

# NAUHOJEN LIITOSHITSIN OMINAISUUDET JA VAATI- MUKSET

Huusko Kari

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Kari Huusko	Vuosi	2019
<b>Ohjaajat</b>	TkL, IWE, IWI-C Timo Kauppi DI Raimo Ruoppa		
<b>Toimeksiantaja</b>	Outokumpu Stainless Oyj		
<b>Työn nimi</b>	Nauhojen liitoshitsin ominaisuudet ja vaatimukset		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	56 + 3		

---

Opinnäytetyö tehtiin Outokumpu Stainless Oyj:n kylmävalssaamon HP2- ja HP4-linjoille. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää linjoilla tuotenuhohiin tehtävän liitoshitsin ominaisuuksia ja vaatimuksia. Kiekkolitistyshitsauksella tehtävä liitos joudutaan usein uusimaan ja pahimmillaan huonolaatuinen hitsi johtaa hitsausliitoksen katkeamiseen linjan prosessiosassa. Tavoitteena oli aikaansaada kerralla valmis, ominaisuuksiltaan kelpollinen hitsi. Työssä selvitettiin, millaiset vaatimukset onnistunut hitsaus ja sen tarkastaminen vaatii.

Opinnäytetyö aloitettiin tekemällä linjojen operaattoreille kysely, jossa selvitettiin heidän tapaansa toimia hitsauskoneen säätämisessä ja hitsausliitoksen tarkastamisessa. Linjoilta kerättiin myös loveuspaloja, joille tehtiin vetokoe ja mikrorakennetarkastelu. Tällä selvitettiin hitsauksen laadun nykytilannetta. Lopuksi selvitettiin linjoilla ajettuja materiaalivirtoja, jotta saatiin käsitys ajettujen nauhojen paksuuksista ja teräslaaduista.

Tulokset osoittivat, että operaattorit lähes poikkeuksetta muuttavat hitsauskoneen säätöjä. Tulosten perusteella tälle ei voida kuitenkaan esittää selkeitä syitä. Mikrorakennetarkastelu osoitti, että hitsiliitoksissa oli suuria eroja ja esimerkiksi vain yhdessä hitsissä oli havaittavissa kiekkolitistyshitsauksessa liitokseen yleensä syntyvä hitsauslinssi. Vaatimustenmukaisuuden saavuttamisen suhteen yksi olennainen muuttuja oli teemahaastattelujen tulosten perusteella hitsauskoneen huolto. Hitsauskoneiden huolto ja operaattoreiden koulutus olisi järkevää toteuttaa standardin SFS-EN ISO 14554-1:2013 vaatimusten mukaisesti.

Avainsanat

hitsaus, standardi, teemahaastattelu

Technology, Communication and Transport  
Mechanical and Production Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Kari Huusko	Year	2019
<b>Supervisor</b>	Lic. (Tech.), IWE, IWI-C Timo Kauppi, and M(Sc.) Raimo Ruoppa		
<b>Commissioned by</b>	Outokumpu Stainless Oyj		
<b>Subject of thesis</b>	Roller Mash Seam Welding and Standards		
<b>Number of pages</b>	56 + 3		

---

This thesis was implemented for the AP2 and AP4 lines located in Outokumpu Stainless Oyj cold rolling mill. The aim of the thesis was to study the properties and requirements of the mash seam weld prepared in the line. The mash seam welded joints must often be renewed and, at worst case, poor quality leads to a weld breakage in the process area of the line. The goal was to produce a ready-made, proper quality weld at once. In this thesis, the requirements for successful welding and its inspection were examined.

The thesis was started by conducting a questionnaire to the line operators to find out how they work with the welding parameters and testing of the weld. The samples were also collected from the lines in order to execute tensile testing and microstructure examination. This was done in order to evaluate the state-of-the-art of the welding quality. Finally, the material flows in the lines were studied in order to gain an understanding of the thickness of the strips and the quality of steel.

The results showed that operators almost invariably change the settings of the welding machine. However, the results do not give clear reasons for this. The microstructure analysis showed that there were large differences in the weld joints and, for example, only one weld had a welding lens that was usually formed in the disc-welding joint. One of the essential variables for achieving compliance was the maintenance of the welding machine based on the results of the theme interviews. The welding machine maintenance and operator training would be sensible to meet the requirements of standard SFS-EN ISO 14554-1: 2013.

Key words                      welding, standard, theme interview

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN KYLMÄVALSSAUSPROSESSI.....	10
2.1	Kuumanauhan hehkutus ja peittäus.....	10
2.2	Kylmävalssaus.....	11
2.3	Loppuhehkutus ja peittäus .....	12
2.4	Viimeistelyvalssain, venytysoikaisu ja hiontalinja.....	13
2.5	Leikkauslinjat .....	14
3	KIEKKOHITSAUS JA HITSAUSKONEET .....	15
3.1	Vastushitsauksen säädettävät parametrit .....	16
3.2	Lämmöntuonti ja lämpötasapaino .....	17
3.3	Työkappaleen sähköinen vastus.....	18
3.4	Kiekkolitistyshitsaus .....	19
3.5	HP2- ja HP4-linjan hitsausasemat .....	20
3.6	Loveuspala .....	21
3.7	Vastushitsauksen laatuvaatimukset.....	22
4	HITSIEN TESTAUKSESSA KÄYTETYT MENETELMÄT .....	25
4.1	Vastushitsauksen hitsausohjeen hyväksyminen (SFS-EN ISO 15609-5) 25	
4.2	Vastushitsauksen menetelmäkoe (SFS-EN ISO 15614-12).....	25
4.3	Silmämääräinen tarkastus (SFS-EN ISO 17637).....	26
4.4	Piste-, kiekko- ja käsnähitsien leikkausvetokoe (SFS-EN ISO 14273).28	
4.5	Vastushitsin repäisykoe (SFS-EN ISO 14270).....	31
4.6	Piste- ja käsnähitsien poikittainen vetokoe (SFS-EN ISO 14272).....	32
4.7	Hitsin kovuuskoe (SFS-EN ISO 14271) .....	32
4.8	Vastuspistehitsien vääntökoe (SFS-EN ISO 17653).....	33
5	KOEMENETELMÄT .....	35
5.1	Haastattelut.....	35
5.2	Ajettujen nauhojen paksuus- ja laatujaumat.....	35
5.3	Liitosten lujuuden nykytilan selvitys .....	35
5.4	Mikrorakennetarkastelu.....	37
6	TULOKSET.....	38

6.1	HP2-linjan teemahaastattelut.....	38
6.2	HP4-linjan teemahaastattelut.....	41
6.3	Linjoilla ajettujen nauhojen paksuusjakauma ja laatu .....	43
6.4	Vetokokeet.....	46
6.5	Hitsin mikrorakenne .....	48
7	TULOSTEN TARKASTELU .....	51
8	POHDINTA.....	54
	LÄHTEET.....	55
	LIITTEET .....	56

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Outokummun hehkutus- ja peittauslinjojen käyttöpäällikkö Heikki Seppästä mielenkiintoisesta sekä haastavasta opinnäytetyön aiheesta.

Kiitos kuuluu myös kaikille työnvalmistumiseen vaikuttaneille ohjaajille Outokumpu Stainless Oyj:n puolelta; tutkimusinsinööri Hannu-Pekka Heikkiselle sekä kehitysinsinööri Juho Keskitalolle.

Kiitokset Lapin AMK:n Uudistuvan teollisuuden TKI-ryhmän Arctic Steel and Miningin puolelta erityisasiantutija Raimo Ruopalle. Tärkein ja arvokkain kiitos siitä, että tämä työ on valmistunut, kuuluu ohjaaja Timo Kaupille. Harvoin olen tavannut yhtä työllään omistautunutta ihmistä, jolla on aina aikaa sekä tietoa silloin kun sitä tarvitsee.

Kiitos myös puolisololleni, joka jaksoi kannustaa ja pitää perhettä pystyssä koko tämän matkan ajan.

Keminmaassa 19.5.2019

Kari Huusko

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

KYVA	kylmävalssaamo
RETU	Outokummun tuotannonohjausjärjestelmä
pWPS	alustava hitsausohje
HP-linja	Hehkutus- ja peittäuslinja

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Outokumpu Stainless Oyj. Toimeksiantajan edustajana toimi käsittelylinjojen käyttöpäällikkö Heikki Seppänen sekä mukana toimeksiantajan puolelta oli kehitysinsinööri Juho Keskitalo ja hitsausasiantuntijana tutkimusinsinööri Hannu-Pekka Heikkinen. Opinnäytetyö on osa kokonaisuutta, jossa tutkittiin tuotenuhujen liitoshitsin ominaisuuksia ja vaatimuksia sekä hitsauksen olennaisia muuttujia. Tässä työssä keskityttiin vaatimukseen ja Santeri Saksin rinnakkaisessa opinnäytetyössä hitsiliitoksen olennaisiin muuttujiin. Lapin AMK:n Uudistuvan teollisuuden TKI-ryhmän Arctic Steel and Miningin puolelta työhön osallistuivat yliopettaja Timo Kauppi sekä erityisasiantuntija Raimo Ruoppa toimien samalla myös työn ohjaajina.

Opinnäytetyössä tutkittiin ja kartoitettiin ruostumattomien teräsnuhujen loppu-ehkutuksessa tehtävän liitoshitsin ominaisuuksia ja vaatimuksia. Työ tehtiin Tornion tehtaiden kylmävalssaamon HP2- ja HP4-linjoille. Käsittelylinjat ovat niin sanottuja jatkuvatoimisia prosesseja, joten niissä liitoshitsin onnistuminen on tärkeää. Linjoilla hitsataan useita eri teräslajeja, paksuuksia sekä leveyksiä yhteen, joten on erittäin tärkeää, että liitoshitsi onnistuu ja onnistuminen myös pystytään todentamaan välittömästi hitsauksen jälkeen, jotta säästytään nauhan katkeamiselta myöhemmässä vaiheessa.

Nauhan liitoshitsin katkeaminen aiheuttaa kalliin ja pitkän tuotantokatkon linjoilla. Silmämääräisesti tarkistaessa hitsi saattaa olla hyvännäköinen, mutta linjan prosessiosan läpi mennessään, jossa se on alttiina veto- ja taivutusjännityksille, se murtuu.

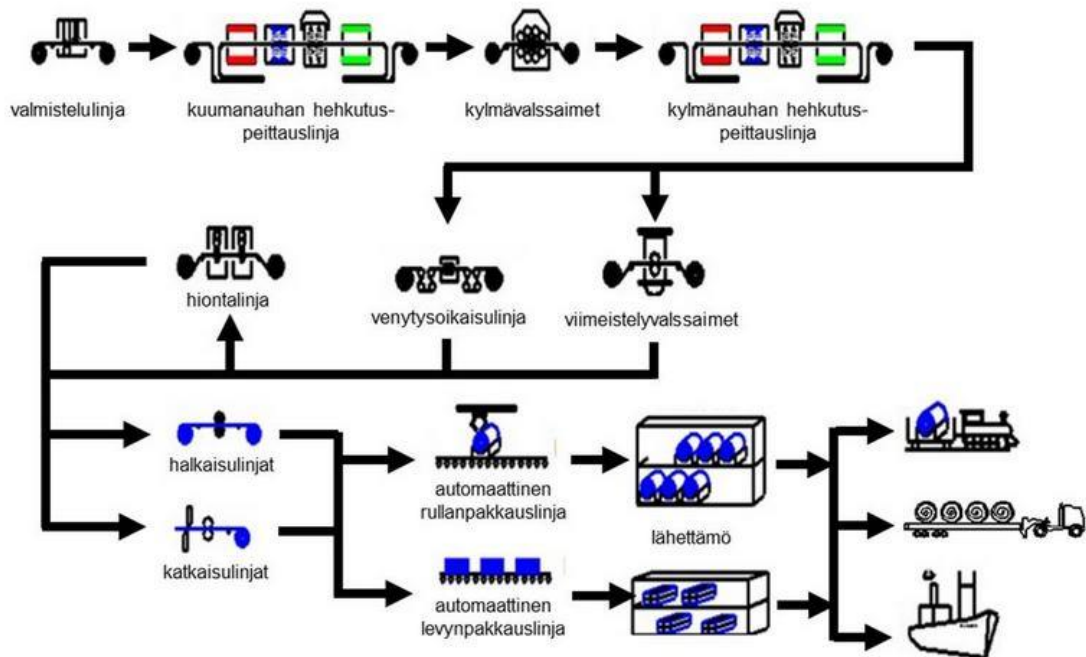
Projektissa kehitetään HP-linjojen hitsausta kerralla valmis periaatteen mukaisesti. Tähän liittyen tavoitteena on:

1. Määritellä hitsin vaatimukset ja kehittää tarkastus- tai testausmenetelmä, jolla vaatimustenmukaisuus voidaan todeta mahdollisimman yksiselitteisesti.

2. Selvittää mitkä ovat ne olennaiset muuttujat, jotka vaikuttavat vaatimustenmukaisuuden saavuttamiseen. Työ rajattiin koskemaan HP2- ja HP4-linjoja.

## 2 RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN KYLMÄVALSSAUSPROSESSI

Kylmävalssausprosessin tarkoituksena on aikaansaada asiakastarpeiden ja standardien toimitusehtojen mukainen kylmävalssattu, hehkutettu ja peitattu lopputuote. Kylmävalssausprosessi on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Teräsnauhan reitti kylmävalssaamalla

### 2.1 Kuumanauhan hehkutus ja peittaus

Kuumavalssatut nauhat jatkokäsitellään kylmävalssaamalla, jossa ensimmäisenä työvaiheena niille tehdään hehkutus ja peittaus. Kuumanauhan hehkutuksen ja peittauksen tarkoituksena on poistaa teräksen pinnasta hilsekerros sekä palauttaa teräkselle sen mekaaniset ominaisuudet ennen kylmävalssausta.

Tämän prosessivaiheen tuloksena syntyy hehkutettu ja peitattu 1D toimitustilainen kuumavalssattu nauha, josta voidaan jatkojalostaa kylmävalssattuja tuotteita (toimitustilat 2D, 2B ja 2K/2G) tai se voidaan toimittaa asiakkaalle määrämittaan leikattuna kuumavalssattuna nauha- tai nauhalevytuotteena. Kuumanauhujen hehkutus ja peittaus tehdään pääasiassa HP3-linjalla, mutta myös HP1-linjalla on mahdollista ajaa 1D pintaa.

Prosessi on jatkuvatoiminen ja linjan alussa on kaksi aukikelainta, joista kuumavalssatut tuotenauhat syötetään linjan prosessiosaan. Aukikelaimen jälkeen linjassa on MAG-hitsausasema, jolla tuotenauhat hitsataan yhteen.

Tuotenauha etenee alkupään varaajan läpi uunialueelle. Uunialueella teräksen lämpötila nostetaan kuumanauhan hehkutuksen vaatimaan lämpötilaan, joka on noin 1150°C austeniittisille tuotenauhoille. Lämpötilan nosto tapahtuu ensin poltinuunien savukaasujen avulla ja sitten kahdessa poltinuunissa. Uunialueelta nauha siirtyy jäähdytysvyöhykkeelle, jossa sen lämpötila lasketaan ilman ja veden avulla noin 70°C:een.

Jäähdytyksen jälkeen nauha siirtyy kuulapuhallusyksikköön, jossa sen ylä- ja alapintaan lingotaan pieniä teräskuulia. Teräskuulat murtavat nauhan pinnassa olevaa hilsekerrosta ja poistavat osan siitä.

Kuulapuhallusyksikön jälkeen nauha etenee linjan peittäusosaan, jossa siitä poistetaan loput pinnassa olevasta hilsekerroksesta. Peittäus on kaksivaiheinen: 1. elektrolyyttipeittäus ja 2. sekahappopeittäus. Elektrolyyttipeittäyksessä hilsettä irrotetaan sähkövirran avulla neutraalissa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – liuoksessa.

Sekahappopeittäyksessä loput hilsejäämät liuotetaan voimakkaassa happoseoksessa. Liuoksessa oleva fluorivetyhappo (HF) syövyttää hieman teräksen pintaa ja poistaa siihen hehkutuksessa ja kuumavalssauksessa syntyneen kromiköyhän vyöhykkeen. Hapettavat komponentit passivoivat teräksen pinnan ja lopputuloksena on korroosionkestävä, kuumavalssattu, hehkutettu ja peitattu ruostumaton teräsnauha.

## 2.2 Kylmävalssaus

Kylmävalssaus tapahtuu Sendzimir-valssaimilla (SZ1, SZ2 tai SZ3), jossa nauha ohennetaan loppumittaansa 0.4 – 6.35 mm. Tässä vaiheessa teräksen poikkipintaa ohennetaan jopa 80 % ja se lujittuu voimakkaasti. Sendzimir-valssaimet ovat ns. monivalssaimia, joissa kahden työvalssin lisäksi on 18 kpl tukivalssseja. Työvalssit itsessään ovat pieniä, halkaisijoiltaan 74-130 mm, joten käsiteltävään nauhaan saadaan aikaan suuri pintapaine, joka saa sen muovautumaan plastisesti eli käytännössä ohenemaan.

Muokkauslujittumisen vuoksi nauhan loppupaksuutta ei voida saada aikaiseksi yhdellä kerralla, vaan sitä joudutaan ohentamaan jopa 15 peräkkäisellä niin kutsutulla pistolla. Kylmävalssauksen jälkeen teräksen myötölujuus voi olla yli 1200 MPa ja murtovenymä vastaavasti alle 5%.

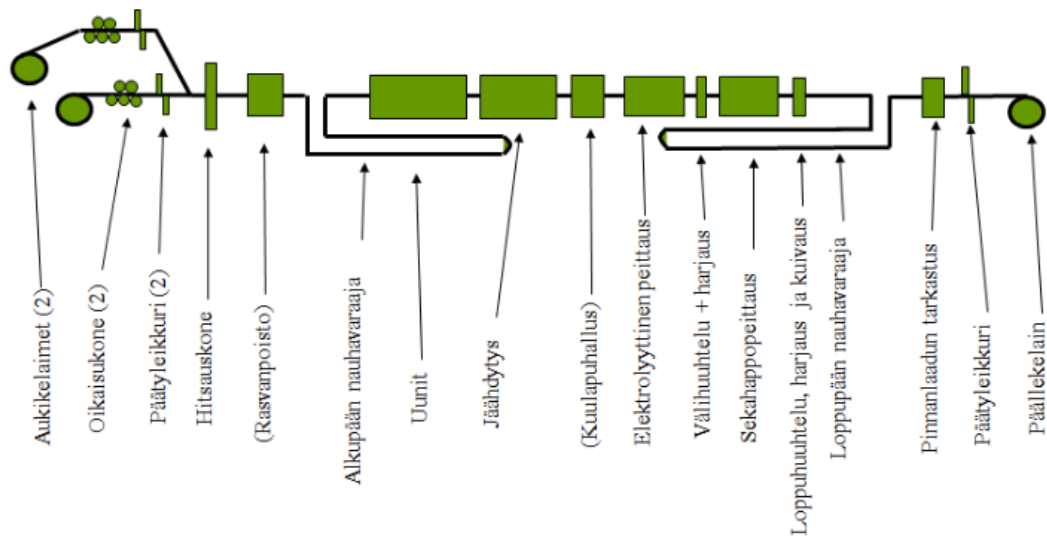
### 2.3 Loppuhehkus ja peittäus

Loppupaksuudessa olevalle kylmävalssatulle teräsnauhalle tehdään HP1-, HP2- tai HP4-linjalla rekristallisaatio eli loppuhehkus ja sen jälkeinen peittäus. Loppuhehkuksen tarkoituksena on palauttaa kylmävalssauksessa muuttuneet mekaaniset ominaisuudet (myötö- ja murtolujuus, murtovenymä, jne.) ainesstandardin sallimiin rajoihin sekä aikaansaada teräkseen haluttu raekoko.

Loppuhehkutukseen tarkoitetut HP2- ja HP4-linjat poikkeavat HP1- ja HP3-linjoista siten, että niissä ei ole kuulapuhallusyksikköä ja ne on varustettu rasvanpoistoyksiköillä. Rasvanpoistoyksikön tarkoituksena on poistaa edellisessä työvaiheessa eli SZ-valssauksessa nauhan pintaan tarttunut valssausöljy. Tuotenuhojen hitsaaminen toisiinsa tapahtuu HP2- ja HP4-linjoilla vastuskiekkohitsauksena. Kuumanauha- ja loppuhehkutuksessa työvaiheet ovat samoja pois lukien kuumanauhan hehkusessa ja peittäyksessä kuulapuhalluksella tehtävä mekaaninen hilseenpoisto. Hehkus ja peittäuslinjoista käytetään myös nimittämistä käsittelylinjat. Ne ovat jatkuvatoimisia ja näin ollen nauha kulkee prosessiosassa vakionopeudella. Nauhan syöttö tapahtuu kahdelta aukikelaimelta vuorotellen. Ennen kuin nauhat liitetään toisiinsa hitsauskoneella, on nauhojen päät oikaistava oikaisukoneella sekä leikattu päätyleikkurin avulla oikeaan paksuusmittaan ja suoriksi. Nauhan liittämisen aikana alkupään nauhavarajasta syötetään tuotenuhaa prosessiosaan.

Linjan alku- ja loppupäässä on nauhavarajat, joiden avulla on mahdollista suorittaa hitsaus prosessin alkupäässä ja ulospujotus loppupäässä. Varajat auttavat myös pitämään nopeuden haluttuna uuni- ja peittäusalueiden läpi. Linjan prosessiosan toiminnot muodostuvat hehkuksesta, jäähtyksestä ja peittäyksestä sekä vesihuuhtelusta.

Lopuksi nauha tulee loppupään varaajan kautta tarkastuspisteelle, jossa tuotenuuhan paksuus ja leveys mitataan. Samalla tuotenuuhan pinnanlaatu tarkastetaan ja tuotenuuhan käyttötarkoitus luokitellaan. Pinnantarkastaja merkitsee tiedot RETU-tuotannonohjausjärjestelmään. Lopuksi tuotenuuha päällekelataan ja merkitään eteenpäin lähetettäväksi. Kuviossa 2 on esiteltyä hehkutus ja peittäuslinjan periaatekuva. (Outokumpu 2015)



Kuvio 2. Periaatekuva HP linjoista (Outokumpu 2015)

#### 2.4 Viimeistelyvalssain, venytysoikaisu ja hiontalinja

Suurin osa nauhoista viimeistelyvalssataan VV1- tai VV2-valssaimilla toimitustilaan 2B. Prosessi parantaa tuotteen tasomaisuutta ja pienentää nauhan pinnan karheutta sekä poistaa jäännösjännityksiä. Osa nauhoista voidaan tämän jälkeen märkähioa hiontalinjalla, jolloin toimitustila on 2K/2G. Hiontalinjalla on mahdollista myös korjata kylmävalssauksessa syntyneitä pintavirheitä. Osa nauhoista käy ennen leikkauslinjoille siirtymistä vielä venytysoikaisussa, jos nauhan tasomaisuus ei ole korjaantunut viimeistelyvalssauksessa.

## 2.5 Leikkauslinjat

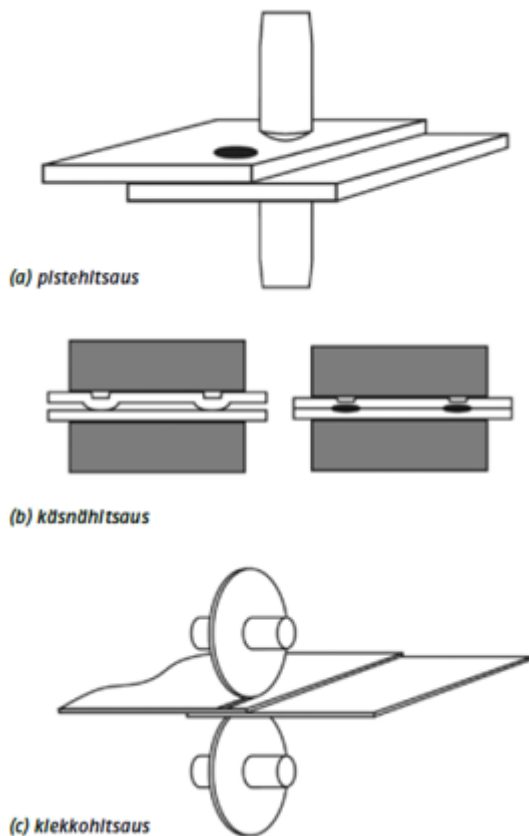
Nauhojen viimeistely asiakastilauksille tehdään leikkauslinjoilla, joissa ne voidaan halkaista kaistoiksi (halkaisulinjat HA1, HA2, ...) tai leikata määrämittäisiksi levyiksi (katkaisulinjat KA1, KA2, ...) Tuotannonsuunnittelussa suunnitellaan jokaiselle tuotenauhalle omat leikkausohjelmat. Tiedot näihin saadaan asiakkaalta sekä pintavirhetaulukosta.

Lopuksi kaistat ja levyt paketoidaan pääsääntöisesti automaattisilla rulla- ja levyynpakkauslinjoilla (ALP ja ARP) ja siirretään korkeavarastoihin odottamaan kuljetusta asiakkaalle. Vuonna 2018 kylmävalssaamalla tehtiin 1,2 miljoonaa tonnia ruostumatonta terästä.

### 3 KIEKKOHITSAUS JA HITSAUSKONEET

Vastushitsaus on yleinen menetelmä, jota käytetään teräsohutlevyjen liittämiseen. Vastushitsausprosesseja ovat muun muassa piste-, kiekko-, käsnä-, leimu-, tyssä- ja vastuspistehitsaus (SFS-EN ISO 4063 2011, 14). Liitokseen ei tarvitse käyttää lisäainetta, koska liitos on yleensä limittäisliitos, joissain tapauksissa päittäisliitos. Hitsisulan vaatima lämpö syntyy liitettävien teräslevyjen vastuksista, kun hitsausvirta läpäisee ne. (Ruukki 2009, 4.)

Toiminnaltaan vastushitsaus on nopea, koska se ei vaadi esihiontaa eikä jälkilämpökäsittelyä sekä hitsattavien pintojen puhtaudelta ei vaadita täydellistä puhtautta, joten se soveltuu hyvin tuotantolinjoille. Kuviossa 3 esitellään eri vastushitsausmenetelmiä. Vastushitsauksella on mahdollista liittää työkappaleet, joiden yhdistetty ainepaksuus on enintään 6mm. (Ruukki 2009, 4.)

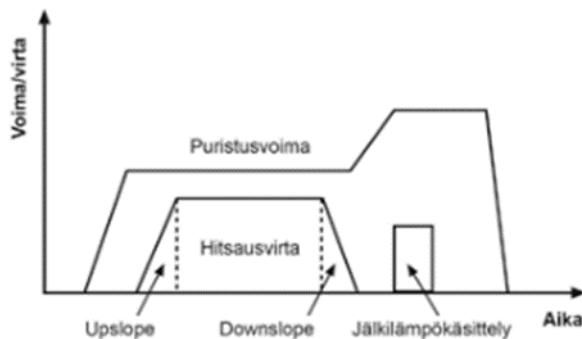


Kuvio 3. Vastushitsausmenetelmiä (Ruukki 2009, 4)

### 3.1 Vastushitsauksen säädettävät parametrit

Kuviossa 4 on esitetty vastushitsauksen työvaiheet.

Tärkeimmät säätöparametrit ovat hitsausvirta, virran vaikutusaika, elektrodien muoto, materiaali sekä puristusvoima. Lisäksi on mahdollista hitsauskoneesta riippuen säätää esi- ja jälkipuristus-aikaa, slope-toimintoa (hitsausvirran nousu- ja laskunopeus). Hitsauskoneissa voidaan muuttaa tai jaksottaa puristus-paineita riippuen eri työvaiheista, myös hitsausvirralle on pulssitusmahdollisuus konekohtaisesti. (Ruukki 2009, 5.)



Kuvio 4. Vastushitsauksen eri työvaiheita (Ruukki, 5)

Säätöparametreistä tärkein on hitsausvirta. Pienikin hitsausvirran kasvu vaikuttaa hitsiliitoksen halkaisijaan ja tunkeumaan nostoen samalla myös liitoksen lujuutta. Yleisin tapa hitsauskoneissa virran säätöön on sen nostaminen prosentteina. (Ruukki 2009, 5.)

Hitsausvirran vaikutusajalla on myös vaikutusta hitsin kokoon, mutta vaikutus on pienempi kuin suoraan muutettaessa virtaa. Hitsausliitokseen tuotu energiamäärä riippuu käytetystä hitsausvirrasta ja sen vaikutusajan pituudesta. Perusperiaatteena vastushitsauksessa on säätää hitsausvirta korkeaksi ja käyttää mahdollisimman lyhyttä virta-aikaa. Näin saadaan hitsausliitoksen ympäristöön johtumaan vähemmän lämpöä ja myös lämpölaajeneminen pysymään pienenä. (Ruukki 2009, 5.)

Elektrodien koko sekä muoto vaikuttavat hitsin laatuun ja ominaisuuksiin. Elektrodien kärkien tai kiekkojen suhde liitettävään materiaaliin on oltava oikea. Piste- ja kiekkohitsauksen elektrodien oikea halkaisija ( $d$ ) voidaan laskea kaavalla

$$d = 5\sqrt{t} \quad (1)$$

missä

$d$  on elektrodien oikea halkaisija  
 $t$  on työkappaleen paksuus.

Kiekkohitsauksessa hitsin leveys on noin 80% otsapinnan halkaisijasta (Ruukki 2009, 6.)

### 3.2 Lämmöntuonti ja lämpötasapaino

Lämpömäärä, joka syntyy sähköä johtavassa kappaleessa, on suoraan riippuvainen neljästä eri tekijästä: virran suuruudesta, virran kestoajasta sekä materiaalin vastuksesta ja materiaalien lämpöhäviövakioista. Näitä suureita hyväksikäyttäen voidaan laskea hitsiin syntyvä lämpö  $H$ , jonka yksikkö on Joulea (J) kaavalla:

$$H = I^2 \times R \times t - C \quad (2)$$

missä

$H$  on lämpö  
 $I$  on virta  
 $R$  on vastus  
 $t$  on aika  
 $C$  on lämpöhäviövakio

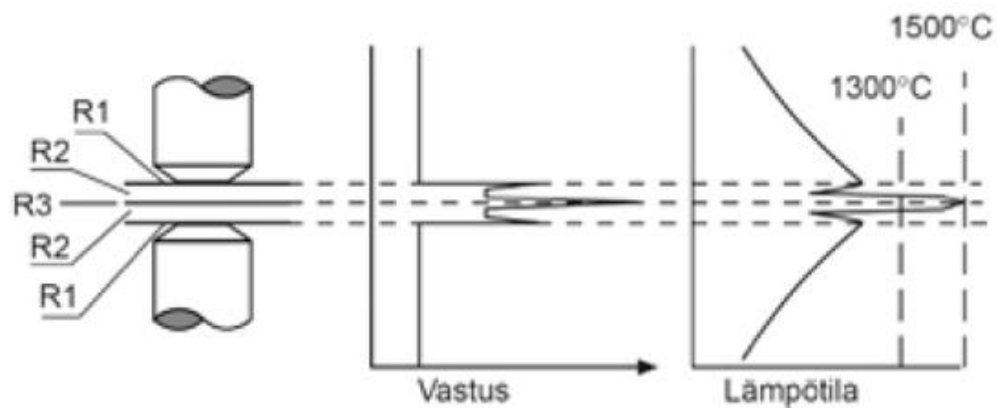
Kaavan mukaan eniten hitsiin syntyvään lämpömäärään vaikuttaa hitsausvirta. Osa syntyneestä lämmöstä kuluu metallin sulattamiseen, osan johtuessa työkappaleisiin ja elektrodeihin. Paras mahdollinen lämpötasapaino liitokseen saadaan, kun liittävien kappaleiden materiaali ja paksuus ovat samat. Kun näistä arvoista poiketaan, syntyy toiseen liitettävään kappaleeseen enemmän lämpöä ja tunkeuma ei ole enää liitettävien kappaleiden keskilinjalla. (Ruukki 2009, 7.)

Lika ja öljy vaikuttavat myös lämmönsiirtoon nostamalla kiekkojen vastusta juuri niissä kohdin, missä likaa on. Toisaalta öljyllä itsessään on pieni merkitys liitoksen onnistumisessa, sillä öljy palaa ja höyrystyy pois ennen hitsiä, mutta mukana kulkeutunut lika sekä nauhansirpaleet tarttuvat kiekkoihin kiinni ja näin siitä aiheutuu hitsiin sulkeutumia, jotka pienentävät onnistunutta poikkipinta-alaa hitsissä ja mahdollistavat säröjen muodostumisen.

Elektrodien jäähtytyksellä on vastuskiekkohitsauksessa suuri merkitys. Yhtenäisen liitoksen aikaansaamiseksi hitsaustapahtuma on joukko limittäisiä pistehitsejä ja näin ollen hitsin tuotto on nopeaa ja elektrodien kuumeneminen on voimakasta.

### 3.3 Työkappaleen sähköinen vastus

Kaavan (2) mukaisesti hitsiin syntyvään lämpömäärään vaikuttaa vastuksen  $R$  arvo. Vastuksella tarkoitetaan työkappaleiden ja kontaktipintojen aiheuttamaa kokonaisvastusta (Kuvio 5).



Kuvio 5. Työkappaleen ja elektrodien kokonaisvastus (Ruukki 2009, 8)

Kokonaisvastus muodostuu hitsattavan materiaalin ominaisvastuksesta sekä työkappaleiden ja elektrodien välisistä kontaktivastuksista.

Taulukossa 1 on annettu kirjallisuudessa esitettyjä ruostumattoman teräksen ominaisvastuksen arvoja.

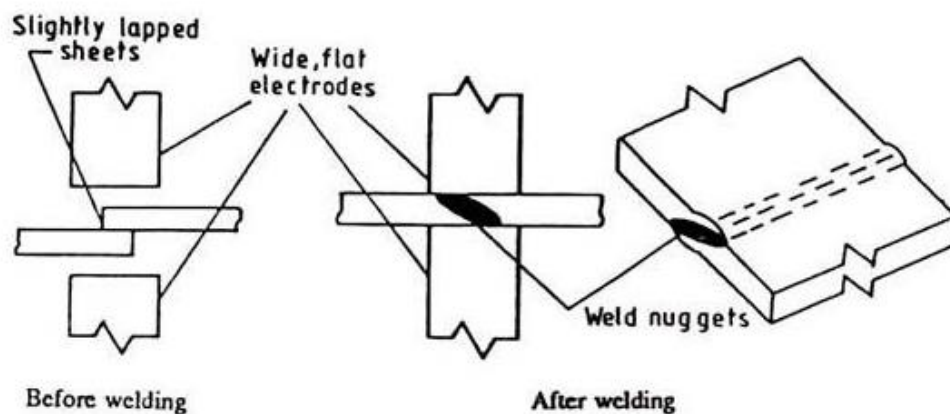
Taulukko 1. Eri terästen ominaisuuksia (Tarkiainen & Kyröläinen 1999, 24)

Tyyppi	Magneettisuus	Lämmönjohtavuus @ 20°C (W/Km)	Lämpölaajenemiskerroin @ 20-100°C (10 <sup>-6</sup> 1/K)	Tiheys @ 20°C (kg/dm <sup>3</sup> )	Resistiivisyys @ 20°C (W/mm <sup>2</sup> /m)	Jähmettymisalue (°C)
Austeniittinen	Ei	13-15	15-17,5	7,9-8,0	0,7-1,0	1420-1330
Ferriittinen	On	23-25	10-10,5	7,7	0,6-0,7	1500-1435
Austeniittis-ferriittinen	On	16	13	7,8	0,8	1465-1390
Martensiittinen	On	25	10,5	7,7	0,6-0,8	1497-1435
Hiihteräs (0,1%C)	On	52-63	12	7,8	0,15	1514-1440

### 3.4 Kiekkolitistyshitsaus

HP2- ja HP4-linjoilla on käytössä kiekkolimityshitsaus (Mash Seam Welding). Standardin SFS-EN ISO 4063 mukainen prosessinumero on 222.

Kiekkolimityshitsauksessa yhdistyy liitoshitsaus ja metallien valssaus (Kuvio 6). Hitsaustapahtumassa materiaalien päällekkäisyys on 1-1,5 kertainen liitettävän levyn paksuudesta. Näin ollen valmis hitsausliitos on vain 1,2-1,5 kertaa yksittäisen levyn paksuus. Menetelmässä hitsauskiekkojen (elektrodien) leveys on kaksinkertainen verrattuna normaaliin vastushitsaukseen ja paine nousee 300 kertaiseksi normaalipaineesta. (AWS, Welding Handbook, 554)



Kuvio 6. Kiekkolitistyshitsauksen pääkohdat (AWS, Welding Handbook, 554)

Jotta hitsausliitos ei sulaisi liikaa, itse hitsausvirtaa syötetään vähemmän kuin normaalissa hitsauksessa.

### 3.5 HP2- ja HP4-linjan hitsausasemat

HP2- ja HP4-linjojen hitsausasemat ovat toiminnaltaan hyvin samankaltaisia. HP2-linjan hitsauskone on merkiltään Guild QMM 125-64 vuodelta 2008 ja HP4-linjan koneen valmistaja on Miebach vuodelta 1997 (Kuva 1).



Kuva 1. HP4-linjan hitsausasema

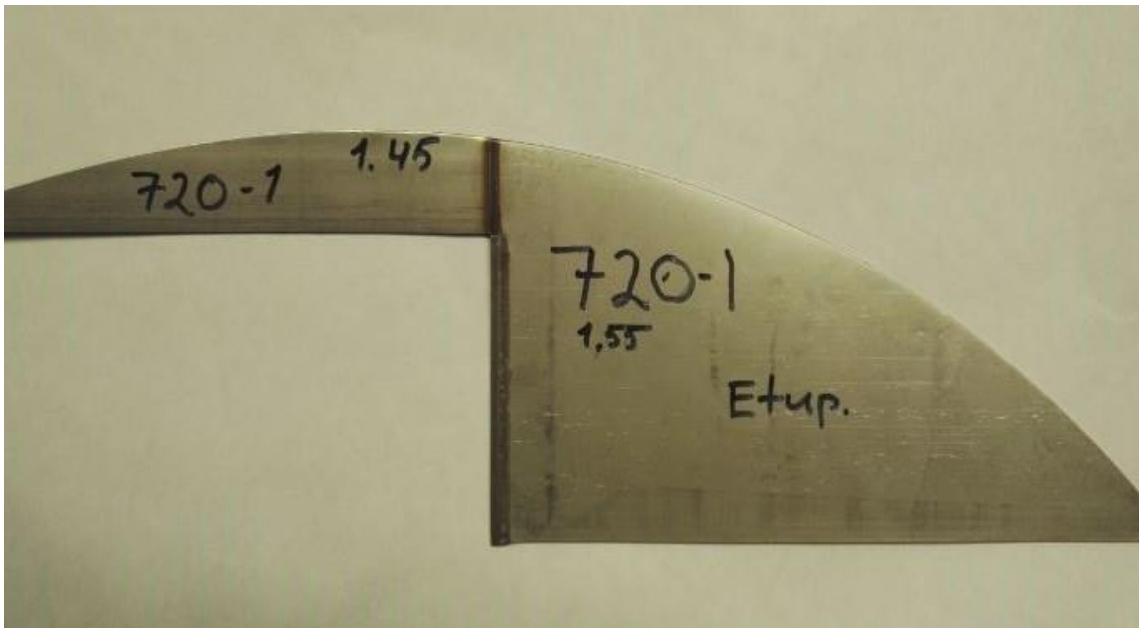
Hitsauskoneilla jo linjassa oleva tuotenauha ajetaan hitsauskoneen jättöpuolelle ja keskitetään kun taas tuleva tuotenauha ajetaan hitsauskoneen tulopuolelle ja keskitetään. Nauhojen keskittämisen jälkeen leikkuri leikkaa tuotenauhan päät samalla kertaa suoriksi ja leikkausromut tipahtavat kuljettimelle. Leikkureiden palttua kotiasemaan jättöpuolen leuka kallistuu ylös ja syöttöpuolen leuka liikkuu eteenpäin muodostaen nauhoille tarvittavan limityksen. Tämän jälkeen tulee hitsaustapahtuma.

Hitsaustapahtumassa hitsausparametrit saadaan RETU-järjestelmästä. Tieto sisältää paksuusmitat tuotenauhoista sekä teräslajit. Operaattorilla on tässä vaiheessa mahdollisuus puuttua hitsauskoneen antamiin hitsausparametreihin. Hitsaustapahtuman jälkeen liitoshitsatut tuotenauhat siirtyvät loveuspaikalle, jossa liitoshitsistä otetaan palat etu- ja takareunasta.

Hitsaustapahtuma ja laitteet eroavat HP2:n ja HP4:n osalta koneenvalmistajan verran ja ns. hitsausliitoksen valssauksen osalta. HP2-linjalla hitsauskone valssaa sauman hitsauksen jälkeen ja HP4-linja suorittaa valssauksen ennen ja jälkeen hitsauksen. HP4-linjalla on myös kiekonkunnostuslaite, joka irrottaa jokaisen liitoshitsin jälkeen kiekkojen pintaan tarttuneet irtopartikkelit.

### 3.6 Loveuspala

Linjoilla ajetaan kolmea eri leveyttä sekä eri paksuuksia minkä vuoksi liitoshitsistä leikataan aina loveuspalaset (Kuva 2) etu- ja takareunasta. Loveuksen tarkoitus on estää myös liitoshitsatun nauhan takertelu linjan eri prosessiosissa. Näiden palojen tarkoitus on pyöristää yhdistettyjen nauhojen päät, jotta ne eivät takertuisi linjan prosessiosissa ja näin ollen myös nauhakatkojen mahdollisuus liitoshitsistä pienenee oleellisesti. Loveuspalaille tehdään niin sanottu tappitesti etu- sekä takapalalle.



Kuva 2. Loveuspala

Loveuspaloista tarkistetaan myös liitoshitsin onnistuminen. Palaset testataan alla mainitulla laitteella (kuva 3), taivuttamalla käsin tai ruuvipenkissä.



Kuva 3. Miebach-tappitestaustaite

### 3.7 Vastushitsauksen laatuvaatimukset

Vastushitsauksen kattavat laatuvaatimukset on esitetty Standardissa SFS-EN ISO 14554-1: 2013. Siinä annetaan vaatimukset valmistajille sekä alihankkijoille, joilla he voivat osoittaa kykynsä hitsattujen rakenteiden laatuvaatimusten täyttämiseksi seuraavissa tapauksissa:

- sopimuksissa osapuolien kanssa
- sovellutusstandardissa
- viranomaisvaatimuksissa.

Standardin vaatimuksia voidaan käyttöönottaa tai rakeenteen vaatiessa myös poistaa valmistajan tahdosta. Sitä voidaan soveltaa tapauskohtaisesti joko mm. ISO 9001 laatujärjestelmää käytettäessä valmistajan tai alihankkijan tahdolta tai jotain muuta laatujärjestelmää käytettäessä. Myös laatujärjestelmän hankinnan tukena voidaan sitä hyödyntää.

Standardi on täysin riippumaton hitsin tyypistä ja sillä määritellään laatuvaatimukset hitsaukselle joko asennus- tai valmistuspaikalla. Se myös edellyttää valmistajalta sellaisia ohjeita, joilla se pystyy osoittamaan osaavansa valmistaa tuotteet vaatimusten mukaisesti.

Standardissa on käsitelty seuraavia asioita: sopimukset ja suunnitelmat, alihankinta, hitsaushenkilöstö, tarkastus- ja testaushenkilöstö, laitteet, hitsaustoiminnot, hitsauselektrodit ja varusteet, perusaineen varastointi, lämpökäsittely, tarkastus ja testaus, poikkeamat ja korjaavat toimenpiteet, mittaus-, tarkastus- ja testauslaitteiden kalibrointi ja kelpuutus, tunnistettavuus ja jäljitettävyys, laatuasiakirjat ja vertailu standardien ISO 14554-1 ja ISO 14552-1 mukaisista laatuvaatimuksista sekä kirjallisuus.

Standardi edellyttää, että kaikille, jotka hitsauslaitteita käyttävät on annettava hitsaukseen perehdyttävä koulutus ja mahdollisuus harjoitella hitsausta tehtäväkohtaisesti. Vastushitsauksen asettaja on henkilö, joka pystyy asettamaan hitsauslaitteet eriteltyjen hitsausohjeiden mukaan. Tällä henkilöllä on tarvittavat tiedot ja taito suorittaa työtä vastushitsauksen laadun varmistamiseen. Tarvittava pätevyys voidaan osoittaa riittävällä kokemuksella, yrityskohtaisella koulutustodistuksella tai tarkoituksenmukaisen standardin todistuksella. (SFS-EN ISO 14554-1 2013, 11.)

Valmistajalla tulee olla käytettävissä sopivia hitsauskoordinoijia, jotta hitsaushenkilöille voidaan antaa tarvittavat ohjeet työn suorittamiselle ja työtä voidaan valvoa huolellisesti. Tähän tehtävään soveltuvat henkilöt, joilla on standardin ISO 14731 yleisten suositusten mukainen pätevyys vastushitsaukseen sovellettuna (neuvoja vastushitsaukselle). (SFS-EN ISO 14554-1 2013, 16.)

Standardisoidussa hitsaustapahtumassa on tärkeää, että huolto on järjestetty kunnollisesti ja kohdassa 8.5 kerrotaan, että huoltosuunnitelma on oltava dokumentoitu laitteille siten, että myös laitteille tehtävät tarkistukset tulevat esiin suunnitelmassa. Tällä varmistetaan se, että huoltotarkastukset tehdään niille laitteen ominaisuuksille, jotka oleellisesti vaikuttavat hitsatun rakenteen laadun varmistamiseen. (SFS-EN ISO 14554-1 2013, 20.)

Kohdassa 9.2 valmistaja veloitetaan laatimaan hitsausohjeet ja varmistamaan, että niitä käytetään oikein tuotannossa. (SFS-EN ISO 14554-1 2013, 20.)

Kohdassa 13 Tarkastus ja testaus, käsitellään tarkastusta ennen hitsausta, tuotannon aikana sekä hitsauksen jälkeen. Yleisesti tarkastukselle ja testaukselle on määritettävä tarkoituksenmukainen paikka, jotta yhdenmukaisuus vaatimustasolle onnistuu. Kohta 13.3 Tarkastus ja testaus tuotannon aikana, ohjeistaa tarkistettavaksi sopivin välein tai jatkuvasti seuraavia seikkoja:

- olennaiset hitsausparametrit
- hitsausjärjestys ja hitsien paikat
- laatu, esim. mitat
- hitsauselektrodien kunto (esim. kuluminen)
- sekundaaripiirin ja liittimien kunto
- jäähdytysjärjestelmän ja suodattimien kunto. (SFS-EN ISO 14554-1 2013, 24.)

Kohta 13.4 Tarkastus ja testaus hitsauksen jälkeen, käy läpi tehtävät tarkastukset hyväksyttävien kriteerien täyttymiseksi. Se antaa mahdollisuuden tehdä tarkastuksen silmämääräisesti käyttäen hyväksytyjä menetelmiä sekä käyttämällä rikkomatonta tai rikkovaa aineenkoetusta, joka on asianmukaisten sovittujen standardien mukaista. Tarkastettavien kohteiden mukana on myös rakenne, sen muoto, profiili sekä mitat. Tarkistaa voidaan myös hitsin tulokset ja pöytäkirjat. (SFS-EN ISO 14554-1 2013, 24.)

## 4 HITSIEN TESTAUKSESSA KÄYTETYT MENETELMÄT

Hitsausliitoksen testausmenetelminä voidaan käyttää ainetta rikkovaa (DT) tai ainetta rikkomatonta (NDT) aineenkoetusta, myös audiovisuaalinen tarkastus varsinkin nopeissa tuotanto-olosuhteissa on yksi keino.

### 4.1 Vastushitsauksen hitsausohjeen hyväksyminen (SFS-EN ISO 15609-5)

Tässä standardin SFS-EN ISO 15609 osassa, Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hitsausohjeet. Osa 5: vastushitsaus, esitetään piste-, kiekko-, käsnä-, leimu- ja tyssähitsausprosessien hitsausohjeen sisältöä koskevat vaatimukset. Jos standardin periaatteita sovelletaan muille vastushitsausprosesseille tai niiden lähiprosesseille, on tarkistettava periaatteiden soveltuvuutta, ennen hitsausohjeen hyväksynnän suorittamista.

Standardin SFS-EN ISO 15609 tässä osassa esitetyt muuttujat vaikuttavat joko hitsin mittoihin (laatu), hitsauslinssin kokoon, pistekentän sijaintiin, mekaanisiin ominaisuuksiin tai hitsausliitoksen geometriaan.

Standardin luvussa 4 määritellään hitsausohjeen (WPS) tekninen sisältö. Se sisältää vaatimuksia mm. seuraavista asioista:

Tuotteen valmistaja, perusaineet (koostumus, mitat) ja hitsausmenetelmää koskevat tiedot (hitsausprosessi, konekohtaiset tiedot, liitoksen rakenne, pinnan- ja reunojen esivalmistelu, hitsauksen suoritus, vastushitsauselektrodit ja varusteet, koneparametrit ja ohjausasetukset).

Standardissa on myös malliesimerkki hitsauksen laadun hyväksymiskriteereistä.

### 4.2 Vastushitsauksen menetelmäkoe (SFS-EN ISO 15614-12)

Vastushitsausliitoksen vaatimustenmukaisuuden testaus on suoritettava standardin SFS-EN ISO 15614-12 mukaisesti, ellei tarkempia testejä ole määritelty. Tiedot huolto, materiaali- tai valmistusolosuhteet voivat kuitenkin vaatia laajempia testauksia kuin standardissa määritellään. Tällaisia testimenetelmiä ovat mm.

pistehitsausliitosten väsymiskoe, taivutustesti, pintatarkastusmenetelmät, ultraäänitarkastus, radiografinen tarkastus ja kemialliset analyysit sekä korroosiotestit.

Testattavat kappaleet on valmistettava SFS-EN ISO 15614-12 standardin kohdan 6 mukaan. Sen perusteella voidaan käyttää todellisia, tuotannossa käytettäviä komponentteja tai seuraavissa standardeissa esitettyjä koekappaleita: SFS-EN ISO 14270, SFS-EN ISO 14271, SFS-EN ISO 14272, SFS-EN ISO 14273, SFS-EN ISO 17653 JA SFS-EN ISO 10447.

Testaus sisältää ainetta rikkomattoman testauksen (NDT) sekä ainetta rikkovan testauksen (DT). Taulukossa 2 on esitetty kiekkolitistyshitsauksen menetelmäkokeessa käytettävät testausmenetelmät ja niihin tarvittavien näytteiden määrä.

Taulukko 2. Kiekkolitistyshitsauksen menetelmäkokeessa käytettävät testausmenetelmät (SFS-EN ISO 15614-12, 5).

Testattava palanen	Testausmenetelmä	Näytekappaleiden määrä
Kiekkolitistyshitsaus	Silmämääräinen tarkastus	aina
	Leikkauslujuuden testaus	11
	Taivutuskoe	2
	Pistehitsin repäisykoe	9
	Kiekkohitsin painekoe, tyynykoe	3
	Helium vuotokoe	3
	makrohietutkimus	2
	Kovuuskoe	pyydettyäessä

Mikäli testikappaleet eivät läpäise silmämääräistä tarkastamista, on testit uusittava. Mikäli uusintatesteissä on vielä havaittavissa puutteita, tehdään alustaviin hitsausohjeisiin (pWPS) muutoksia.

#### 4.3 Silmämääräinen tarkastus (SFS-EN ISO 17637)

Silmämääräinen eli visuaalinen tarkastus on NDT menetelmistä käytetyin. Se perustuu suoraan tarkastajan omaan näkökykyyn ja se suoritetaan aina ennen muita tarkistusmenetelmiä. Tarkastusolosuhteissa valaistuksen minimi voimakkuus on 350 luxia, mutta suositeltava on kuitenkin 500 luxia. Tällöin on apuna yleensä käytettävä esim. taskulamppua. Tarkastettaessa kohdetta suoraan on

luoksepäästävyuden oltava riittävä. Enimmäisetäisyys tarkastettavaan kohteeseen saa olla 600 mm ja katselukulman on oltava yli 30 astetta. (SFS-EN ISO 17637 2016, 5.)

Visuaalisen tarkastamisen yhteydessä voidaan käyttää myös muita apulaitteita, kuten suorakulma tai mittanauha, työntömitta, rakomitta, sädetulkki, suurennuslasi ja/tai lamput. Joissain tapauksissa tarkistamisen apuna voidaan käyttää myös profiilin mittalaitetta, hitsin jäljennöstä mallintavaa materiaalia sekä erinäisiä peilejä, endoskooppeja, boroskooppeja, kuituoptisia laitteita tai kameroita. Mahdollista on myös suunnitella erityinen mittalaite. (SFS-EN ISO 17637 2016, 9.)

Hitsin silmämääräinen tarkistus voidaan suorittaa ennen hitsausta, hitsauksen aikana sekä hitsauksen jälkeen. Hitsausta ennen tapahtuvassa tarkastuksessa varmistetaan, että hitsaustapahtumalle on kunnolliset edellytykset mm. railon muoto ja mitat vastaavat hitsausohjeessa määriteltyjä vaatimuksia, railon kyljet ja viereiset pinnat ovat puhtaita ja vaaditut pintakäsittelyt on suoritettu sovellus- tai tuotestandardin mukaisesti ja hitsattavat osat on sovitettu toisiinsa niin kuin piirustuksissa on sanottu. (SFS-EN ISO 17637 2016, 6.)

Vaadittaessa hitsi on myös tarkastettava hitsaustapahtuman aikana, jotta seuraavat asiat toteutuvat. Jokainen palko tai palkokerros on puhdistettu hyvin ja varmistettu ettei tulevaan hitsaustapahtumaan pääse lisää epäpuhtauksia. Eri-tyistä huomiota kiinnitetään hitsiaineen ja railon kyljen välisiin kohtiin. Hitsissä ei saa olla havaittavia hitsausvirheitä, kuten halkeamia tai onteloita. Mikäli hitsausvirheitä havaitaan, niistä raportoidaan, jotta korjaavat toimenpiteet voidaan suorittaa ennen kuin hitsausta jatketaan. Palkojen välisellä ylimenolla sekä hitsiaineen ja perusaineen välisellä ylimenolla on oltava sellainen muoto, että tyydyttävä sulaminen tapahtuu seuraavan palon hitsauksen yhteydessä. Myös juuren avauksen syvyys ja muoto on hitsausohjeen mukainen tai riittävä verrattuna alkuperäisen railon muotoon, jotta varmistetaan täydellinen hitsiaineen poistaminen määritellyllä tavalla. Hitsi täyttää alkuperäiset hitsausohjeen vaatimukset mahdollisten tarvittavien korjausten/korjaavien toimenpiteiden jälkeen. (SFS-EN ISO 17637 2016, 6-7.)

Hitsauksen jälkeen tarkastuksessa on huolehdittava sen tarkistamisesta sovel-  
lus- tai tuotestandardin avulla tai muun sovitun hyväksymisrajan vaatimusten  
suhteen esim. standardien ISO 5817 tai ISO 10042 mukaisesti. Tarkastamisessa  
on myös huomioitava, että kaikki kuona on poistettu mekaanisesti tai käsityöka-  
lua käyttämällä, jotta mahdolliset hitsausvirheet eivät jää peittoon. (SFS-EN ISO  
17637 2016, 6-7.)

Hitsausliitoksen viimeistelyssä ei myöskään saa tulla työkaluista painumia tai  
hakkaumia. Kun hitsille on vaadittu jälkikäsitteily, niin siinä ei saa esiintyä hionta-  
jälkiä eikä epätasaista viimeistelyä, myös piena- tai päittäishitsin on yhdyttävä  
tasaisesti perusaineeseen. Hitsin pinnanprofiilin ja kuvun korkeuden on täytet-  
tävä hyväksymisrajojen vaatimukset. Sivuttaisliikkeen muodon sekä, hitsin etene-  
män on oltava tasainen ja ulkonäöltään tyydyttävä. Edellä mainitut seikat ovat  
erikseen mitattava, jos ohje sitä vaatii. Päittäishitsissä myös railon on täytyttävä  
kokonaan ja sen on täytettävä vaatimukset. (SFS-EN ISO 17637 2016, 7.)

Silmämääräisesti luoksepäästävät hitsin osat, esim. yhdeltä puolelta hitsatun  
päittäishitsin juuri ja hitsinpinnat, on tarkastettava hyväksymisrajoista esiintyvien  
poikkeamien suhteen. Hitsistä on tarkastettava seuraavat asiat: yhdenpuolen  
päittäishitsin hitsautumissyvyys, vajaa juuri ja kaikki läpipalaneet kohdat sekä  
reunahaavat. Myös havaitut hitsausvirheet kuten halkeamat ja huokosuus on tar-  
kistettava. Kappaleeseen kaikki valmistuksen tai asennuksen ajaksi hitsaamalla  
kiinnitetyt tilapäiset kiinnikkeet on poistettu niin ettei kappale ole vahingoittunut.  
Alue johon kiinnike oli kiinnitetty, on tarkistettava, jotta siinä ei ole halkeamia.  
(SFS-EN ISO 17637 2016, 7.)

#### 4.4 Piste-, kiekko- ja käsnähitsien leikkausvetokoe (SFS-EN ISO 14273)

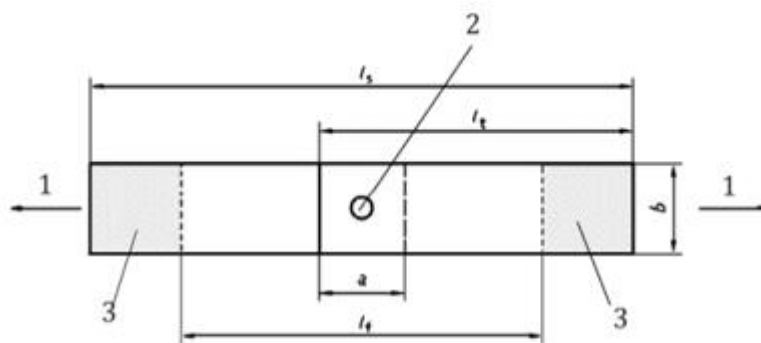
Hitsin rikkova aineenkoetus määritellään standardissa SFS-EN ISO 14273:2016  
Vastushitsaus. Hitsien rikkova aineenkoetus. Piste-, kiekko- ja käsnähitsien leik-  
kausvetokoe Standardissa esitetään näytteen mitat sekä testausmenetelmät  
piste-, kiekko- ja käsnähitsaukselle, joiden aineenpaksuudet ovat 0,5-10 mm. Hit-  
sin suurin halkaisija saa olla  $7\sqrt{t}$  (t on levyn paksuus millimetreinä). (SFS-EN ISO  
14273 2016, 6.)

Testinäytteiden mitat eri halkaisijoille on esitettyä taulukossa 3 ja kuviossa 7.

Taulukko 3. Testinäytteiden mitat eri halkaisijoille

Paksuus	Limitys	Näytteen leveys <sup>a</sup>	Näytteen pituus	Leukojen välinen vapaapituus	Yksittäisen testikappaleen pituus
t	a	b	$l_s$	$l_f$	$l_t$
mm	mm	mm	mm	mm	mm
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45 (30)	175	95	105
$1,5 > t \leq 3$	45	60 (30)	230	105	138
$3 < t \leq 5$	60	90 (55)	260	120	160
$5 > t \leq 7,5$	80	120 (80)	300	140	190
$7,5 < t \leq 10$	100	150 (100)	320	160	210

<sup>a</sup> Sulussa olevat luvut antavan noin 10 % aleneman lujuudelle ja näitä leveyksiä voidaan käyttää vain ostajan ja valmistajan erikseen näin sopiessa.

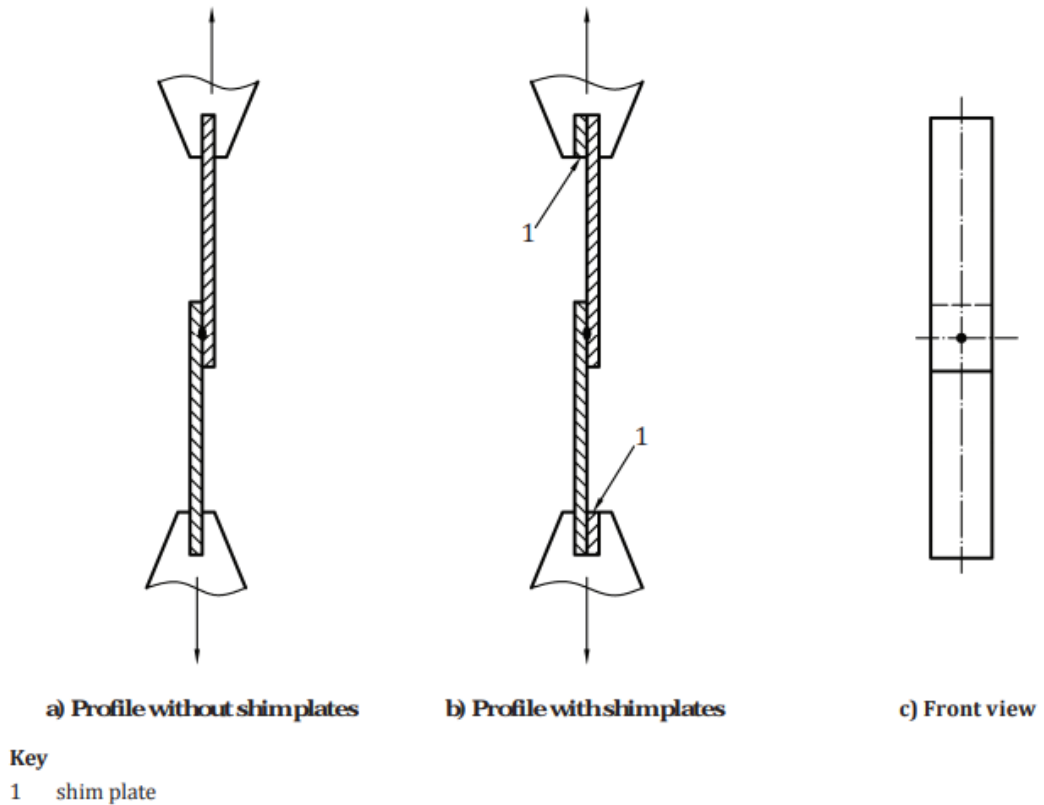


**Termit:**

- 1. Vetosuunta
- 2. Hitsi
- 3. Kiinnitysalue

Kuvio 7. Leikkausvetokoe näytteen mitat hitsin halkaisijalle  $5\sqrt{t}$  (SFS-EN ISO 14273 2016, 7)

Näytteen kiinnitys (Kuvio 8) leikkausvetokokeessa tapahtuu levypaksuuden ollessa  $> 3$  mm tai kun kahden levyn paksuuden suhde on  $> 1,4$  käytetään koekappaleiden kiinnittämiseen saman paksuisia välilevyjä. (SFS-EN ISO 14273 2016, 8.)

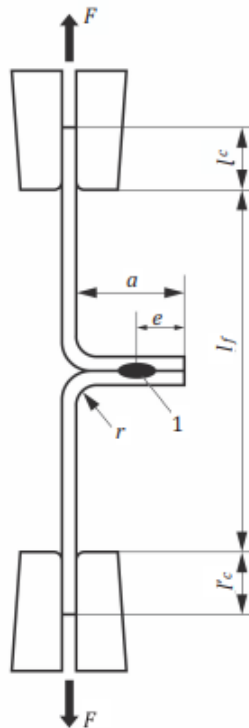


Kuvio 8. Leikkausvetokoesauvojen kiinnitys vetokoneeseen (SFS-EN ISO 14273 2016, 9)

Testaustuloksista piirretään kuormitusvetokäyrä, jotta kappaleen muodonmuutoksesta saadaan tietoa. Vetokokeen mittaustarkkuus on oltava vähintään  $\pm 1$  %. Testaustuloksista tehdään testiraportti ja siitä tulee ilmetä: viittaukset SFS-EN ISO 14273: 2016 standardiin, käytetty hitsausmenetelmä, hitsausolosuhteet ja laitteet, materiaali sekä sen tila, koekappaleen ja testinäytteen mitat, vetolujuuden yksittäiset arvot, keskiarvo ja keskihajonta kN:ssa, vikakuvaus, hitsin halkaisijan yksittäiset arvot, keskiarvo ja keskihajonta sekä mahdolliset erillishuomautukset. (SFS-EN ISO 14273 2016, 10.)

#### 4.5 Vastushitsin repäisykoe (SFS-EN ISO 14270)

Hitsin mekanisoitu repäisykoe määritellään standardissa SFS-EN ISO 14270:2016 Vastushitsaus. Hitsien rikkova aineenkoetus. Piste-, kiekko- ja käs-  
nähitsien mekanisoitu repäisykoe. Standardissa esitetään Repäisykoe eli Peel Test menetelmä, jossa toisiinsa hitsattuja kappaleita ”repäistään” 90 tai 180 as-  
teen kulmassa vetolaitteeseen nähden. Vedosta saadaan esiin liitoksen murtolu-  
juus. Alla (Kuvio 9) on esitetty koekappaleen kiinnitys vetokoneeseen ja standar-  
dissa vaadittavia koekappaleen mittoja.



Kuvio 9. Koekappaleen kiinnitys repäisytestissä (SFS-EN ISO 14270 2016, 12)

1 = Hitsi

r = taivutussäde

a = taivutuksen pituus

$l_c$  = puristuspituus

e = Hitsin etäisyys reunasta

F = Veto (voima)

#### 4.6 Piste- ja käsnähitsien poikittainen vetokoe (SFS-EN ISO 14272)

Tällä menetelmällä testataan 0,5 mm – 3 mm paksujen, limitettyjen levyjen vastushitsien poikittaista vetolujuutta ja vauriomuotoja. Hitsin suurin halkaisija saa olla  $7\sqrt{t}$  (t on levyn paksuus millimetreinä).

#### 4.7 Hitsin kovuuskoe (SFS-EN ISO 14271)

Hitsin kovuuskoe määritellään standardissa SFS-EN ISO 14271:2017 Hitsien rikkova aineen koetus metalleille. Piste-, kiekko-, ja käsnähitsien Vickersin kovuuskoe. Standardissa esitetään piste-, käsnä- ja kiekkohitsien syövytettyjen poikki-leikkausten kovuuskokeiden suorituksen vaatimukset.

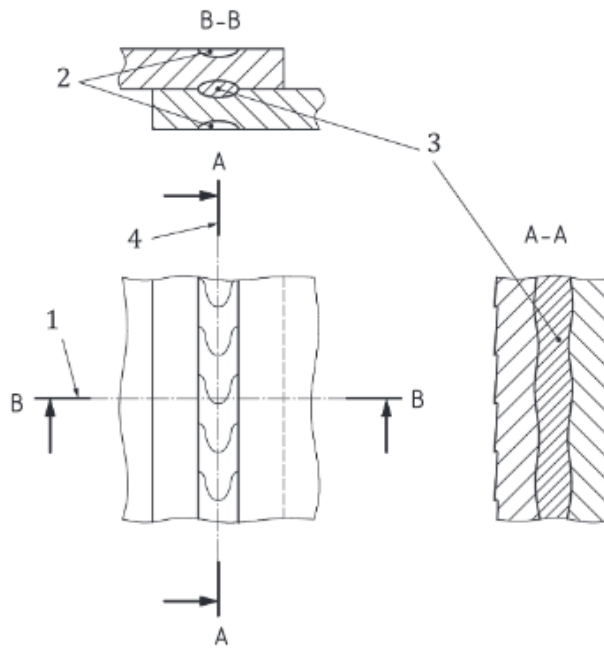
Kovuuskokeen tarkoituksena on määrittää Vickersin kovuus pienellä koevoimalla tai mikrokovuusalueella hitsauslinssissä, muutosvyöhykkeessä ja perusaineessa. Standardi soveltuu rauta- ja ei-rautametallien levyille, joiden aineenpaksuus on 0,5...6 mm (SFS-EN ISO 14271 2017, 5.)

Standardin kohdassa 4 on kerrottu vastushitsien kovuuskokeessa käytettävät koevoimat:

- kun tehdään kovuuskoe pienellä koevoimalla: 1,961 N tai 9,807 N
- kun tehdään mikrokovuuskoe 0,980 7 N

Kohdassa 5 Koekappaleet ja koepaikat kerrotaan, että koekappaleiden on oltava standardin ISO 6507-1 mukaisia.

Kun elektrodin painuma vaakatasossa on pitkänomainen, (esim. jotkut käsnä- ja kiekkohitsit) poikkileikkaus on valittava kohtisuoraan ohutlevyn pintaan nähden hitsin pituussuunnassa (Kuvio 10) mukaisesti. Kiekkohitsien poikkileikkaukset voidaan ottaa hitsaussuunnassa tai kohtisuoraan hitsaussuuntaan nähden



**Selite**

- 1 Poikkileikkauksen sijainti
- 2 Elektrodin painuma
- 3 Hitsauslinssi
- 4 Pituussuuntaisen poikkileikkauksen sijainti

Kuvio 10. Kiekkohitsin poikkileikkauksen suositeltu ottopaikka (SFS-EN ISO 14271 2017, 9)

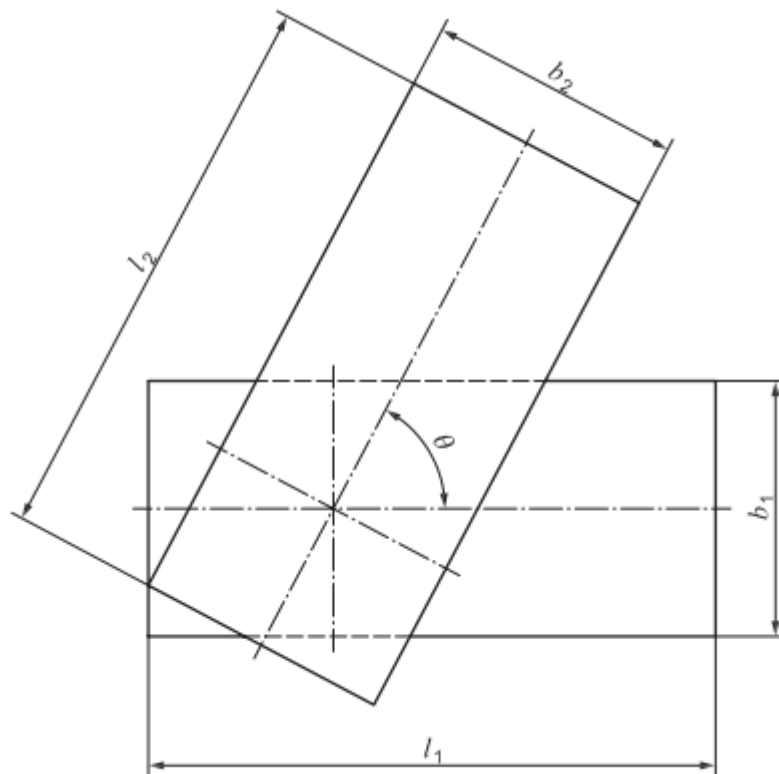
#### 4.8 Vastuspistehitsien vääntökoe (SFS-EN ISO 17653)

Hitsin vääntökoe määritellään standardissa SFS-EN ISO 17653:2012 Vastushitsaus. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Vastuspistehitsien vääntökoe. Standardissa esitetään vastuspistehitsien vääntökokeen koesauvojen mitat, testauslaitteet ja menetelmät teräslevyille, joiden aineenpaksuudet ovat 0,5...6 mm. Standardia voidaan tietyissä tapauksissa käyttää myös ei-rauta-materiaaleille. (SFS-EN ISO 17653 2012, 8.)

Vääntökokeen tarkoituksena on määrittää hitsin halkaisija ja murretun koesauvan virhetyyppi sekä arvioida eri teräslajien, hitsausparametrien ja muiden seikkojen vaikutusta pistehitsin muodonmuutoksiin. (SFS-EN ISO 17653 2012, 8.)

Vääntökoe jaetaan kahteen eri osaan. Ei-tallentavaan ja tallentavaan vääntökokeeseen. Ei-tallentavassa vääntökokeessa ei mitata koehitsin määrittämiseksi vääntömomenttia tai vääntökulmaa. Tallentavassa vääntökokeessa vääntömomentti tai vääntökulma mitataan erillisellä mittalaitteella. (SFS-EN ISO 17653 2012, 8.)

Vääntökokeen koesauva valmistetaan hitsaamalla yksi pistehitsi. Kaksi koelevyä, joiden vähimmäisleveys on 40 mm ja vähimmäispituus 60 mm hitsataan yhteen niin, että ne voivat kiertyä toisiinsa nähden (Kuvio 11). Pistehitsin keskipisteen ja ulkoreunan välinen etäisyys pituussuunnassa on oltava vähintään 20 mm. (SFS-EN ISO 17653 2012, 8.)



Kuvio 11. Vääntökoesauvan mitat (SFS-EN ISO 17653 2012, 11)

## 5 KOEMENETELMÄT

### 5.1 Haastattelut

Käsittelylinjojen jatkuvatoimisuuden takia nauhojen liitoshitsin onnistumisella on suuri merkitys linjojen tuotannon kannalta. Huono hitsausliitos ja siitä seurannut uusintahitsaus voi pysäyttää linjan, varaajan päästessä ajamaan tyhjäksi. Pahimmassa tapauksessa epäonnistunut hitsausliitos voi katketa prosessin edetessä ja aiheuttaa linjalle ennalta määräämättömän mittaisen seisahduksen. Liitoshitsin onnistumisen takaavat toimivat hitsauskoneet, leikkuri sekä toimiva tarkastus niin laitteineen kuin operatiivisesti.

Toimintamallien ja työtapojen kartoittamiseksi tehtiin HP2- ja HP4-linjojen operaattoreille kysely, jossa esitettiin kysymyksiä liittyen hitsauskoneen parametreihin ja niihin tehtyihin muutoksiin, kuin myös itse hitsausliitoksen tarkastamiseen. Operaattoreilta haluttiin myös parannusehdotuksia hitsaustoimintaan.

Linjoille tehtiin kyselylomake, jota käytettiin molempien linjojen henkilöstön haastatteluissa.

Haastattelut olivat luonteeltaan teemahaastatteluja. Haastattelujen kysymykset on esitetty erillisessä liitteessä (Liite 1).

### 5.2 Ajettujen nauhojen paksuus- ja laatujaakaumat

Tuotannon nykytilaa selvitettiin hakemalla vuonna 2018 ajettujen nauhojen paksuus-, laatu-, ym. tietoja linjojen SZ1, 2 ja 3 sekä HP2 ja HP4 osalta. Tiedot haettiin Outokummun sisäisestä tietojärjestelmästä.

<http://coldweb.od.cssdom.com/cold/hpvrkraportti/>. (Outokumpu 2019.)

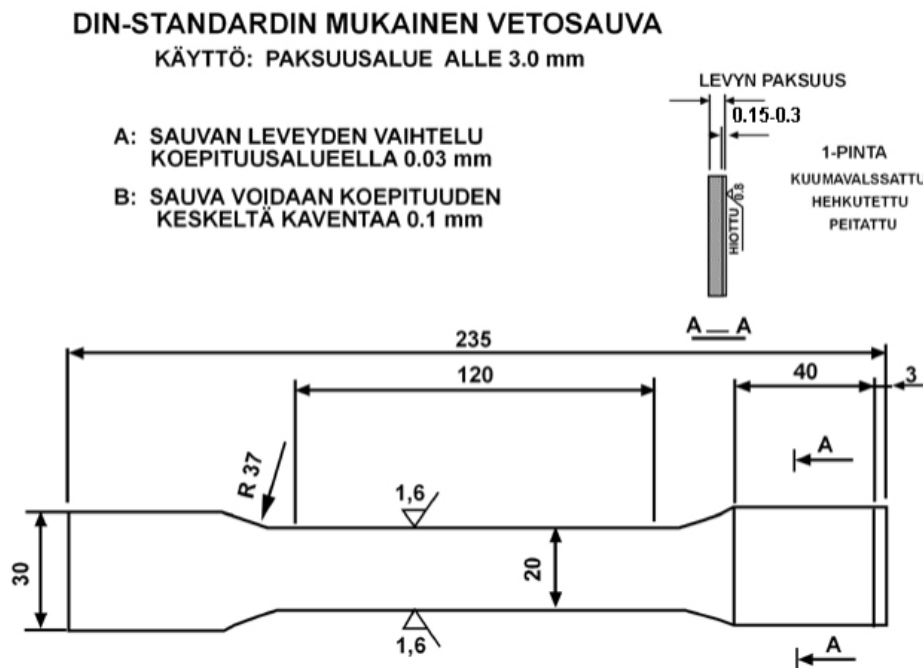
### 5.3 Liitosten lujuuden nykytilan selvitys

Linjoilta kerättiin loveuspaloja, joista koneistettiin vetosauvoja. Vetosauvoille tehtiin vetokokeet Outokummun Tornion tehtaiden tutkimuskeskuksessa Zwick Roell vetokoneella. Vetokokeilla selvitettiin liitosten vetomurtolujuudet. Tavoitteena oli

saada selville tietoa liitoshitsien tyypillisistä lujuuksista. Vetokokeet tehtiin standardin SFS-EN ISO 6892-1:2016 (Metallien vetokoe. Osa 1: Vetokoe huoneenlämpötilassa) mukaisesti. Vetosauvat valmistettiin Outokummun Tornion tehtaiden tutkimuskeskuksessa. Sauvat leikattiin työohjeen Tpa703 ohjeiden (Kuvio 12 ja 13) mukaisesti.

Ohjeesta **Tpa 703 Veto- ja iskusauvojen mitat**

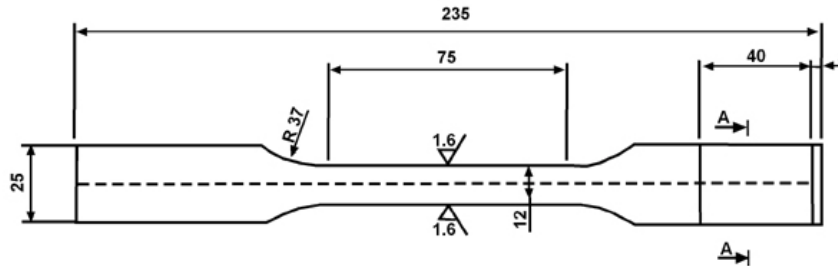
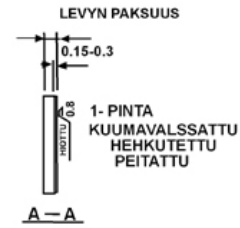
Din-Standardin mukainen vetosauva ja sen hionta



Kuvio 12. DIN-Vetosauvan mitat

**SS-STANDARDIN MUKAINEN VETOSAUVA**

KÄYTTÖ: PAKSUUSALUE 3.0 mm JA YLI

A: SAUVAN LEVEYDEN VAIHTELU  
KOEPIITUUSALUEELLA 0.03mmB: SAUVA VOIDAAN KOEPIITUUDEN  
KESKELTÄ KAVENTAA 0.1 mm

Kuvio 13. SS vetosauvan mitat

## 5.4 Mikrorakennetarkastelu

Testattujen liitosten mikrorakenteet kuvattiin Outokummun Tornion tehtaiden tutkimuskeskuksen Axiocam 503 Color käänteismikroskoopilla. Tarkoituksena oli saada tietoa mm. sulana käyneestä alueesta ja hitsin vyöhykkeistä.

Loveuspalojen yhteydessä leikattiin myös näyteaihiot metallografisten näytteiden valmistusta varten. Ne valmistettiin Outokummun TTK Tul 002 hienvalmistus ohjeen mukaisesti laborantin toimesta.

Peruseriaatteena oli kuitenkin hioa näyte sekä kiillottaa sen pinta elektrolyttisesti. Se tehtiin DISA – liuoksella, joka sisältää perkloorihappoa. Lopuksi näytteen pinta syövytettiin elektrolyttisesti typpihapolla.

Näytteenvalmistuksen työvaiheet:

- Näytteiden leikkaus ja esivalmistelu
- Näytteiden napitus
- Näytteiden hionta
- Näytteiden kiillotus
- Näytteiden syövytys

## 6 TULOKSET

### 6.1 HP2-linjan teemahaastattelut

HP2-linjalla työskennellään keskeytyvässä 5-vuorotyössä. Työntekijöitä on yhteensä 25 kpl. Yhdessä vuorossa työskentelee viisi henkilöä ja kyselyssä vastaukset saatiin 24 henkilöltä (96 %).

Vastaajista 16 kpl vastasi kyllä (67 %) ja 8 kpl joskus (33 %) kysyttäessä muuttavatko he hitsauskoneen antamia arvoja. Eli kaikki muuttavat hitsausparametrejä jossain määrin. Taulukossa 4 on annettu vastaukset. Sen mukaan eniten muutettava parametri on ollut hitsausvoima, koska lähes kaikki operaattorit (96%) muuttivat sitä aina tai joskus. Hitsausvirtaa muutettiin seuraavaksi eniten eli lähes 60% operaattoreista muutti sitä ainakin joskus. Hitsausnopeutta ja nauhojen limitystä muuttivat n. 30% operaattoreista.

Taulukko 4. HP2 parametrimuutokset

	hitsausvoima	hitsausvirta	hitsausnopeus	limitys
aina	19	1	4	1
joskus	4	13	3	7
yht.:	23	14	7	8

Esitettäessä tarkentava kysymys vastaukset osoittivat, että linjalla ajettavat romunauhajat vaativat jokaisella kerralla lisää virtaa. Jos romu oli oikein likainen, niin virranlisäyksen tarve oli luokkaa 1000 A eli noin 4% maksimivirran arvosta. Vastauksien mukaan keskimääräinen virranlisäystarve yleensä nauhoille oli noin 400-500 A. Tärkeä parametrimuutos oli myös hitsausvoiman lisäys.

Limitystä haluttiin pienentää, varsinkin paksuilla nauhoilla. Limitykselle maksimina pidettiin arvoa 4 mm. Myös hitsausnopeuden pudottaminen nousi kyselyn yhteydessä esiin. Varsinkin alle 1 mm paksuille austeniittisille nauhoille oli tarvetta pudottaa hitsausnopeutta ja samalla hieman myös nostaa hitsausvoimaa eli kiekkojen painetta.

Verrattaessa tapaa testata/arvioida hitsausliitoksen (Taulukko 5) kestävyyttä operaattoreista 18 kpl kertoi tekevänsä tappitestin molemmille loveuspaloille silloin, kun se oli mahdollista. Kun testattava nauha oli alle 1mm tai loveuspala oli niin kapea, ettei sitä voinut testata tappitestaustalaitteella operaattorit suorittivat testin taivuttamalla. Taivuttamiseen vastaajista päätyi 13 operaattoria. Muutamat vastaajat kertoivat luottavansa paksuilla nauhoilla loveuspalan taivuttamiseen ruuvipenkissä. Operaattoreista neljä kertoi tekevänsä testauksen ainoastaan takapalalle. Kysymykseen oli mahdollista vastata monivalintaisesti.

Taulukko 5. HP2 liitoshitsin testaustapa

	Tappitesti molemmat	Tappitesti etupala	Tappitesti takapala	Taivutta- malla
aina	5	0	4	1
joskus	13	0	1	12
yht.:	18	0	5	13

Hitsaustapahtuma voi johtaa välillä myös liitoshitsin epäonnistumiseen ja silloin kaikki (100 %) operaattorit uusivat liitoksen.

Pääosin operaattorit kertoivat tekevänsä nopeita päätöksiä, kun liitoshitsin havaitaan epäonnistuneen. Hitsausparametreihin tehdään muutoksia, jos tarvetta esiintyy sekä kiekkoja käydään viilamassa, jos ne vikaantuvat hitsauksessa.

Kysyttäessä, onko hitsaamasi liitos pettänyt linjan prosessiosaan, vastausjakauma oli seuraava: kyllä 12 kpl (50%) ja ei 12 kpl (50%). Kyllä vastauksen antaneita pyydettiin pohtimaan mahdollisia syitä liitoshitsin pettämiselle. Viidellä vastaajista, joilla liitos oli pettänyt, toinen tuotenuhoista oli romunauha. Kahdessa katkeamistapauksessa tuotenuhoissa oli ollut paksuuspoikkeamaa eivätkä annetut parametrit olleet pitäneet paikkaansa. Yhdessä vastauksessa syyksi oli ilmoitettu takapäätä auki oleva hitsiliitos ja lopuissa vastauksissa syy oli tuntematon.

Lopuksi kysyttäessä operaattoreilta parannusehdotuksia hitsausprosessiin/hitsausliitoksen tekemiseen vastanneista 15 kpl (62,5 %) halusi parannuksen hitsauskiekkojen kunnostukseen. Tällä hetkellä kiekkojen kunnostus on mahdollista tehdä vain irrottamalla ne hitsauskoneesta ja sorvaamalla. Myös hitsausparametreihin toivottiin muutoksia.

Keskusteluissa tuli ilmi myös hitsauskoneen ohjelmoinnin kehittäminen siten, että hitsausparametreja voisi muuttaa vielä, kun hitsauskone on ajanut jo leuat kiinni. Tällä hetkellä hitsausarvojen muutos vaatii leukojen avaamisen ja koneen käsinajon, jotta arvoja voidaan muuttaa.

Parannustoiveita esitettiin myös hitsauskoneen turvajärjestelmiin. Nykyisellään takaporttien avaaminen tarvitsee valvomosta luvan, jotta sinne voitaisiin mennä. Joissain tapauksissa on syttynyt välipaperipalo hitsauskoneen takaosassa ja sammuttaminen on hidastunut juuri turvajärjestelmän takia. Turva-aitojen sijoittelu aiheutti vaikeuksia myös hitsauskiekkojen vaihdossa. Läheisen aidan takia kiekkoja on ahdas ja hankala vaihtaa.

Myös linjan tappitestilaitteisto tarvitsee kyselyn mukaan huoltoa ja siinä ilmi tulleita puutteita oli mm. vastekappaleen reiän kuluminen (Kuva 4).



Kuva 4. Miebach-tappitestaustilaitteen vastakappale

Myös tappitestilaitteen koko miellettiin liian jykeväksi varsinkin tarkastaessa ohuiden nauhojen liitoshitsiä. Linjalla työskentelevät operaattorit ovat luonnollisesti

eripituisia, joten koneella toimiminen oli hankalaa varsinkin pienikokoisilla henkilöillä.

## 6.2 HP4-linjan teemahaastattelut

HP4-linjalla työskennellään keskeytyvässä 5-vuorotyössä. Työntekijöitä on yhteensä 20 kpl. Yhdessä vuorossa on neljä henkilöä ja kyselyssä vastaukset saatiin 17 henkilöltä (85 %).

Vastaajista kolme henkilöä vastasi kyllä (17,6 %) ja 14 kpl joskus (82,4 %) kysyttäessä muuttavatko he hitsauskoneen antamia arvoja. Eli kaikki muuttavat hitsausparametrejä jossain määrin. Kysymykseen miten parametreja muutetaan, saatiin vastaukset, jotka on annettu taulukossa 6. Sen mukaan eniten muutettavat parametrit ovat olleet hitsausnopeus ja virta. Lähes kaikki operaattorit (82,4 %) muuttivat niitä aina tai joskus. Hitsausvoimaa muutti joskus vain muutama vastaaja.

Taulukko 6. HP4-linjan parametrimuutokset

	hitsausvoima	hitsausvirta	hitsausnopeus	limitys
aina	0	2	1	0
joskus	4	12	13	0
yht.:	4	14	14	0

Tarkentavat kysymykset osoittivat, että hitsausparametrien muutokset HP4-linjalla tapahtuu pääosin ajattavien nauhapaksuuksien ääripäissä sekä lähes aina kun ajossa on romunauha. Nauhapaksuuden noustessa yli 1 mm tapahtui hitsausnopeuden pudottaminen ja hitsausvirran lisääminen. Toisaalta mentäessä alle 0,8 mm paksuuksiin oli hitsausvirtaa vastaavasti pudotettava. Kyselyssä kävi myös ilmi se, että hitsauskoneella on turhia hitsausparametreja ja se, että kaikille laaduille kone ei kuitenkaan osannut antaa mitään järkeviä hitsausparametrejä. Tällaisia olivat laadut Polarit 731/711.

Verrattaessa tapaa testata/arvioida hitsausliitoksen kestävyyttä operaattoreista 16 henkilöä (94,1 %) suoritti tappitestin nauhan loveuspaloilla sekä etu- että takapalalle. Kuusi operaattoria (35,3 %) suoritti liitoksen tarkistamisen ainoastaan taivuttamalla paloja. Loveuspaloja joudutaan myös taivuttamaan, jos tappitestiä

ei voida tehdä loveuspalalle. Vastaajista yhdeksän piti hitsauksen aikana silmämäärästä tai kuuloon perustuvaa tarkastamista tärkeänä. Kyselyssä oli mahdollisuus vastata monivalintaisesti. Vastaukset on annettu taulukossa 7.

Taulukko 7. HP4-linjan testaustapa

	Tappitesti molemmat	Tappitesti etupala	Tappitesti takapala	Taivutta- malla	Silmä/ kuulo
aina	4	0	0	0	0
joskus	12	0	0	6	9
yht.:	16	0	0	6	9

Liitoshitsin epäonnistuttua HP4-linjalla se uusitaan ja samalla hitsausparametrit muutetaan uusintahitsaukseen sopivaksi. Linjan ajonopeutta lasketaan mahdollisuuksien mukaan. Useat operaattorit kertoivat, että huonon hitsausliitoksen takia on parempi antaa linjan pysähtyä kuin pudottaa ajonopeutta. Ykkösvaraaja antaa keskimäärin noin 5 minuuttia aikaa uuteen hitsaukseen.

Myös hitsatun liitoksen seuraaminen aina ensimmäiselle vedonmittausrullalle antoi varmuuden onnistumisesta. Yhden vuoron vastauksista nousi esiin myös ennakointi tulevaan hitsaustapahtumaan tarkistamalla jo nauhojen risteysasemalla tulevat hitsausparametrit.

Kysyttäessä onko hitsaamasi liitos revennyt linjan prosessiosaan 13 henkilöä (76,5 %) vastasi kyllä ja neljä henkilöä (23,5 %) ei. ”Kyllä” vastauksen antaneet henkilöt kertoivat, että suurin osa nauhakatkoista johtui siitä, että materiaali ei vastannut paksuudeltaan hitsauskoneen antamia arvoja. Tällaisia poikkeamia syntyy romurullien kanssa ja myös siitä, että nauhat ovat jääneet paksuiksi romutuksen jälkeen. Kaksi operaattoria kertoi hitsausparametrien olleen syynä nauhakatsoon. Toisessa tapauksessa parametrit oli muutettu, mutta hyväksyminen unohtui ja toisessa taas ei perehdyttämisessä ollut vielä kerrottu, että niitä joutuu muuttamaan. Myös aika oli tehnyt tehtävänsä ja viimeisin katko oli yli 10 vuoden takaa, joten syytä ei muistettu.

Kysyttäessä parannustoiveita hitsausparametreihin sekä hitsaustapahtumalle, vastaajista 12 henkilöä halusi selvyyttä hitsausparametreihin ja seitsemän operaattoria toivoi huoltoa hitsauskoneelle sekä sen leikkurille. Myös kiekkojen

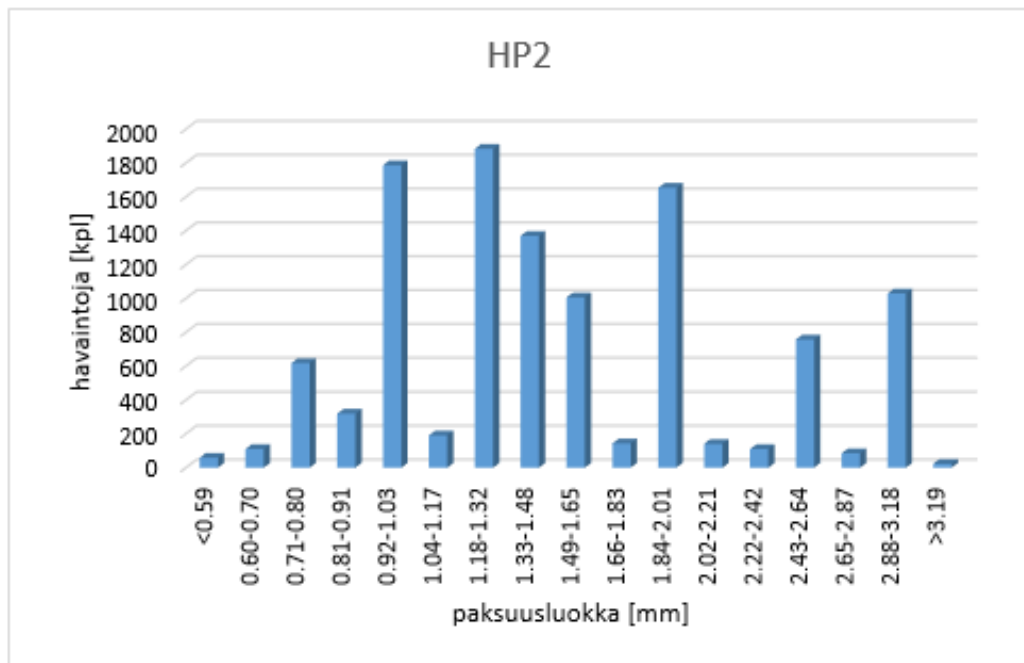
huolto/vaihto nousi esiin varsinkin, kun linjalla paksuus vaihtuu ohueksi varsin lyhyellä rullavälillä.

Polarit 710 laaduista myös toivottiin varsinkin nauhanpäiden kohdistukseen jonkinlaista parannusta, sillä tälle hetkellä nauhanpäät tahtovat lähteä rullautumaan. Tästä syystä niiden kohdennus ja hitsaukseen saaminen on työlästä.

### 6.3 Linjoilla ajettujen nauhojen paksuusjakauma ja laatu

Ajetun materiaalin historiatiedoista selvitettiin HP2- ja HP4-linjojen läpi menevien materiaalien paksuudet, teräslaatu sekä työvaiheet. Tietojen analysointi antoi tietoa mm. siitä kuinka paljon eri paksuuksia linjoilla on ajettu ja kuinka paljon lajinvaihtoja on tehty.

HP2-linjalla ajettujen nauhojen paksuus jakautui vuonna 2018 pääosin linjassa ajettavan paksuusalueen keskivaiheille (Kuvio 14). Paksuusalueen yläpäässä on havaittavissa piikit n. 2 mm, 2.5 mm ja 3 mm paksuilla nauhoilla. Kuvan paksuusluokat ovat samat kuin HP2-linjan hitsausohjeessa on käytetty.



Kuvio 14. HP2-linja ajettut paksuudet, vuosi 2018

Taulukossa 8 on annettu eri teräslautujen ajettut kappalemäärät ja suhteelliset osuudet. Taulukon mukaan viisi teräslajia (Polarit 720, 812, 725, 750 ja 810)

edustavat yli 80 % ajetuista nauhoista. Näistä 720, 725 ja 750 ovat austeniittisia ja 812 sekä 810 ferriittisiä. Tämä merkitsee sitä, että austeniittinen-ferriittinen lajinvaihtoja oli paljon. Aineiston perusteella niitä on ollut seuraavasti: austeniittinen → ferriittinen 657 kpl ja ferriittinen → austeniittinen 657 kpl.

Taulukko 8. HP2-linja ajetus laadut 2018

Laatu	kpl	%	kumul- %
720	3110	27.6 %	27.6 %
812	2893	25.6 %	53.2 %
725	2190	19.4 %	72.6 %
750	555	4.9 %	77.5 %
810	537	4.8 %	82.3 %
816	480	4.3 %	86.5 %
853	462	4.1 %	90.6 %
814	230	2.0 %	92.6 %
811	172	1.5 %	94.2 %
761	151	1.3 %	95.5 %
850	131	1.2 %	96.7 %
735	125	1.1 %	97.8 %
731	75	0.7 %	98.4 %
726	68	0.6 %	99.0 %
781	68	0.6 %	99.6 %
822	30	0.3 %	99.9 %
757	7	0.1 %	100.0 %
710	3	0.0 %	100.0 %
711	1	0.0 %	100.0 %

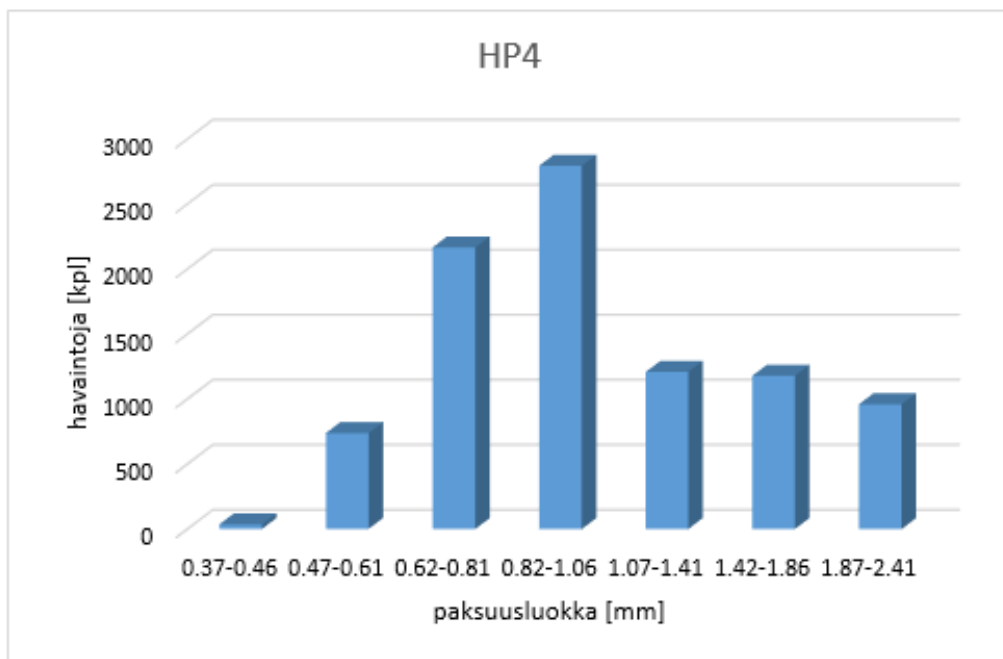
yht.: 11288 100.0 %

Taulukossa 9 on annettu HP2-linjan tuotanto 2018 on työvaiheittain jaoteltuna. Taulukon mukaan jo valmiiksi pehmeitä romu- eli apunauhoja meni linjan läpi 1364 kpl eli niiden liitoshitsi tuotenuhojen kanssa edustaa n. 12% vuosituotannosta

Taulukko 9. HP2-linjan ajot työvaiheittain 2018

TV	selite	kpl
005	Ferriittinen loppuhehkutus	4684
006	Ferr. Uudelleen peittäus	104
007	Ferr. loppuhehkutus uudessa loppumitassa	9
008	Ferr. välihepe suunnittelematon	17
009	Ferr. Välihepe suunniteltu	11
018	Ferr. 2BB loppuhehkutus	39
019	Ferr. 2BB uudelleen peittäus	54
032	kylmänauha uudelleen peittäus	113
065	Ferr. 2B uudelleen hehkutus	6
066	Ferr. 2BB uudelleen hehkutus	9
432	Välihepe suunnittelematon	31
452	Välihepe suunniteltu	82
602	Loppuhehkutus	4470
608	Kvarttoreitin HP, toim. tila 2D	109
612	Loppuhehkutus uudessa loppumitassa	186
629	Apunauhan ajo	1364
Yht.:		11288

HP4-linjalla ajettujen nauhojen paksuusjakauma on esitetty kuviossa 15. Nauhoja ajettiin vuonna 2018 läpi yhteensä 9081 kpl ja näistä suurin osa oli paksuudeltaan välillä 0.82-1.06 mm.



Kuvio 15. HP4-linjalla ajettut paksuudet, vuosi 2018

HP4-linjalla ajetaan vain austeniittista lajia, joten siellä ei tehdä lajin- eli moodin- vaihtoja kuten HP2-linjalla. Eniten ajetaan lajia 720, 725, 750 ja 710. Nämä laadut edustavat 89,7 % (8148 kpl) koko linjan tuotannosta. Taulukossa 10 on annettu HP4-linjalla ajettut laadut vuonna 2018.

Taulukko 10. HP4-linjan laadut vuonna 2018

Laatu	kpl	%	kumul%
720	3713	40.9 %	40.9 %
725	2089	23.0 %	63.9 %
750	1303	14.3 %	78.2 %
710	1043	11.5 %	89.7 %
761	318	3.5 %	93.2 %
731	288	3.2 %	96.4 %
735	182	2.0 %	98.4 %
726	70	0.8 %	99.2 %
757	35	0.4 %	99.6 %
711	27	0.3 %	99.9 %
781	13	0.1 %	100.0 %
yht.:	9081	100.0 %	

Mahdollisia työvaiheita HP4-linjalla ei ole niin paljon kuin HP2-linjalla, johtuen siitä, että linjalla ajetaan vain austeniittisia teräslaatuja. Apunauhojen ajo 378 kpl (4,16 %) on vain yksi kolmasosa ( $\frac{1}{3}$ ) HP2 - linjan apunauha-ajoihin verrattuna. (Taulukko 11).

Taulukko 11. HP4 linjan työvaiheet vuonna 2018

TV	selite	kpl
034	kylmänauha uudelleen peittäus	93
434	Välihepe suunnittelematon	67
454	Välihepe suunniteltu	480
604	Loppuhehkutus	7266
614	Loppuhehkutus uudessa loppumitassa	797
649	Apunauhan ajo	378
yht.:		9081

#### 6.4 Vetokokeet

HP2- ja HP4-linjoilta kerättiin operaattoreiden toimesta loveuspaloja liitoshitseistä ja näille tehtiin vetokokeet, jotta saataisiin käsitys siitä, mikä on liitoshitsien tyyppillinen murtolujuus. Taulukosta 12 käy ilmi, mitä näytteitä kerättiin. Käytännössä

HP2-linjan osalta saatiin kerättyä näytteitä koko paksuusalueelta. Loveuspaloja saatiin austeniittista, ferriittisistä ja apunauhoista.

HP4-linjalta taas näytepaloja saatiin 32 paria, mutta loveuspalat olivat toisen liitetyn teräksen osalta niin kapeita, ettei yhtään paria näistä näytteistä voitu hyödyntää vetokokeissa. Näytteisiin olisi pitänyt hitsata apupala, joka olisi mahdollistanut vetosauvan valmistamisen. Se ei kuitenkaan aikataulullisesti ollut mahdollista. HP4-linjalta saatiin kuitenkin loveuspalat aikaisemmin linjaan katkenneesta tuotenauhasta (näyte nro 8), joille oli tarkoitus tehdä vetokoe, mutta liitoshitsi katkesi jo vetosauvaa tehdessä. (taulukko 12).

Loveuspaloihin merkittiin etu-, (ER) tai takareuna (TR) ja tällä tavoin pystyttiin vetokoetuloksista selvittämään, kumpaa reunaa liitoksesta testattiin.

Taulukko 12. HP2- ja HP4 - linjojen loveuspalat vetokokeisiin

Näyte	linja	ER		TR	
		teräslaji	paksuus mm	teräslaji	paksuus mm
1	HP2	720-1	1.35	720-1	1.35
2	HP2	720-1	2.97	720-1	2.97
3	HP2	812-1	0.49	812-1	0.49
4	HP2	812-1	0.49	812-1	0.49
5	HP2	812-1	2.92	812-1	2.92
6	HP2	720-1	2.97	720-1	2.97
7	HP2	720-6	2.49	720-6	2.49
8	HP4	725-2	0.99	725-2	0.99

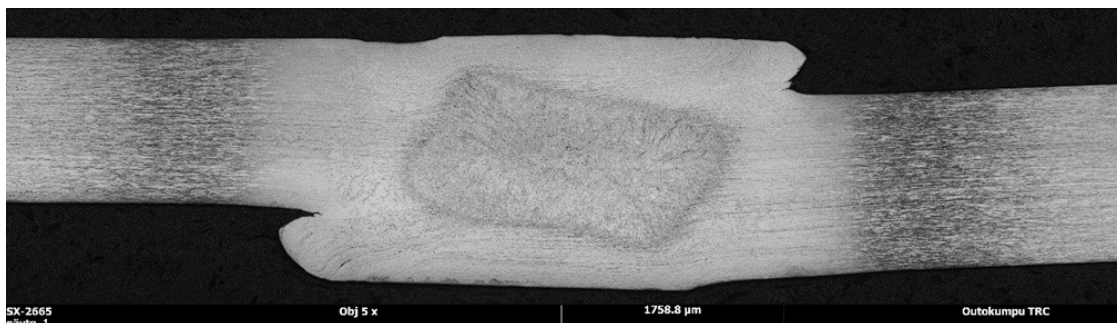
Vetokokeiden tulokset ja sauvoille tapahtunut katkeamispaikka on annettu taulukossa 13. Hitsien murtolujuus oli keskimäärin 537 MPa ja vaihteli välillä 392 – 652 MPa. Murtovenymä vaihteli suuresti ollen välillä 0.2 – 27.3%. Lähellä nollaa oleva murtovenymän arvo merkitsee kappaleen murtumista lähes hauraasti. Näytteistä 2 kpl katkesi perusaineen kohdalta ja loput 11 kpl hitsistä.

Taulukko 13. Vetokokeiden tulokset

näyte nro	ER/TR	paksuus mm	R <sub>m</sub> MPa	A %	murtuman sijainti
1	ER	1.92	602	0.6	hitsi
2	ER	4.44	392	3.4	hitsi
2	TR	2.99	652	9.7	perusaine
3	ER	0.65	604	0.3	hitsi
3	TR	0.70	597	0.5	hitsi
4	ER	0.70	450	0.4	hitsi
4	TR	0.66	583	0.2	hitsi
5	ER	3.44	540	4.6	hitsi
5	TR	3.82	523	3.2	hitsi
6	ER	3.75	396	4.5	hitsi
6	TR	3.93	430	13.7	hitsi
7	ER	2.44	604	27.3	perusaine
7	TR	2.47	610	20.5	hitsi

### 6.5 Hitsin mikrorakenne

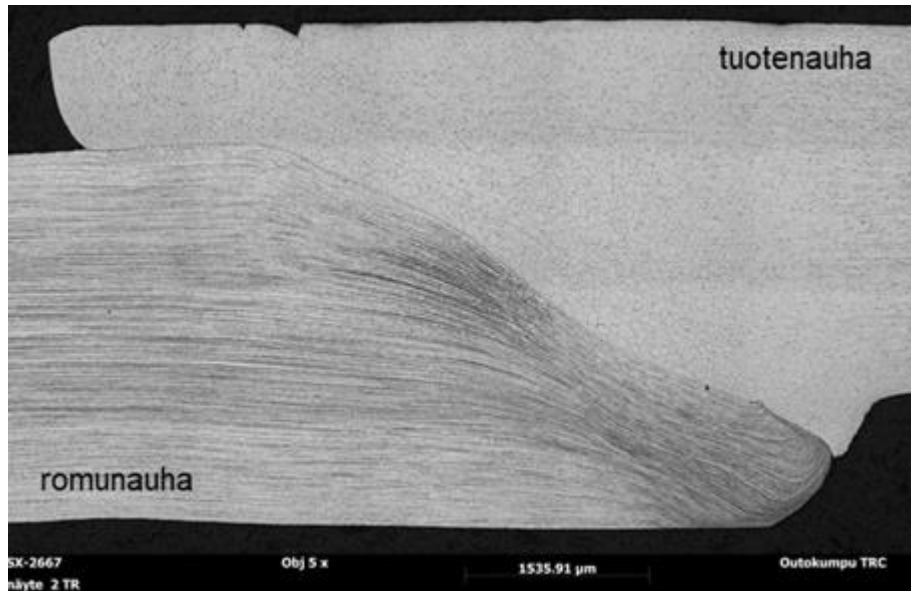
Hitsausliitosten poikkileikkauksen mikrorakenteita on esitetty kuvissa 5-9. Kuvassa 5 nähdään loveuspalan nro 1 etureunan hitsin mikrorakennetta. Hitsatut teräslajit olivat molemmat austeniittista Polarit 720-1 laatua. Näytteen murtolujuus ( $R_m$ ) oli 602 MPa ja liitos katkesi hitsistä. Kaikista tutkituista poikkileikkauksnäytteistä vain tässä on nähtävissä yleensä kiekkolitistushitsauksessa liitokseen syntyvä hitsauslinssi (engl. nugget). Limitys on ollut n. 4 mm eli sen on lähes ohjearvon mukainen (3.8 mm). Hitsauskiekkojen tai valssauksen voima on ollut todennäköisesti riittämätön, koska nauhojen reuna on koholla liitoksessa.



Kuva 5. Näyte 1 etureuna

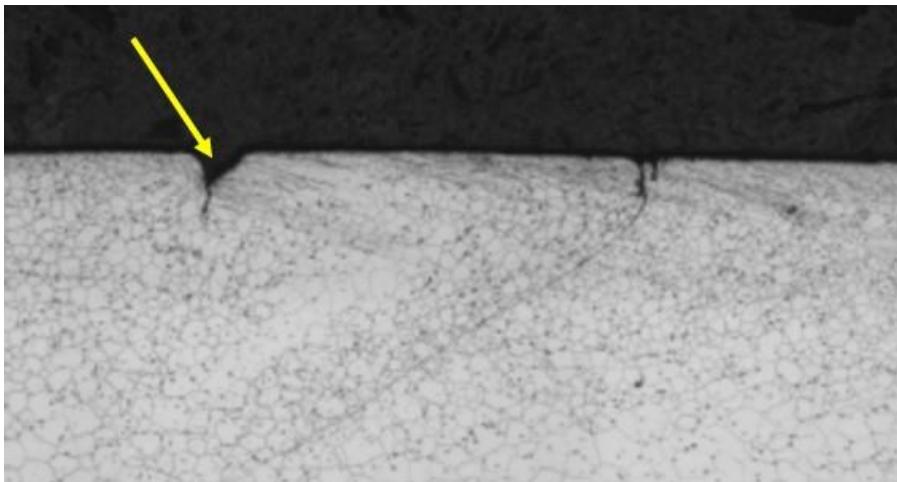
Näytteessä nro 2 (Kuva 6) on hitsattu austeniittinen 720-1 (vasen puoli) laatua oleva romunauha ja ferriittinen 812-1 laatua (oikea puoli) oleva nauha. Kuvassa

erottuu selvästi hitsauskiekon jättämä lovi yläreunassa. Kuvasta nähdään myös, että liitoshitsit eivät ole valssautuneet kunnolla yhteen. Merkillepantavaa on myös se, että vastushitsaukselle tyypillistä hitsauslinssiä ei ole syntynyt.



Kuva 6. Näyte 2 takareuna

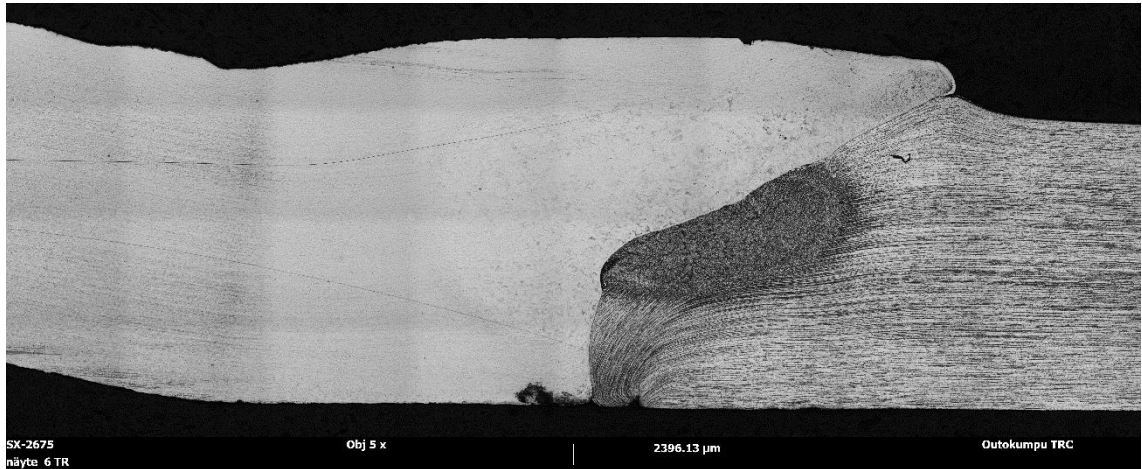
Kuvassa 7 nähdään yksityiskohta näytteen nro 3 hitsistä. Kyseessä on ferriittisen 812-1 lajin liitoshitsi. Kuva on suurennos etupalan (ER) yläreunasta. Keltaisella nuolella on osoitettu painuma, jollainen oli jäänyt lähes kaikkiin HP2-linjan näytteisiin. Nuolen oikealla puolen näkyy selkeä hitsin rajaviiva ja sen yläosassa oleva halkeama.



Kuva 7. Näyte 3 liitoshitsin yläpinta

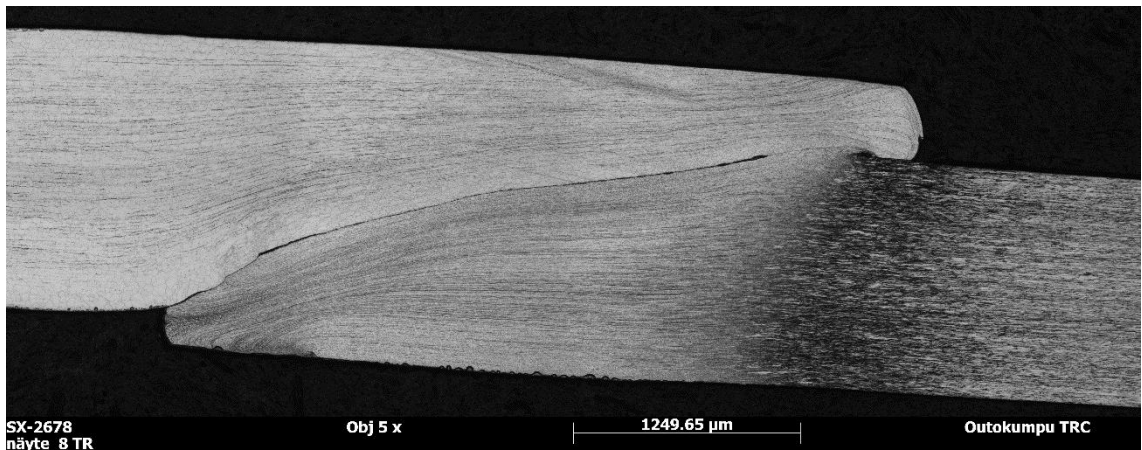
Kuvassa 8 nähdään näytteen nro 6 liitoshitsi. Kyseessä on austeniittisen romunauhan 720-1 ja ferriittisen 850-1 laadun liitoshitsi. Liitoshitsi on

epäonnistunut. Siinä on selvää painumaa kiekkoista sekä limitys näyttää puuttuvan puolen välin alapuolelta kokonaan.



Kuva 8. Näyte 6 takareuna

Näyte 8 (Kuva 9) oli ainoa, joka saatiin HP4-linjalta. Se on romunauhan ja austeniittisen Polarit 725-1 laadun välinen liitoshitsi. Kuvan perusteella liitos ei ole sulanut muualta kuin yläreunastaan. Tämä oli liitos, joka petti jo vetosauvaa koneistettaessa.



Kuva 9. Näyte 8 etu- ja takareuna

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

Työn tavoitteena oli määrittellä HP2- ja HP4-linjoilla tuotenuhoihin tehtävän liitoshitsin vaatimukset sekä kehittää tarkastus- tai testausmenetelmä, jolla vaatimustenmukaisuus voidaan todentaa mahdollisimman yksiselitteisesti tuotantolosuhteissa. Tämän lisäksi tavoitteena oli selvittää vaatimustenmukaisuuden saavuttamiseen vaikuttavat olennaiset muuttujat.

Työ aloitettiin perehtymällä kirjallisuuteen sekä etsimällä liitoshitsin laadunhallintaa ja testausta ohjaavia standardeja Testausstandardien osalta havaittiin, että ne eivät ole suoraan sovellettavissa HP2- ja HP4-linjojen hitsausliitoksen testaamiseen, nopeista hitsaus- ja tarkastamistapahtumista johtuen. Operaattoreille tehdyn teemakyselytutkimuksen pohjalta kuitenkin pystyttiin selvittämään hitsauksessa esiintyviä haasteita.

HP2- ja HP4-linjoille tehtyjen teemahaastattelujen tulosten perusteella operaattorit joutuvat lähes poikkeuksetta muuttamaan hitsauskoneen säätöjä. Tulosten perusteella hitsausarvojen muuttamiselle ei voida esittää selkeitä syitä. Vaikuttavana tekijänä ovat muun muassa romunauhut, joiden materiaaliominaisuudet poikkeavat kylmävalssatuista tuotenuhoista. Toinen vaikuttava tekijä on todennäköisesti kylmävalssattujen tuotenuhojen alku- ja loppupää, joka voi olla paksumpi kuin hitsauskoneen automaatiojärjestelmälle ilmoitettu paksuus. Tällöin hitsauskoneella voi olla väärät parametrit käytössään, mikä vaikuttaa hitsiliitoksen ominaisuuksiin. Tämä olisi vältettävissä liian paksun alueen romuttamisella, mutta varsinkin HP2-linjalla se on hidasta ja vaikeaa.

Loveuspaloja saatiin ainoastaan kahdesta lajista (720-2 ja 812-1) ja käytännössä vain HP2-linjalta, joten vetokoetulosten ei voida katsoa edustavan hitsausliitosten tyypillistä tai keskimääräistä lujuutta. Vetokokeiden tulosten perusteella lähes kaikki liitokset murtuivat hitsistä. Näytteiden murtolujuus vaihteli suuresti ollen välillä 392 – 652 MPa, samoin murtovenymä, joka oli välillä 0.2 – 27.3%. Austeniittisten näytteiden murtolujuudet vaihtelivat välillä 392 – 652 MPa. Standardin SFS-EN 10088-2:2014 vaatimus niukkahiilisen austeniittisen ruostumattoman teräksen (esim. EN 1.4307) murtolujuudelle on  $R_m = 520 - 700$  MPa. Kolmella

vetosauvalla murtolujuus jäi vaatimuksen alle. Ferriittisten näytteiden murtolujuudet olivat standardin vaatimusten mukaisia ( $R_m = 430 - 630 \text{ MPa}$ ). Kaikkien näytteiden murtovenymät olivat paljon alle standardin vaatimuksen. Hitsisauvan vetokokeen tuloksia ei voida kuitenkaan verrata perusaineen mekaanisiin ominaisuuksiin.

Mikrorakennetarkastelu osoitti, että hitsiliitoksissa oli suuria eroja ja esimerkiksi vain yhdessä hitsissä oli havaittavissa kiekkolitistyshitsauksessa liitokseen yleensä syntyvä hitsauslinssi. Lähes kaikissa hitseissä oli liitoksen ylä- tai alapintaan tullut pieniä koloja. Jälki on luultavimmin peräisin hitsauskiekosta. Syitä tähän voi olla huono leikkausjälki tai hitsauskoneen virheelliset asetukset, toisaalta myös hitsauspään öljyn vähyys voi aiheuttaa hitsausvirran ohjautumisen väärään paikkaan.

Vaatimustenmukaisuuden saavuttamisen suhteen yksi olennainen muuttuja oli teemahaastattelujen tulosten perusteella hitsauskoneen huolto. Operaattoreiden mukaan onnistunut liitoshitsi vaatii onnistuneen leikkauksen nauhojen päihin ja virheettömien hitsauskiekkojen käytön. Kummankaan linjan hitsauskoneiden leikkurinterien limitystä ei voi säätää ajettavan paksuusalueen mukaan, joten ne on asennettava aina paksuusalueen keskivaiheelle. Linjoilla ajettava paksuus vaihtuu välillä nopealla syklillä paksusta ohueen tuotenuhaan ja leikkurin terät ovat suurella rasituksella. Tästä syystä terienhuolto/vaihto tulisi toimia nopeasti ja joutavasti sekä olisi varmistettava, että uusia leikkurinteriä on aina saatavilla. Myös hitsauskiekkojen vaihtotarpeen havaittiin olevan yhteydessä onnistuneelle päiden leikkaukselle. Myös toimintatavat operaattoreiden välillä vaihtelevat suuresti ja yhtenäinen toimintamalli olisi toivottavaa. Hitsauskoneiden huolto ja operaattoreiden koulutus olisi järkevää toteuttaa luvussa 3.2 referoidun standardin SFS-EN ISO 14554-1:2013 mukaisesti.

Liitoshitsin tarkastamiseen ei kirjallisuudesta löytynyt nopeampaa ja parempaa tapaa kuin käytössä olevat tappitestausta ja käsin taivutus menetelmä. Tappitestauskoneet kuitenkin vaativat huoltoa toimiakseen oikein ja työssä tehtyjen havaintojen perusteella ne ovat huollon tarpeessa.

Tappitestaustalaitteella saadaan kuitenkin varsin hyvin selville liitoksen kestävyys. Kuvasta 10 voidaan huomata, että laite toimii ja liitos on hyväksyttävä. Hitsausliitos on jäänyt ehjäksi ja repeäminen on tapahtunut itse tuotenuhasta.



Kuva 10. HP2-linjalla tappitestattu liitos

Hitsauskiekkojen kunnossa pitäminen HP2-linjan osalta on haastavampaa joh-tuen puuttuvasta kiekonkunnostuslaitteesta. Myös hitsauskoneen toiminnan kan-nalta laitteiden hitsauspääät ovat arkoja. Niissä on käytettävä erillistä LM301 hit-sauspään öljyä, jolla pyritään alentamaan pyörintäkitkaa sen toimimatta kuiten-kaan sähköisenä eristeenä. Öljyn tehtävä on myös estää paikallisten valokaarien muodostuminen.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyö osoittautui varsin haasteelliseksi sekä erittäin mielenkiintoiseksi. Hitsaus niin teorian kuin käytännön tasollakaan ei ollut minulle ennestään tuttu, joten se toi opinnäytetyön tekemiseen omat haasteensa. Hitsaustapahtuma ja sen ympärille rakennetut standardit olivat haasteellisia hahmottaa ja työn edetessä operaattoreille tehty teemahaastattelu ja siitä saatujen tulosten käsittely oli varsin opettavainen tapahtuma.

Itse asiassa voisin sanoa käyneeni koulun tässä kevään aikana uudelleen ja opineeni työn edetessä lukuisia uusia asioita, joiden olisi ollut suotavaa olla jo itse koulun opetussuunnitelmassa.

Opinnäytetyön edetessä havaitsin, että teorialla ja käytännöllä ei nopeatempoisessa prosessityössä ole juuri yhteistä. Kiekkolitistyshitsaus tällaisessa ympäristössä on varsin vähän tutkittua ja materiaalia oli heikosti saatavilla.

Esimerkiksi hitsausstandardeissa, kuten SFS-EN ISO 15614-12 esitetyt tarkastusmenetelmät eivät ole suoraan käytettävissä HP-linjoilla.

Tärkeä esiin noussut asia työssäni oli huolto ja sen tarve. Hitsauskiekkojen tiheä vaihto esimerkiksi HP2-linjalla nostaa hitsauksen laatua ja siitä syystä kiekkojen kunnostukseen olisi syytä keskittyä huolella. Myös leikkurinterät ja niiden vaihto ovat avainasemassa. Kummankaan linjan leikkureissa terät on säädettävä tiettyyn välykseen todella tarkasti, koska välykset on vakio.

HP4-linjan kohdalla havaitsin, että hitsausparametrien suuri määrä aiheuttaa ongelmia ja niiden järjeittäminen olisi toteutettava. HP2-linjalla taas ajettava materiaali ja eri teräslajit nostivat hitsaukselle omat haasteet ja romu- ja tuotenuhojen liitoshitsi osoittautui materiaalitutkimuksissa varsin heikoksi.

Liitoshitsin onnistumiseen vaikuttaa myös operaattoreiden tarkkuus varsinkin nauhanpäiden romuttamisessa. Nauhan jäädessä paksuksi hitsaustapahtumaan aiheuttaa se lähes varmasti hitsin epäonnistumisen. Myös edellisen työvaiheen SZ valssauksen mukana kulkeutuva välipaperi aiheuttaa ongelmia. Hitsauskooneelle tullessa se saattaa olla pieninä silppuina ajettavan nauhan pinnassa.

## LÄHTEET

Outokumpu 2015. Tornio Works sisäinen tietokanta, k-asema. Viitattu 1.2.2019

Outokumpu 2019. Sisäinen intranet, Coldweb. Viitattu 19.3.2019  
<http://coldweb.od.cssdom.com/cold/hpvrkraportti/>.

Ruukki 2009. Vastushitsausopas. Viitattu 17.4.2019  
<https://docplayer.fi/5741580-Yleista-vastushitsauksesta.html>.

SFS-EN ISO 4063 2011. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Prosessien nimikkeet ja numerotunnukset. 2. painos. Helsinki: SFS.

SFS-EN ISO 6892-1 2016. Metallien vetokoe. Osa1: Vetokoe huoneenlämpötilassa. 2. painos. Helsinki: SFS.

SFS-EN ISO 14270 2016. Vastushitsaus. Hitsien rikkova aineenkoetus. Piste-, kiekko- ja käsnähitsien mekanisoitu repäisykoe. Helsinki: SFS

SFS-EN ISO 14271:2017 Hitsien rikkova aineen koetus metalleille. Piste-, kiekko-, ja käsnähitsien Vickersin kovuuskoe. 3. painos. Helsinki: SFS.

SFS-EN ISO 14272 2016. Vastushitsaus. Hitsien rikkova aineenkoetus. Piste- ja käsnähitsien poikittainen vetokoe. Helsinki: SFS

SFS-EN ISO 14273 2016. Vastushitsaus. Hitsien rikkova aineenkoetus. Piste-, kiekko- ja käsnähitsien leikkausvetokoe. Helsinki: SFS

SFS-EN ISO 14554-1 2013. Hitsauksen laatuvaatimukset. metallien vastushitsaus. OSA 1: Kattavat laatuvaatimukset. 2. painos. Helsinki: SFS.

SFS-EN ISO 15614-12 2014. Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure test. Part 12: Spot, seam and projection welding. Helsinki: SFS

SFS-EN ISO 17637 2016 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. 2. painos. Helsinki: SFS

SFS-EN ISO 17653 2012 Vastushitsaus. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Vastuspistehitsien vääntökoe. 2. painos. Helsinki: SFS

Tarkiainen, R., Kyröläinen, A. 1999. Ohutlevyjien liittäminen. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET.

Welding Handbook. 2004. Volume 2, Welding processes, part 1. Ninth edition. Miami, American Welding Society. ISBN 0-87171-729-8

## LIITTEET

Liite 1. Hitsauskysely HP2- ja HP4-linjojen operaattoreille.

Liite 2. Malliesimerkki hitsauksen laadun hyväksymiskriteereistä.

## Liite 1. Hitsauskysely 1 (1)

## Hitsauskysely HP2 ja HP4 operaattoreille.

Linja \_\_\_\_\_ Vuoro \_\_\_\_\_

**1. Muutatko hitsauskoneen antamia hitsausarvoja?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

**a) Jos kyllä niin miten?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

**b) Millaisessa tilanteessa?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

**2. Millä tavoin testaat/arvioit hitsausliitoksen kestävyys?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

## Liite 1. Hitsauskysely 2 (2)

**3. Miten toimit, jos hitsiliitos ei ole kestävä?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

**4. Onko hitsaamasi liitos revennyt linjan prosessiosaan?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

**a. Jos on, minkä epäilet olleen syynä?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

**5. Parannusehdotuksia hitsausprosessiin/hitsiliitoksen tarkastukseen?**

Operaattori 1: \_\_\_\_\_

Operaattori 2: \_\_\_\_\_

Operaattori 3: \_\_\_\_\_

Operaattori 4: \_\_\_\_\_

Operaattori 5: \_\_\_\_\_

## Liite 2. Malliesimerkki hitsauksen laadun hyväksymiskriteereistä

**Liite B**

(opastava)

**Hitsausohjeen esimerkki – II: Laadun hyväksymiskriteerit**

Nro: \_\_\_\_\_

Painos/Revisio: \_\_\_\_\_

Päivämäärä: \_\_\_\_\_

Asiakas: \_\_\_\_\_

Valmistaja: \_\_\_\_\_

**Tuote**

Kuvaus: \_\_\_\_\_

Tuotteen tunnustus Nro<sup>a</sup>: \_\_\_\_\_

Kokoonpanon nimi: \_\_\_\_\_

Kokoonpanon Nro<sup>a</sup>: \_\_\_\_\_Liitoksen paikka/operaatio  
numero/tunnistuskoodi<sup>a</sup>: \_\_\_\_\_

Liitosmuoto: \_\_\_\_\_

**Laatuvaatimukset**

Tuote: \_\_\_\_\_

Hitsilaji: \_\_\_\_\_

Hitsien laatuluokitus: \_\_\_\_\_

Ulkonäkö: \_\_\_\_\_

**Liitoksen geometriset ja fysikaaliset ominaisuudet**

Määritetyt testausarvot	arvo (mm)
Hitsauslinssin halkaisija (min.):	
Hitsauslinssin painauma (min./max.):	
Elektrodin painauman halkaisija (nimellinen):	
Elektrodin painauman syvyys (max.):	
Levyjen erkautumisväli (max.):	

	min. arvo (kN)	min. hitsin halkaisija (mm)	murto- tyyppi
Talittauskoe:	-		
Repäisyvoima:			
Leikkausvoima:			
Poikittaisvetovoima:			
Iskuvoima:			

Väsytysovoima (kN) ja hitsauskierrot: \_\_\_\_\_

Erityisohjeet: \_\_\_\_\_

Korroosiokoe: \_\_\_\_\_

Laatinut: \_\_\_\_\_

Päivämäärä: \_\_\_\_\_

<sup>a</sup> Merkitse piirustuksen numero.