

Kristian Aaltonen

Silmämääräisen tarkastuksen merkitys hitsauksen tarkastuskokonaisuudessa ja tarkastuksen optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotekniikka

Insinööriytyö

27.4.2016

Tekijä	Kristian Aaltonen
Otsikko	Silmämääräisen tarkastuksen merkitys hitsauksen tarkastuskokonaisuudessa ja tarkastuksen optimointi
Sivumäärä	33 sivua
Aika	27.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaaja	Lehtori Juha Kotamies
<p>Tässä insinööriyössä käsitellään silmämääräistä tarkastusta osana hitsauksen tarkastuskokonaisuutta. Työn teoriaosuudessa käsitellään SFS-EN ISO -standardien asetuksia tarkastuksille ja tutkitaan erityyppisiä sulahitsausliitoksissa ilmeneviä virheitä.</p> <p>Työn tavoitteena on tutustua käytössä oleviin silmämääräisen tarkastuksen käytäntöihin ja asetuksiin osana tarkastuskokonaisuutta, sekä saada käsitys optimaalisesta silmämääräisen tarkastuksen osuudesta tarkastuskokonaisuudessa.</p> <p>Tutkimuksessa vertaillaan silmämääräistä hitsintarkastelua muihin olemassa oleviin NDT-menetelmiin sekä tarkastajan taustan merkitystä tarkastuksen laatuun. Lisäksi käsitellään esimerkkien kautta tarkastuksiin liittyviä kustannuksia ja virheiden kertautumista huonosti tehdyn silmämääräisen tarkastuksen johdosta.</p> <p>Työn tuloksena silmämääräisen tarkastuksen hyvät ominaisuudet löydettiin, sekä määritettiin optimaaliset keinot sulahitsauksen tarkastukseen.</p>	
Avainsanat	NDT, silmämääräinen tarkastus, sulahitsaus

Author	Kristian Aaltonen
Title	Visual Inspection as a Part of the Overall Inspection of Weldings and the Optimization of Inspections
Number of Pages	33 pages
Date	27 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Technology
Instructor	Juha Kotamies, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis examines visual inspections as a part of the overall inspection of weldings. The objective of this Bachelor's thesis is to familiarize oneself with the methods in use with the visual inspection process and its regulations as a part of the overall inspection. Furthermore, the objective was to get an insight into optimal visual inspections.</p> <p>The theory part of this thesis examines the regulations of SFS-EN ISO standards for inspection and the different kind of flaws in fusion welding are studied as well. This study compares visual inspection to other existing NDT-methods and it is also discussed if an inspector's background has any impact on the quality of the inspection process. In addition, the study examines the costs of inspections and the recurring flaws due to poorly executed visual inspections through examples.</p> <p>As a result, the main features and qualities of good visual inspections were found out and optimal inspection methods were created.</p>	
Keywords	NDT, visual inspection, fusion welding

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Silmämääräinen hitsin tarkastus	1
2.1	Valaistustekniikan perusteita	1
2.2	SFS-EN ISO 17637 Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus	2
2.3	Tarkastusolosuhteet ja laitteiston vaatimukset	2
2.4	Sulahitsisaumojen tarkastuslaitteet	3
2.5	Standardin mukaiset silmämääräiset tarkastukset sulahitsisaumaan	5
2.5.1	Hitsausta edeltävät tarkastukset	6
2.5.2	Hitsauksen aikaiset tarkastukset	6
2.5.3	Valmiin hitsin tarkastus	7
2.5.4	Hitsin korjaus	9
2.5.5	Tarkastuspöytäkirjan laatiminen	10
3	Hitsausvirheet	11
3.1	Hitsauksen raja-arvot	11
3.2	Silmämääräisesti havaittavat hitsausvirheet	12
3.2.1	Roiskeet	12
3.2.2	Muodonmuutokset	13
3.2.3	Kuumahalkeama hitsin keskellä	14
3.2.4	Reunahaava	14
3.2.5	Vajaa hitsautumissyvyys	15
3.3	Muilla NDT-menetelmillä havaittavat virheet	16
3.3.1	Vetyhalkeama	16
3.3.2	Liitosvirhe	17
3.3.3	Kraaterihalkeama	17
3.3.4	Huokoset	18
3.3.5	Kuonasulkeumat	19
3.4	Suunnittelusta johtuvat hitsausvirheet	19
3.4.1	Materiaalivalinnat	19
3.4.2	Piirustuksista poikkeaminen	20
3.4.3	Automatiikasta johtuvat virheet	20

4	Tarkastuksen luotettavuus	21
4.1	Sertifikoidut NDT-tarkastajat	21
4.2	Ulkomaalaisen alihankinnan vaikutus työn laatuun	25
4.3	Tarkastajan merkitys	26
5	Silmämääräisen tarkastuksen merkitys	27
5.1	Silmämääräinen hitsintarkastelu verrattuna muihin NDT-menetelmiin	27
5.2	Kustannukset	28
5.3	Virheiden kertautuminen	28
6	Optimaalinen tarkastus luotettavuuden kannalta	29
6.1	Esivalmistelu	29
6.2	Työn suoritus	30
6.3	Hitsauksen jälkeinen tarkastus	30
6.4	Tarkastuspöytäkirjat ja korjausten hallinta	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

Lyhenteet

EN	Eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä vahvistetun standardin tunnus
ISO	Industry Standards Organization, alan standardointijärjestö
NDT	Non-destructive testing, rikkomaton aineenkoetus
POD	Probability of Detection, virheen ilmenemistodennäköisyys
SFS	Suomessa vahvistetun standardin tunnus

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkitaan hitsauksen silmämääräistä tarkastusta osana tarkastuskokonaisuutta. Tutkimuksessa selvitetään kokemusten ja kirjallisuuden pohjalta, mitä vaikutuksia silmämääräisellä tarkastuksella on kustannustehokkuutta ajatellen, sekä miten huolellisella silmämääräisellä tarkastuksella voidaan ehkäistä suurempien virheiden syntyä työn eri vaiheissa.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää standardeja ja yleisiä toimintatapoja tutkimalla käytännön kannalta optimaalisimmat keinot tarkastusten suorittamiseen.

2 Silmämääräinen hitsin tarkastus

2.1 Valaistustekniikan perusteita

Silmämääräisen tarkastuksen valaisuteknisistä ominaisuuksista olennaisimmat käsitteet ovat valovirta (lumen, lm), sekä valaisuvoimakkuus (luksi, lx). Valovirta ilmaisee, kuinka paljon valoa valonlähde antaa. Tästä esimerkkinä 40 W:n hehkulamppu, minkä valovirran määrä on yleensä 400—500 lm välillä.

Valaisuvoimakkuus saadaan, kun tarkastellaan tietyn kokoiselle pinnalle tulevan valon määrää. Valaisuvoimakkuus ilmoitetaan lukseina, ja saadaan yhtälöstä lm/m^2 . Tämän lisäksi tulee huomioida, että valaisuvoimakkuus heikkenee, sen mukaan mitä suurempi etäisyys valonlähteestä on tarkasteltavaan pintaan. Esimerkiksi jos voimakkuus on 100 lx metrin etäisyydellä, on se 25 lx kahden metrin päässä ja enää 4 lx 5 m:n päässä. Tätä voidaan kompensoida lisäämällä useampia ja voimakkaampia valonlähteitä tarkasteltavalle alueelle. (Luksi – valaistusvoimakkuus 2014)

2.2 SFS-EN ISO 17637 Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus

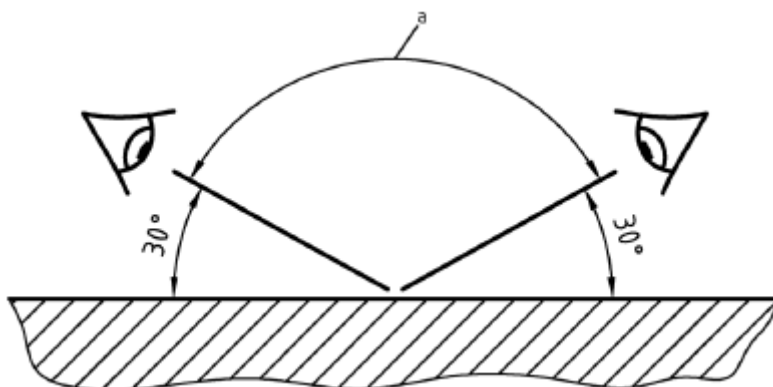
Standardi SFS-EN ISO 17637 (Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus) määrittelee silmämääräiselle tarkastukselle vaadittavat olosuhteet ja laitteet, sekä henkilöstön pätevöittämiseen vaadittavat kriteerit. Tämän lisäksi standardi määrittelee, minkä tyyppisiä tarkastuksia voidaan silmämääräisellä tarkastuksella tehdä.

Standardia sovelletaan erityyppisten sulahitsausliitosten visuaalisiin tarkastuksiin. Standardia voidaan soveltaa hitsausta edeltäviin tarkastuksiin, sekä hitsauksen jälkeisiin visuaalisiin tarkastuksiin. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 166.)

2.3 Tarkastusolosuhteet ja laitteiston vaatimukset

Standardin SFS-EN ISO 17637 mukaan tarkasteltavan pinnan valaisuvoimakkuuden tulee olla vähintään 350 lx, mutta mieluiten 500 lx. Tätä valaisuvoimakkuutta alhaisemmissa olosuhteissa tarkastuksen luotettavuus alentuu virheherkkyyden kasvaessa. Lisävalonlähteiden käyttö sulahitsausliitosten tarkastuksessa on suotavaa. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 166.)

Ilman apuvälineitä suoritettavassa tarkastuksessa tulee kohteen luoksepääsyn olla esteetön, tarkastusetäisyyden korkeintaan 600 mm ja tarkastelukulman suuruuden vähintään 30° pinnan suhteen (kuva 1). (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 166.)



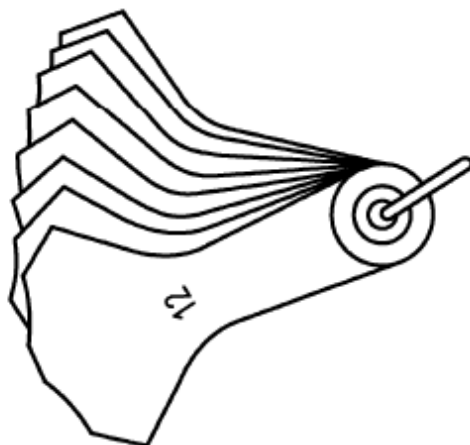
Kuva 1 Silmämääräisen hitsin tarkastelualue (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 166.)

Apuvälineitä, kuten peilejä ja kameroita voidaan, käyttää tarkastuksessa avuksi, mikäli edellä mainitut olosuhteet eivät ole kohteen sijainnista johtuen täytettävissä. Mikäli silmämääräisessä tarkastuksessa saadut tulokset ovat epämääräisiä tai riittämättömiä, voidaan kohteelle määrätä täydentäviä tutkimuksia muista rikkomattomista tarkastusmenetelmistä, kuten magneettijauhetaikasta tai röntgentarkastuksesta.

2.4 Sulahitsisaumojen tarkastuslaitteet

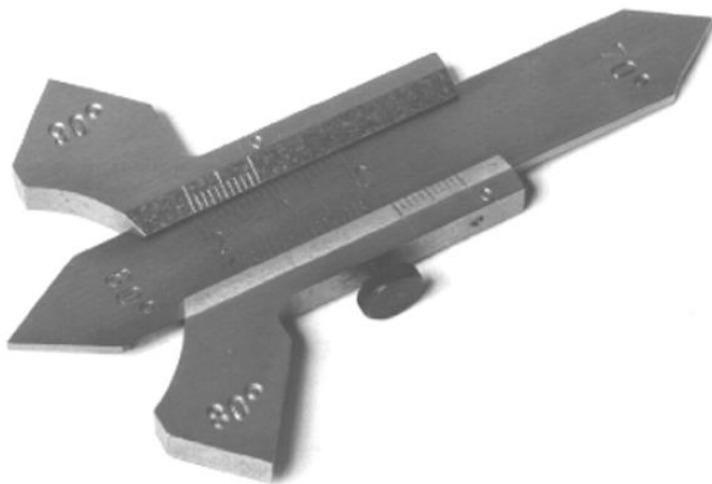
Sulahitsisaumojen silmämääräiseen tarkastukseen on luotu erilaisia tarkastuslaitteita avustamaan tarkastuksia. Tässä kappaleessa esitetään standardin SFS-EN ISO 17637 hyväksymiä tarkastuslaitteita.

Hitsin mittauslaitesarjaa (kuva 2) käytetään pienahitsien mittaukseen 3—12 mm välillä ja se perustuu kolmipistemittausperiaatteeseen.



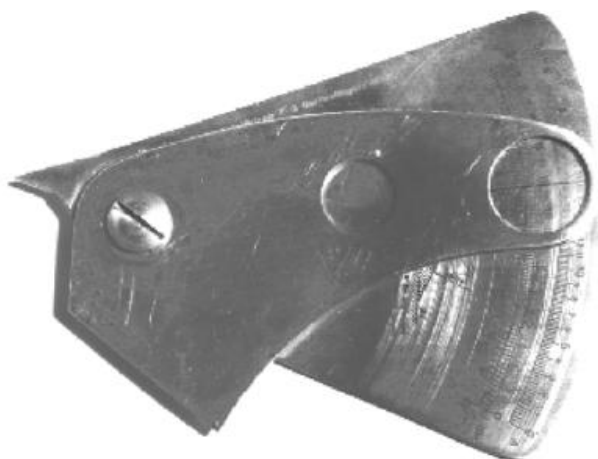
Kuva 2 Hitsin mittauslaitesarja (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 176.)

Työntömitalla varustettua hitsin mittauslaitetta (kuva 3) käytetään pienahitsien mittaukseen. Eroaa ylläolevasta mittalaitteesta sen kyvyllä mitata päittäishitsin kuvun korkeutta.



Kuva 3 Työntömitalla varustettu hitsin mittauslaite (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 178.)

Kolmeasteikkoinen hitsin mittauslaite (kuva 4) on tarkoitettu a- ja z-mitan määrittelyyn. Laitteella voidaan myös mitata kuvun korkeutta, ja se soveltuu myös epäsymmetristen pienahitsien mittaukseen.



Kuva 4 Kolmeasteikkoinen hitsin mittauslaite (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 178.)

Rakomittaa (kuva 5) käytetään juuriraon, välien leveyden ja reiän halkaisijan mittaamiseen.



Kuva 5 Rakomitta (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 182.)

(SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 174.)

2.5 Standardin mukaiset silmämääräiset tarkastukset sulahitsisaumaan

Standardi SFS-EN ISO 17637 määrittää sulahitsaukselle silmämääräisellä tarkastuksella tehtävät toimenpiteet jokaisessa välivaiheessa tasaisen laadun ylläpitämiseksi. Yleisesti ottaen esivalmisteluissa ja hitsauksen aikana tehtävät tarkastukset jätetään hitsarin vastuulle, mutta erikoistapauksissa voidaan vaatia ulkopuolista tarkastajaa tarkkailemaan suoritusta.

2.5.1 Hitsausta edeltävät tarkastukset

Standardin SFS-EN ISO 17637 mukaan hitsausta edeltävässä tarkastuksessa tulee varmistaa seuraavat asiat:

- railon muoto ja mitat vastaavat hitsausohjeessa määritettyjä vaatimuksia
- railon kyljet ja viereiset pinnat ovat puhtaita ja vaaditut pintakäsittelyt on suoritettu sovellus- tai tuotestandardin mukaisesti
- hitsattavat osat on sovitettu toisiinsa oikein piirustusten tai ohjeiden mukaisesti. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 168.)

Käytännössä railon valmistelu ja tarkastus ovat hitsaajan vastuulla poikkeustilanteita lukuun ottamatta. Syihin, miksi nämä tarkastukset vaaditaan perehdytään myöhemmissä osioissa.

2.5.2 Hitsauksen aikaiset tarkastukset

Hitsauksen aikaisesta silmämääräisestä tarkastuksesta standardi SFS-EN ISO 17637 määrittää seuraavasti:

- Jokainen palko tai palkokerros on puhdistettu ennen seuraavan palon hitsausta. Erityistä huomiota kiinnitetään hitsiaineen ja railon kyljen välisiin kohtiin.
- Hitsissä ei saa olla havaittavissa hitsausvirheitä, esim. halkeamia tai onteloita. Jos hitsausvirheitä havaitaan, raportoidaan ne siten, että korjattavat 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.
- Juuren avauksen syvyys ja muoto on hitsausohjeen mukainen tai riittävä verrattuna alkuperäisen railon muotoon, jotta varmistetaan täydellinen hitsiaineen poistaminen määritetyllä tavalla.
- Hitsi täyttää alkuperäiset hitsausohjeen vaatimukset mahdollisten tarvittavien korjausten/korjaavien toimenpiteiden jälkeen. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 168.)

Hitsin aikaiset silmämääräiset tarkastukset ovat usein hitsaajan vastuulla poikkeustapauksia lukuun ottamatta. Näin ollen hitsaajan ammattitaito korostuu etenkin tässä vaiheessa, sillä palkojen puutteellinen puhdistus saattaa johtaa kuonaviivojen tai yksittäisten kuonahiukkasten syntyyn hitsin sisällä, mikä heikentää hitsin laatua. (Hitsauksen materiaalioppi 2004: 107.)

2.5.3 Valmiin hitsin tarkastus

Valmiin hitsin tarkastuksissa standardi SFS-EN ISO 17637 viittaa sovellus- ja tuotestandardien laatuvaatimuksiin. Esimerkkeinä käytettävistä sovellus- ja tuotestandardeista SFS-EN ISO 17637 -standardi antaa SFS-EN ISO 5817 -standardin (Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat) sekä SFS-EN ISO 10042 -standardin (Hitsaus. Alumiinin ja alumiiniseosten kaarihitsaus. Hitsiluokat). Vähittäisvaatimukset valmiin hitsin tarkastukseen SFS-EN ISO 17637 määrittää seuraavasti:

Hitsi tarkastetaan seuraavien asioiden varmistamiseksi:

- Kaikki kuona on poistettu käsityökaluilla tai mekaanisesti. Näin menetellään, jotta vältetään hitsausvirheiden peittoonjääminen.
- Työkalujen aiheuttamia painaumuksia tai hakkaumajälkiä ei esiinny.
- Kun on vaadittu hitsin jälkikäsitteilyä, on hionnan aiheuttama liitoksen ylikuumentuminen vältetty. Myös hiontajäljet ja epätasainen viimeistely on vältetty.
- Sileäksi käsiteltävä piena- tai päittäishitsi yhtyy tasaisesti perusaineeseen ilman liiallista hiontaa.

Jos havaitaan virheitä (hiomisesta tai muusta johtuen) raportoidaan ne, jotta parantavia toimenpiteitä voidaan tehdä. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 168.)

Hitsin profiilille ja mitoille hitsi määrittää seuraavat tarkastukset:

Hitsi tarkastetaan seuraavien asioiden varmistamiseksi:

- Hitsin pinnan profiili ja kaikki korkeudet täyttävät hyväksymisstandardin vaatimukset.
- Hitsin pinta on säännöllinen. Sivuttaisliikkeen muoto ja etenemä on tasainen ja ulkonäöltään tyydyttävä. Viimeisen palon ja perusaineen välinen etäisyys tai palkojen sijainti mitataan, kun hitsausohje näin vaatii.
- Hitsin leveys on yhdenmukainen koko liitoksen mitalla, ja että se täyttää hitsauspiirustuksessa tai hyväksymisrajastandardissa annetut vaatimukset. Päittäishitseissä varmistetaan, että railo on täytynyt kokonaan. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 166.)

Hitsin juurelle ja pinnalle standardi SFS-EN ISO 17637 asettaa seuraavat vaatimukset:

Silmämääräisesti luoksepäästävät hitsin osat, esim. yhdeltä puolelta hitsatun päittäishitsin juuri ja hitsin pinnat, tarkastetaan hyväksymisrajastandardista esiintyvien poikkeamien suhteen.

Hitsi tarkastetaan seuraavien asioiden varmistamiseksi:

- Yhdeltä puolelta hitsatun päittäishitsin tapauksessa hitsautumissyvyys, vajaa juuri ja kaikki läpipalaneet kohdat tai juurenpuoleiset reunahaavat ovat hyväksymisrajastandardissa määritetyissä rajoissa koko liitoksen mitalla.
- Kaikki reunahaavat täyttävät hyväksymisrajastandardin vaatimukset.
- Kaikki, tarvittaessa optisia apuvälineitä käyttäen havaitut hitsausvirheet, kuten halkeamat ja huokoisuus hitsin pinnalla tai hitsin muutosvyöhykkeellä, eivät ylitä tarkoituksenmukaisia hyväksymisrajoja.
- Kaikki tilapäiset kiinnikkeet, jotka on hitsattu kappaleeseen valmistuksen tai asennuksen helpottamiseksi ja jotka rajoittavat kappaleen toimintaa tai tarkastettavuutta, on poistettu niin, ettei kappale ole vahingoittunut. Alue, mihin kiinnike oli kiinnitetty, tarkastetaan sen varmistamiseksi, ettei alueella ole halkeamia.
- Sytytysjäljet ovat hyväksymisrajastandardin määrittämien rajojen sisällä. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 170.)

Hitsauksen jälkeiset tarkastukset ovat laadun kannalta erityisen tärkeitä, ja niihin löytyykin useampia eri variaatioita eri yritysten välillä. Onkin erityisen tärkeää kustannustehokkuutta ajatellen, että hitsaaja tarkistaa sauman silmämääräisesti ensin itse vähintäänkin standardin vaatimalla tavalla. Tämän lisäksi asiakas voi vaatia joko työnjohdon tai ulkopuolisen ammattilaisen suorittamaan silmämääräisen tarkastuksen tai tarpeen vaatiessa saumalle voidaan määrätä muita rikkomattomia aineenkoetuksia, kuten magneettijauhe- tai ultraäänikokeita.

2.5.4 Hitsin korjaus

Hitsien korjauksesta standardi SFS-EN ISO 17637 kertoo lyhyemmin. Koko hitsisauman mennessä korjaukseen, määrittää standardi seuraavasti:

Kun viallinen hitsi on kokonaan poistettu, ja on tarve tai ei ole tarvetta liittää uusi osa, varmistetaan siitä, että railon muoto ja mitat täyttävät alkuperäiselle hitsille määritetyt vaatimukset. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 170.)

Periaatteessa tämä tarkoittaa sitä, että hitsisauman poistamisen jälkeen palataan tarkastuspolussa ensimmäiseen vaiheeseen eli tarkastetaan railon ja sen ympäristön siisteys ja jatketaan siitä järjestyksessä eteenpäin. Lopulta päästään taas siihen pisteeseen, että on tutkittava, täyttääkö hitsi standardin tai hitsausohjeen antamat laatuvaatimukset. Jos hitsi tarvitsee vielä paikallista korjausta pienemmästä hitsausvirheestä johtuen, on edessä paikallinen korjaus. Paikallisen korjauksen standardi SFS-EN ISO 17637 määrittää seuraavasti:

Avauksen on oltava riittävän syvä ja pitkä, jotta kaikki hitsausvirheet poistuvat. Avauksen on oltava loiva pohjasta hitsiaineenpinnalle avauksen päissä ja sivuilla. Avauksen leveyden ja profiilin on oltava sellainen, että korjaushitsaukselle on riittävä luoksepäästävyys. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 170.)

Paikallisten korjausten suorittaminen on yleisesti ottaen haastavampaa työtä verrattuna uuden sauman hitsaukseen. Vaikka korjattu sauma saattaakin ulkoisesti näyttää hyvältä, on lisäkokeiden suorittaminen suotavaa hitsin eheyden varmistamiseksi.

2.5.5 Tarkastuspöytäkirjan laatiminen

Tarkastuspöytäkirjojen laatiminen varsinkin suuremmissa kokonaisuuksissa on suositeltava käytäntö sisäisen seurannan vuoksi. Tarkastuspöytäkirjojen pitäminen auttaa edistymisen seurannassa ja niiden avulla pystytään varmistamaan, että tarvittavat korjaukset hitsisaumaan on varmasti saatu tehtyä. Tarkastuspöytäkirjojen laadinnasta standardi SFS-EN ISO 17637 määrittää seuraavasti:

Kun tarkastuspöytäkirjoja vaaditaan, pöytäkirjan tulee sisältää ainakin seuraavat tiedot:

- kappaleen valmistajan nimi
- tarkastuslaitoksen nimi, jos poikkeaa valmistajasta
- tarkastuskohteen tunnistustiedot
- materiaali
- liitosmuoto
- aineenpaksuus
- hitsausprosessi
- hyväksymisrajat
- hyväksymisrajat ylittävät hitsausvirheet ja niiden sijainti
- tarkastuslaajuus tarkoituksenmukaisiin piirustuksiin viitattuna
- käytetyt tarkastuslaitteet
- tarkastustulos hyväksymisrajoihin nähden
- tarkastajan nimi ja tarkastuspäivämäärä.

Tarkastettujen ja hyväksytyjen hitsien tulisi olla soveltuvalla tavalla merkittyjä tai tunnistettavia.

Jos tarkastetusta hitsistä vaaditaan pysyvä visuaalinen tallenne, tulisi hitsistä ottaa valokuvia tai tehdä täsmällisiä luonnoksia tai kumpiakin siten, että kaikki hitsausvirheet on selvästi osoitettu. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 170.)

3 Hitsausvirheet

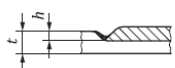
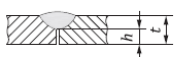
Standardi SFS-EN ISO 6520-1 määrittelee hitsausvirheen seuraavasti:

Hitsissä esiintyvä epäjatkuvuus tai poikkeama hitsin oletetusta geometriasta. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015:78.)

3.1 Hitsauksen raja-arvot

Standardia SFS-EN 5817 sovelletaan sulahitsausliitosten hitsausvirheiden luokitteluun. Standardi määrittää raja-arvot eri tyyppisille virheille. Se määrittää valmiille hitsille raja-arvot kolmeen luokkaan, mitkä merkitään tunnuksilla B, C ja D. B-luokka asettaa tiukimmat vaatimukset valmiille hitsille ja toisessa ääripäässä on D-luokka. Kuvassa 6 on esimerkkinä standardin SFS-EN 5817 hitsausvirheiden raja-arvojen ensimmäinen taulukko (kuva 6). (SFS-käsikirja 66-1. Hitsaus. Osa 1: Hitsauksen laadunhallinta 2014: 220.)

Taulukko 1 Hitsausvirheiden raja-arvot

Nro	Viite-numero ISO 6520-1	Virhetyyppi	Huomautukset	t mm	Hitsiluokkien hitsausvirheille asettamat raja-arvot		
					D	C	B
1 Pintavirheet							
1.1	100	Halkeama		≥ 0,5	Ei sallita	Ei sallita	Ei sallita
1.2	104	Kraatterihalkeama		≥ 0,5	Ei sallita	Ei sallita	Ei sallita
1.3	2017	Pintahuokonen	Yksittäisen huokosen enimmäiskoko	0,5-3	$d \leq 0,3 s$ $d \leq 0,3 a$		Ei sallita
			— päittäishitsi — pienahitsi				
			Yksittäisen huokosen enimmäiskoko	> 3	$d \leq 0,3 s$, enintään 3 mm $d \leq 0,3 a$, enintään 3 mm	$d \leq 0,2 s$, enintään 2 mm $d \leq 0,2 a$, enintään 2 mm	Ei sallita
			— päittäishitsi — pienahitsi				
1.4	2025	Avoin imuontelo		0,5-3	$h \leq 0,2 t$	Ei sallita	Ei sallita
				> 3	$h \leq 0,2 t$, enintään 2 mm	$h \leq 0,1 t$, enintään 1 mm	Ei sallita
1.5	401	Liitosvirhe	-	≥ 0,5	Ei sallita	Ei sallita	Ei sallita
		Mikroliitosvirhe	Voidaan havaita vain mikrohietutkimuksella	≥ 0,5	Sallitaan	Sallitaan	Ei sallita
1.6	4021	Vajaa hitsautumissyvyys juuressa	Vain yhdeltä puolelta hitsatut päittäishitsit	≥ 0,5	Lyhyt: $h \leq 0,2 t$ enintään 2 mm	Ei sallita	Ei sallita
							

Kuva 6 Hitsausvirheiden raja-arvot (SFS-käsikirja 66-1. Hitsaus. Osa 1: Hitsauksen laadunhallinta 2014: 228.)

Taulukosta (kuva 6) nähdään esimerkiksi juuren vajaan hitsaussyvyiden raja-arvot eri luokissa. Sallivimmassa luokassa D hitsi voi olla juuren puolelta vajaa enintään 2 mm

sekä sen tulee täyttää vaatimus $h \leq 0,2t$, missä h on vajaa hitsaussyvyys juuressa ja t on teräksen halkaisija. C- ja B-luokissa vajaata hitsaussyvyyttä juuressa ei taulukon mukaan sallita ollenkaan. (SFS-käsikirja 66-1. Hitsaus. Osa 1: Hitsauksen laadunhallinta 2014: 228.)

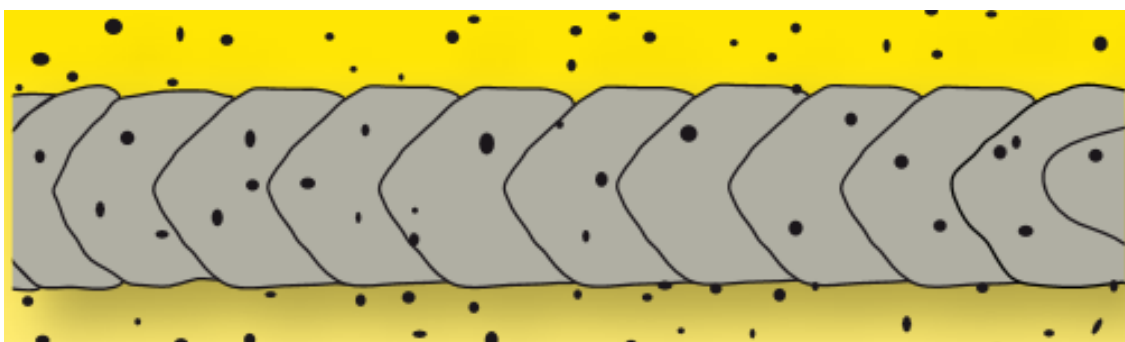
Vaadittava hitsausluokka määritellään hitsausohjeissa. Kohteissa, mitkä eivät vaadi tarkkaa viimeistelyä, voidaan soveltaa hitsausluokkaa D. Alhaisemman luokan vaatimukset ovat hitsarin helpompi toteuttaa, eikä pienempiä virheitä tarvitse korjata, mikäli ne eivät ylitä annettuja raja-arvoja.

3.2 Silmämääräisesti havaittavat hitsausvirheet

Tässä osiossa esitellään yleisiä silmämääräisesti havaittavia hitsausvirheitä.

3.2.1 Roiskeet

Roiskeiden (kuva 7) syntyyn on useita syitä. Jos syy roiskeiden syntyyn on laitteistossa, voidaan pyrkiä hitsaamaan alhaisemmalla hitsausvirralla tai mahdollisesti lyhentää valokaaren mitta. Syy roiskeiden syntyyn voi olla myös hitsin sähkömagneettisissa ominaisuuksissa, eli tarkistamalla napaisuuden oikeellisuuden tai vaihtamalla maadoituksen paikkaa voidaan vähentää roiskeiden syntyä.



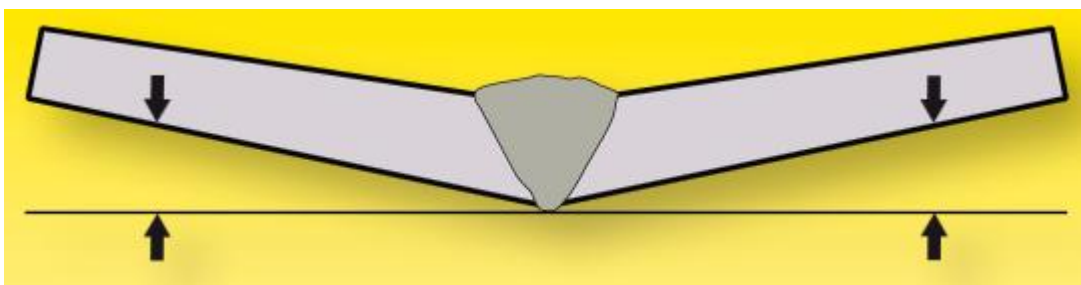
Kuva 7 Roiskeet (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

Hitsaajan ammattitaidolla on roiskeiden välttämässä suuri merkitys. Hitsaaja voi estää roiskeiden syntyä korjaamalla hitsauspistoolin asentoa sekä säätämällä

kaasunvirtausta suotuisemmaksi. Hitsaajan vastuulle jää myös varmistaa hitsauspuikkojen kunto ennen työn aloittamista. Kosteat tai muuten vaurioituneet puikot ovat yksi yleisimmistä syistä roiskeiden syntyyn. Puikkojen kostuessa ne tulee kuivata erillisessä kuivauskaapissa 330 - 440 °C asteessa 2 tunnin ajan. (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

3.2.2 Muodonmuutokset

Hitsauksen aikana hitsin sisälle syntyy suuria jännityksiä metallin muokkautuessa lämpötilanmuutosten seurauksena. Muodonmuutokset (kuva 8) voivat näkyä selvästi varsinkin ohuiden levyjen pitkissä saumoissa. Saumaa ympäröivät metallilevyt alkavat vääntyä eri suuntiin kuin alun perin olisi suunniteltu.

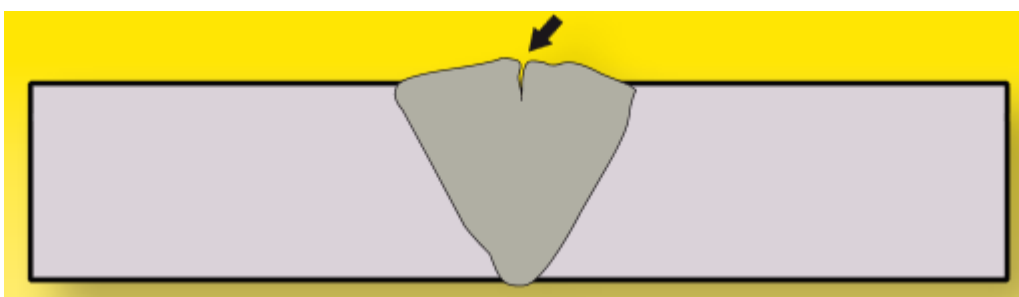


Kuva 8 Hitsin muodonmuutokset (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

Muodonmuutoksia ei voida täysin estää, mutta niiden aiheuttamaa haittaa voidaan minimoida paremmalla suunnittelulla ja etenkin hitsaajan ammattitaidolla. Suunnittelussa tulisi huomioida hitsaussuunnat mahdollisuuksien mukaan, esimerkiksi säiliöiden pohjia hitsatessa hitsauksen tulisi suuntautua keskustasta ulospäin kehän muodostavissa rakenteissa. Suunnittelijan vastuulla on myös laatia hitsauksista selkeät, standardeja noudattavat hitsausohjeet virheiden minimoimiseksi. Hitsaajan vastuulle jää ohjeiden noudattaminen, sekä vuosien tuoman kokemuksen hyväksikäyttö vääntymien ennakoinnissa. (Hitsauksen teoriaopetus. B4 Kutistuminen, jäännösjännitykset ja muodonmuutokset 2012: 3.)

3.2.3 Kuumahalkeama hitsin keskellä

Kuumahalkeama (kuva 9) on n. 1 200 °C:n lämpötilassa, hitsin jähmettymisen loppuvaiheessa syntyvä vaurio. Kuumahalkeamaa esiintyy hitsin keskivaiheilla, ja yleensä se ulottuu hitsin pinnalle asti jättäen selvän hitsin keskellä pitkittäisesti kulkevan halkeaman. Kuumahalkeama syntyy, kun viimeisimpänä jäähtyvän metallisulan osiin rikastuu seosaineita. Tämä johtaa epäpuhtauksia sisältävien faasien syntyyn sulan sisällä ja hitsin jähmettyessä ne jäävät loukkuun, ja hitsin kutistuessa aiheuttavat halkeaman. (Hitsauksen materiaalioppi 2004: 114.)



Kuva 9 Kuumahalkeama (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

Alttius halkeamaan on metallurgisista ja geometrisistä tekijöistä riippuva, eli korkeilla epäpuhtauspitoisuuksilla metallissa sekä railon muodolla ja koolla on suuri merkitys kuumahalkeaman synnyssä. Halkeamavaara on suurimmillaan pienahitsin korkeus - leveyssuhteen ylittäessä arvon 1, eli hitsi ei saisi olla leveyttään korkeampi. Kuumahalkeamia pystytään ennalta ehkäisemään perusainevalinnoilla ja hitsausarvoja säätämällä. (Hitsauksen materiaalioppi 2004: 115.)

3.2.4 Reunahaava

Reunahaavalla (kuva 10) tarkoitetaan hitsausauman ja perusaineen väliin syntyneitä korkeasta lämpötilasta johtuvaa uraa, mikä ei ole täytynyt hitsatessa. Reunahaava voi esiintyä koko hitsin matkalla, tai pelkästään katkonaisina osina. Reunahaava syntyy hitsaajan virheestä, mikäli tämä on käyttänyt hitsatessa liian suurta virtaa tai kuljettanut lisäaineen virheellisesti railoon. Tilanteessa, missä reunahaava havaitaan hitsauksen aikana, voidaan sen syntyminen ehkäistä alentamalla hitsausvirtaa ja korjaamalla hitsausasentoa. (Lukkari 2001: 13.)

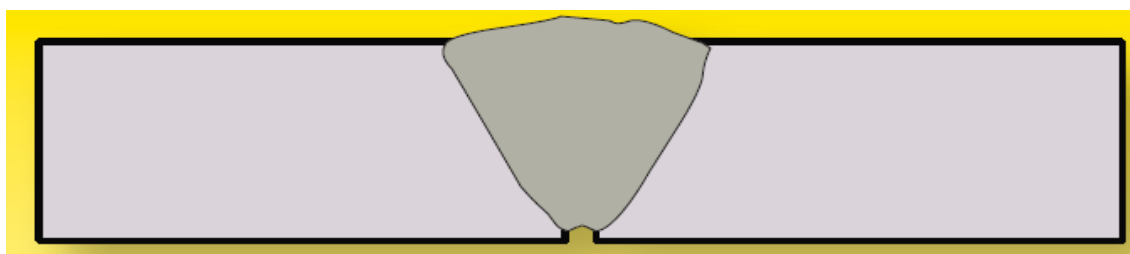


Kuva 10 Reunahaava hitsin molemmin puolin (Lukkari 2001: 13.)

Reunahaavaa esiintyy myös juuren puolella. Juurenpuoleisella reunahaavalla tarkoitetaan hitsin juuren reunoilla esiintyviä uria. Urat syntyvät kun juuripinta on liian korkea, ilmarako liian pieni tai jos käytetään liian pientä hitsausenergiaa. Juurenpuoleiset reunahaavat voidaan ehkäistä havaitsemisen jälkeen korottamalla käytettävää hitsausenergiaa tai käyttämällä oikean kokoista juuripintaa ja riittävää ilmarakoa. (Lukkari 2001: 13.)

3.2.5 Vajaa hitsautumissyvyys

Vajaan hitsautumissyvyyden (kuva 11) voi havaita silmämääräisesti vain, jos näkyvyys on riittävän esteetön hitsin juuren puolelle. Tilanteessa, missä näkyvyys juuren puolelle on rajallinen, voidaan virhe todeta ultraäänikokeella. Vajalla hitsautumissyvyydellä tarkoitetaan hitsin jäähtyessä kutistumisen aiheuttamaa laakeaa uraa juuressa, minkä juurisärmät ovat sulaneet. Se syntyy hitsaajan virheestä, ja syyt ovat samoja kuin juurenpuoleisessa reunahaavassa. (Lukkari 2001:14.)



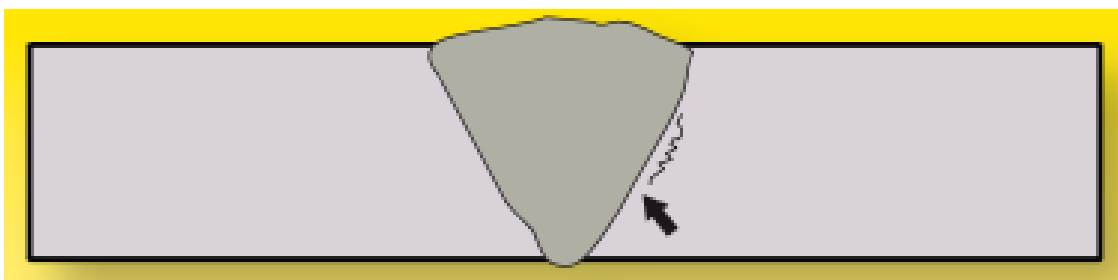
Kuva 11 Vajaa hitsautumissyvyys (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

3.3 Muilla NDT-menetelmillä havaittavat virheet

Kaikkia hitsausvirheitä ei pystytä havaitsemaan silmämääräisesti. Tässä osiossa käydään läpi yleisiä, silmämääräisesti havaitsemattomia virheitä. Näiden virheiden havaitsemiseksi vaaditaan esimerkiksi magneettijauhe- tai ultraäänitarkastus.

3.3.1 Vetyhalkeama

Nimensä mukaisesti vetyhalkeama (kuva 12) syntyy vedyn aiheuttamana. Vetyhalkeama voidaan havaita ultraäänikokeella. Vetyhalkeamat syntyvät useimmiten perusaineen muutosvyöhykkeelle hitsin jäähtyessä alle 150 °C teräksen karkentuessa. Suurin syy virheen syntyyn on hitsiin liuennut vety. Vetyä liukenee hitsiin, mikäli lisäaineessa tai suojakaasussa ilmenee liian paljon kosteutta, tai mikäli railoa ei ole puhdistettu riittävän hyvin. (Lukkari 2001:8.)

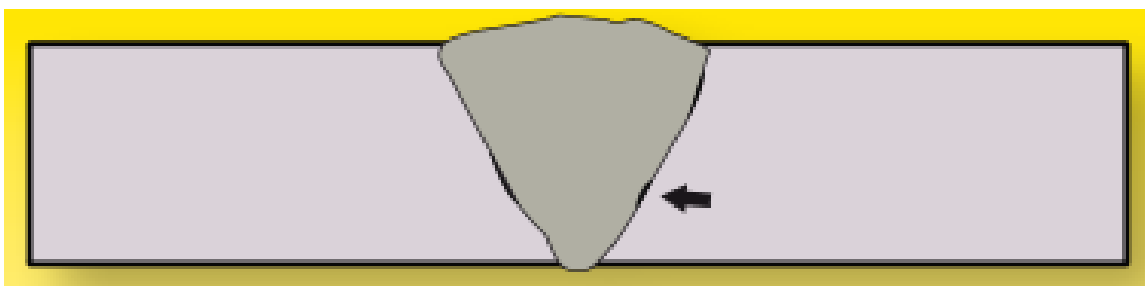


Kuva 12 Vetyhalkeama (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

Vetyhalkeaman syntymistä voidaan ehkäistä valitsemalla mahdollisuuksien mukaan vähemmän karkeneva materiaali. Mikäli tämä ei ole mahdollista, on hitsausta suorittaessa huolehdittava perusaineen riittävästä esikuumentamisesta. Myös lisäaineiden oikeaoppisesta varastoinnista on pidettävä huolta, ja kosteat puikot olisi kuivattava paketissa annettujen ohjeiden mukaisella tavalla ennen käyttöä. (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen. 2010:1.)

3.3.2 Liitosvirhe

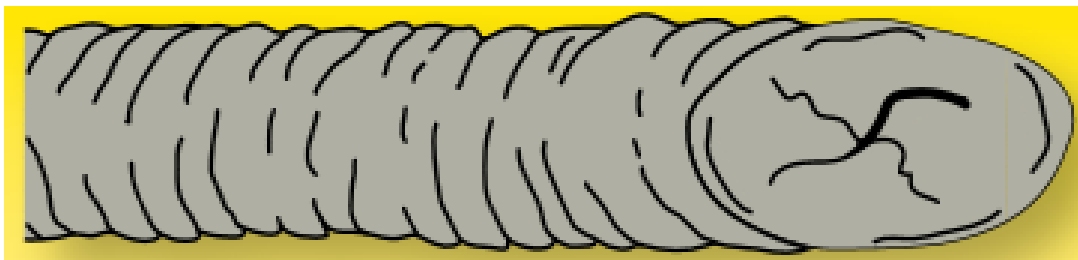
Liitosvirheellä (kuva 13) railokyljessä tarkoitetaan perusaineen ja hitsin välille jääneitä paikoitellen yhteen sulautumattomia alueita. Liitosvirheitä esiintyy myös hitsauspalkojen välissä, missä yhteensulautuminen hitsatessa ei ole tapahtunut. Liitosvirhe syntyy hitsaajan virheestä, jos tämän hitsausnopeus on ollut liian hidas tai hitsausvirta on liian suuri käytettävässä hitsausnopeudessa. Liitosvirheitä voi syntyä myös, jos hitsausrailo on ollut kooltaan riittämätön tai jos railoon on jäänyt epäpuhtauksia. Liitosvirheiden syntyä voidaan ehkäistä käyttämällä hitsausohjeen mukaista hitsausvirtaa ja hitsausnopeutta, mikäli nämä on annettu. Muussa tapauksessa täytyy luottaa hitsaajan ammattitaitoon. Liitosvirheet voidaan todentaa ultraäänitutkimuksilla tai tunkeumanesteellä, mikäli liitosvirhe yltää pintaan asti. (Lukkari 2001: 11.)



Kuva 13 Liitosvirhe (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

3.3.3 Kraaterihalkeama

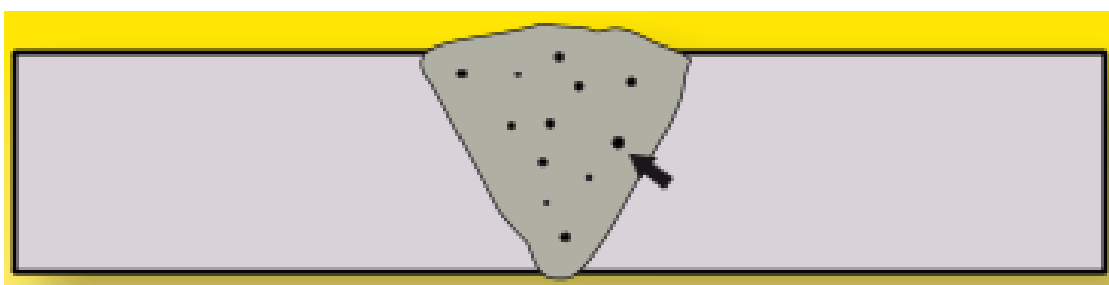
Kraaterihalkeamalla (kuva 14) tarkoitetaan hitsaajan virheellisestä lopetuksesta hitsipalon päähän syntynyttä pitkittäisessä tai poikittaisessa suunnassa olevaa halkeamaa. Kraaterihalkeaman syntymistä pystytään ehkäisemään kuljettamalla valokaarta taaksepäin sauman suuntaisesti ja katkaisemalla valokaari palon päällä. Kraaterihalkeaman pystyy havaitsemaan silmämääräisesti, mikäli hitsausta ei jatketa halkeaman päältä. (Lukkari 2001: 9.)



Kuva 14 Kraaterihalkeama (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

3.3.4 Huokokset

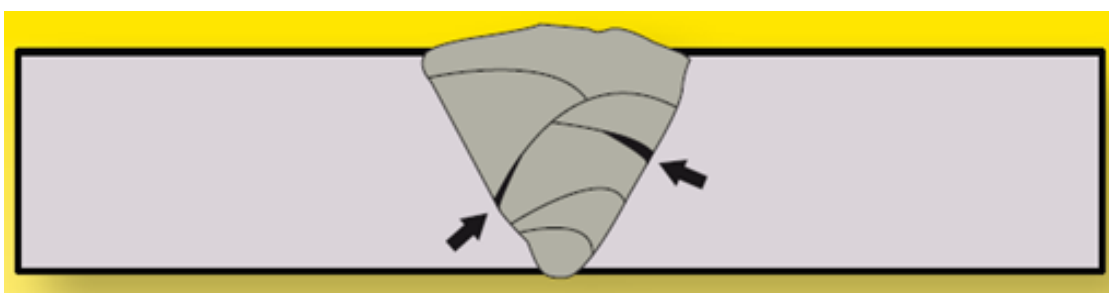
Huukosilla (kuva 15) tarkoitetaan hitsin sisään loukkoon jääneitä kaasuonteloita. Huokokset voivat esiintyä yksittäisinä tapauksina hitsin sisällä, mutta niitä voi esiintyä myös suurempina huukosryhminä. Huukosia synnyttävät kaasut ovat tyypillisesti vety, happi ja typpi seostamattomissa teräksissä ja matalan hiilipitoisuuden omaavissa ruostumattomissa teräksissä vety. Yleisimpänä syynä huukosten syntyyn voidaan pitää kosteita puikkoja. Muita syitä huukosten syntyyn ovat hitsauksessa käytettävä liian suuri hitsausnopeus tai pitkä valoakaari. Railon muotoon ja puhtauteen tulee myös kiinnittää huomiota huukosten estämisessä. Hitsin pinnassa esiintyvät huokokset pystytään vielä todentamaan silmämääräisesti, mutta huukosten sijaitessa hitsin keskellä on turvauduttava ultraäänikokeeseen. (Lukkari 2001: 10.)



Kuva 15 Huukokset (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

3.3.5 Kuonasulkeumat

Kuonasulkeumalla (kuva 16) tarkoitetaan tilannetta, missä kuona on päässyt kulkeutumaan sulan eteen ja jäänyt hitsin sisään loukkuun. Kuonasulkeuma aiheuttaa hitsin sisään alueen, missä pahimmassa tapauksessa koko hitsin halkaisijan matkalta ei ole täysin ehyttä sulahitsiä, mikä saattaa johtaa hitsin repeämiseen. Kuonasulkeumia voidaan ehkäistä kuljettamalla lisäainetta oikeaoppisesti ja poistamalla kuona huolellisesti ennen seuraavan palon aloittamista. (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen. 2010: 1.)



Kuva 16 Kuonasulkeumat (Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen 2010: 1.)

3.4 Suunnittelusta johtuvat hitsausvirheet

Suunnitteluvaiheessa voi syntyä monia erilaisia virheitä, mitkä vaikuttavat negatiivisesti valmiiseen hitsiin tai työn suorittamiseen.

3.4.1 Materiaalivalinnat

Hitsausliitos on yleisesti ottaen rakenteen heikoin kohta, mikä pitää ottaa huomioon suunnittelussa. Vaikka hitsissä ei olisi itsessään mitään vikaa, saattaa ajan kuluessa materiaali väsyä ja revetä liitoksistaan. (Lukkari 2001: 2.)

3.4.2 Piirustuksista poikkeaminen

Aina ei riitä, että itse osan suunnittelu on tehty huolellisesti. Toteutusvaiheessa alkuperäisen suunnitelman toteuttaminen voi osoittautua joko liian vaikeaksi, tai täysin mahdottomaksi. Käytännön kokemusten pohjalta on osoittautunut, että tällaisissa tilanteissa hitsaaja saattaa ottaa ohjat käsiinsä ja tehdä asiat hieman omalla tavallansa. Tämä saattaa johtaa ei toivottuihin tilanteisiin jatkossa, kun tuotetta rakennetaan pidemmälle.

3.4.3 Automatiikasta johtuvat virheet

On mahdollista, että automatiikasta vastaava suunnittelija on tehnyt virheen hitsausrobotin ohjelmoidessaan. Väärien hitsausarvojen syöttö, liikeratoihin asetetut arvot tai kappaleen virheellinen asettelu saattaa johtaa joihinkin yllä mainittuihin hitsausvirheisiin.

4 Tarkastuksen luotettavuus

4.1 Sertifikoidut NDT-tarkastajat

Suomessa NDT-tarkastajalla tulee olla sertifikaatti pätevydestään. Tarkastajia on kolmea eri tasoa. Taso määrittää, mitä toimenpiteitä kyseinen tarkastaja on valtuutettu tekemään. SFS-EN ISO-9712 määrittää tasot seuraavasti:

Taso 1

Tasoon 1 sertifioitu henkilö on osoittanut olevansa pätevä suorittamaan NDT-tarkastuksia kirjallisten ohjeiden mukaan, joko tason 2 tai 3 henkilön valvonnassa. Tason 1 henkilön voidaan todistuksessa annetun pätevyuden mukaan valtuuttaa työnantajan toimesta suorittamaan seuraavat NDT-ohjeiden mukaisesti:

- a) asettamaan NDT-laitteisto toimintakuntoon
- b) suorittamaan tarkastuksia
- c) kirjaamaan ja luokittelemaan tulokset annettujen kirjallisten vaatimusten mukaan
- d) raportoimaan tuloksia.

Tasoon 1 sertifioitu henkilö ei vastaa käytettävän testausmenetelmän tai -tekniikan valinnasta eikä tarkastustulosten arvioinnista. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 28.)

Tason 1 tarkastajia oli Suomessa vuonna 2013 ja vain pyörrevirta- ja radiografia-tarkastajien joukossa. Tason 1 tarkastajat eivät voi hyväksyä tarkastustuloksia itse, joten nykyään lähes kaikki NDT-tarkastajat koulutetaan ja sertifikoitaan vähintään tason 2 mukaisesti. Tason 2 SFS-EN ISO-9712 määrittää seuraavasti:

Taso 2

Tasoon 2 sertifioitu henkilö on osoittanut olevansa pätevä suorittamaan rikkomatonta aineenkoetusta NDT-ohjeen mukaan. Tason 2 henkilön voidaan todistuksessa annetun pätevyuden mukaan valtuuttaa työnantajan toimesta

- a) valitsemaan sovellettavan NDT-tekniikan kyseiselle NDT-menetelmälle
- b) määrittämään kyseisen NDT-menetelmän sovellutuksen rajoitukset
- c) muuttamaan NDT-standardeja, -säännöstöjä, -spesifikaatioita ja -menettelyjä käytännön NDT-työohjeiksi todellisiin työolosuhteisiin
- d) asettamaan ja tarkistamaan laitteiston toimintakunto
- e) suorittamaan ja valvomaan tarkastuksia
- f) tulkitsemaan ja arvioimaan tarkastustuloksia sovellettavan standardien, säännöstöjen, spesifikaatioiden tai menettelyjen mukaan
- g) toteuttamaan ja valvomaan kaikkia tason 2 ja sen alapuolella olevia tehtäviä
- h) opastamaan tason 2 tai sen alapuolella olevia henkilöitä
- i) raportoimaan rikkomattoman aineenkoetuksen tuloksia. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 30.)

Tason 2 tarkastajia on Suomessa ylivoimaisesti eniten. Pätevyyksiä on jaettu eri menetelmien kesken yhteensä 2 021 kappaletta, osa näistä tosin samoilla henkilöillä. Eniten pätevyyksiä on jaettu magneettijauheelle (531 kpl), tunkeumanesteelle (498 kpl) sekä silmämääräiselle tarkastukselle (405 kpl).

Taso 3

Tasoon 3 sertifioitu henkilö on osoittanut olevansa pätevä suorittamaan ja johtamaan hänen sertifiointialueensa piiriin kuuluvaa NDT-toimintaa. Tason 3 henkilö on osoittanut

a) kykyä arvioida ja tulkita tuloksia olemassa olevien standardien, säännösten ja spesifikaatioiden puitteissa

b) riittävä käytännön tietämys materiaalien käytöstä, valmistus-, prosessi- ja tuotantotekniikasta niin, että hän kykenee valitsemaan NDT-menettämät, pystyy valitsemaan NDT-tekniikat sekä avustamaan hyväksymisrajojen määrittämisessä silloin, kun niitä ei muutoin ole saatavissa

c) yleinen perehtyneisyys muihin NDT-menettelmiin.

Tason 3 henkilön voidaan todistuksessa annetun pätevyyden mukaan valtuuttaa

a) ottamaan täysi vastuu tarkastuslaitteista ja tarkastushenkilöistä tai tutkintokeskuksesta

b) laatimaan, tarkistamaan toimituksellista ja teknistä oikeellisuutta ja vahvistamaan noudatettaviksi NDT-työohjeita ja NDT-ohjeita

c) tulkitsemaan standardeja, säännöstöjä, spesifikaatioita ja ohjeita

d) valitsemaan käytettävät NDT-menettämät, NDT-ohjeet ja NDT-työohjeet

e) toteuttamaan ja valvomaan kaikkien tasojen tehtäviä

f) tarjoamaan opastusta NDT-henkilöille kaikilla tasoilla. (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 30.)

Tason 3 NDT-tarkastaja toimii tyypillisesti esimies- tai suunnittelutehtävissä. Kuten standardissa SFS-EN ISO-9712 sanotaan, tason 3 tarkastajan tulee osata kaikki mitä tason 1 ja 2 mukaan pätevitetyt henkilöt. Tämän lisäksi tason 3 tarkastaja on vastuussa työohjeiden laadinnasta ja tarkastuksia tekevien henkilöiden perehdyttämisestä tehtävänsä. Kuvien 17, 18 ja 19 taulukoista nähdään myönnettyjen pätevyyksien määrä, sekä vaadittava koulutusmäärä ja työkokemus sertifikaatin myöntämiseen.

Tarkastusmenetelmä	Taso		
	1	2	3
Pyörrevirta (ET)	21	38	7
Vuotokoestus (LT)		10	2
Magneettijauhe (MT)		531	23
Tunkeumaneste (PT)		498	23
Radiografia (RT)	99	267	17
Ultraääni (UT)		272	24
Silmämääräinen (VT)		405	14

Kuva 17 Pätevyyksien määrä tasoittain vuonna 2013 (NDT-testaajien päteväntoiminta 2013:1.)

NDT-menetelmä	Taso 1 (tunnit)	Taso 2 (tunnit)	Taso 3 (tunnit)
AT	40	64	48
ET	40	48	48
LT	B – Painemenetelmä	32	32
	C – Merkkikaasumenetelmä	40	40
MT	16	24	32
PT	16	24	24
ST	16	24	20
TT	40	80	40
RT	40	80	40
UT	40	80	40
VT	16	24	24

HUOM. RT:lle koulutuskurssitunnit eivät sisällä säteilysuojelukoulutusta.

Kuva 18 NDT-menetelmien koulutustunnit (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 32.)

NDT-menetelmä	Kokemus (kuukausia) ^a		
	Taso 1	Taso 2	Taso 3
AT, ET, LT, RT, UT, TT	3	9	18
MT, PT, ST, VT	1	3	12

^a Työkokemus kuukausissa perustuu 40 tunnin nimelliseen viikotuntimäärään tai lakisääteiseen työviikkoon. Jos henkilö työskentelee enemmän kuin 40 tuntia viikkoa kohti, hänen hyväkseen voidaan laskea kokemus kokonaistuntimäärän mukaan, mutta hänet veloitetaan toimittamaan todiste tästä kokemuksesta.

Kuva 19 Vaadittava työkokemus pätevöitymiseen (SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2015: 34.)

Luotettavuuden ollessa yksi tärkeimmistä kriteereistä tarkastuksissa, on ymmärrettävää, miksi suuremmissa kokonaisuuksissa vaaditaan sertifikoidun tarkastajan hyväksyntää kohteille. Sertifikoitujen tarkastajien ainoa tehtävä on vastata

kohteen laadusta, ja he ovat saaneet koulutuksen juuri tähän tarkoitukseen. Verrattaessa tätä työnjohdon tai hitsaajan tehtäviin, missä tarkastus on vain osa tehtävää, on ymmärrettävää, ettei näillä henkilöillä ole vaadittavaa osaamistasoa vikojen merkityksen ymmärtämiseen. Standardin SFS-EN ISO-9712 mukaan sertifioidujen NDT-tarkastajien saama laaja koulutus auttaa ymmärtämään hitsistä löytyviä vikoja ja mahdollisia seuraamuksia tavalla, mikä on laadun kannalta erittäin tärkeää.

4.2 Ulkomaalaisen alihankinnan vaikutus työn laatuun

Alihankinnan vaikutus työn laatuun on hyvin kiistanalainen kysymys. Euroopan unionin ja Schengen-sopimuksen jälkeen Suomen työmarkkinat ovat kansainvälistyneet, ja tämän johdosta yhä useammat yritykset turvautuvat ulkomailta palkattuihin alihankkijoihin.

Eroja on havaittavissa Suomen ja esimerkiksi Itä-Euroopasta tulleiden hitsaajien työkultuurissa. Tästä esimerkkinä toimii hierarkkisempänä toimiva työn suoritusketju. Suomessa on tapana, että yksi mies hoitaa sulahitsisaumoissa kaiken esivalmisteluista loppuhiontaan, kun taas Itä-Euroopasta tulleiden työntekijöiden kesken ensin tulee yksi mies hiomaan hitsattavan alueen puhtaaksi. Tämän jälkeen paikalle tulee hitsaaja suorittamaan hitsauksen ja lopulta kolmas henkilö poistamaan kuonan ja mahdolliset roiskeet. Tämä saattaa johtaa kommunikaatiokatkoksiin henkilöiden välillä, ja virheherkkyys kasvaa. Virheherkkyys näkyy puuttuvina hitseinä, sekä puutteellisena viimeistelyinä.

Ulkomailta saapuneiden henkilöiden pätevyyden tarkastaminen on huomattavasti vaikeampaa kuin Suomessa hitsaajan pätevyyden suorittaneiden. Aliurakoinnissa on standardin SFS-EN ISO 3834-3 mukaan valmistajan tehtävä varmistaa, että alihankkija pystyy täyttämään sopimuksessa esiintyvät laatuvaatimukset (SFS-käsikirja 66-1. Hitsaus. Osa 1: Hitsauksen laadunhallinta 2014: 168). Tämän vuoksi on suositeltavaa, että yrityksen työnjohtaja tarkistaa aina hitsauksen jälkeen hitsin laadun.

4.3 Tarkastajan merkitys

Tässä osiossa vertaillaan, miten tarkastajan tausta vaikuttaa tarkastuksen laatuun. Yleisellä tasolla yrityksen hitsaajien ja aliurakoitsijoiden välillä ei ole suuria eroja. Mennessä henkilökohtaisempaan tarkasteluun hitsaajan työkokemuksella ja asenteella on suurin merkitys valmiiseen hitsiin jääneiden virheiden ilmenemisessä.

Työnjohtajien on havaittu havaitsevan virheet hitsaajaa herkemmin. Tämä saattaa johtua hitsaajien ns. sokeutumisesta oman työnsä jäljelle. Hitsaaja ei joko jaksa etsiä virheitä tai näe työssään virheitä ennen niiden osoittamista. Työnjohtajien välillä aliurakoinnin työnjohtajat jättävät kiistanalaiset tapaukset mielummin yrityksen työnjohtajan tulkittavaksi, ja henkilöstä riippuen tämä joko jättää tulkittamisen pätevyityneelle tarkastajalle tai tekee omat päätöksensä hitsin korjaamisesta. Työnjohtajat noudattavat tarkastuksissa ensisijaisesti yrityksen omaa laatukäsikirjaa. Laatukäsikirjan asettamat vaatimukset hitsisauman vaadittavasta laadusta saattavat poiketa standardien määrittämistä vaatimuksista molempiin suuntiin, mikä voi johtaa ristiriitaisiin tulkintoihin ulkopuolisen tarkastajan kanssa.

Kokemusten perusteella on havaittu sertifiokitujen tarkastajien havaitsevan virheet keskimäärin herkemmin kuin työnjohtajien. Tämä saattaa johtua koulutus-, kokemus- ja näkökykytasosta, mitkä vaaditaan SFS-EN ISO-9712 mukaisen sertifiikaatin saamiseen, sekä siitä, että tarkastuksista vastaaminen on näiden henkilöiden ainoa työtehtävä.

Standardin SFS-EN ISO-9712 mukaan sertifiokitujen tarkastajien kesken ei havaittu eroja yrityksen oman ja ulkopuolisen tarkastajan välillä. Tämä johtuu tarkastajien neutraalista suhtautumisesta työhönsä. Tarkastusten ollessa asiakaskeisiä suoritteita, ei standardien mukaan pätevoidetty henkilö voi antaa omien mielipiteidensä vaikuttaa päätöksiinsä. Tarkastajien havaittiin myös toimivan kiistanalaisissa tilanteissa mielummin varman päälle, eli mahdollisuus ylilaadun tekemiseen kasvoi.

5 Silmämääräisen tarkastuksen merkitys

5.1 Silmämääräinen hitsintarkastelu verrattuna muihin NDT-menetelmiin

Silmämääräisessä hitsintarkastelussa on monia etuja. Ensinnäkin tarkastuksen pätevyysvaatimukset ovat alhaisempia kuin muilla NDT-menetelmillä, eikä siihen tarvita laitteistoja tai lisäaineita. Pätevä hitsari pystyy määrittelemään nopeasti työnsä jäljen, eikä yleisimpien silmämääräisesti havaittavien virheiden poistamiseksi tarvitse tilata ulkopuolista NDT-tarkastajaa paikalle. Edellä käsitellyistä yleisistä hitsausvirheistä voidaan havaita noin puolet pelkästään silmämääräisellä tarkastuksella. Kun silmämääräiset hitsausvirheet on saatu eliminoitua, voidaan hitsausaamaa koetella testeillä. Esimerkkinä tästä toimivat säiliöihin tehtävät rasituskokeet, missä säiliön sisäinen paine nostetaan suunnittelijan määrittämälle tasolle. Paineen pysyessä ylhäällä voidaan päätellä, tuleeko säiliö kestävään käyttöä halutulla tavalla.

Täyttä varmuutta edeltävillä tarkastuksilla ei kuitenkaan voida saavuttaa. Luotettavuuden kasvattamiseksi pätevoitetyn tarkastajan tilaaminen paikalle tarkistamaan hitsin todellinen laatu on suotavaa. Hitsausauma saattaa sisältää mikromurtumia tai hitsin sisällä voi olla sulamatonta lisäainetta, minkä havaitseminen silmämääräisesti on mahdotonta. Vaikka mikromurtumat saattavat kuulostaa vähäpätöisiltä virheiltä, on muistettava näiden olevan potentiaalisia paikkoja hitsiliitoksen repeämiseen koko liitoksen mitalta.

Suurimpana vahvuutena silmämääräisessä tarkastuksessa on havaita piirustuksista poikkeavat virheet. Vaikka itse hitsisauma olisi tunkeumanestetarkastuksen mukaan kunnossa NDT-tarkastajan jäljiltä, on täysin mahdollista, että kyseinen hitsi on täysin väärässä paikassa tai tehty vääriä menetelmiä käyttäen. Silmämääräisessä hitsintarkastelussa yleisesti ottaen otetaan huomioon myös tämänkaltaiset asiat, kun puolestaan hitsausaamaa tutkivan NDT-tarkastajan tehtävä on tutkia itse hitsin laatua.

5.2 Kustannukset

Silmämääräinen hitsintarkastus on edullista. Hitsaajan ja työnjohdon työtunnin ovat laskettuna yhtiön kiinteisiin kustannuksiin, eikä heidän tarkastuksiin käyttämänsä aika tuo yritykselle lisäkuluja. Huolellisesti tehdyllä silmämääräisellä hitsintarkastuksella voidaan tuoda varsinaisessa tunkeumaneste- tai muussa NDT-tarkastuksessa ilmenneiden vikojen kustannuksia alas.

Tästä esimerkkinä toimii seuraava hypoteettinen tilanne: Otetaan 20 m:ä pitkä osuus valmista hitsisaumaa. Hitsauksessa ilmenee 0,05 merkittävää vikaa metrillä (Toivonen 2010: 18). Tämä tarkoittaisi, että 100 %:n tilastollisella todennäköisyydellä tältä 20 m:n matkalta löytyisi yksi merkittävä hitsausvirhe. NDT-tarkastaja ei ota kantaa, kestääkö hitsi mahdollisesta virheestä huolimatta, vaan kirjaa kaiken löytyneen ylös. Tämänkaltaisessa tilanteessa löytynyt virhe tulee korjata, ja kutsua NDT-tarkastaja uusintatarkastukseen. Vasta tämän uusintatarkastuksen jälkeen hitsi voidaan hyväksyä kunnolliseksi ja urakka voi jatkua.

NDT-tarkastajan tuntiveloitus on 32—46 € tunnilta tilanteesta riippuen (Toivonen 2010: 10). Jos kyseinen virhe olisi ollut esimerkiksi silmämääräisesti havaittava juurihaava, ei uusintatarkastusta olisi edes tarvittu, vaan yritys olisi säästänyt uusintatarkastuksesta johtuvan summan. Näin pienessä mittakaavassa summa vaikuttaa vielä pieneltä, mutta POD:n (virheen ilmenemistodennäköisyys) ollessa vakio ja kun suurimmissa urakoissa tarkistettavaa hitsisaumaa voi olla useita satoja metrejä, tulevat uusintatarkastuksista johtuvat kustannukset nousemaan.

5.3 Virheiden kertautuminen

Huomaamatta jääneiden virheiden on tapana alkaa kertautumaan. Silmämääräisen tarkastuksen vahvuutena on piirustusten oikeellisuuden vertaaminen toteutuneeseen työhön, millä voidaan ehkäistä virheiden kertautumista tulevilla vaiheilla.

Otetaan tästä hypoteettinen esimerkki. Laivan rakennuksessa hitsaussaumojen laipioiden väliin voi jäädä suuria jännityksiä, mitkä aiheuttavat muodonmuutoksia teräksessä. Tässä esimerkissä säiliön seinä on pullistunut sisäänpäin. Tätä ei

huomattu NDT-tarkastuksen yhteydessä, koska tarkastajan tehtävä oli tutkia hitsisauman laatua. Säiliön seinä on tarkastuksen jälkeen maalattu toiselta puolelta, ja urakka jatkuu eteenpäin. Säiliölle tehdään painekoe ennen säiliön täyttämistä, ja tässä vaiheessa pullistuma havaitaan sen pokshtaessa ulkopuolelle. Tämänkaltaisen virheen sattuessa on vaarassa, että laipion viereiset hitsit repeävät auki metallin taipuessa suunnittelemattomalla tavalla. Seuraamuksina tästä hitsit joudutaan uudellentarkastamaan, sekä laipio rihtaamaan suoraksi, mikä polttaa maalin toiselta puolelta. Tämänkaltaisen virhe olisi voitu ehkäistä huolellisella silmämääräisellä tarkastuksella ja rihtaus suorittaa ennen maalausta ja painekoetta.

Virheiden kertautuminen voi aiheuttaa suuria kustannuksia yritykselle. Tämän takia on suositeltavaa suorittaa vaadittavat tarkastukset kohteille ennen seuraavan vaiheen aloittamista. Virheiden kertautumista voidaan myös ehkäistä parantamalla yrityksen sisäisten eri osastojen välistä kommunikaatiota. Tästä esimerkkinä viikottaiset palaverit osastojen kesken, joissa käydään läpi edistymistä ja annetaan lupa aloittaa urakka.

6 Optimaalinen tarkastus luotettavuuden kannalta

6.1 Esivalmistelu

Hitsin esivalmisteluihin standardi SFS-EN ISO 17637 antaa hyvän ohjepinnan, miten toimia käytännössä. Suomessa jokaisen pätevoitetyn hitsarin tulee olla tietoinen hyvän railon laatuvaatimuksista ja osata pitää huolta railon riittävästä siisteydestä.

Työnjohdon tehtävä on varmistaa, että hitsaaja on tietoinen siitä, miten hänen tulee liittää osat yhteen. Joissain tapauksissa on suotavaa, että työnjohtaja käy paikan päällä varmistamassa todellisuuden vastaavan suunnittelijan piirrustuksia ennen työn aloittamista. Nämä toimenpiteet riittävät yleisesti ottaen riittävän laadun varmistamiseen, eikä ulkopuolista valvojaa tai työnjohdon läsnäoloa tarvita enää joitakin poikkeuksia lukuunottamatta. Tämänkaltaisia tilanteita voivat olla erikoishitsaukset vaativissa olosuhteissa tai hitsaajan perehdytyksen aikana tapahtuva hitsaus.

Esivalmisteluissa on hyvä ottaa huomioon myös laitteiston toimivuus. Hitsaajan tehtäviin kuuluu myös varmistaa laitteiston kunto ja hitsausarvot ennen hitsausta. Hänen tulee varmistaa, ettei hitsauksesta aiheudu haittaa ympäristölle suojaamalla tulelle herkät kohteet palosuojapeittein.

6.2 Työn suoritus

Työn suorituksen aikaisista tarkistuksista vastaa pääasiallisesti hitsaaja itse, pois lukien yllämainitut poikkeukset. Standardissa SFS-EN ISO 17637 mainitut asiat ovat yleisesti ottaen itsestään selviä asioita kokeneelle hitsarille. Hitsauksen aikana havaittuja virheitä ei tarvitse raportoida, mikäli näiden korjaus on välittömästi mahdollista. Lisäyksenä silmämääräisen hitsintarkastelun standardiin voidaan mainita hitsin ympärillä olevan teräksen tarkkailu muodonmuutosten varalta. Hitsauksen aikana tähän on mahdollista vielä reagoida, mutta valmiissa hitsissä vaaditaan hitsin avaaminen tai tuotteen romuttaminen.

6.3 Hitsauksen jälkeinen tarkastus

Silmämääräinen hitsin tarkastus ei yksin ole riittävä vaaditun laadun takaamiseen. Standardin SFS-EN ISO 17637 mukaiset silmämääräiset tarkastukset on hyvä teettää ensin hitsaajan ja myös työnjohdon toimesta. Silmämääräisellä tarkastuksella voidaan eliminoida yleisiä hitsin pinnalta havaittavia virheitä, varmistaa valmiin työn oikeellisuus piirrustuksiin nähden, sekä tutkia hitsin vaikutuksia ympäröivään alueeseen. Huolellisesti tehty silmämääräinen tarkastus voi vähentää varsinaisessa NDT-tarkastuksessa ilmeneviä virheitä, missä tutkitaan hitsin sisällä olevia virheitä ja mikrohalkeamia. NDT-tarkastaja laatii tarkastuksesta tarkastuspöytäkirjan, mihin kirjataan mahdolliset havaitut virheet. Havaitut virheet korjataan, tarkastetaan ensin silmämääräisesti, minkä jälkeen NDT-tarkastaja tarkastaa kohteen uudestaan.

Näiden toimenpiteiden jälkeen voidaan vaadittaessa kutsua ulkopuolinen, pätevytetty tarkastaja käymään alueen läpi vielä kerran. Tarkastajan tehtävä on tehdä standardin SFS-EN ISO 17637 mukaiset toimenpiteet ja varmistaa, ettei ympäristöön ole tullut hitsauksesta johtuvia vaurioita. Tämän lisäksi tarkastaja voi vaatia NDT-tarkastajan

tekemää tarkastuspöytäkirjaa nähtäväkseen varmistaakseen, että hitsi on myös sisäisesti kunnossa. Tämän jälkeen tarkastaja joko hyväksyy tai tarpeen vaatiessa määrää lisätarkastuksia kohteelle. Näistä esimerkkinä toimivat erilaiset kuormittavat kokeet, kuten säiliöille tehtävät paineistuskokeet. Näillä toimenpiteillä saadaan mahdollisimman suuri varmuus hitsin laadun takaamiseksi.

6.4 Tarkastuspöytäkirjat ja korjausten hallinta

Isommissa kokonaisuuksissa tarkastuspöytäkirjojen merkitys korostuu. Standardi SFS-EN ISO 17637 antaa minimivaatimukset tiedoille, jotka tarkastuspöytäkirjasta tulee löytyä. Näiden listattujen asioiden lisäksi voidaan tarkastuspöytäkirjan rinnalle tehdä silmämääräiselle tarkastukselle vikalista, mihin havaitut virheet kirjataan. Näitä listoja voidaan käyttää hyväksi yrityksessä hitsivirheiden korjausten hallinnassa. Tarkastuspöytäkirjat lajiteltaisiin hyväksytyihin ja hylättyihin. Hylätyistä tarkastuspöytäkirjoista selviää, kenen vastuualueeseen virheet kuuluvat, ja kenen tulisi suorittaa uusintatarkastus hylkäämälleen kohteelle ja kuitata korjaukset tehdyiksi.

7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tutustua käytössä oleviin silmämääräisen tarkastuksen käytäntöihin ja asetuksiin osana hitsauksen tarkastuskokonaisuutta, sekä saada käsitys optimaalisesta silmämääräisen tarkastuksen osuudesta hitsauksen tarkastuskokonaisuudessa. Tutkimuksessa vertailtiin silmämääräistä hitsintarkastelua muihin olemassa oleviin NDT-menetelmiin sekä tarkastajan taustan merkitystä tarkastuksen laatuun. Lisäksi käsiteltiin esimerkkien kautta tarkastuksiin liittyviä kustannuksia ja virheiden kertautumista huonosti tehdyn silmämääräisen tarkastuksen johdosta ja saatiin seuraavat tulokset.

Silmämääräisellä tarkastelulla on suuri merkitys tarkastuskokonaisuudessa. Huolellisesti tehty silmämääräinen tarkastus voi ehkäistä monia virheitä hitsin eri vaiheissa esivalmisteluista valmiin hitsin tarkastukseen, sekä ehkäistä virheiden kertautumista. Silmämääräisen tarkastuksen edut muihin NDT-tarkastuksiin ovat sen edullinen hinta, sekä kyky havaita piirustuksista poikkeavat rakenteet. Silmämääräinen hitsintarkastelu ei myöskään vaadi hitsaajalta tai työnjohdolta erillistä sertifikaattia pätevyydestä, vaan he voivat suorittaa tarkastuksia omien töidensä lomassa. Tämän vuoksi huolellisen silmämääräisen tarkastuksen merkitystä jokaisessa välivaiheessa tulee painottaa yrityksissä.

Tilastollisesti POD:n ollessa vakio, huolellisesti tehty silmämääräinen tarkastus tuo korjauskustannuksia alaspäin. Aikaisessa vaiheessa havaitut virheet eivät pääse kertautumaan, eikä sertifikoitujen tarkastajan tarvitse välttämättä tulla uusintatarkastuksiin. Luotettavuuden takaamiseksi hitsisaumalle tulee tehdä silmämääräisen tarkastuksen lisäksi myös muita NDT-tarkastuksia. Näitä ovat esimerkiksi magneettijauhe- ja ultraäänitarkastukset. Näillä tarkastuksilla havaitaan mikromurtumia hitsin pinnasta, sekä hitsin sisäisiä vaurioita, joita on silmämääräisesti mahdotonta havaita.

Optimaalisen tarkastuksen laatu saadaan kustannustehokkaasti, kun tarkastuksia suoritetaan hitsaajan, työnjohdon ja sertifikoitujen tarkastajien yhteistyöllä. Hitsaajan merkitys painoittuu hitsausta edeltävissä ja sen aikaisissa tarkastuksissa. Työnjohdon tarkoitus on varmistaa piirustusten oikeellisuus toteutuneeseen työhön nähden, sekä varmistaa, että hitsaaja on tietoinen, mitä häneltä odotetaan hitsausta suorittaessa.

Työnjohto varmistaa työntekijöiden olevan riittävä NDT-tarkastajan saapumista varten, joka tekee hitsille vaaditut tarkastukset ja laatii tästä tarkastuspöytäkirjan. Tämän jälkeen sertifioitu tarkastaja tekee kohteelle lopputarkastuksen, varmistaa hitsin laadun pöytäkirjasta, sekä silmämääräisesti tarkistaa kohteen oikeellisuuden. Sertifioitu tarkastaja joko hyväksyy tai tarvittaessa määrää jatkotoimenpiteitä kohteelle. Raportit käsitellään yrityksen sisäisten käytäntöjen mukaan ja vaadittavat korjaukset tehdään, minkä jälkeen uusintatarkastusta vaativat osiot käydään läpi tarkastuspuun mukaisesti. Tämän jälkeen voidaan hitsi todeta luotettavaksi.

Lähteet

Hitsauksen materiaalioppi. 2004. Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y. Orivesi: Oriveden kirjapaino.

Hitsauksen teoriaopetus. B4 Kutistuminen, jäännösjännitykset ja muodonmuutokset. 2012. Oy ESAB. Verkkodokumentti. <<http://mandata.pp.fi/Hitsaus/Artikkelit/B4.pdf>>. Luettu 22.4.2016.

Hitsausvirheitä – syitä ja estäminen. 2010. Verkkolehti. Oy ESAB. <<http://www.industriacenter.fi/cms/tiedostot/tiedostopankki/Hitsausvirheet.pdf>>. Luettu 13.4.2016.

NDT-testaajien päteväntoiminta. 2013. Verkkodokumentti. Inspecta. <<https://www.ael.fi/sites/default/files/ndt-patevointitoiminta-tiedote-8.2.2013.pdf>>. Luettu 27.4.2016

Lukkari, Juha. 2001. Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Verkkolehti. Oy ESAB. <http://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/hitsien_laatu_ja_hitsausvirheet.pdf>. Luettu 27.4.2016

Luksi – valaistusvoimakkuus. 2014. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <<http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/luksi-valaistusvoimakkuus>>. Luettu 12.4.2016.

SFS-käsikirja 66-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Hitsauksen laadunhallinta. 2014. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SFS-käsikirja 116-1. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus. 2015. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Toivonen, Juha. 2010. Tarkastuskustannukset. Luentomoniste. DEKRA Industrial Oy.

Toivonen, Juha. 2010. Tarkastusmenetelmän valinta. Luentomoniste. DEKRA Industrial Oy.