti, koska hitsaustulos oli niin huono, että tarkempi tutkiminen olisi ollut turhaa.



## Tulokset

Huokosten paljouden takia hitsi oli melkein kelvoton. Samoin esiintyi runsaasti vajaata hitsautumissyvyyttä. Vasarointi- ja taivutuskokeissa hitsausliitos kuitenkin oli luja eikä murtunut kuin pahimmilta kuona - alueilta.

## Johtopäätökset

Tehtaalla tulee pikaisesti kouluttaa henkilö valuraudan hitsaukseen, koska sorveilla on valuosia ja niitä joudutaan joskus korjaamaan hitsaamalla.

### b. Silumiini

Toinen sähkömoottorin laippa oli silumiinia, joka koostuu alumiinista ja piistä. Tälle tehtiin samat toimenpiteet kuin valurautaiselle laipalle.

Puikkona käytettiin Certanium 608 / 2,5 mm. Puikon koostumus on alumiinia 94,95 %, piitä 4,82 %, rautaa 0,18 %, mangaania 0,008 %, nikkeliä 0,005 %, sinkkiä 0,009 %, kuparia 0,02 % ja kromia alle 0,005 %. Hitsausvirta oli 65 A. Puikkoa oli vaikea saada syttymään, mutta syttyään kaari paloi rauhallisesti.

Koe suoritettiin kylmähitsauksena. Kappaleen annettiin jäähtyä hitaasti hitsauksen jälkeen.

Huokosia oli huomattavasti vähemmän kuin valuraudan hitsauksessa. Kuonasulkeumia ja reunahaavaa esiintyi. Näihin osaltaan oli syynä puikon huono syttyminen.

Johtopäätöksenä voi todeta, että koulutusta on annettava pikaisesti myös silumiinin hitsauksessa.

## 11.6. Päällehitsaus

### Koe 11 / 6

#### Lähtötilanne

Päällehitsausta käytetään erityisesti akseleita kunnostettaessa. Ennen hitsauksen aloittamista on tarkastettava mahdolliset vauriot ja halkeamat. Usein koneistus on tarpeellista ennen hitsausta. Sitä ei saa tehdä yli 5 mm lopullisen mitan.

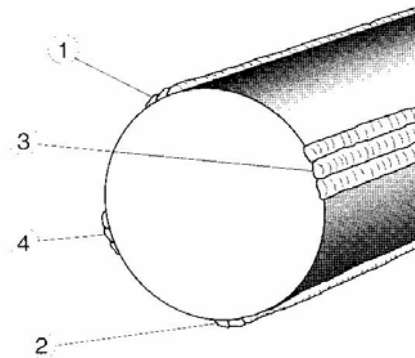
Käytettäessä niukkaseosteisia lisäaineita voi olla tarpeellista käyttää esilämmitystä välillä 200 - 350 °C paksuille ja korkean hiili- tai seosainepitoisuuden omaaville materiaaleille. Näin voidaan vähentää vetyhalkeamariskiä, kutistumisjännityksiä ja kovuutta muutosvyöhykkeellä. Palot on hitsattava tietyssä järjestyksessä, jotta välttyttäisiin vetelyiltä. Jäähdytys on suoritettava hitaasti. Kuvassa 56 on täytetty akseli ja kuvassa 57 on esitetty palkojen oikea hitsausjärjestys.



Kuva 56. Päällehitsattu akseli, jossa näkyy myös lämpövaikutusalueet

Tässä kokeessa lähtöarvot olivat

- akseliaine Fe 50



Kuva 57. Akselin päällehitsaus, jossa hitsausjärjestys on symmetrisesti vuorotteleva

- halkaisija, johon pyritään 45 mm
- akseli koneistettiin 40 mm
- pinta jätettiin vain hieman karheaksi
- hitsauspuikko oli OK 48.00 / 2,5 mm
- hitsausvirtana käytettiin 100 A
- hitsatut palot 20 + 20 + 1 kpl

### Kokeen suoritus

Palot hitsattiin myötöpäivään yhtäjaksoisesti ilman tiettyä hitsausjärjestystä. Hitsauksen jälkeen kappaleen annettiin jäähtyä noin 90 minuuttia. Aloitettaessa koneistusta oli kappaleen lämpötila noin 35 °C.

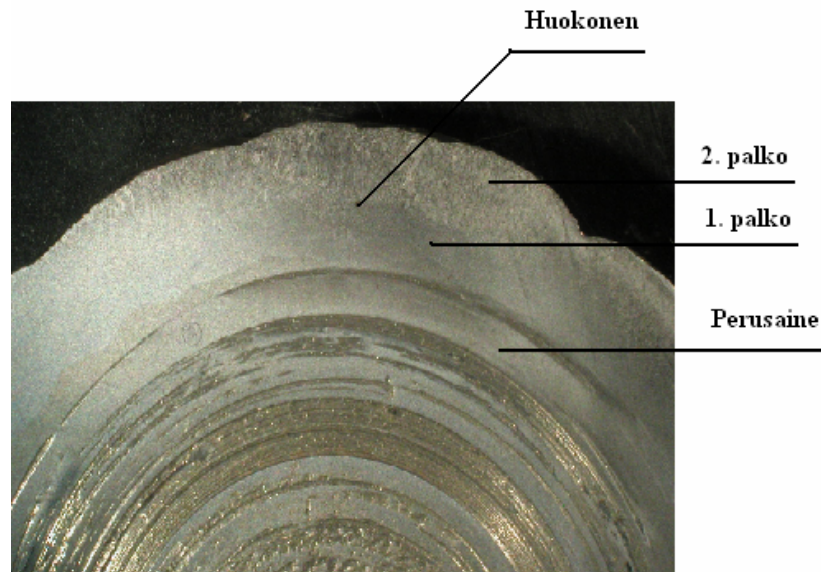
Koehitsaus tehtiin irralliselle akselin pätkälle ja täten ei voitu todeta luotettavasti, oliko akseli mahdollisesti taipunut.

### Tutkimukset

Tutkimukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston metallurgian laboratoriossa makrohietutkimuksena.

### Tulokset

Kuvasta 58 ilmenee koneistamattoman, mutta hiotun ja syövytetyn koekappaleen poikkileikkaus.



Kuva 58. Makrohiekkuva täytetyn akselin poikkileikkauksesta, jossa näkyy hitsatut palot ja koneistamaton pinnan muoto

Koekiekot otettiin koneistetusta osasta, hitsatusta osasta ja kuumenneesta perusaineesta. Kuitenkin tutkittiin vain täytetty osa.

Täyttö oli jäänyt kolmesta kohdin vajaaksi hieman, joka ilmeni koneistuksen jälkeen. Samoin löytyi muutama huokonen.

### Johtopäätökset

Täyttö tulee suorittaa huolellisemmin, jotta koneistuksen jälkeen ei jää vajaata täyttöä, joka voisi johtaa työn uudelleen suorittamiseen.

### Suositus

Huolellisuutta lisää, työn jälki muilta osin oli hyvä.

## 12. JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSIA

Tehtyjen kokeiden perusteella voi todeta, että tehtävän asettelun mukaisesti tulee laatia tietyt "käyttötymissäännöt". Näiden sääntöjen ei tarvitse sisältää kaikkea mahdollista hitsaukseen liittyvää, vaan vain se osa, joka kokeiden perusteella on osoittautunut tarpeelliseksi.

Ohjeiden tulee lähteä liikkeelle hitsaukseen liittyvistä perusasioista, jotka koskevat puikko-, MIG / MAG - ja TIG - hitsausta, sillä näitä käytetään yleisesti kunnossapitohitsauksissa.

Railon valmistus jää usein tekemättä tai se tehdään vajavaisesti. Siksi ohjeissa pitää käsitellä myös tätä aluetta. Tähän liittyy oleellisesti ilmarako ja sen merkitys.

Suuria puutteita on ollut puikkojen käsittelyssä ja säilytyksessä. Siitä huolimatta, että kaikki kunnossapitohitsaukset eivät ole kovinkaan vaativia, niin yleiseksi käyttötymismalliksi tulisi muotoutua puikkojen oikea käsittely.

Puikkoihin liittyen tulee ohjeista ilmetä myös oikea puikon koon valinta. Kuten kokeista näkyi, niin kaikkien koekappaleiden juuri jäi vajaasti hitsautuneeksi. Syynä näissä tapauksissa oli liian suuri puikon halkaisija sekä liian kapea ilmarako.

Usean kokeen tuloksena ilmeni roiskeita. Näitä voidaan vähentää pienentämällä virtaa, lyhentämällä valokaarta tai käyttämällä kuivia puikkoja. Nähdäkseni koehitsauksissa hitsausvirta oli oikea, mutta kaksi viimeksi mainittua tulee huomioida tarkemmin.

Juuren avauksessakin oli puutteita. Lähinnä siten, että sitä ei tehty tarpeeksi "syväälle" ja tuloksena kuonaa jäi juurihitsin alle. Samoin juuripalkoa ei hitsattu tarpeeksi syväälle.

Vetelyä esiintyi varsinkin ohuilla ainepaksuuksilla. Tätä voidaan vähentää käyttämällä tukevaa silloitusta, hitsaamalla paksumpia palkoja tai muuttamalla hitsausjärjestystä.

Pakkasesta otettavien terästen hitsauksenotto pitää olla ohjeistettu. Usein on niin kiire, että hitsaus täytyy aloittaa heti. Näin menetellen tulee ongelmia, mutta niiden poistamiseksi pitää toimintatapoja muuttaa.

Valurautojen ja silumiinin hitsaus on " oma maailmansa ". Koska henkilökunnassa on tapahtunut muutoksia, niin on pikaisesti korjattava tilanne. Kunnossapidossa pitää olla valuraudan hitsaamisen osaamista tiettyyn tasoon asti. Näin on siksi, koska paikkakunnalta ei ole saatavissa kyseiseen hitsaukseen apua. Avun tarve useimmiten on sellaiseen aikaan, että ulkopuolisen etsiminen on vaikeaa. Koulutuksen antaminen on ainoa tapa hoitaa asiaa eteenpäin. Mieluiten tulisi kouluttaa ainakin kaksi henkilöä.

### 13. YHTEENVETO

Diplomityössä käsiteltiin kunnossapidon erästä osa - aluetta - hitsausta, jota ei ole pidetty tehtaalla kovin merkittävänä. Diplomityöni tavoitteena oli selvittää mekaanisen puunjalostuksen kunnossapitohitsauksessa huomioitavat asiat ja laatia niiden pohjalta vaneritehtaan käyttöön kunnossapitohitsauksen ohjeistus. Työssä esiteltiin niitä hitsauksen perusasioita ja menetelmiä, jotka liittyivät läheisesti kunnossapitohitsauksiin. Työn kokeellisessa osassa tutkittiin sellaisia merkityksellisiä hitsauskohteita, joita vaneritehtaan kunnossapidossa ilmenee. Kokeita hitsattaessa ja muutoinkin tarkkailtiin hitsaajien käyttäytymistä kaikissa hitsaukseen liittyvissä toiminnoissa.

Tilanne kunnossapitohitsausten osalta oli odotettua parempi. Pääsääntöisesti kunnossapitohitsaukset eivät ole aiheuttaneet koneiden ylimääräisiä seisokkeja, mutta on ollut tilanteita, joissa samaa kohtaa on jouduttu korjaamaan hitsaamalla useamman kerran uusiutuneen vaurion takia.

Hitsauskokeiden perusteella selvisi, että sama hitsausvirhe toistui kaikissa liitohitsauksissa. Se, että virhe ei ole aiheuttanut tehtaalla suurempia ongelmia tähän mennessä, johtuu osittain siitä, että rasitettuihin kohtiin suoritettavat hitsaukset tekee henkilö, joka on saanut hitsauskoulutusta enemmän kuin vuorolaitosmiehet.

Ohjeiden on oltava yksinkertaisia ja lyhyitä, koska muuten niihin tutustuminen jää puutteelliseksi. Koulutusta on lisättävä varsinkin vuoromiehille, koska he joutuvat suorittamaan kunnossapitohitsauksia vain yhtenä osana työtehtäviään. Samoin heidän suorittamansa hitsaukset tapahtuvat usein hankalissa ja vaikeissa olosuhteissa.

Vedenalaista hitsausta emme tule harrastamaan korjausmenetelmänä. Kuitenkin jatkossa teemme lisäkokeita pelkästä omasta mielenkiinnosta ja jos niiden tuloksena pääsemme pitemmälle kuin nyt, niin sitten asiaa harkitaan uudelleen.

Valuraudan ja silumiinin hitsaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota tällä hetkellä, koska sen taitaminen puuttuu. Laitteita ei ole useita, jotka tätä hitsausta tarvitsisivat, mutta ne ovat sitä tärkeämpiä.

Kaiken kaikkiaan hitsauskokeiden suorittaminen ja näytepalojen tutkiminen avasi uusia alueita ja tuloksia, joita vuosikymmenten työrupeaman aikana ei kuvitellut olevankaan hitsauksen alueella. Merkittävin havainto oli, että hitsaus pitää nostaa erääksi tärkeimmistä korjausmenetelmistä myös kunnossapidossa. Koulutuksen tärkeys korostui ja siksi siihen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

## Liiteluettelo

- Liite 1 Vanerin prosessikaavio
- Liite 2 Eräitten termien selvennyksiä



## Lähteet

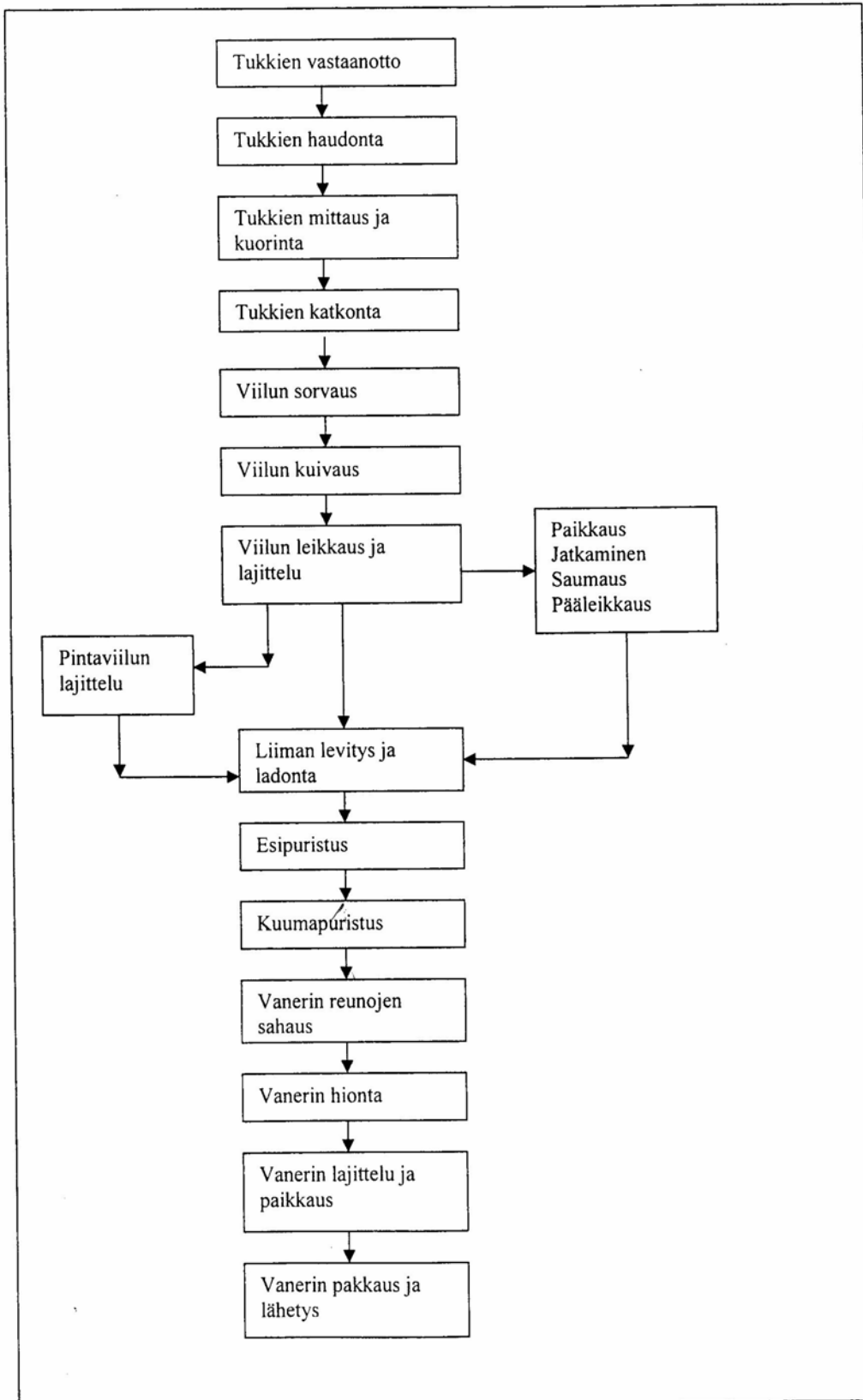
1. Raute Wood - LVL - teknologia. Saatavana:  
[http://www.rautewood.fi/Tuotteet\\_palvelut/LVL\\_teknologia.html](http://www.rautewood.fi/Tuotteet_palvelut/LVL_teknologia.html)
2. Terästen lämpökäsittelyt. Saatavana:  
<http://personal.inet.fi/koti/harri.nevalainen/tietoisk/lampokasittelyt.htm>
3. Plymac Oy, esite, 2004
4. Schauman Wood Oy:n, Savonlinnan tehtaan sisäinen lehti, 2002
5. SFS - EN 13306, Kunnossapitosanasto, Suomen standardisoimisliitto, 2000
6. Kunnossapito/Julkaisusarja N:o 10, Kunnossapitoyhdistys, KP - Media Oy 2004  
ISBN 951 - 97101 - 6 - 7
7. J. Monbray, The Responsible Custodianship of Physical Assets,  
<http://www.aladon.co.uk/08ap.html>
8. Käynnissäpidon johtaminen ja talous, SCEM / 1996, Painoyhtymä Oy, Loviisa
9. ISO 9000: 2000, Laatuja järjestelmästandardi  
ISO 14001: 1996, Ympäristöjärjestelmästandardi  
OHSAS 18001: 2003, Työterveys- ja turvallisuusjärjestelmät
10. Kunnossapidon käsitteet: PSK 6201 EHD, 1994
11. Kunnossapito ja käyttövarmuus , Oy Safematic Ltd, 1985, Gummerus,  
ISBN 951 - 99614 - 5 - 3
12. Raute Wood Oy, KNL – seuranta, 2000
13. DIN 8528: Schweissbarkeit, metallische Werkstoffe, Begriffe ( Ausgabe 6.73 )
14. Pertti Lepola ja Matti Makkonen: Hitsaus ja teräsrakenteet, WSOY, Konetekniikka,  
1998, ISBN 951 - 0 - 21573 - 2
15. R. Suoranta, Johdatus liittämistekniikkaan, Perusteita ja Terminologiaa, 2002
16. Juha Lukkari, Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus, opetushallitus, Oy Edita  
Ab, 1998, ISBN 951 - 719 - 469 - 2
17. SFS 3052: 1996, Hitsaussanasto
18. Hitsaustekniikka. Saatavana: <http://ylivieska.cop.fi/sjjopiskelijat/Konetekniikka>  
2002/kotisivut/
19. Stig Blom: Hitsaustekniikka 2, Rakenne ja aineoppi, WSOY, 1975
20. Pekka Rajamäki: Metallioppi, Jatko - osa, 5.4.2002, taso - opinnot 2

21. Stig Blom: Hitsaustekniikka 1, Hitsausmenetelmät, WSOY, 1975
22. Ihalainen - Aaltonen - Aromäki - Sihvonen: Valmistustekniikka, Otatieto 487, Gummerus 1998, ISBN 951 - 672 - 205 - 9
23. Hitsausmenetelmät ESDEP työryhmä 3, Teräsrakennetekniikka, Luento 3.4:  
Saataavana: <http://www.vtt.fi/virtual/try/Esdep/12/HTML/WG2L6.html>
24. Jukka Martikainen, professori, LTKK, luento 6.4.2002, hitsauksen taso - opinnot, alue 2: Hitsausmetallurgian peruskäsitteitä ja hitsattavuus
25. Materiaalin valinta. Saataavana:  
[http://butler.cc.tut.fi/~juhan/mvv\\_2002/vmv\\_2\\_1\\_1.html](http://butler.cc.tut.fi/~juhan/mvv_2002/vmv_2_1_1.html)
26. EWE,DI Ilkka Poutiainen, Teräsrakenteet: Saataavilla:  
[www.omeinweb.com/OME.Terasrakenteet.html](http://www.omeinweb.com/OME.Terasrakenteet.html)
27. Juha Lukkari, OY Esab: Hitsien laatu ja hitsausvirheet, Hitsausuutiset, 2000 - 2001
28. Juha Lukkari: Lämmöntuonti ja hitsausenergia, Hitsausuutiset 2/2003,
29. Teräsrakennetekniikka. Saataavana:  
<http://www.vtt.fi/virtual/try/Esdep/12/HTML/WG2L6.html>
30. Jukka Martikainen, professori, LTY, Hitsaustekniikan jatkokurssi, osa 2, luennot 16.11.2002
31. Korjaushitsauskäsikirja, Oy Esab, 1 - 5, 2004
32. Raaka - ainekäsikirja N:o 1, 2001, Muokatut teräkset, MET, ISBN 951 - 817 - 751 - 1
33. Valurautojen ryhmittely. Saataavana:  
[http://butler.cc.tut.fi/~juhan/mvv\\_2002/vmv\\_2\\_1\\_1.html](http://butler.cc.tut.fi/~juhan/mvv_2002/vmv_2_1_1.html)
34. Artikkelit. Saataavana: [www.tuittusteel.fi/cgi-bin/](http://www.tuittusteel.fi/cgi-bin/)
35. ESDEP (Eurooppalainen teräsrakenteiden suunnittelun koulutusohjelma, European Steel Design Education Programme ), Rakenneterästen hitsattavuus, 1988, luento 2.6: Saataavana: <http://www.vtt.fi/virtual/try/Esdep/12/HTML/WG2L6.html>
36. SFS - EN 10020: 2000, Teräslajien määritelmät ja luokittelu
37. DI Juha Lukkari, Oy Esab. Kuumalujat teräkset ja niiden hitsaus, Kunnossapitokoulu n:o 49: Kunnossapitolehti 10/1998
38. Juha Lukkari, Oy Esab. Musta / ruostumatonteräs - eripariliitosten hitsaus. Kunnossapitokoulu N:o 59, Kunnossapitolehti 7 / 2000

39. Dipl.ins. Juha Lukkari, Oy Esab. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus, Kunnossapitokoulu n:o 50: Kunnossapitolehti 5/1999
39. Raaka - ainekäsikirja, Metalliteollisuuden Kustannus Oy/MET/ , 5/2002/Alumiini ISBN 951 - 817 - 829 - 9
41. DI Seppo Tuomola, Esab Oy. Valuraudan hitsaus, Kunnossapitokoulu n:o 42: Kunnossapitolehti 8/1997
42. Raaka - ainekäsikirja, Metalliteollisuuden kustannus Oy, MET, 2 / 2001, Valuraudat ja valuteräkset, ISBN 951 - 817 - 757 - 0
43. Tunteaton: Valuraudan hitsaus. Saatavana <http://www.google.fi>
44. Valuraudan hitsaus. Saatavana [http://www.keerna.hut.fi/vp/tiedostot/luennot/kpl1\\_6\\_14b.html](http://www.keerna.hut.fi/vp/tiedostot/luennot/kpl1_6_14b.html)
45. Hitsausmenetelmät. Saatavana: <http://www.esab.fi/Templates/T026asp?id=7048>
46. Esabin hitsauslisäaineiden varastointi-, käsittely- ja kuivausohjeet, 2004
47. Tuoteluettelo. Saatavana: [www.aga.com/Web/web2000/fi/WPP.nsf/pages](http://www.aga.com/Web/web2000/fi/WPP.nsf/pages)
48. Kaarijuotto. Saatavilla: [http://www.kemppi.com/internet/pronews.nsf/public/0302\\_fi\\_sivu05.html](http://www.kemppi.com/internet/pronews.nsf/public/0302_fi_sivu05.html)
49. Juha Lukkari: Ohutlevyjien MIG - juotto, Hitsausuutiset 4/2002
50. Valokaari, Kemppikoneet Oy: Vaihtoehtona kaarijuotto sinkittyjen levyjen hitsaukseen, lehti 2/2000
51. Kalervo Leino, Esa Hiltunen: MIG - juotto haastaa hitsauksen, Hitsaustekniikka 1/2001
52. Veikko Issakainen, Oy Aga Ab: Polttoleikkausvinkki, Kunnossapitolehti 2 / 2004, KP - Media
53. Jorma Männikkö, Esko Hyssy, Veikko Karjalainen, Onni Muhonen, Martti Rinkari, Kalevi Salminen: Polttoleikkaus, Valtion painatuskeskus, 1990
54. Kari Korpiola, Ingmar Westerlund, Pikoteknik Oy. Termiset ruiskutusmenetelmät, Kunnossapitokoulu n:o 74, Kunnossapitolehti 3/2002
55. Liekkiruiskutus. Saatavilla: <http://www.aga.com/Web/web2000/fi/WPP.nsf/pages>
56. Useita kirjoittajia, Koonneet Jarmo Heinonen, Karoliina Tamminen: Laatuajattelu kunnossapidossa, Kunnossapitokoulu n:o 63: Kunnossapitolehti 2/2001
57. UPM:n toimintajärjestelmä, 2004
58. BS 8800: 1998, Ohje työterveys- ja turvallisuusjohtamisjärjestelmistä

59. Jukka Martikainen / Kevät 2003: Hitsauksen laadunvarmistus
60. Useita kirjoittajia, Koonnut Karoliina Tamminen: Laatu-, ympäristö- ja työterveys & turvallisuusjärjestelmät käytännön kunnossapitotyössä, Kunnossapitokoulu n:o 64: Kunnossapitolehti 3/2001
61. SFS - EN 729: 1995, Hitsauksen laatuvaatimukset
62. Jukka Martikainen, professori, LTKK, Hitsauksen jatkokurssi, osa 1, luento 9.11.2002
63. Jukka Martikainen, professori, LTY: Halkeamailmiöt ja hitsattavuuskokeet, 2003
64. Jukka Martikainen, professori, LTY: Hitsin jähmettyminen, 2003
65. ESAB: OK hitsauslisäaineet, 1986
66. Termien selitykset. Saatavana:  
[http://www.teknologiateollisuus.fi/files/4941\\_sanakirja2004.pdf](http://www.teknologiateollisuus.fi/files/4941_sanakirja2004.pdf)

## VANERIN VALMISTUSPROSESSI



## Liite 2

### Eräiden termien selvennyksiä

Absorboida	Imeä itseensä
Austeniitti	Tämä on raudan ja hiilen jähmeä liuos ja samalla toinen raudan allotropoisista muodoista. Hiilen liukoisuus on suurimmillaan 2,11 % , lämpötilassa 1148 astetta. On sitkeää ja hyvin muovattavaa. Kiderakenne on pintakeskinen kuutiohilallinen ( p.k.k. )
Austenitointi (liuoshehkutus )	Teräksen lämpökäsittely, jossa rakenne muutetaan austeniittiseksi
Bainiitti	Alhaisissa lämpötiloissa muodostuu eutektoidisessa reaktiossa austeniitista ferriitin ja sementiitin seosta
Elastisuus	Se kiinteän aineen ominaisuus, kun kappale muuttaa muotoaan ulkoisen voiman vaikutuksesta, mutta palautuu alkuperäisiin mittoihin, kun ulkoisen voiman vaikutus lakkaa.
Erkautuminen	Jähmeän liuoksen hajautuminen sen tullessa lämpötilan muutoksen seurauksena ylikyllästeiseksi. Erkauma on erkautumisen tuloksena syntyvä uusi kiinteä faasi.
Erkautumiskarkeneminen	Erkautumisen yhteydessä tapahtuva karkeneminen, jota voidaan kiihdyttää lämpötilaa nostamalla. Erkautumiskarkenemistä seurataan lujusvaihteluiden avulla.
Eutektinen reaktio	Sula - aine jäähtyy niin, että syntyy kaksi kiinteää faasia.
Faasi	On kidelajialue. Jokainen kidelaji muodostaa oman faasin.
Ferriitti	Tämä on raudan ja hiilen jähmeä liuos. Toinen raudan allotropoisista muodoista. On $\alpha$ - ja $\delta$ - ferriittiä. Hiilen liukoisuus on max 0,02 % , 727 °C lämpötilassa. Tämä on normaalisti sitkeää ja hyvin muovautuvaa. Kiderakenne on tilakeskeinen kuutiollinen ( t.k.k. ).
Allotropia	Tämä kuvaa tietyn aineen kykyä esiintyä kahdessa tai useammassa muodossa. Nämä ovat kemiallisesti identtisiä, mutta niillä on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet.
Ferriittis - perliittinen rakenne	Tämä on ferriitti - ja perliittikiteiden muodostama rakenne. Syntyy normalisoinnin ja normaalin jäähtymisen tuloksena. Esiintyy alle 727 °C lämpötiloissa.

Hila	Säännömukainen rakenne, jolla kiteen sisäinen järjestys toistuu.
Inerttisuojakaasu	On suojakaasu, jolla pyritään estämään hapettumista ja hiilenkatoa.
Jähmettymiskutistuminen	Metallin tai muun aineen tilavuuden pieneneminen sen jäähtyessä. Metalleilla se on 1 - 2 %
Karkenevuus	Terästen taipumus muuttua sammutettaessa austeniitista martensiitiksi.
Kiderakenne	Atomien muodostama säännöllinen rakenne, jolla atomit pakkautuvat hilojen ja atomiryhmien mukaisiksi kiteiksi monin eri tavoin.
Kimmoraja	Tämä on jännitysvenymäkuvaajassa oleva piste, jonka jälkeen jännitys aiheuttaa kappaleelle plastisen muodonmuutoksen. Kimmorajalla käyrän kulmakerroin laskee.
Kuona	Kuonalla voidaan poistaa epäpuhtauksia ja suojata hapettumiselta.
Kuonasulkeuma	Yhteisnimitys oksideja ja mahdollisesti sulfideja sisältäville sulkeumille metallin sisällä. Nämä ovat yleensä haitallisia.
Kuumahauraus	On metallin huono kyky kestää plastisia muodonmuutoksia kuumana.
Kuutiohila pintakeskeinen	Atomit sijaitsevat kuution nurkissa ja sivutahkojen keskipisteessä.
Kuutiohila tilakeskeinen	Atomit sijaitsevat kuution nurkissa ja keskustassa.
Martensiitti	On hiilikyllästetty ferriitti, joka on kovaa ja haurasta. Syntyy, kun austeniitti jäähdytetään nopeasti. Syntyneen martensiitin hiilipitoisuus on sama kuin austeniitin, josta se on syntynyt.
Myötöraja	On se minimijännitys, jolla vetokokeessa saadaan aikaan plastinen muodonmuutos.
Perliitti	Suhteellisen korkeissa lämpötiloissa austeniitin hajautumisessa eutektoidisessa reaktiossa syntyvä rakenne, jonka muodostavat ferriitti - ja sementiittilamellit.

Plastinen muodonmuutos	Ainakin osittain pysyväksi jäävä muodonmuutos, joka tapahtuu, kun kappaletta kuormitetaan yli kimmorajan.
Raeraja	On vyöhyke, joka erottaa jähmettyneessä aineessa kiderakenteesta yksittäisiä rakenteita. Jokainen rae liittyy naapurirakenteeseen raerajalla.
Rauta - hiili - olotila- piirros	On piirros, josta voidaan päätellä teräksen mikrorakenteen muutoksia eri hiilipitoisuuksilla ja lämpötiloissa.
Sementtiitti	On raudan ja hiilen muodostama yhdiste, karbidi ( $Fe_3C$ ). Tämä on hauras ja kova sekä hajoaa 1300 - 1900 asteessa.
Seosaine	On seoksen komponentti ja sillä pyritään muuttamaan aineen ominaisuuksia tai mikrorakennetta.
Suotautuminen	Esimerkiksi hitsin jäähtymisen aiheuttama epähomogeenisuus kappaleen eri osissa.
Teräs	On rautahiiliseos, jossa on hiiltä alle 2,11 %. Sisältää yleensä myös piitä, mangaania, fosforia, rikkiä ja muita alkuaineita.

/66/