



TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Kone- ja tuotantotekniikka

Laivajärjestelmät

INSINÖÖRITYÖ

HITSAUSOHJEET (WPS) HYDRAULISYLINTEREILLE

**Työn tekijä: Danesh Hajizadeh
Työn valvoja: Petri Koivu
Työn ohjaaja: Osmo Koivu**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**Juha Kotamies
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööriyö on tehty Helsingin ammattikorkeakoulun konetekniikan osaston hitsaus-tekniikan laboratoriossa sekä Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehtaassa keväällä 2007. Kehitysprojektiin ovat osallistuneet Helsingin ammattikorkeakoulu, Polarteknik PMC Oy Ab sekä Polartest Oy.

Parhaat kiitokseni esitän päättötyöni valvojalle laboratorainsinööri Petri Koivulle ja myös tekniikan liseniaatti Juha Kotamiehelle. Olen saanut molemmilta arvokkaita kommentteja työstäni. He ovat auttaneet minua tietojen keräämisessä ja mahdollistaneet työn suorittamisen.

Haluan erityisesti kiittää päättötyöni ohjaajaa Nastolan tehtaan tuotantopäällikköä Osmo Koivua arvokkaista neuvoista, materiaaleista ja kiinnostuksesta työn etenemiseen. Lämpimät kiitokset hitsauslaboratorion assistenteille Igor Pustsinille ja Oskari Rytille, jotka ovat auttaneet ja opastaneet koneiden käyttämisessä. Kiitos myös Nastolan tehtaan työntekijöille, erityisesti hitsaaja/operaattori Raimo Rantakarille, hyvästä yhteistyöstä sekä hitsaukseen liittyvistä tiedoista.

Helsingissä 11.04.2007

Danesh Hajizadeh

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Danesh Hajizadeh	
Työn nimi: Hitsausohjeet (WPS) hydraulisylintereille	
Päivämäärä: 11.04.2007	Sivumäärä: 67 s. + 7 liitettä
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Laivajärjestelmät
Työn valvoja: Petri Koivu, laboratoroinsinööri	
Työn ohjaaja: Osmo Koivu, tuotantopäällikköä	
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin hitsausohjeiden (WPS) laatimista ja niiden hyväksymistä metallisille materiaaleille. Tutkimuksen tarkoituksena oli hitsausosaamisen kehittäminen ja alustavan hitsausohjeen (pWPS) laatiminen hydraulisylintereille Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehtaalle. Työssä pyrittiin löytämään oikeat hitsausparametrit erilaisille vakio-kappaleille, mm. JKV2300- sylinterisarjan nimellissuuruuksille NS50 ja NS80.</p> <p>Projektissa perehdyttiin hitsausohjeiden hyväksymisvaiheisiin kuvaamalla standardisarjan SFS-EN 288 kaikki tärkeät kohdat. Tutkimuksessa käsiteltiin myös MAG/ MAG-täytelankahitsauksen hitsausliitosten parannusehdotuksia sekä sitä miten niiden hitsausvirheet voitaisiin estää. Tämän jälkeen valmistettiin ja hitsattiin koekappaleita sekä menetelmäkokeisiin että hitsausliitosten ongelmien selvittämiseksi.</p> <p>Koekappaleet hitsattiin Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehtaassa, jossa hitsausprosessina oli MAG/MAG-täytelanka ja koemateriaalina oli rakenneteräs Fe 52 / S355K2. Koekappaleiden hitsausseamit tarkastettiin ja ne testattiin menetelmäkokeella, makrohietutkimuksella, jolla saatiin näkyviin niiden tunkeumat, muutosvyöhykkeet (HAZ), hitsausvirheet ja niiden vakavuudet.</p> <p>Tämän projektin oli tarkoitus selvittää hitsausarvot ja laskea niiden mukaan hitsausenergiat ja lämmöntonnit. Lisäksi työn oli tarkoitus selvittää testausten tulokset menetelmäkoe-pöytäkirjan laatimista varten. Näiden pohjalta oli tarkoitus hyväksyä alustava hitsausohje, esimerkiksi Polartest Oy:llä.</p>	
Avainsanat: hitsausohjeet (WPS), alustan hitsausohje (pWPS), hitsausosaamisen kehittäminen, menetelmäkoe (WPT)	



ABSTRACT

Name: Danesh Hajizadeh	
Title: Specification of Welding Procedures for Hydraulic Cylinders	
Date: 11 th April 2007	Number of pages: 67 p. + 7 appendices
Department: Mechanical Engineering	Study Programme: Ship Systems
Instructor: Petri Koivu, Laboratory Engineer	
Supervisor: Osmo Koivu, Production Manager	
<p>The main objective of this final project is to carry out a specification and qualification of the welding procedure, named Welding Procedure Specification (WPS), for metallic materials. The main purpose was to develop and create a preliminary Welding Procedure Specification (pWPS) for hydraulic cylinders for the factory of Polarteknik PMC Inc. located in the city of Nastola. In this thesis, the topic under research was to find the correct welding parameters for different series of cylinders, such as NS50 and NS80 in the hydraulic cylinder category JKV2300.</p> <p>During the project, the idea was to get familiar with the approval phases of welding specifications while describing in detail the standard series SFS-EN 288. The study also examined proposals for the improvement of the welded joints made by MAG/MAG Flux Cored Arc Welding process (FCAW) and the prevention of welding faults. Therefore test pieces were produced and welded for both the welding procedure tests and the clarification of faults regarding welded joints.</p> <p>The test pieces were welded in the factory of Polarteknik PMC Inc. in the city of Nastola and the used welding process was MAG/MAG Flux Cored Arc Welding. The material used for this purpose was construction steel Fe 52/S355K2. The welded joints were checked and tested by both the welding procedure test and macro examination. This way we were able to expose the Heat Affected Zone (HAZ), welding faults, penetrations and their seriousness.</p> <p>The goal of this project was to determine welding parameters and to calculate the welding power as well as the heat input based on these values. In addition, based on the results of the experiments, a Welding Procedure Approval Record (WPAR) will be made. Based on this project work, a preliminary welding procedure specification will be approved, for example by Polartest Inc.</p>	
Keywords: Welding Procedure Specification (WPS), preliminary Welding Procedure Specification (pWPS), Welding Procedure Test, Developing Welding Competence	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	HITSAUSOHJEEN KUVAUS	2
2.1	Hitsausohjeiden hyväksyminen	2
2.1.1	Tärkeät termit (EN 288-1)	3
2.1.2	Hyväksymistavat	4
2.2	Hitsausohjeen tekninen sisältö	6
2.3	Menetelmäkokeet	7
2.3.1	Koekappaleen muoto ja mitat	7
2.3.2	Tarkastusmenetelmät	13
2.3.3	Pätevyysalue	23
2.3.4	Menetelmäkoepöytäkirja (WPAR)	24
3	MAG-TÄYTELANKAHITSAUS (136)	26
3.1	MAG-täytelangan käyttökelpoisuus	27
3.2	MAG-täytelankahitsaus eri kaarityypeillä	29
3.2.1	Lyhytkaarihitsaus	30
3.2.2	Kuumakaarihitsaus	31
3.2.3	Sekakaari- ja pulssihitsaus	33
3.3	MAG-täytelangan hitsausaineet	34
3.3.1	Täytelankojen luokittelu	34
3.3.2	Suojakaasun vaikutus	36
3.4	MAG-täytelankahitsauksen parannuskeinot	37

4	PROJEKTIN TAVOITTEET	40
5	NÄYTEKAPPALEIDEN VALMISTUS JA KIILLOTUS	41
5.1	Koekappale NS50	42
5.1.1	Sylinterin etu- ja takapään hitsaus	42
5.1.2	Männänvarren ja silmukan hitsaus	44
5.1.3	Koesauvojen irrotus ja kiillotus	45
5.2	Koekappale NS80	50
5.2.1	Sylinterin etu- ja takapään hitsaus	50
5.2.2	Männänvarren ja silmukan hitsaus	52
5.2.3	Koesauvojen irrotus ja kiillotus	53
6	NÄYTEKAPPALEIDEN TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET	55
6.1	Silmämääräinen tarkastus	55
6.2	Magneettijauhetarkastus	56
6.3	Makrohietutkimus	56
6.4	Kovuusmittaus	61
6.5	Havaitut hitsausvirheet ja niiden estäminen	62
6.6	Tulosten analyysi	63
7	YHTEENVETO	65
	VIITELUETTELO	67
	LIITTEET	
	Liite 1. Valmistajan hitsausohje (WPS)	
	Liite 2. Hitsausohjeen hyväksymisvaiheet	
	Liite 3. MAG-metallitäytelangan tuotemerkki	
	Liite 4. Hydraulisyylinterin etu- ja takapään hitsaus sylinteriputkeen	
	Liite 5. Hydraulisyylinterin männänvarren hitsaus silmukkaan	
	Liite 6. Koekappaleen NS50 kovuusmittauksen tulokset	
	Liite 7. Koekappaleen NS80 kovuusmittauksen tulokset	

1 JOHDANTO

Hitsausohjeiden (WPS) käyttö on yleistynyt ja yleistyy yhä enemmän. Tuotteen valmistajan on syytä laadun ja laadunhallinnan sekä kilpailukyvyn ja kaupanteon vuoksi pätevoittää hitsausohje.

Hitsausohjeita tarvitaan tuotantohitsauksessa suunnittelun perustaksi ja toteuttamiseksi sekä sen laadunvalvontaan. Hitsausohje on erinomainen työkalu hitsin laadun varmistamiseksi. Se on nykyään pakollinen kaikissa konepajoissa.

Hitsausohjeen laadinta ja sen hyväksyntä edellyttää alustavan hitsausohjeen (pWPS) laatimista standardisarjan SFS-EN 288 mukaisesti. Standardi EN 288-2 antaa kaikki ohjeet, jotka liittyvät alustavan hitsausohjeen laatimiseen. Hitsausohje (WPS) on myös pätevoitettävä standardin EN-288-3 mukaisesti, jossa on järjestyksessä viisi erilaista hyväksymistapaa: aikaisempi kokemus, hyväksytyjen hitsausaineiden käyttö, standardihitsausohje, esituotannollinen koe ja menetelmäkoe.

Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehdas valmistaa erilaisia hydraulisylintereitä. Tehtaan nykyongelma on sylinteriputkien hitsausliitoksiin syntyvät hitsausvirheet, joiden vuoksi liitokset ovat koeponnistuksessa ja asiakkaan käytössä vuotaneet. Laatuongelmat ovat aiheuttaneet kustannuksia Nastolan tehtaalle. Tämän projektin tavoitteeksi asetettiin hitsausosaamisen kehittäminen vastaamaan laatu järjestelmän määritteitä ja spesifioituja asiakasvaatimuksia.

Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti alustavan hitsausohjeen (pWPS) laatimiseen sylinteriputkille. Siinä haetaan hitsaamalla oikeat hitsausarvot tai hitsausparametrit. Mahdollisesti alustava hitsausohje hyväksytään, jos tulokset täyttävät asetetut vaatimukset. Koekappaleet hitsattiin Nastolan tehtaassa ja testaukset suoritettiin Stadian hitsauslaboratoriossa.

2 HITSAUSOHJEEN KUVAUS

Hitsausohje WPS (welding procedure specification) on asiakirja, jossa esitetään ne vaadittavat hitsausmenetelmän muuttajat, jotka varmistavat toistettavuuden tuotantoympäristössä. Hitsausohjeen on annettava kaikki yksityiskohtaiset tiedot hitsaustyön toteuttamiseksi.

Hitsausohjeita tarvitaan kaikissa konepajoissa, joissa on vähintään vakiolaatuvaatimukset täyttävät hitsauksen laatujärjestelmät. Hitsausohjeet ovat pakollisia monien tuotteiden valmistuksessa kuten esimerkiksi painelaittevalmistuksessa. Painelaittevalmistusta ovat esimerkiksi hydraulisylinterien hitsattavat liitokset sekä lastia kantavat hitsattavat liitokset.

Hitsausohje WPS edellyttää tarkkoja tietoja hitsausohjeiden hyväksymisestä. Nämä ohjeet ovat standardisarjassa SFS-EN 288, josta löytyy hyväksymismenettelyohje erilaisiin variaatioihin. Tämä standardisarja (EN 288-1, 288-2 ja 288-3 on nykyään korvattu uusilla standardeilla EN 15607, 15609 ja 15614), joka sisältää kaiken tärkeän informaation hitsausohjeen kuvauksesta ja hyväksynnästä, joten on tärkeää perehtyä ohjeisiin huolella.

2.1 Hitsausohjeiden hyväksyminen

Hitsausohje on hyväksyttävä ennen varsinaista tuotantoa. Ennen hitsausohjetta on laadittava alustava hitsausohje (pWPS) standardin EN 288-2 mukaisesti. Hitsausohjeesta pitää tehdä niin yksinkertainen ja selkeä, että käyttäjien on helppoa soveltaa sitä. Hitsausohjeessa täytyy olla mm. valmistajan nimi, ohjeen numero ja revisio, menetelmäkoepöytäkirjan (WPAR) numero, hyväksymistapa, railonmuoto ja sen mittaus, perusaineen ominaisuudet, hitsausprosessi, hitsausparametrit ja lämmöntuonti. Edellä luetellut ohjeet ja tiedot ovat noudattavissa standardista [1, s.126 -128]:

SFS-EN 288-1: Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metallisille materiaaleille. Osa 1: Yleiset ohjeet sulahitsaukselle. [1, s. 119.]

2.1.1 Tärkeät termit (EN 288-1)

Standardi SFS-EN 288-1 sisältää yleiset säännöt hitsausohjeesta ja niiden laadinnasta metallisille materiaaleille. Hitsausohjeesta löytyvät ne tärkeät termit, joilla hitsausohje voidaan hyväksyä ennen käyttöönottoa tuotannossa (liite 2). Nämä termit ovat seuraavat [1, s. 126 – 128]:

1. Hitsausmenetelmä on sarja hitsauksen toimenpiteitä, jossa selvitetään tiedot materiaaleista, hitsausprosessista, railosta, hitsausarvosta, esikuumennuksesta, hitsausenergiasta, hitsauksen suoritustavasta ja käytettävistä laitteista.

2. Hitsausprosessi on erityinen tapa hitsata, johon sisältyy tiettyjen metallurgisten, sähköisten, fysikaalisten ja mekaanisten periaatteiden soveltaminen kuten esimerkiksi MAG-täytelankahitsaus, joka on tämän projektin hitsausprosessi. [3, s. 26.]

3. Alustava hitsausohje (pWPS) on kokeilumuotoinen hitsausmenetelmä, johon sisältyvät kaikki hitsausmenetelmän asiaankuuluvat ja vaadittavat muutujat. Alustava hitsausohje laaditaan menetelmäkokeita varten ennen hitsausohjeen hyväksymistä.

4. Menetelmäkoepöytäkirja (WPAR) on asiakirja, joka sisältää kaikki tarvittavat tiedot alustavan hitsausohjeen hyväksymiseksi. Siinä on tiedot koekappaleiden hitsauksesta, niiden testauksesta ja testauksen tuloksista.

5. Hitsausohje (WPS) on asiakirja, joka on hyväksytetty jollakin hyväksymistavalla, esimerkiksi menetelmäkokeella (ks. 2.1.2). Hitsausohjeessa esitetään vaadittavat hitsausmenetelmän muuttujat, jotka varmistavat toistettavuuden tuotantoympäristössä. Taulukossa 1 on esitetty tärkeimmät termit standardista EN 288-1.

Taulukko 1. Hitsausohjeen hyväksymiskulku

TERMIT	KUVAUS
pWPS	Alustava hitsausohje
WPT	Hitsausliitoksen menetelmäkoe
WPAR	Hitsausohjeen hyväksymispöytäkirja
WPS	Hitsausohje

6. Dokumentointitavat, eli aikaisempi hitsauskokemus, hyväksytyt hitsausaine, menetelmäkoe, standardimenetelmä ja esituotannollinen koe.
7. Hitsausaineet, hitsauksen oleelliset muuttujat ja pätevyysalue.
8. Perusaine, aineenpaksuus ja railot (muoto ja mitat).
9. Standardimateriaali eli materiaali, jolla on tietty kemiallinen koostumus, mekaaniset ominaisuudet, lämpökäsittelytila jne.
10. Koekappale, valvonta, tarkastus, testaus sekä dokumentointi.

Standardin SFS-EN 288-1 sisällä olevat kymmenen sääntöä ovat tärkeitä, sillä niitä käyttäen varmistetaan hitsausliitoksen laatu. Standardia tarvitaan myös, kun halutaan vähentää hitsausvirheitä tai hyväksyä hitsausohjeet.

2.1.2 Hyväksymistavat

Standardi SFS-EN 288-1 sisältää tarkat tiedot siitä, miten hitsausohje hyväksytään. On kuitenkin otettava huomioon, että jokainen hitsausohje voidaan hyväksyä vain yhdellä tavalla. Hyväksyminen hankitaan jollakin seuraavista dokumentointitavoista [1, s. 132]:

- aikaisemmalla hitsauskokemuksella
- hyväksytyillä testatuilla hitsauslisäaineilla
- standardimenetelmällä
- esituotannollisella kokeella
- menetelmäkokeella

Aikaisemmalla hitsauskokemuksella voidaan hitsausohje hyväksyä vain, jos valmistaja pystyy osoittamaan sopivilla, luotettavilla ja oleellisella asiakirjolla, että aikaisemmat hitsausliitokset ovat hyväksyttävää laatua olevia hitsejä.

Kun hitsauslisäaine on hyväksytysti testattu, tiedetään, että se on tehty riippumattomalla tarkastajalla tai että lisäaine on testattu testauslaitoksella ja sertifioitu. [1, s.132.]

Hitsausohje voidaan hyväksyä standardimenetelmän avulla. Se on hitsausmenetelmä, jonka on testannut ja sertifioitunut riippumaton valvoja.

Esituotannollisella kokeella voidaan hitsausohje hyväksyä, kun menetelmäkokeen kappaleet eivät muotonsa ja mittojensa vuoksi vastaa tuotantohitsausta. Tarkastus ja testaus suoritetaan soveltuvin osin menetelmäkoestandardin mukaisesti. Kokeen valvoja suorittaa hyväksynnän ja hyväksyminen rajoittuu kokeessa käytettyyn liitosmuotoon. [1, s.134.]

Kun hitsausohje halutaan hyväksyä menetelmäkokeella (SFS-EN 288-3), pitää aluksi laatia alustava hitsausohje (pWPS). Koekappaleet hitsataan tuotantoympäristössä alustavan hitsausohjeen mukaan. Hitsatut koekappaleet tarkastetaan ja testataan standardin SFS-EN 288-3 mukaisesti valvojan läsnä ollessa. Koekappaleiden tarkastuksen ja testauksen jälkeen katsotaan, täyttävätkö tulokset säädetyt vaatimukset, ja jos näin on, alustava hitsausohje hyväksytään ja se muuttuu hitsausohjeeksi (WPS). Hitsausohjeen hyväksymistavat on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Hitsausohjeen hyväksyminen ennen varsinaista tuotantoa [4, s. 31]

Hyväksymistavat	Soveltuvuus
Aikaisempi hitsauskokeemus	Käyttö on rajattu hitsausmenetelmille, joita on käytetty aikaisemmin suurelle määrälle hitsejä verrattavissa olevissa kohteissa ja materiaaleissa.
Hyväksyt hitsausaineet	Käyttö on rajattu hitsausmenetelmille, joissa käytetään hitsausaineita. Hitsausaineiden testauksen on vastattava tuotannossa käytettäviä perusaineita.
Menetelmäkoe	Voidaan aina käyttää, elleivät työkappaleet poikkea oleellisesti todellisten hitsausliitosten geometriasta, jännityksistä ja luoksepäästävydestä.
Esituotannollinen koe	Kuten menetelmäkoe.
Standardimenetelmä	Voidaan periaatteessa aina käyttää, mutta vaatii koekappaleen valmistamista tuotanto-olosuhteissa.

Tämän projektin päätavoite oli, Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehtaassa pyynnöstä, alustavan hitsausohjeen (pWPS) laatiminen hydraulisylinterien (kuva 1 ja 2) hitsausliitoksille menetelmäkokeiden (SFS-EN 288-3) mukaisesti. Koekappaleet hitsattiin Nastolan tehtaassa tuotantoympäristöä vastaavissa olosuhteissa ja testattiin Stadian hitsaustekniikan laboratorioissa. Kuvat 1 ja 2 esittävät hydraulisylinterien etu- ja takapäiden hitsausliitosta.



Kuva 1. Sylinteriputken etupään hitsaus



Kuva 2. Sylinteriputken takapään hitsaus

2.2 Hitsausohjeen tekninen sisältö

Hitsausohje on erinomainen työkalu, kun halutaan varmistaa hitsausliitosten laatu ja vähentää hitsausvirheitä. Tämän takia hitsausohjeen täytyy sisältää yksityiskohtaiset tiedot metallurgiasta, mekaanisista ominaisuuksista ja hitsausliitoksen geometriasta, jotta hitsistä tulisi korkealaatuinen. [1, s. 144.]

SFS-EN 288-2: Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metallisille materiaaleille. Osa 2: Hitsausohjeet kaarihitsaukselle. [1, s. 139.]

Standardissa esitetään kaarihitsausprosessien hitsausohjeen sisältöä koskevat vaatimukset. Tällä standardilla selvitetään kaikki asiaankuuluvat ja tekniset tiedot, jotka vaikuttavat hitsausohjeen (WPS) laadintaan ja sen hyväksymiseen. Näitä ovat valmistajakohtaiset tiedot, perusainekohtaiset tiedot, hitsausmenetelmää koskevat tiedot ja hitsausprosessiryhmää koskevat tiedot. Liitteessä 1 on valmistajan hitsausohje (WPS).

2.3 Menetelmäkokeet

Alustava hitsausohje (pWPS) laaditaan standardin SFS-EN 288-2 mukaisesti menetelmäkoetta varten. Siinä määritetään hitsausmenetelmän kaikki asiaankuuluvat parametrit ja vaadittavat muuttujat. Koekappaleet hitsataan alustavan hitsausohjeen mukaan tuotantoympäristössä vastaavissa olosuhteissa. Hitsatut koekappaleet tarkastetaan ja testataan tarkasti valvojan läsnä ollessa ja tulokset dokumentoidaan menetelmäkoepöytäkirjaan (WPAR). Menetelmäkokeen kulku ja sen suoritustapa on annettu laajasti standardissa:

SFS-EN 288-3: Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metallisille materiaaleille. Osa 3: Teräksen kaarihitsauksen menetelmäkokeet. [1, s. 153.]

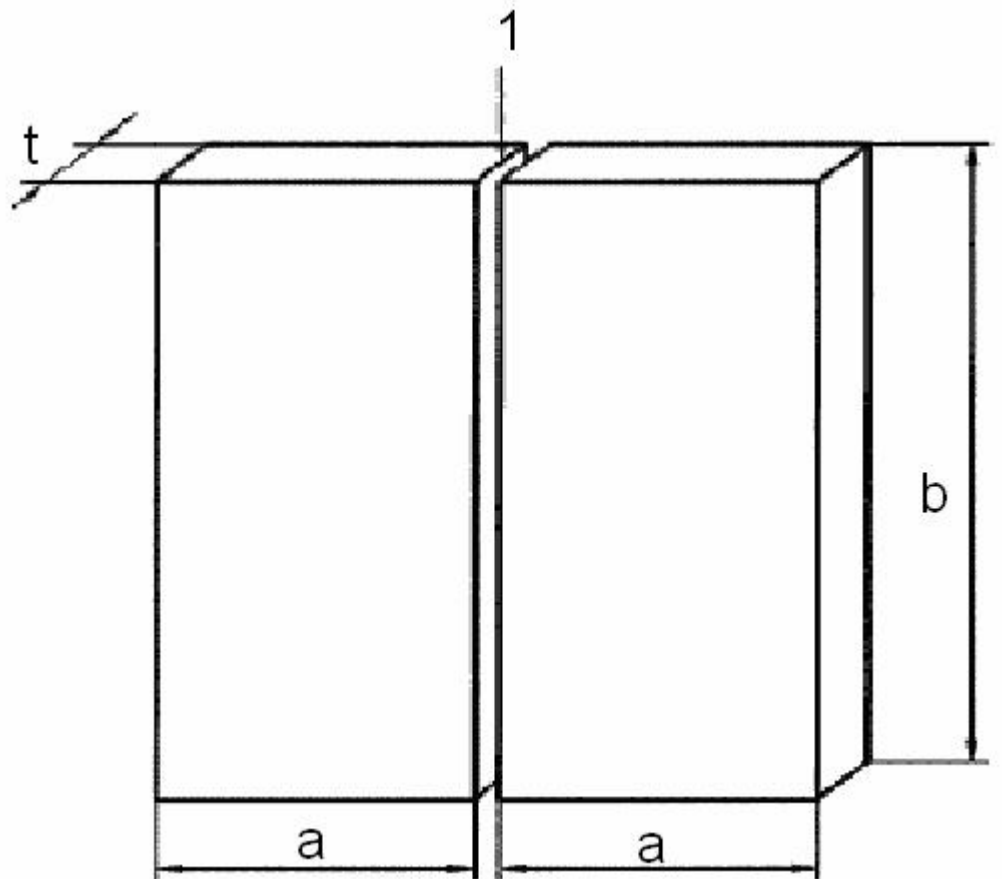
Tämä standardi koskee ainoastaan terästen kaarihitsausta, samoja periaatteita voidaan kuitenkin käyttää myös muihin sulahitsausprosesseihin, mikäli molemmat osapuolet sopivat siitä keskenään. Nykyään hitsausohjeiden (WPS) laadinta on pakollista. Hitsausohjeet on hyväksyttävä joko menetelmä- tai esituotannollisella kokeella. [1, s.158.]

2.3.1 Koekappaleen muoto ja mitat

Koekappaleen (levy tai putki) rakennemuodon ja mitan täytyy olla sopiva ja sen verran suuri, että lämpö jakautuu hitsauksen aikana kohtuullisesti koekappaleeseen. Koekappaleen on oltava riittävän pitkä koesauvojen (veto, isku ja kovuuskoe) irrottamisen vuoksi. Koekappaleiden rakennemuoto ja mitat ovat seuraavat: [1, s. 162.]

- levyn päittäishitsaus, kuva 3.
- putken päittäishitsaus, kuva 4.
- T-liitos (päittäishitsaus), kuva 5.
- putken haaraliitos, kuva 6.
- pienahitsaus, kuva 7.

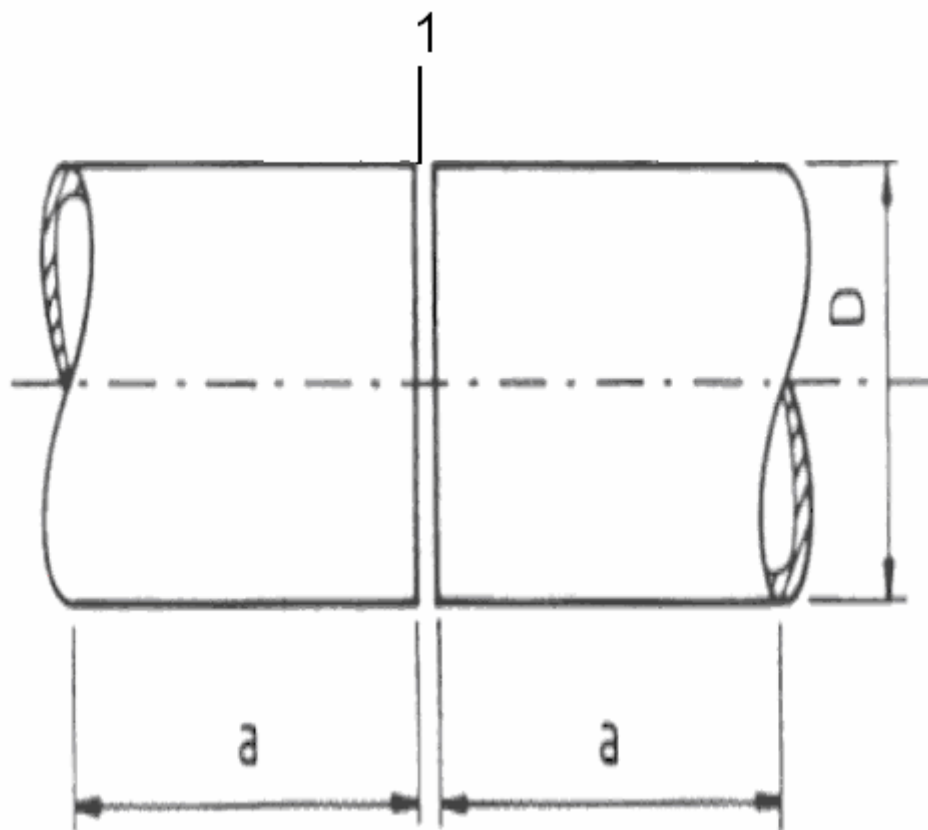
Kuvissa 3, 4, 5, 6 ja 7 hitsausrailojen valmistus ja niiden sovitus on laadittu hitsausohjeen (pWPS) mukaisesti. Myös koekoekappaleiden muoto ja mitat on merkitty.



- 1 Railon valmistus ja sovitus alustava hitsausohjeen (pWPS) mukaan
- a Vähintään 150 mm
- b Vähintään 350 mm
- t Aineen paksuus

Kuva 3. Levyn päittäishitsauksen koekappale [4, s. 44]

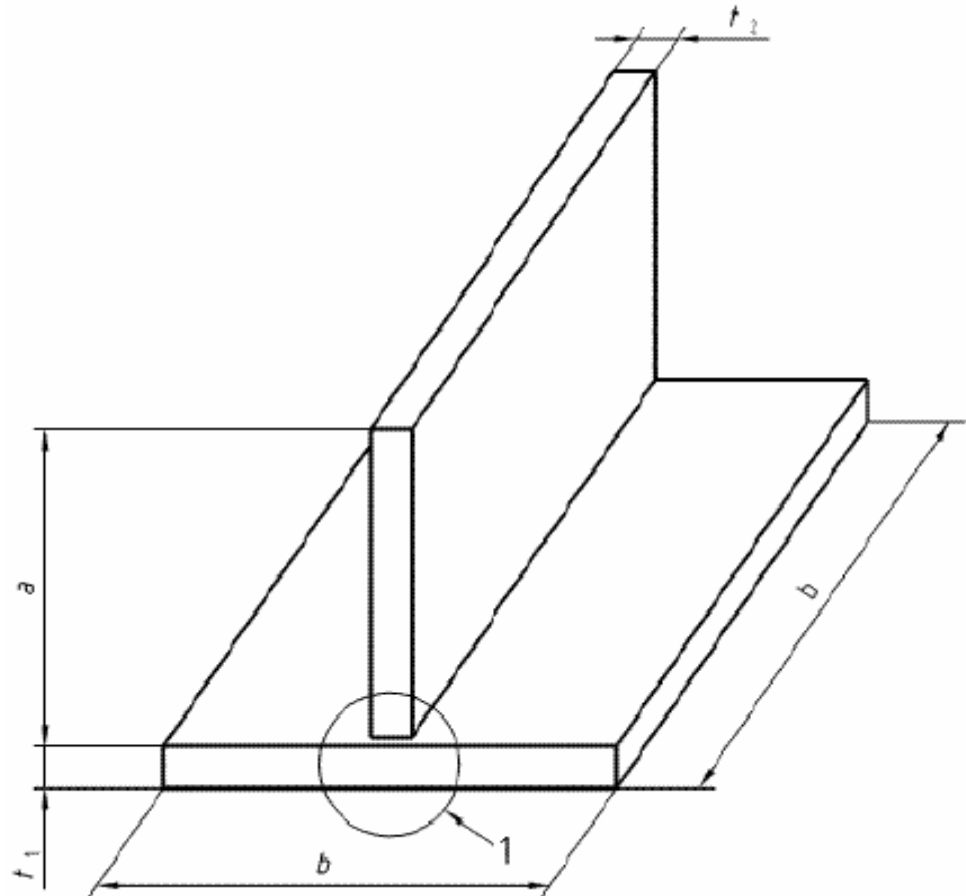
Putken päittäishitsauksen standardikoeappale on esitetty kuvassa 4. Jos putken ulkohalkaisija on pieni, saatetaan koesauvojen vuoksi tarvita useita koeappaleita.



- 1 Railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaan
- a Vähintään 150 mm
- D Putken halkaisija

Kuva 4. Putken päittäishitsauksen koeappale. [4, s. 44]

Kuvassa 5 on esitetty standardikoeappaleen T-liitos, sen pituuden täytyy olla riittävä koesauvojen vuoksi. Koeappaletta voidaan käyttää sekä läpihitsatuille päittäishitseille että pienahitseille.



1 Railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaan

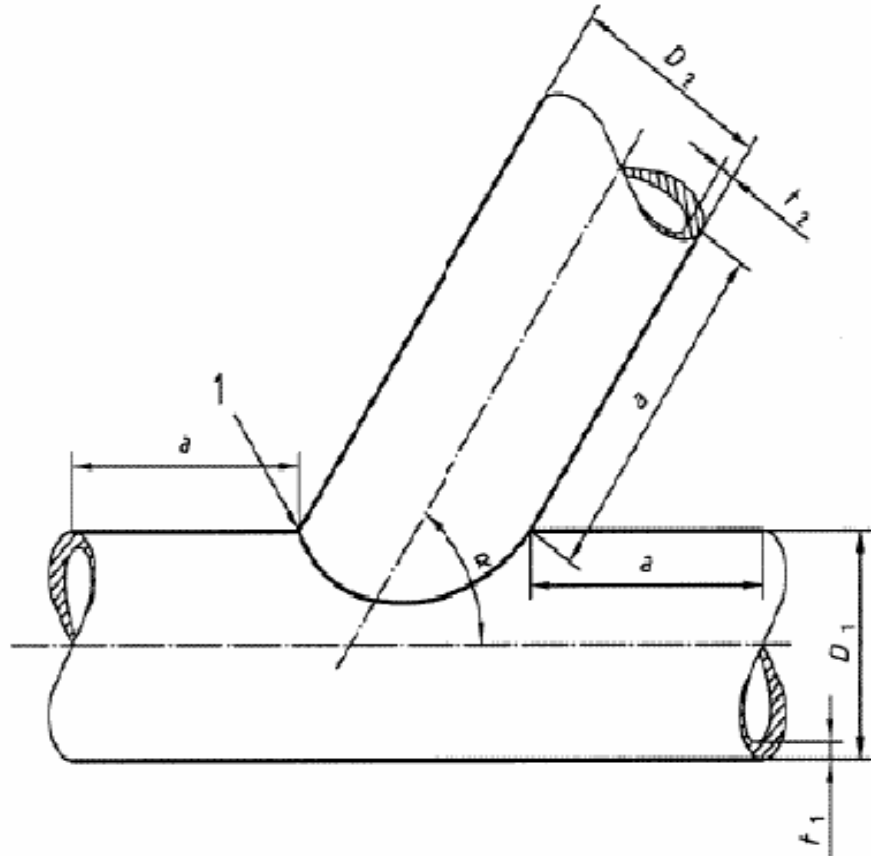
a Vähintään 150 mm

b Vähintään 350 mm

t Aineenpaksuus

Kuva 5. T-liitoksen koeappale [4, s. 45]

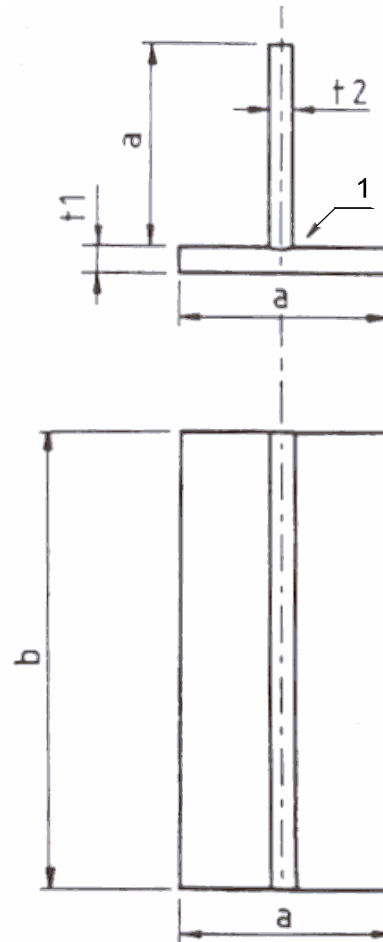
Kuvassa 6 on standardikoekappaleen putken haaraliitos, jossa kulmaksi α valitaan pienin tuotannossa käytettävät kulma.



- 1 Railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaan
- α Haarakulma
- a Vähintään 150 mm
- D1 Pääputken ulkohalkaisija
- t1 Pääputken aineenpaksuus
- D2 Haaraputken ulkohalkaisija
- t2 Haaraputken aineenpaksuus

Kuva 6. Putken haaraliitoksen tai pienahitsauksen koekappale [4, s. 46]

Kuvassa 7 on standardikoekappaleen pienahitsi, joka voidaan hitsata yhdeltä tai molemmilta puolilta alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaisesti.



1 Hitsataan yhdeltä puolelta tai molemmilta puolilta pWPS:n mukaan

a Vähintään 150 mm

b Vähintään 350 mm

t1 Levyn paksuus = t2

Kuva 7. Levyn pienahitsauksen koekappale [1, s. 167]

2.3.2 Tarkastusmenetelmät

Laadunvalvonta tapahtuu hitsauksen aikana kokeen valvojan läsnä ollessa ja sen tavoitteena on estää ja korjata hitsausvirheet mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Välittömästi koekappaleen hitsauksen jälkeen kokeen valvoja tarkistaa hitsausliitoksen silmämääräisesti. Jos kappale hylätään silmämääräisesti, on tehtävä uusi koekappale. Kun koekappaleen hitsin pinta on silmämääräisesti hyväksytty, koekappale on testattava rikkomattomalla (NDT) ja rikkovalla aineenkoetuksella (taulukko 3) standardin SFS-EN 288-3 mukaisesti. [1, s. 168.]

Taulukko 3. Koekappaleiden testaus. [1, s. 168]

Koekappale	Testaus	Testauksen laajuus	Huom.
Päittäishitsi	Silmämääräinen tarkastus Radiografinen tai ultraäänitarkastus Pintahalkeamien tarkastus Poikittainen vetokoe Poikittainen taiputuskoe Iskukoe kovuuskoe Makrohietkimus	100 % 100 % 100 % 2 koesauvaa 2 juuri- ja 2 pin.sauva 2 sarja vaadittu hie	- - 1 - 2 6 3 -
T-liitos (päit.hitsi) Putken haaraliitos	Silmämääräinen tarkastus Pintahalkeamien tarkastus Ultraäänitarkastus Kovuuskoe Makrohietkimus	100 % 100 % 100 % vaadittu 2 hieettä	- 1 4 ja 7 3 -
T-liitos (päit.hitsi) Putken haaraliitos	Silmämääräinen tarkastus Pintahalkeamien tarkastus Makrohietkimus Kovuuskoe	100 % 100 % 2 hieettä vaadittu	- 1 - 3
<p>Huom. 1: Tunkeumannestetarkastus standardin ISO 3452 mukaan tai magneettijauhetaikastus. Epämagneettisille materiaaleille ainoastaan tunkeumanestetarkastus</p> <p>Huom.2: 2juuri- ja 2 pintataivutussauvan sijasta suositellaan 4 sivutaivutussauva, kun t \geq 12 mm</p> <p>Huom.3: Ei vaadita seuraaville perusaineelle: - ferriittiset teräkset kun $R_m \geq 420 \text{ N/mm}^2$ ($R_e \geq 275 \text{ N/mm}^2$) - ryhmän 9 teräksille</p> <p>Huom.4: Soveltavissa vain ferriittisille teräksille, kun t \geq 12 mm</p> <p>Huom.5: Jos pWPS tai WPS ei ole hyväksytty muilla keinoin, tulisi harkita lisäkokeita liitoksen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi</p> <p>Huom.6: 1 sarja hitsiaineesta sekä muutosvyöhykkeeltä. Vaaditaan vain, kun t \geq mm ja perusaineelle on määritetty iskukokeus arvot tai kun sovellusstandardi vaatii. Jos testauslämpötilaa ei ole määritetty suoritetaan testaus huone lämpötilassa.</p> <p>Huom.7: Ultraäänitarkastus ei vaadita kun ulko halkaisija ≥ 50 mm. Jos ulkohalkaisija on yli 50 mm eikä ultraäänitarkastusta ole mahdollista toteuttaa teknisesti, putken haaraliitokselle suoritetaan jos mahdollista radiografinen tarkastus</p>			

Rikkomaton aineenkoetus (NDT), eli Non Destructive Testing on sarja tarkastusmenetelmiä, joilla voidaan tunnistaa sekä hitsin pinnan hitsausvirheet että hitsausliitoksen sisäiset hitsausvirheet kuten huokokset, halkeamat ja liitosvirheet. Ennen rikkomatonta aineenkoetusta koekappaleille suoritetaan jälkilämpökäsittely ja sitä ennen silmämääräinen tarkastus. Jos materiaali on altis vetyhalkeamille, eikä jälkilämpökäsittelyä vaadita, tulisi rikkomatonta aineenkoetusta lykätä. [3, s. 64.]

Silmämääräisessä tarkastuksessa ammattitaitoinen hitsaaja seuraa ja tarkistaa hitsin tulosta jatkuvasti hitsauksen aikana ja samanaikaisesti arvioi korjaustarvetta hitsausvirheitä havaittaessa. Välittömästi hitsauksen jälkeen kokeen valvoja tarkastaa silmämääräisesti hitsin pinnan, ja jos koekappaleen hitsi hylätään silmämääräisessä tarkastuksessa tai rikkomattomassa aineenkoetuksessa, täytyy hitsata uusi kappale. Jos uusikaan kappale ei täytä asetettuja vaatimuksia, on alustava hitsausohje (pWPS) hylätty tai siihen on tehtävä muutoksia.

Kun koekappaleen hitsausliitos on silmämääräisesti hyväksytty, tarkastusta jatketaan vaativammalla tarkastuksella. Tässä tarkastuksessa voidaan havaita hitsin sisäiset hitsausvirheet, kuten huokokset, kuonansulkeumat, halkeamat, liitosvirheet, vuotokohtien havaitseminen jne. [3, s. 64.]

Hitsausliitoksen sisäiset hitsausvirheet voidaan tarkastaa:

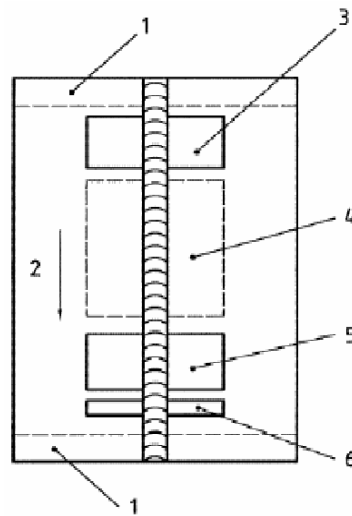
- radiograafisella kuvauksella
- ultraäänitarkastuksella
- tunkeumanestetarkastuksella
- magneettijauhetarkastuksella
- vuotokokeella

Näitä kokeita vaaditaan hyvin harvoin ja vain erikoistapauksessa, tai silloin kun tarkastussuunnitelmaa tehtäessä on niin sovittu. Menetelmäkoe hyväksytään, jos koekappaleessa tunnistetut hitsausvirheet täyttävät hitsausluokan B mukaiset vaatimukset standardin ISO 5817 mukaisesti, lukuun ottamatta korkeaa kupua (päittäis- ja pienahitsi), ylisuurta a-mittaa ja korkeaa juuren kupua, joille vaatimus on hitsausluokka C. [1, s. 172.]

Rikkova aineenkoetus, eli ainetta rikkovat tarkastusmenetelmät ovat sellaisia, joilla tutkitaan ja testataan perusaineen hitsattavuutta, lisäaineen sopivuutta, hitsausliitosalueella tapahtuvia kiderakennemuutoksia sekä testataan hitsatun rakenteen kuormituskestävyyttä. [3, s. 68.]

Ainetta rikkovat tarkastusmenetelmät tehdään sen jälkeen, kun koko rikkomaton aineenkoetus (NDT) on suoritettu asetetun vaatimuksen mukaisesti ja se on osoittanut hyväksyttävää tulosta. [1, s. 168.]

Rikkovaa testausta varten koekappaleeseen piirretään koesauvojen sijainti. Tämän jälkeen koesauvat voidaan irrottaa termisellä leikkauksella tai mekaanisin menetelmin. Koesauvat on irrotettava alueelta, jolla hitsausvirheitä ei ole todettu. Koesauvojen irrotus on tehtävä menetelmillä, joilla ei ole vaikutusta niiden mekaanisiin tai kemiallisiin ominaisuuksiin. Kuvassa 8 on esitetty koesauvojen irrotuskohtien sijainti levyn päittäishitsauksessa koekappaleessa.



1. Poistetaan 25 mm

2. Hitsaussuunta

3 ja 5. alue, josta irrotetaan

4. Alue, josta irrotetaan

- 1 vetokoesauva

- isku- ja lisäkoesauvat

- taivutuskoesauvat

jos vaaditaan

6. Alue, josta irrotetaan

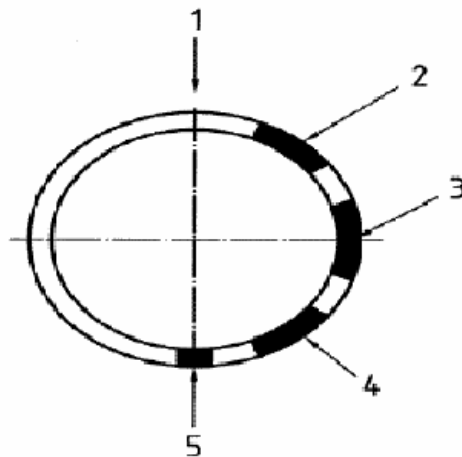
- 1 makrokoe ja 1 kovuuskoesauva

Kuva 8. Koesauvojen sijainti levyn päittäishitsauksen koekappaleessa [4, s. 50]

Standardin SFS-EN 288-3 mukaan menetelmäkokeiden testaus voidaan suorittaa seuraavilla ainetta rikkovilla kokeilla [1, s. 173 -174]:

- poikittaisella vetokokeella
- taivutuskokeella
- makrohietutkimuksella
- iskukokeella
- kovuuskokeella

Kuvassa 9 on merkattu koesauvojen irrotuspaikat testausmenetelmiä varten putken hitsauksessa.



1. Kiinteä putken yläpinta
2. Alue, josta irrotetaan 1 vetokoesauva ja taivutuskoesauvat
3. Alue, josta irrotetaan isku- ja lisäkoesauvat, jos vaaditaan
4. Alue, josta irrotetaan 1 vetokoesauva ja taivutuskoesauvat
5. Alue, josta irrotetaan 1 makrohie ja 1 kovuuskoesauva

Kuva 9. Koesauvojen sijainti putken päittäishitsauksen koekappaleessa [4, s. 49]

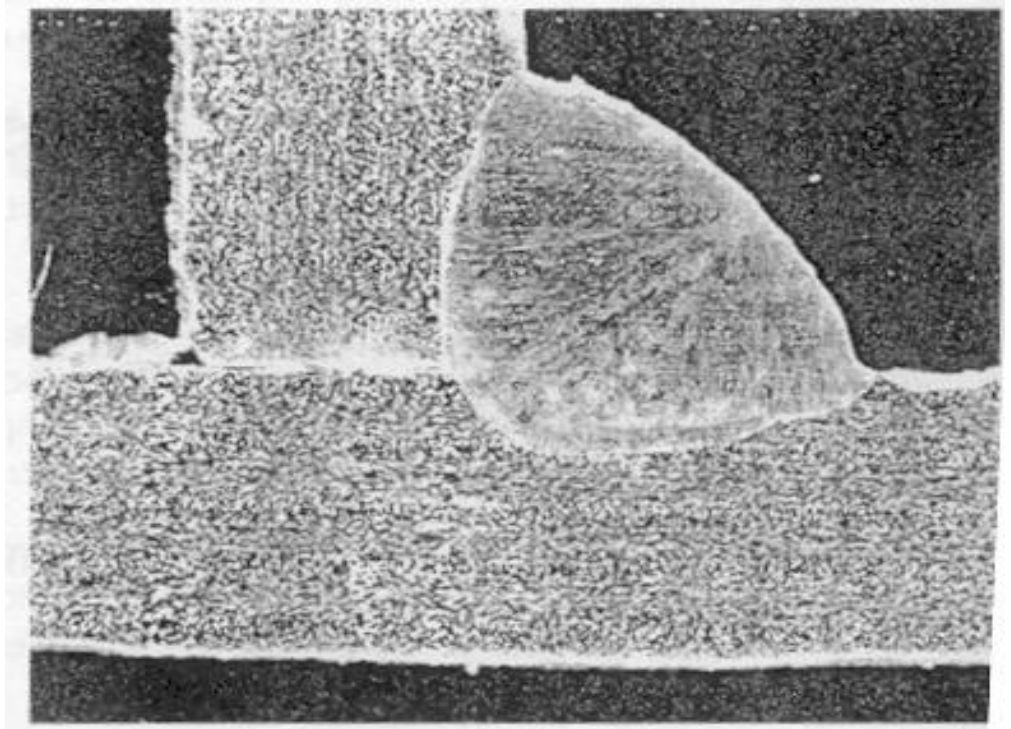
1. *Vetokokeella* testataan hitsin lujuutta ja sitkeyttä. Koesauvaa kuormitetaan yksiakselisessa vedossa, yleensä murtumiseen asti, jonka jälkeen vetovoima ja koesauvan pituuden muutos dokumentoidaan. Poikittaisessa vetokokeessa koesauva otetaan poikittaisesti hitsin suuntaan nähden. Standardin mukaan tulee ottaa vetokokeessa seuraavat vaatimukset huomioon [1, s. 172]:

- a. Putki ulkohalkaisijaltaan yli 50 mm ja poistetaan (sorvataan) hitsin kupu koesauvan molemmilta puolilta putken pinnan tasoon.
- b. Putki ulkohalkaisijaltaan enintään 50 mm ja kun vetokoe tehdään koko putken poikkileikkaukselle, voidaan putken sisäpuolinen kupu jättää ko-neistamatta.
- c. Vetosauvan muotolujuuden tulee täyttää perusaineelle asetettu vähim-mäisvaatimus.
- d. Eripariliitoksen vetolujuus ei saa alittaa alemman lujuuden omaavalle pe-rusaineelle asetettua vähimmäisarvoa.

2. *Taivutuskokeella* testataan hitsin taivutuskestävyyttä. Taivutuskokeessa tutkitaan aineen muodonmuutoskykyä ja pinnan laatua kylmänä tai erikois-tapauksessa kuumana. Kokeessa esiintyy yleensä hitsausvirheitä niin kuin sulkeumia, huokosia ja suoranaisia repeämiä. Taivutuskokeessa on otettava huomioon seuraavat vaatimukset.

- a. Aineenpaksuuksilla alle 12 mm testataan kaksi juuritaivutus- ja kaksi pin-tataivutuskoesauvaa ja yli 12 mm neljä sivutaivutuskoesauvaa.
- b. Taivutuskokeen aikana ei saa esiintyä missään suunnassa yli 3 mm:n suuruisia avoimia vikoja.
- c. Virheitä, jotka ovat taivutussauvan nurkissa, ei tarvitse ottaa huomioon arvostelussa.

3. *Makrohietutkimuksella* (kuva 10) tutkitaan hitsin muutosvyöhykkeen ja perusaineen kovuusarvoja. Siinä koesauvan toinen puoli hiotaan niin, että muutosvyöhyke ja palonrakenne tuleva selvästi näkyviin. Menetelmäkoe hyväksytään, jos koekappaleessa tunnistetut hitsausvirheet täyttävät hitsausluokan B (vaativa) mukaiset vaatimukset standardin ISO 5817 mukaan, lukuun ottamatta korkeaa kupua (päittäis- ja pienahitsi), ylisuurta a-mittaa ja korkeaa juuren kupua, joille vaatimus on hitsausluokka C (hyvä).

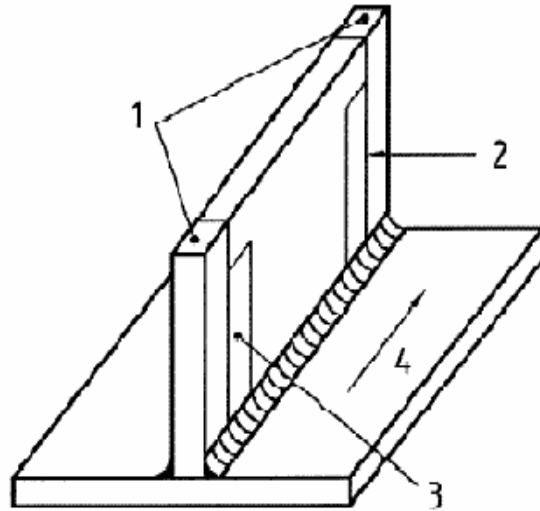


Kuva 10. Makrohie päittäisliitoksesta ja pienahitsistä [3, s. 70]

4. *Iskukokeella* testataan hitsin sitkeyttä iskumaisella kuormituksella eri lämpötiloissa. Iskukokeen suorittaminen edellyttää seuraavien ohjeiden noudattamista [1, s. 174]:

- a. Hitsiaineen koesauvana käytetään VWT:tä, jossa V on Charpy-lovi, W on lovi hitsissä, ja T on lovi läpi paksuuden.
- b. Muutosvyöhykkeen koesauvana käytetään VHT:tä, jossa V on Charpy-lovi, H on lovi muutosvyöhykkeellä ja T on lovi läpi paksuuden.
- c. Molemmissa tyypeissä (VWT ja VHT) otetaan kolme iskusauvaa ja lovet tehdään kohtisuoraan hitsipintaan nähden.
- d. Koesauvoina käytetään Charpy (V) sauvoja, jotka otetaan poikittain hitsiin nähden enintään 2 mm yläreunasta perusaineen pinnan alapuolelta.
- e. Muutosvyöhykkeellä lovi tehdään enintään 2 mm sularajalta ja hitsausaineelle hitsin keskiviivalle.
- f. Aineenvahvuuksilla yli 50 mm otetaan kaksi lisäkoesauvaa, toinen hitsausaineesta ja toinen muutosvyöhykkeeltä, joko aivan hitsin paksuuden alapuolelta tai hitsin juuren alueelta.
- g. Iskuenergian tulee olla tarkoituksenmukaisen materiaalistandardin mukainen, ellei tuotestandardissa toisin määritetä.
- h. Kolmen koesauvan keskiarvon on täytettävä iskuenergiavaatimus ja yksittäisen koesauvan arvo ei saa olla alempi kuin 70 % tästä keskiarvosta.

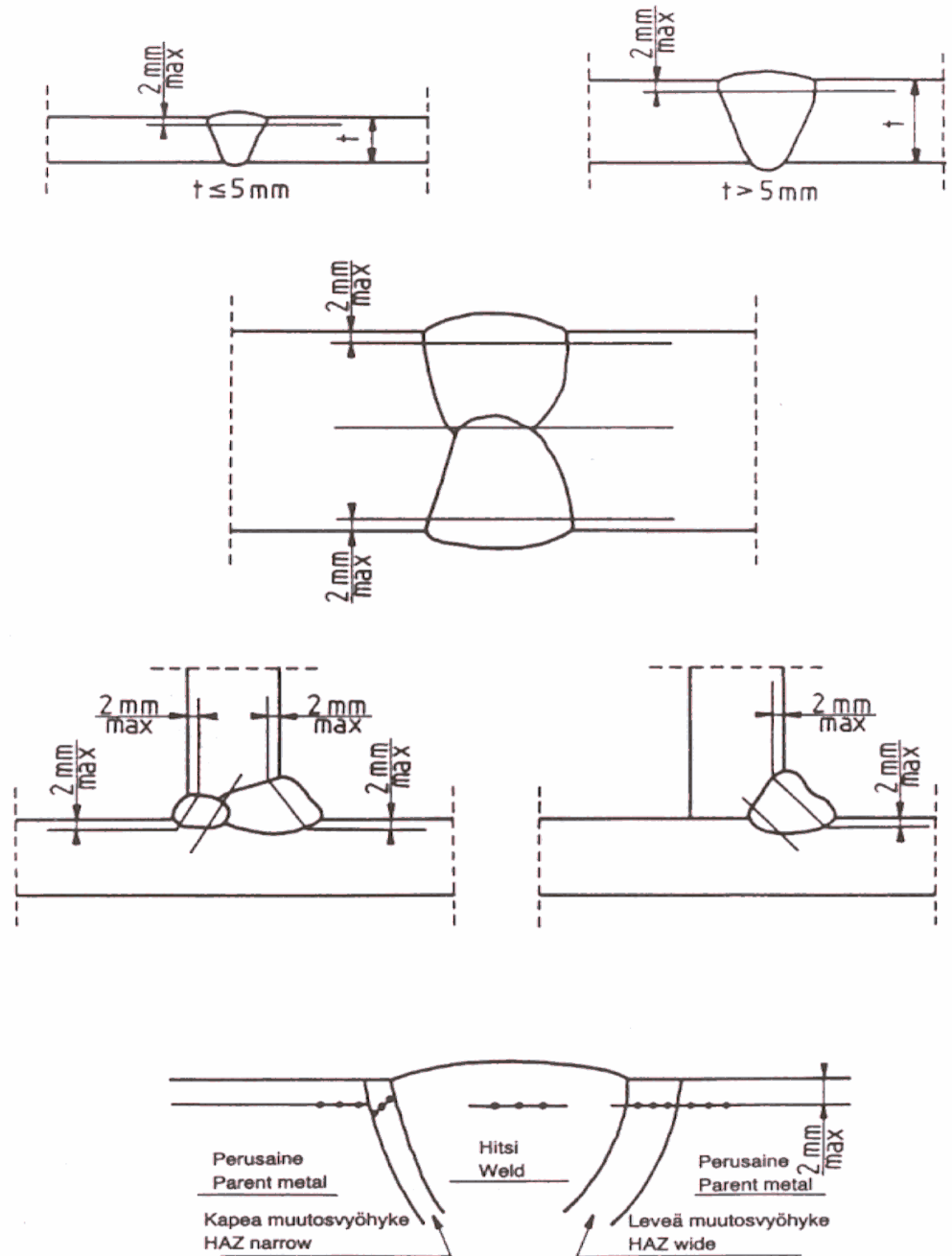
5. *Kovuuskokeella* (kuva 11) tutkitaan ja mitataan hitsin, muutosvyöhykkeen ja perusaineen kovuusarvoja käyttäen Vickerskoetta HV10. Kovuuskokeen suorittaminen vaatii seuraavat ohjeet. [1, s. 174.]



1. Poistetaan 25 mm
2. Makrohiet
3. Makrohiet ja kovuuskoe
4. Hitsaussuunta

Kuva 11. Koesauvojen sijainti putken haaraliitoksessa makrohie- ja kovuuskoetta varten. [4, s. 52]

- a. Aineenvahvuksilla enintään 5 mm käytetään vain yhtä mittauspisteen riviä, joka täytyy olla enintään 2 mm hitsausliitoksen pinnan alapuolelta. Yli 5 mm:n aineenvahvuksilla käytetään kahta mittauspisteen riviä, joiden täytyy olla 2 mm hitsausliitoksen molempien pintojen alapuolella. Kuvassa 12 on esitetty kovuuskokeen erilaisia esimerkkejä.



Kuva 12. Kovuuskokeen tyypillisiä esimerkkejä [1, s. 176]

- b. Jokaisessa rivissä tulee olla vähintään kolme yksittäistä mittauspistettä hitsissä, muutosvyöhykkeellä ja perusaineessa.
- c. Kovuuskokeiden tulosten on täytettävä taulukon 4 mukaiset vaatimukset.

Taulukko 4. Suurimmat sallitut HV10 kovuusarvot [1, s. 177]

Terasryhmät	Yksipalkko päittäis- ja pienahitsi		Monipalkko päittäis- ja pienahitsi	
	Lämpökäsittelimätön	Lämpökäsittelty	Lämpökäsittelimätön	Lämpökäsittelty
1 ¹⁾ 2	380	320	350	320
3 ²⁾	450	3)	420	3)
4,5	3)	320	3)	320
6	3)	350	3)	350
Ni ≤ 4 %	3)	300	320	300
Ni > 4 %	3)	3)	400	3)
HUOM. 1 Jos kovuuskokeita vaaditaan				
HUOM. 2 Terästen Re > 885 N/mm ² osalta sovitaan erikseen				
HUOM. 3 Sovitaan erikseen				

Ainetta rikkovassa tarkastusmenetelmässä, jossa koesauvat eivät täytä asetettuja vaatimuksia joutuen hitsausvirheistä (hitsausluokka B, eli vaativaa), koe uusitaan kutakin hylättyä koesauvaa kohden kahdella uudella koesauvalla. Jos uudetkaan koesauvat eivät täytä asetettuja vaatimuksia, on kyseisessä menetelmäkokeessa tehtävä muutoksia tai on laadittava uusi alustava hitsausohje (pWPS).

2.3.3 Pätevyysalue

Pätevyysalueella tarkoitetaan oleellisen muuttujan hyväksymisaluetta, joka koskee saman teknisen ja laadunvalvonnan alaisia kyseisen valmistajan konepajoja ja valmistuspaikkoja. Perusaineen ryhmittelyjä, hitsausmuuttujia ja prosessikohtaisia pätevyysalueita on valvottava tiiviisti.

Perusaineet teräksille on ryhmitelty yhdeksään ryhmään taulukon 5 mukaisesti. Menetelmäkoe, joka on suoritettu yhdelle ryhmän teräkselle, pätevöittää myös ryhmän vähemmän seostetuille teräksille, mikäli lisäaineen koostumus sopi niille. Esimerkiksi ryhmä kahden teräksillä suoritettu koe pätevöittää ryhmä yhden teräksille, ks. taulukko 5. Jos perusaine jää ryhmittelyn ulkopuolelle, vaaditaan erillinen menetelmäkoe. Perusaineen aineenvahvuus päittäisliitoksessa ja pienahitsissä, putken haaraliitoksessa ja levyn T-liitoksessa on otettava huomioon. [1, s.178.]

Taulukko 5. Terästen ryhmittely [1, s. 180]

Ryhmä	Teräslaji
1	Teräokset, joiden ohjeellinen myötölujuus $Re \leq 355 \text{ N/mm}^2$ tai murtolujuus $Re \leq 520 \text{ N/mm}^2$ ja analyysipitoisuudet ovat enintään: $C = 0,24$ $S = 0,55$ $Mn = 1,60$ $Mo = 0,65$ $S = 0,045$ $P = 0,045$ Mikä tahansa muu yksittäinen seosaine = 0,3 Muiden seosaineiden yhteismäärä = 0,8
2	Normalisoidut tai termomekaanisesti käsitellyt hienoraeteräokset, joiden ohjeellinen myötölujuus $Re > 355 \text{ N/mm}^2$.
3	Nuorrutetut hienoraeteräokset, joiden ohjeellinen myötölujuus $Re > 500 \text{ N/mm}^2$
4	Teräokset, joissa $Cr \leq 0,6 \%$, $Mo \leq 0,5 \%$, $V \leq 0,25 \%$ ¹⁾
5	Teräokset, joissa $Cr \leq 9 \%$ ja $Mo \leq 1,2 \%$ ¹⁾
6	Teräokset, joissa $Cr \leq 12 \%$, $Mo \leq 1 \%$ ja $V \leq 0,5 \%$ ¹⁾
7	Teräokset, joissa $Ni \leq 9 \%$ ¹⁾
8	Ferriittiset tai martensiittiset ruostumattomat teräokset $Cr = 21 \dots 20 \%$ ¹⁾
9	Austeniittiset ruostumattomat teräokset

Hitsausmuuttajat ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat suoranaisesti hitsausliitoksen mekaanisiin ja metallurgisiin ominaisuuksiin. Näitä ovat hitsausprosessi, hitsausasennot, liitosmuoto, virtalaji (AC ja DC), lisäaineet ja suojakaasut (luokitus ja valmistaja), lämmöntuonti, välipalkolämpötila, korotettu lämpötila ja esilämpökäsittely. Koe pätevöittää ainoastaan kokeessa käytetyille hitsausmuuttajille.

Prosessikohtaiset pätevyysalueet, jotka ovat puikkohitsaus (111), MIG/MAG-hitsaus (131 ja 135), MIG/MAG-täytelankahitsaus (136 ja 137), jauhekaarihitsaus (12), TIG-hitsaus (141) ja plasmahitsaus (15) pätevöidään erikseen. Koe pätevöittää ainoastaan kokeessa käytetyille hitsausprosessille. Kun käytetään yhdistelmämenetelmiä (hitsausprosessit), voidaan prosessi joko pätevöidä erikseen tai yhdistelmänä, mutta prosessijärjestysten täytyy säilyä. [1, s. 184.]

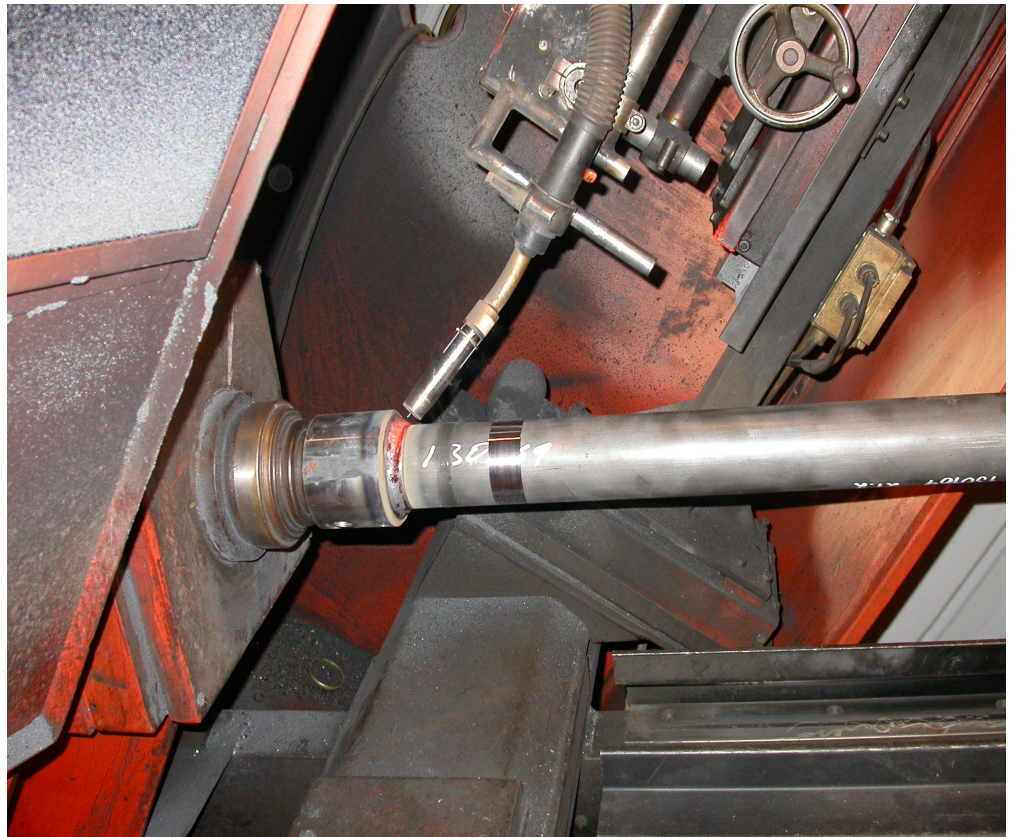
Hitsausasennot, eli hitsaus missä tahansa asennossa pätevöittää kaikkiin asentoihin (putki tai levy), mikäli koemenetelmässä ei vaadittu isku- ja kovuuskokeita. Jos vaaditaan iskukoe, se on otettava asennosta, jossa on suurin lämmöntuonti, eli pystyhitsaus (PF). Jos vaaditaan kovuuskoe, se on otettava vaakahitsauksessa (PC ja PE putkille) koska vaakahitsauksessa lämmöntuonti on pienin.

2.3.4 Menetelmäkoepöytäkirja (WPAR)

Menetelmäkokeen hyväksymispöytäkirjaan (Welding Procedure Approval Record), on merkattu kaikki asiaankuuluvat tiedot valmistajasta, koekappaleiden testaustuloksista, pätevyysalueen kuvauksesta, valvojan hyväksymisestä ja myös uusintakokeista. Menetelmäkoepöytäkirjan käyttö helpottaa tulosten dokumentointia ja sen myötä hitsausohjeen laatimisista.

Hitsausohjeen hyväksyntä edellyttää nykyään menetelmäkokeiden suorittamista, vaikka niiden perustaminen on kallista. Tuotteen valmistajan täytyy valmistaa korkealaatuisia tuotteita kilpailukyvyyn vuoksi ja samalla täyttää asiakkaiden korkeat vaatimukset, jotka ovat jatkuvasti kasvaneet.

Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehtaan ja tämän projektin päätavoite oli hitsausosaamisen kehittäminen vastaamaan laatu järjestelmän määritteitä ja spesifikoituja asiakasvaatimuksia sekä päivittää hitsausohjeet (WPS) menetelmäkokeiden avulla. Polarteknik PCM Oy Ab:n Nastolan tehdas tuottaa vuodessa noin 10000 kappaletta erilaisia hydraulisylintereitä, vääntömootoreita ja erikoisventtiilejä. Nastolan tehdas valmistaa erikokoisia hydraulisylintereitä. Sylinteriputkien halkaisija vaihtelee 32 – 400 mm ja niiden seinämäpaksuudet 4 – 30 mm. Nastolan tehtaassa sylintereiden etu- ja takapäät sekä silmukat ja männänvarret hitsataan yleensä MAG-täytelankahitsauksella (metallitäytelanka) automaatioissa, joten on oleellista perehtyä MAG-täytelankahitsaukseen huolella sekä katsoa, mitkä seikat ja tekijät vaikuttavat hitsin laatuun MAG-täytelankahitsauksessa. Kuvassa 13 on esitetty sylinterin etupään hitsausliitos, joka on hitsattu MAG-metallitäytelangalla automaatioissa Nastolan tehtaassa.



Kuva 13. Sylinterin etupään hitsaus MAG-täytelangalla automaatioissa

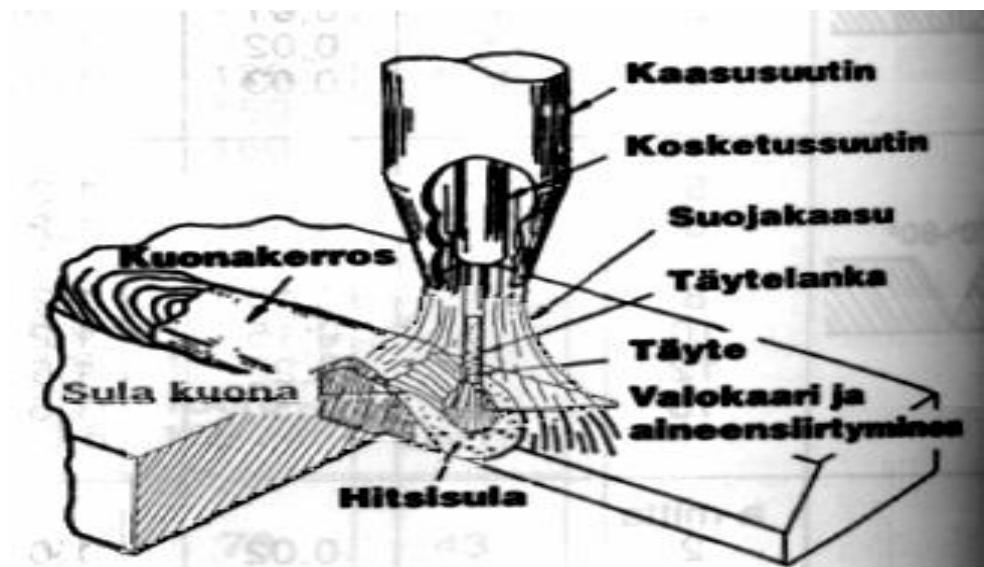
3 MAG-TÄYTELANKAHITSAUS (136)

MAG-täytelankahitsaus FCAW, eli Flux-cored arc welding kuuluu metallikaa-rihitsausprosessiin suojakaasun kanssa. Numerotunnus standardin SFS-EN 24063 mukaan on 136 ja kirjatunnus FSF-EN 759 mukaisesti on T kirjain. [2, s. 228.]

MAG- täytelankahitsauksessa (kuva 14) lisäaineena käytetään putkimaista täytelankaa, jossa putkimaisen langan sisäosa on täytetty metallijauheella tai kuonaa tuottavalla rutiili- tai emäsjauheella. Täytelangan sisäosassa olevan täytteen perusteella lankaa kutsutaan metallitäytelangaksi, rutiili- tai emäs-täytelangaksi. [3, s. 168.]

Täytelankahitsauksessa hitsausvirta on aina tasavirtaa, mutta napaisuus on täytelankatyypin mukaan joko plusnapa tai miinusnapa. Täytelankahitsauksessa käytetään yleensä suurta hitsausvirtaa, jossa hitsausvirta-alue on 1,2 mm:n täytelangalle vähintään 350 A.

MAG- täytelankahitsausta käytetään eniten telakka- ja offshore-teollisuudessa, mutta sen käyttö on kasvanut huomattavasti myös tuotanto-verstaissa rakenneterästen sekä ruostumattomien ja haponkestävien teräs-ten hitsauksessa. [2, s. 230.]




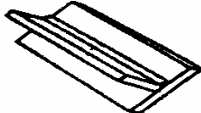



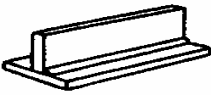

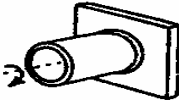
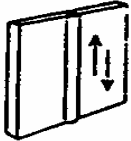
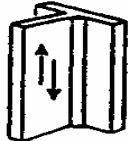


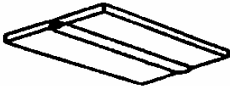



Kuva 14. MAG-täytelankahitsaus [2, s. 288]

3.1 MAG- täytelangan käyttökelpoisuus

MAG-täytelankahitsaus soveltuu materiaaleihin nähden erittäin hyvin terästen hitsaukseen. Näitä teräksiä ovat seostamattomat ja niukkaseosteiset, haponkestävät ja kylmäsitkeät teräkset, suurilujiset ja ruostumattomat (austeniittiset, duplex-, ferriittiset ja austeniittiset teräkset) teräkset. Täytelankavaliokoima on nykyään runsas, joten erilaisille teräksille on erilaista täytelankaa, mm. metallitäytelanka, rutiilitäytelanka (rutiilijalko- ja rutiiliasentolangat) ja emästäytelanka. [2, s. 231.]

MAG-täytelankahitsausta voidaan käyttää kaikissa hitsausasunnoissa (taulukko 6), kun vain huomioidaan sopiva lankatyyppi, langanhalkaisija ja hitsausarvot. Esimerkiksi metallitäytelanka soveltuu hyvin pystyhitsaukseen ylöspäin (PF) sekä ylhäältä alaspäin (PG). [2, s. 231.]

Taulukko 6. Hitsausasentojen tunnukset (SFS-EN ja AWS mukaan) [2, s. 53]

Päittäisiitos	Plenaliitos	Putkenhitsaus	Plenaliitos
 AWS: 1G EN: PA	 AWS: 1F EN: PA	 AWS: 1G EN: PA	 AWS: 2F EN: PB
 AWS: 2G EN: PC	 AWS: 2F EN: PB	 AWS: 2G EN: PC	 AWS: 2F EN: PB
 AWS: 3G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 3F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 5G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 5F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)
 AWS: 4G EN: PE	 AWS: 4F EN: PD	 AWS: 6G EN: H-L045	 AWS: 4F EN: PD

MAG-täytelankahitsauksessa käytetään halkaisijaltaan erikokoisia lankoja. Lankojen koot ovat 0,8, 0,9, 1,0, 1,2, 1,4 ja 1,6 mm. Näistä langoista yleisin on 1,2 mm. Muihin lankoihin verrattuna 1,2 mm soveltuu noin 3 mm levyn tai putken aineenpaksuudesta ylöspäin. Ohuemmilla langoilla hitsataan ohuempia aineenpaksuuksia (2 mm).

MAG-täytelankahitsauksen mekanisointi, automatisointi ja robotisointi on helppoa, nopeaa ja tehokasta, esimerkiksi putkien hitsaus metallitäytelangalla pyörityslaitetta (kuva 15) käyttäen on erittäin tehokasta ja nopeaa verrattuna muihin hitsausprosesseihin. Hitsauspistooli voi olla kiinteä tai se voidaan myös asentaa helposti erilaisiin kuljetuslaitteisiin, esimerkiksi kiskokuljettimeen tai traktorin.



Kuva 15. Sylinteriputken hitsaus pyörityslaitteilla Nastolaan tehtaassa

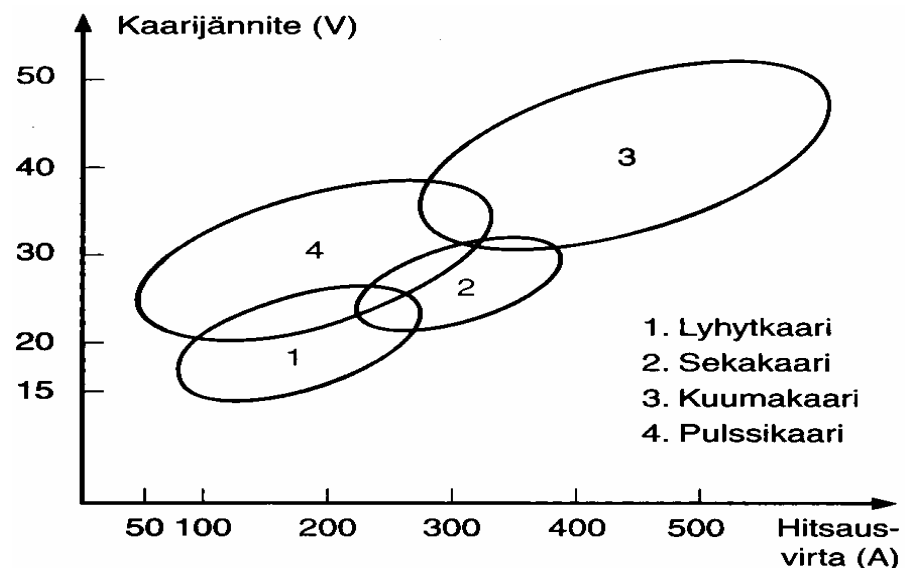
3.2 MAG-täytelankahitsaus eri kaarityypeillä

Kun valokaari palaa, sula metalli siirtyy työkappaleelle joko pisaroina tai suihkumaisena. Valokaaren muotoon vaikuttavat mm. hitsausvirta, suoja-kaasu ja lankatyyppi. [2, s. 229.]

MAG-täytelankahitsausta voidaan tehdä monilla kaarityypeillä, joilla kullakin on omat erityispiirteensä ja käyttökohteensa. Hitsaajan on tunnettava kaarityypit ja osattava säätää ne oikein eri hitsauskohteelle, koska kaarityypit ovat erilaiset kaikilla täytelankatyypeillä. MAG- täytelankahitsausta voidaan tehdä täytelankatyyppistä riippuen seuraavilla kaarityypeillä [2, s. 229]:

- lyhytkaarella
- kuumakaarella
- sekakaarella
- pulssikaarella

Kuvassa 16 on esitetty kaarityyppien alueet virta- ja jännitearvojen perusteella.



Kuva 16. Kaarityypit virta- ja jännitearvojen mukaan [2, s. 167]

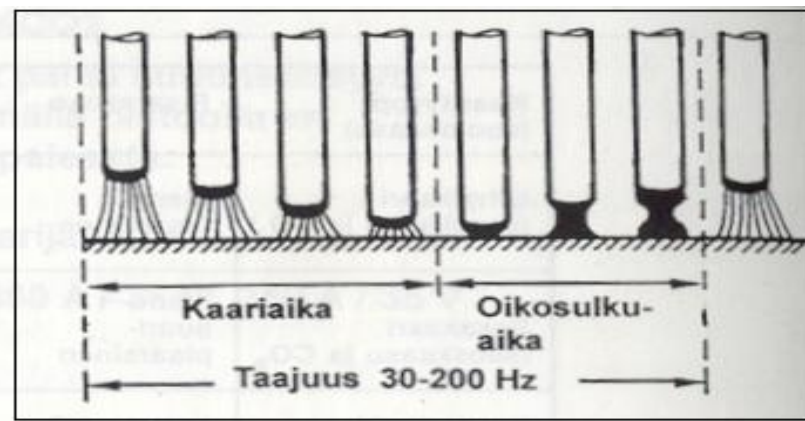
3.2.1 Lyhytkaarihitsaus

Lyhytkaarihitsauksessa (kuva 17) lisäaineen siirtyminen tapahtuu tasaisin välein, hallitusti esiintyvien oikosulkujen avulla, tämän takia sitä kutsutaan oikosulkusiirtymiseksi. Hitsaus lyhytkaarella vaatii pieniä virta- ja jännitearvoja, joten lyhytkaarihitsausta käytetään asentohitsauksiin, yhdeltä puolelta hitsattavien pohjapalkojen hitsaukseen ja ohuiden perusaineiden hitsaukseen esim. ohutlevyjen hitsaukseen. [2, s. 229.]

Metalli- ja emästytelangoilla voidaan hitsata lyhytkaarella kuten umpilankaakin. Lyhytkaarihitsauksen hitsausarvoalueet (virta ja jännite) eri langanhalkaisijoilla ovat suojakaasulla (75 % Ar ja 25 % CO₂) seuraavat:

- 0,8 mm: 50 – 150 A ja 15 – 20 V
- 1,0 mm: 70 – 170 A ja 16 – 20 V
- 1,2 mm: 100 – 200 A ja 16 – 20 V

Lyhytkaarihitsauksessa vapaalangan pituus on noin 15 mm ja langansyöttönopeusalue on noin 8 m/ min.



Kuva 17. Lyhytkaarihitsaus [2, s. 168]

3.2.2 Kuumakaarihitsaus

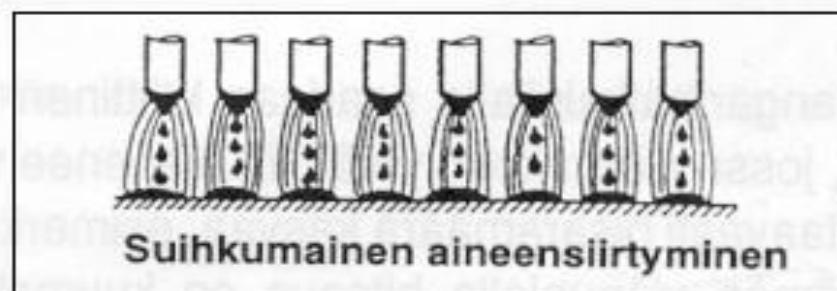
Kuumakaarihitsauksessa (kuva 18) lisäaineen siirtyminen tapahtuu pieninä pisaroina suihkumaisesti (ilman oikosulkuja), tätä sanotaan spraytyyppiseksi siirtymiseksi. Tämä aineensiirtyminen edellyttää kuitenkin suuren virrankäytön vuoksi inertistä suojakaasua tai argonvaltaista suojakaasua. [5, s. 17.]

Kuumakaarihitsaukseen käytetään suurempia virta- ja jännitearvoja kuin lyhytkaarihitsaukseen, tämän takia se ei sovi asentohitsauksiin, eikä pohjapalkojen hitsaukseen. Kuumakaarihitsaus sopii hyvin väli- ja pintapalkojen hit-
saamiseen jalkoasennossa sekä alapienahitsauksessa.

Kuumakaarihitsauksessa hitsattavan perusaineen aineenvahvuuden täytyy olla riittävän paksu (3 mm ylöspäin), koska työkappaleeseen siirtyvä lämpö-
määrä on suuri, noin 200 – 600 A. [5, s. 18.]

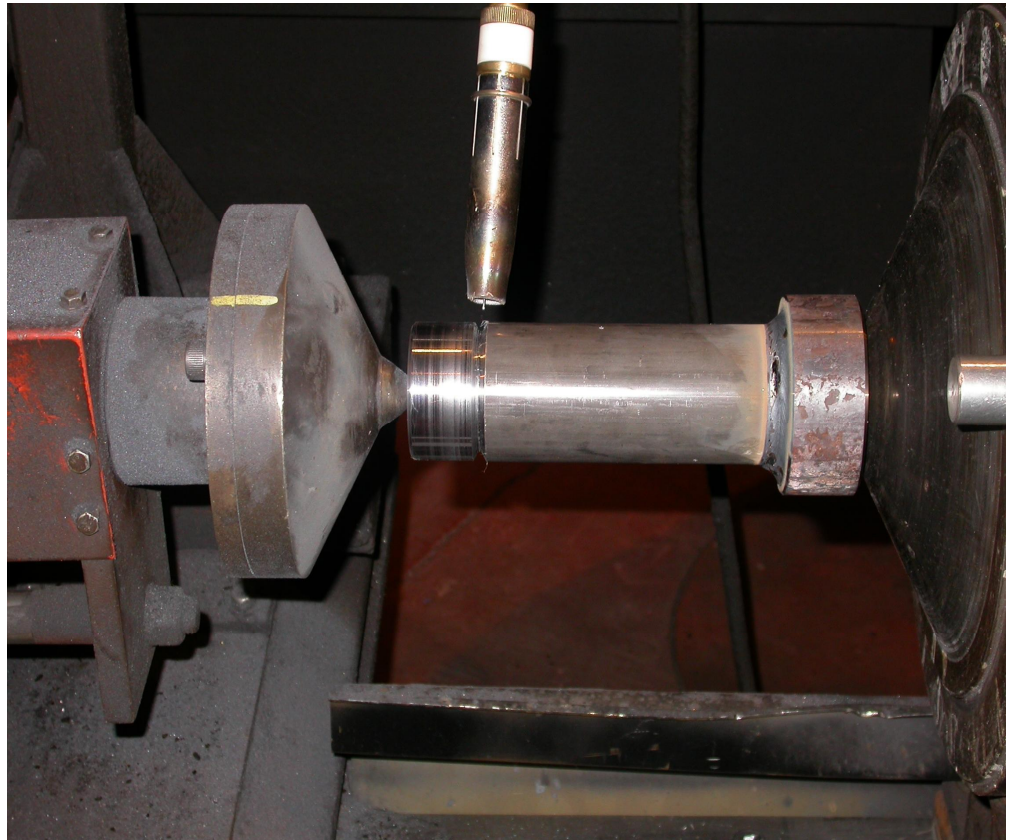
Metalli- ja emästytelangoilla voidaan hitsata sekä lyhytkaarella että kuuma-
kaarella ja rutiilitäytelangoilla hitsataan yleensä kuumakaarella. Kuumakaa-
rihitsauksen hitsausarvot, virta (A) ja jännite (V) 1,2 mm:n langalla ja seos-
kaasulla 75 % Ar ja 25 % CO₂ ovat 250 A/ 30 V - 350 A/36 V ja 1,0 mm:n
langalla ovat noin 200 A/29 V – 280 A/ 39 V.

Kuumakaarihitsauksessa vapaalangan pituus on noin 20 mm ja langansyöt-
tönopeusalue on noin 9 -25 m/ min.



Kuva 18. Kuumakaarihitsaus [2, s. 169]

Polarteknik PCM Oy Ab:n Nastolan tehtaassa 2300-sylinterisarjan nimellisuuruudet (putken sisähalkaisija) NS50, NS80 ja NS160 etu- ja takapäät hitsataan kuumakaarella sylinteriputkeen, koska mittauksen jälkeen todettiin että hitsausarvot, virta (A) ja jännite (V) 1,2 mm:n metallitäytelangalla sekä seoskaasulla 75 % Ar ja 25 % CO₂ vaihtelivat 315 A/ 32 V – 375 A/ 35 V. Kuvassa 19 on esitetty koekappaleen hitsausta pyörityslaitteessa MAG-täytelankahitsauksessa, joka on hitsattu kuumakaarella Nastolan tehtaassa.



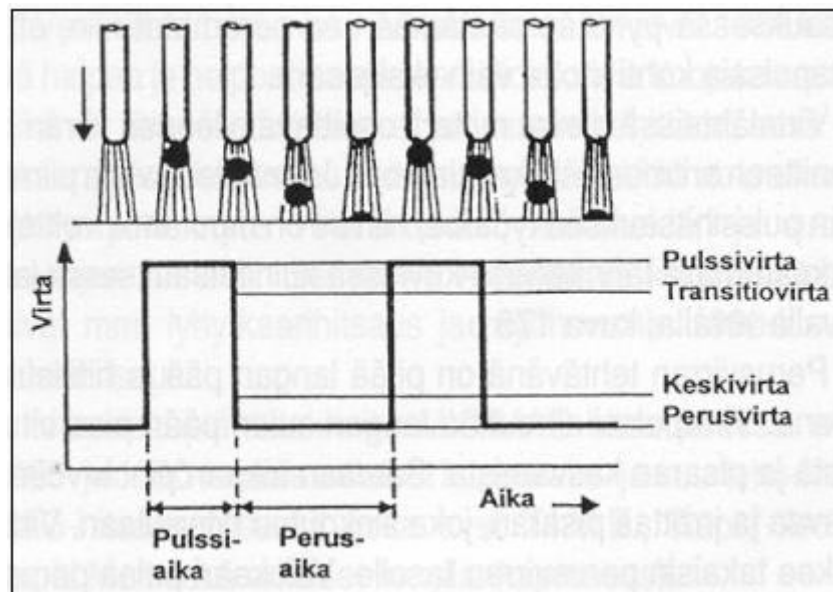
Kuva 19. Koekappaleen hitsaus kuumakaarihitsauksessa Nastolan tehtaassa

3.2.3 Sekakaari- ja pulssihitsaus

Sekakaarta, kutsutaan myös välikaareksi, puolikuumakaareksi sekä ylimenokaareksi. Lisäaine siirtyy pisaroina suihkumaisesti sekä osittain oikosulkujen kautta eli lyhytkaaren ja kuumakaaren välistä jännite-virta-kaaviossa. Sekakaarihitsausta yritetään yleensä välttää roiskeiden ja huuru-
jen kasvun takia. [2, s. 169.]

Pulssihitsauksessa (kuva 20) lisäaineen siirtyminen tapahtuu suihkumaisena ilman oikosulkuja kuten kuumakaarihitsauksessakin, mutta pienemmillä hitsausvirroilla. Pulssikaarihitsaus soveltuu hyvin asentohitsauksiin, kun halutaan erittäin tasaista tunkeumaa ja vähän roiskeita. [5, s. 18.]

Täytelankojen käyttö pulssihitsauksessa on vähäistä, niistä voidaan käyttää lähinnä emäs- ja metallitäytelankoja. Suojakaasuna käytetään inerttiä (argon tai helium) tai hyvin argonvaltaista seoskaasua. Seostamattoman teräksen hitsauksessa hiilidioksidipitoisuuden pitää olla alle 20 %. [5, s. 172.]



Kuva 20. pulssikaarihitsauksen periaate [2, s. 171]

3.3 MAG-täytelangan hitsausaineet

Hitsausaineella tarkoitetaan hitsauksessa käytettävää lisäainetta eli hitsauslankaa sekä siinä käytettävää apuainetta eli suojakaasua. Hitsausaineet eli lanka ja kaasu ovat yleensä aina yhdistelmäkohtaisia. Ne voidaan luokitella erikseen kemiallisen koostumuksensa perusteella tai yhdessä suojakaasun kanssa niiden tuottaman puhtaan hitsiaineen mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Täytelangat luokitellaan yleensä yhdessä suojakaasun kanssa. [2, s. 233.]

3.3.1 Täytelankojen luokittelu

Täytelangat voidaan jakaa täytteen mukaan suojakaasun kanssa kahteen tyyppiin. Toisessa lankatyypissä täytteenä on metallijauhetta, sitä kutsutaan kuonattomaksi täytelangaksi, kuten metallitäytelangat ja toisessa tyypissä epämetallista jauhetta eli kuona muodostaa täytelangat, kuten rutiili- ja emästäytelangat. [2, s. 238.]

Metallitäytelanka

Metallitäytelankahitsauksessa kuonaa tai kaasusuojaaja tuovia aineita ei esiinny, joten ne ovat umpilankoihin ja rutiililankoihin verrattuna kuonattomia lankoja. Metallitäytelankojen hyötyluku (langasta saatavan hitsiaineen osuus) on lähes samaa luokkaa kuin umpilankojen hyötyluku, noin 95 %. Metallitäytelangan hitsiaineentuotto (6,8 kg/h) on korkeampi kuin umpilangan tuotto (6,0 kg/h), vaikka virta-alue on molemmilla sama, metallitäytelangan langansyöttönopeus on suurempi. Taulukko 7 esittää metallitäytelangan hitsausarvot ja hitsiaineentuottotiedot osioiden langanhalkaisijan mukaan.

Metallitäytelangat soveltuvat hyvin sekä käsihitsaukseen että mekanisoituun (pyörityslaitteet) ja robotisoituun hitsaukseen. Ne ovat tuottavia ja tehokkaita lankoja, joiden tyypillisin käyttöalue on tehokas jalko- ja alapienahitsaus. [2, s. 238.]

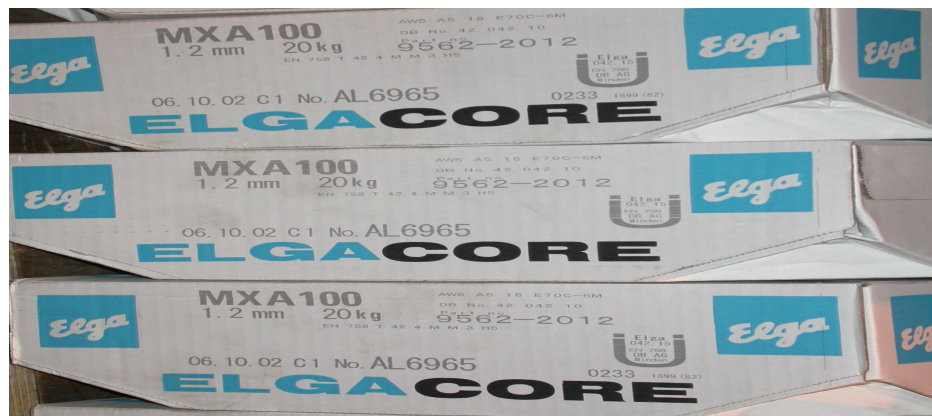
Käyttöalue 1,2 mm:n metallitäytelangoilla alkaa 4 mm levyn- tai putkiseinämän paksuudesta ylöspäin. Ne soveltuvat mainiosti putkien hitsaukseen käytettäessä pyörityslaitetta, jolloin pohjapalkko hitsataan lyhytkaarella ja väli- sekä pintapalot kuumakaarella jalkoasennossa.

Metallitytelangat hitsataan aina tasavirralla (DC). Langanvalmistajan suosituksen mukaan napaisuus tulee tarkistaa plusnavasta tai miinusnavasta. Yleensä miinusnapa antaa paremmat kaariominaisuudet ja vähemmän roiskeita.

Taulukko 7. Erään seostamattoman metallitytelangan hitsausvirta- ja tuottotiedot [2, s. 238]

Langanhalkaisija (mm)	Hitsausvirta (A)	Kaarijnnite (V)	Langansyöttönopeus (m/min)	Hissausaineentuotto (kg/h)
1	100 – 240	17 – 31	3,0 - 13,0	1,0 - 4,0
1,2	100 – 290	17- 31	2,4 - 13,5	1,2 - 6,2
1,4	100 – 360	18 – 32	1,8 - 12,3	1,3 - 7,5
1,6	100 – 420	18 – 34	1,5 - 8,5	1,6 - 8,0

Nastolan tehtaassa suurin osa hydraulisylintereist hitsataan metallitäytelangalla. Langan valmistajan on Elga (liite 3). Metallitytelangan nimi on Elgacore MAX 100, se soveltuu seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen hitsaukseen (kuva 21).



Kuva 21. Metallitytelangon Elgacore MXA 100 pakkaus

Rutiilitäytelangat

Rutiilitäytelangat ovat tyypiltään jauhetäytelankoja, joissa kuona muodostuu hitsauksen aikana hitsisauman päälle. Kaarialueeltaan rutiililangoilla hitsataan kuumakaarella, mutta ne sopivat myös asentohitsaukseen, tämän takia asentohitsaus rutiililangoilla on tehokasta ja liitosvirhevaara pieni. On kuitenkin otettava huomioon, että ne eivät sovellu pohjapalon läpihitsaukseen yhdeltä puolelta ilman juuritukea. [2, s. 237.]

Rutiilitäytelankoja on kahta eri tyyppiä, rutiilijalkolangat, jotka soveltuvat jalkoasennossa hitsattaville kappaleille ja rutiiliasentolangat, joita käytetään asentohitsauksessa.

Rutiilitäytelankojen hitsausominaisuuksia ovat roiskeettomuus, hyvä hitsin muoto, pehmeä ja vaakatasoinen valokaari sekä hyvä kuonan irrottavuus. Rutiilitäytelankojen hyötyluku on pienempi kuin metallitäytelankojen, noin 85 %.

Emästäytelangat

Emästäytelangatkin ovat tyypiltään jauhetäytelankoja, eli kuonaa muodostavia täytelankoja. Hitsiaineen osalta niillä on erinomaisia mekaanisia ominaisuuksia mm. iskusitkeyttä, hitsin tiiviyttä ja erittäin niukkavetyistä hitsiainetta. [2, s. 238.]

Emäslankojen käyttö on vähäistä verrattuna muihin täytelankoihin, koska asentohitsauksessa roiskeita syntyy enemmän kuin muilla täytelankatyypeillä eikä hitsin ulkonäkö ole yhtä hyvä kuin muilla langoilla.

3.3.2 Suojakaasun vaikutus

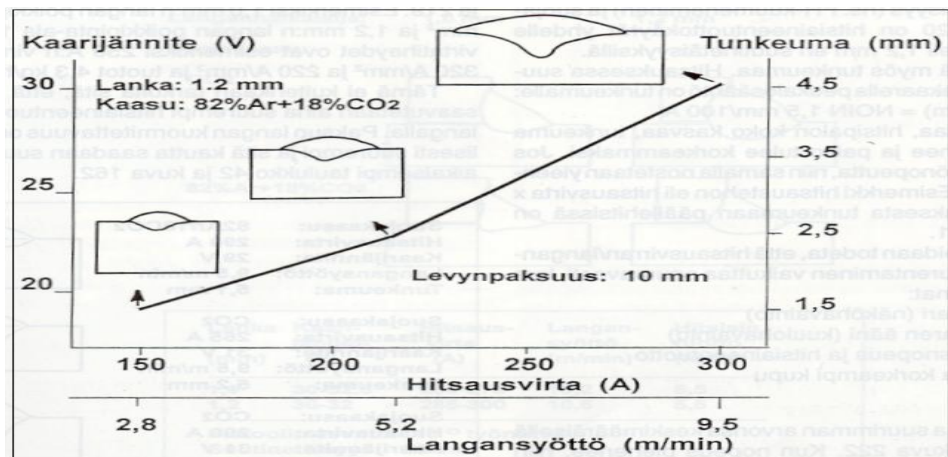
Täytelangat hitsataan yleensä argoninvaltaisilla seoskaasuilla. Näistä seoskaasuista 75 % Ar + 25 % CO₂ on yleisin. Suojakaasulla on suuri vaikutus hitsausominaisuuksiin, kuten kaarityyppiin, roiskeisiin, tunkeumaan ja hitsin muotoon. Argoninvaltaisella seoskaasulla (75 % Ar + 25 % CO₂) roiskeita syntyy vähemmän, hitsimuoto on parempi ja valokaari on vakaampi kuin esimerkiksi hiilidioksidin käytöllä. Nastolan tehtaassa käytetään 75 % Ar + 25 % CO₂ seoskaasua.

3.4 MAG-täytelankahitsauksen parannuskeinot

Täytelankahitsauksessa hitsausparametrit ovat se oleellinen tekijä, joka vaikuttaa hitsin muotoon ja tunkeumaan (kuva 22), hitsausominaisuuksiin sekä hitsiaineentuottoon. Nämä vaikuttavat parametrit ovat [2, s. 243]:

- kaarijännite (V)
- virta (A)
- langansyöttönopeus (m/min)
- hitsausnopeus (cm/min)
- suojakaasu ja sen virtausmäärä (l/min)
- langanhalkaisija (mm)
- vapaalangan pituus (mm)
- hitsauspistoolin asento ja kohdistus
- hitsausasento

Hitsaajan/operaattorin täytyy tuntea nämä hitsausparametrit hyvin, koska hänen on haettava oikeat hitsausarvot saadakseen virheettömän ja korkealaatuisen hitsaustuloksen.



Kuva 22. Hitsausvirran (A) ja kaarijännitteen (V) vaikutus tunkeumaan [2, s. 207]

Hitsaustuloksen parannusehdot

Koska hitsausparametrien oikea käyttö ja hitsausarvojen oikein säätäminen vähentävät hitsausvirheitä ja parantavat hitsaustuloksia, on syytä ottaa käyttöön seuraavat ohjeet:

1. Lyhytkaarihitsauksessa vapaalangan pituus on noin 15 mm ja kuumakaarihitsauksessa vapaalangan pituus on noin 20 – 30 mm.
2. Hitsauspistoolin kuljetusasento on yleensä hieman vetävä tai kohtisuora, koska vetävä asento antaa suuremman tunkeuman ja pienemmän hitsin pinnan työntävään asentoon verrattuna.
3. Levitysliikettä eli vaaputusta käytetään vain pohjapalkojen hitsauksessa ja asentohitsauksessa mm. PG ja PF. Kuumakaarihitsauksessa vaaputusta ei suositella. Pintapalkoa hitsattaessa voidaan tehdä pientä vaaputusta estämään reunahaavan syntymistä.
4. Jos railon leveys on suuri, yli 15 mm, hitsataan useampia palkoja rinnakkain.
5. Kun putkia hitsataan pyörityslaitetta käyttäen, pohjapalkoa hitsataan tavallaan alamäkeen, jolloin voidaan käyttää suhteellisen suuria hitsaustehoja.
6. Hitsaus on keskeytettävä vähintään kerran aloitus/lopetuspäätteen hiontaa varten.
7. Täytelangoilla (metallitäytelanka) hitsattavat railot tai hitsipinnat on puhdistettava ennen varsinaista hitsausta, koska täytelangalla tiiviysvarmuus on pienempi kuin umpilangalla. Epäpuhtaissa pinnoissa syntyy helposti hitsausvirheitä.
8. Hitsauksen lopetusvaiheessa ei kannata hitsata liiaksi yli (30 mm) aloituskohdan, noin 10 mm on sopiva.
9. Lopetusvirheitä (kuva 23) voidaan välttää monella tavalla, pienentämällä kuljetusnopeutta, käyttämällä hitsauskoneessa olevaa automaattista lopetusta tai kasvattamalla pyörimisnopeutta lopetusvaiheessa.

10. Täytelangat ovat hyvin herkkiä kosteudelle, joten ne on säilytettävä ja varastoitava kuivassa ja tasalämpöisessä tilassa. Tilan suhteellisen kosteuden on oltava alle 60 % ja lämpötilan vähintään 15 °C.

11. Hitsausnopeuden ollessa suuri on myös hitsausvirran oltava suuri. Tämä aiheuttaa hitsisulaan rauhattomuutta ja valumaa. Näin ollen hitsauksen lopputulos kärsii ja esimerkiksi lopetusvirhe syntyy helposti.



Kuva 23. Sylinterin etupään hitsaus sylinteriputkeen, jossa on selvästi havaittavissa lopetusvirhe

4 PROJEKTIN TAVOITTEET

Tämän projektin tavoitteena oli alustavan hitsausohjeen (pWPS) laatiminen hydraulisylinterien hitsausliitoksille käyttämällä menetelmäkokeita. Tutkimuksessa pyritään kehittämään hitsausosaamista kehittämistä vastaamaan laatujärjestelmän määritteitä ja spesifioituja asiakasvaatimuksia sekä päivitetään hitsaustyöohjeet eli WPS. Hitsausohjeet päivitetään nykyhitsausongelmien takia. Sylinterit ovat vuotaneet hitsausvirheiden vuoksi koeponnistuksissa sekä asiakkaiden käytössä ja aiheuttaneet kustannuksia firmalle.

Projektissa pyritään löytämään oikeat hitsausparametrit tasalaatuisen virheettömän hitsausliitoksen aikaansaamiseksi. Aluksi tehdään koekappaleet ja hitsataan ne tuotantoympäristöä vastaavissa olosuhteissa. Tämän jälkeen hitsausliitosta tarkastellaan silmämääräisesti. Seuraavaksi hitsausliitos testataan magneettijauhetautitarkastuksella, makrohietutkimuksella ja kovuuskokeella. Kun testaustulokset täyttävät asetut vaatimukset, laaditaan alustan hitsausohje. Tämän jälkeen hitsausohje voidaan hyväksyä esimerkiksi Polar-test Oy:llä

Koekappaleiden mallitöiksi valittiin 2300-sylinterisarjan nimellissuuruudet NS50, NS80 ja niiden etu- ja takapäiden hitsaukset sylinteriputkeen (liite 4) sekä vastaavien männänvarsien hitsaukset silmukkaan (liite 5).

5 NÄYTEKAPPALEIDEN VALMISTUS JA KIILLOTUS

Koekappaleiden mallitöiksi valittiin 2300-sylinterisarjan nimellissuuruudet NS50, NS80 (putken sisähalkaisija) ja niiden etu- ja takapäiden hitsaukset sylinteriputkeen sekä vastaavien männänvarsien hitsaukset silmukkaan.

Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehtaalla valmistettiin koekappaleiden osia, joista sylinteriputkia ja niiden etu- ja takapäitä kutakin osaa 5 kappaletta. Sylinteriputkien etu- ja takapäiden pituuksiksi sovittiin 50 mm ja itse sylinteriputkien vastaavasti 150 mm (kuvat 24, 25, 26 ja 27).



Kuva 24. Sylinteriputki NS50



Kuva 25. Sylinteriputken takapä NS50



Kuva 26. Sylinteriputki NS80



Kuva 27. Sylinteriputken etupää NS80

5.1 Koekappale NS50

5.1.1 Sylinterin etu- ja takapään hitsaus

Koekappaleen NS50 etu- ja takapääät hitsattiin sylinteriputkeen (kuva 28) hit-saajan/operaattorin kanssa automaattissa Nastolan tehtaalla. Etu- ja taka-pääät hitsattiin sylinteriputkeen MAG-metallitäytelangalla. Liitteessä 4 on hyd-raulisylinterin NS50 etu- ja takapään piirustus.

Hitsauksen aikana kaikki hitsausarvot sekä hitsausparametrit dokumentoin-tiin. Pyörityslaitteen pyörimisnopeus täytyi mitata viisi kertaa mittauksen tark-kuuden varmistamiseksi. Mittaustuloksista laskettiin keskiarvo, jonka jälkeen pyörimisnopeutta muutettiin hitsauskuljetusnopeudeksi.



Kuva 28. Koekappale NS50, joka on hitsattu Nastolan tehtaassa

Sylinteriputken etu- ja takapään perusaine oli rakenneterästä Fe 52 / S355K2 ja sylinteriputken aineenpaksuus 5 mm. Suojakaasuna käytettiin 75 % Ar + 25 % CO₂ ja sen virtanopeus oli 16L/min. Vapaalangan pituus oli 20 mm, virtalaji DC+ ja hitsin a-mitta 6 mm etupäälle ja 5 mm takapäälle. Hitsausaineentuotto oli etupään hitsauksessa 5,6 kg/h ja takapään hitsauksessa 3,5 kg/h. Etupään hitsausasento oli alapienahitsaus (PB) ja takapään hitsausasento oli jalkohitsaus (PA).

Koekappaleen NS50 etu- ja takapään hitsausten sylinteriputken mitatut parametrit on esitetty taulukoissa 8 ja 9.

Huom: Etupää hitsattiin sylinteriputkeen metallitäytelangalla ja yhdellä palolla sekä vaaputuksella.

Taulukko 8. Koekappaleen NS50 etupään hitsausparametrit

Palko N:o	Lanka mm	Virta A	Jännite V	Hits.nopeus Cm/min	Langansyöttö m/min	Lämmöntuonti KJ/Cm
1	1,2	299 - 310	28,5	30	10,5	13,6 - 14,1
2						
3						
4						

Huom: Takapää hitsattiin sylinteriputken umpilangalla ja yhdellä palolla ilman vaaputusta.

Taulukko 9. Koekappaleen NS50 takapään hitsausparametrit

Palko N:o	Lanka mm	Virta A	Jännite V	Hits.nopeus Cm/min	Langansyöttö m/min	Lämmöntuonti KJ/Cm
1	1,0	170 - 174	21,1	18	6,1	9,6 - 9,8
2						
3						
4						

5.1.2 Männänvarren ja silmukan hitsaus

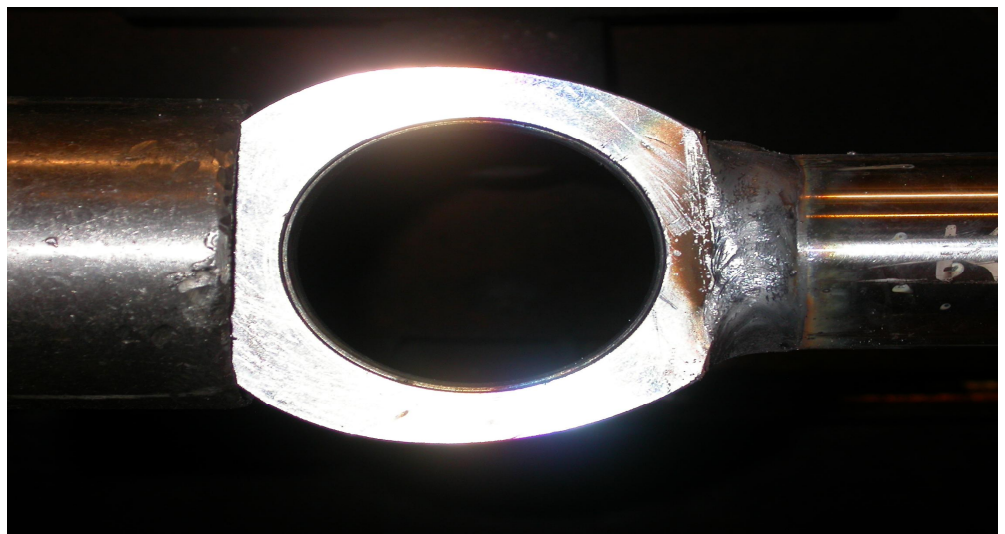
Koekappaleen NS50 männänvarsi (ulkohalkaisija 30 mm) hitsattiin silmukkaan (aineenpaksuus 28 mm) jalkoasennossa hitsaajan/operaattorin kanssa käsihitsauksella Nastolan tehtaassa. Männänvarsi hitsattiin silmukkaan MAG-umpilangalla halkaisijaltaan 0,8 mm. Männänvarret ja silmukat ennen hitsausta on esitetty kuvissa 29 ja 30. Myös niiden hitsausliitos on esitetty kuvassa 31.



Kuva 29. Männänvarret NS50, NS80



Kuva 30. Silmukat NS50, NS80



Kuva 31. Männänvarren ja silmukan hitsausliitos

Hitsaussaumaa seurattiin hitsauksen aikana ja hitsausarvot sekä hitsausparametrit dokumentoitiin (taulukko 10).

Männänvarren ja silmukan perusaine oli mustateräs tai niukkaseosteinen Fe 52 / S355K2, jossa männänvarren seinämäpaksuus oli 30 mm ja silmukan 28 mm.

Suojakaasu oli 75 % Ar + 25 % CO₂ ja sen virtanopeus 16L/min. Vapaalangon pituus oli 15 mm, virtalaji DC+ ja hitsin a-mitta 9 mm ja hitsausasento oli jalkohitsaus (PA). Hitsausaineentuotto oli n. 2,6 kg/h.

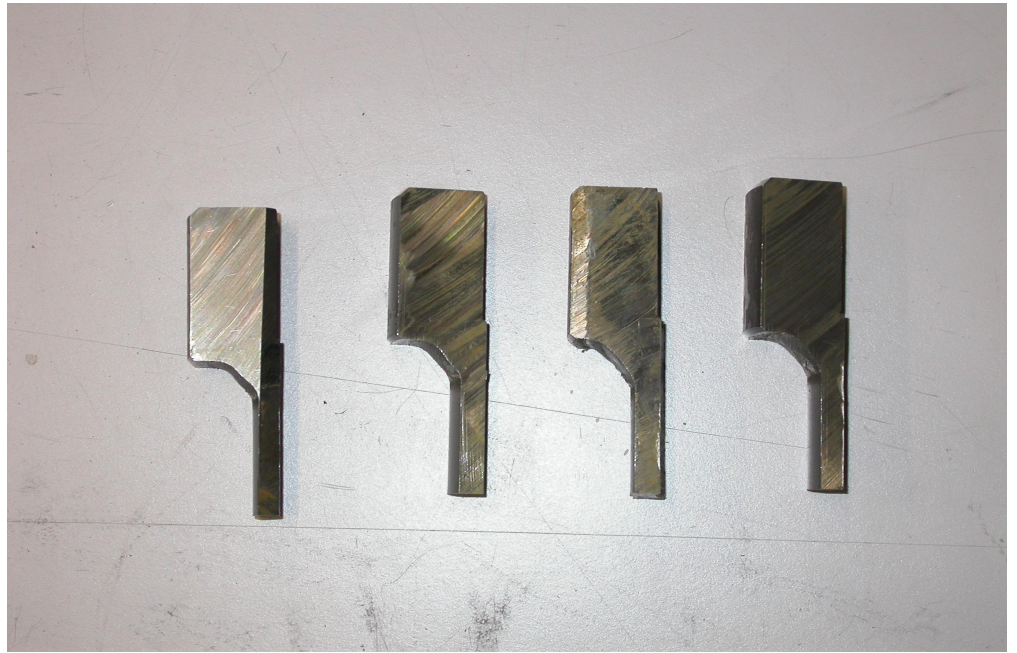
Männänvarsi hitsattiin silmukkaan kolmella palolla. Pohjapalo eli ensimmäinen palko hitsattiin ilman sivuliikettä, toisen ja kolmas palko hitsattiin sivuliikkeellä.

Taulukko 10. Männänvarren ja silmukan hitsauksessa käytetyt hitsausparametrit

Palko N:o	Lanka mm	Virta A	Jännite V	Hits.nopeus Cm/min	Langansyöttö m/min	Lämmöntuonti KJ/Cm
1	0,8	135 - 139	23	21	11	7,1 – 7,3
2	0,8	135 - 139	23	21	11	7,1 – 7,3
3	0,8	135 - 139	23	21	11	7,1 – 7,3
4						

5.1.3 Koesauvojen irrotus ja kiillotus

Hitsatut koekappaleet käsiteltiin Helsingin ammattikorkeakoulun materiaali-tekniikan laboratorioissa. Aluksi koekappaleet leikattiin sähkökoneen timanttilaikalla (kuva 32) kahdeksi palaksi, tällä haluttiin vain saada etupään ja takapäähän hitsausliitokset erottumaan toisistaan. Seuraavaksi valmiiksi leikatuihin etu- ja takapäähän piirrettiin koesauvojen sijainti. Tämän jälkeen koesauvat leikattiin valmiiksi samalla sähkökoneella (4 kappaletta), että ne voitaisiin myöhemmin hioa ja kiillottaa. Samalla tavalla saatiin valmiiksi männänvarren ja silmukan hitsausliitoksesta irrotettu koesauva. Kuvassa 33 ja 34 on esitetty koesauvojen sijainti sekä leikatut koesauvat.



Kuva 34. Etupään leikatut koesauvat

Koesauvojen irrotuksen jälkeen koesauvat valettiin ProntoPress-20- kuuma-
valukoneella (kuva 35).



Kuva 35. ProntoPress-20-kone

Koenäytteet hiottiin ja kiillotettiin TegraPol-21 automaattisella kiillotuskoneella, jolla pystyy samanaikaisesti kiillottamaan 6 koenäytettä (kuva 36).



Kuva 36. Automaattinen kiillotuskone

Näytekappaleet (koesauvat), joiden toinen sivu hiottiin, etsattiin ja kiillotettiin kolmessa vaiheessa. Jokaisessa vaiheessa vaihdettiin sopiva kiillotuslaikka mahdollisimman naarmuttoman ja hienorakenteinen pinnan aikaansaamiseksi. Myös mahdolliset sulatunkeumarajat, muutosvyöhykkeet (HAZ), hitsausvirheet ja perusaineen rakenteet tulisivat näkyviin makrohietutkimuksen ja kovuuskokeen avulla. Mikrorakenteet syövytettiin kiillotetusta näytteestä 2 %:lla nitaliliuoksella.

Hiottu ja kiillotettu sylinterin NS50 etu- ja takapää on esitetty kuvissa 37 ja 38. Hiotun ja kiillotetun sylinterin männänvarteen hitsatut silmukat on esitetty kuvissa 39 ja 40.



Kuva 37. Sylinteriputken etupää



Kuva 38. Sylinteriputken takapää



Kuva 39. Männänvarsihitsaus näyte 1



Kuva 40. Männänvarsihitsaus näyte 2

5.2 Koekappale NS80

5.2.1 Sylinterin etu- ja takapään hitsaus

Koekappaleen NS80 etu- ja takapäät hitsattiin sylinteriputkeen (kuva 41) hit-
saajan/operaattorin kanssa automaattilla Nastolan tehtaassa. Etu- ja taka-
päät hitsattiin sylinteriputkeen MAG-metallitäytelangalla.

Hitsauksen aikana kaikki hitsausarvot sekä hitsausparametrit dokumentoitiin.
Pyörityslaitteen pyörimisnopeus täytyi mitata viisi kertaa, mittauksen tark-
kuuden varmistamiseksi. Mittaustuloksista laskettiin keskiarvo, jonka jälkeen
pyörimisnopeutta muutettiin hitsauskuljetusnopeudeksi.



Kuva 41. Koekappale NS80, joka on hitsattu Nastolan tehtaassa

Sylinteriputken etu- ja takapään perusaine oli mustateräs eli Fe 52 / S355K2 ja seinämäpaksuus 5 mm. Suojakaasu oli 75 % Ar + 25 % CO2 ja sen virtausnopeus 16L/min. Vapaalangan pituus oli 20 mm, virtalaji DC+ ja a-mitta 7 mm etu- ja takapäälle. Hitsausaineentuotto oli etupään hitsauksessa 6,1 kg/h ja takapään hitsauksessa 5,6 kg/h. Etupään hitsausasento oli alapienahitsaus (PB) ja takapään hitsausasento oli jalkohitsaus (PA).

Koekappaleen NS80 etupää hitsattiin sylinteriputkeen kolmella palolla. Pohjapalkoa hitsattiin ilman sivuliikettä ja täyttö- ja pintapalkoa hitsattiin sivuliikkeellä. Takapää hitsattiin yhdellä palolla ja suoraan, eli ilman sivuliikettä. Hitsausparametrit, jotka mitattiin etu- ja takapään hitsauksen aikana, on esitetty taulukoissa 11 ja 12.

Taulukko 11. Koekappaleen NS80 etupään hitsausparametrit

Palko N:o	Lanka mm	Virta A	Jännite V	Hits.nopeus Cm/min	Langansyöttö m/min	Lämmöntuonti KJ/Cm
1	1,2	315 - 322	30,1	44,2	12,3	10,3 – 10,5
2	1,2	320 - 333	30,1	32,9	12,3	14,0 – 14,6
3	1,2	320 - 333	30,1	32,9	12,3	14,0 – 14,6
4						

Taulukko 12. Koekappaleen NS80 takapään hitsausparametrit

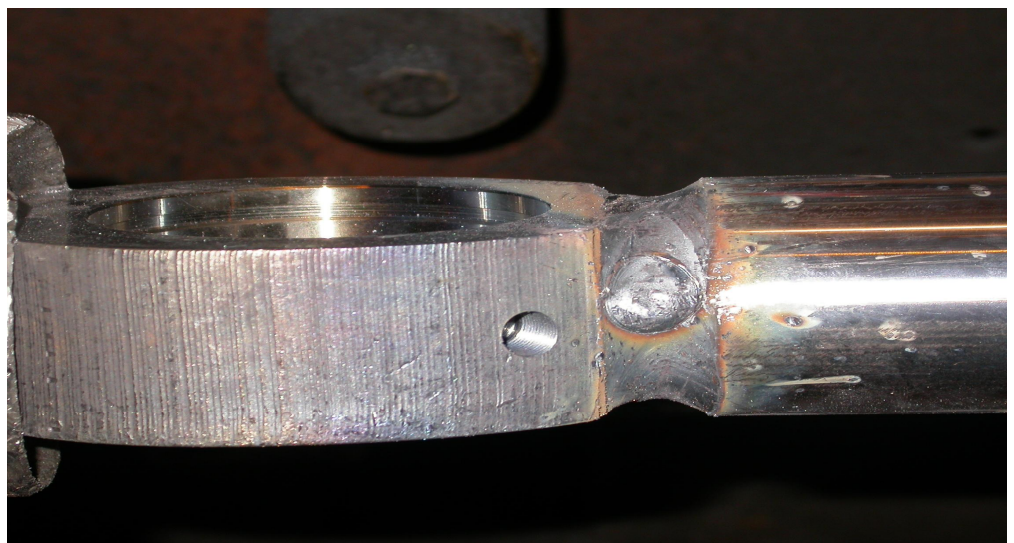
Palko N:o	Lanka mm	Virta A	Jännite V	Hits.nopeus Cm/min	Langansyöttö m/min	Lämmöntuonti KJ/Cm
1	1,2	299 - 300	30,1	57, 4	10,9	7,5 – 7,6
2						
3						
4						

5.2.2 Männänvarren ja silmukan hitsaus

Koekappaleen NS80 männänvarsi (ulkohalkaisija 50 mm) hitsattiin silmukkaan (aineenpaksuus 39 mm) jalkoasennossa hitsaajan/ operaattorin kanssa käsihitsauksena Nastolan tehtaassa. Männänvarsi hitsattiin silmukkaan MAG-umpilangalla halkaisijaltaan 0,8 mm. Männänvarsi ja silmukka ennen hitsausta on esitetty kuvassa 42 ja hitsauksen jälkeen kuvassa 43.



Kuva 42. Männänvarsi ja silmukka ennen hitsausta (NS80)



Kuva 43. Männänvarren hitsaus silmukkaan (NS80)

Hitsauksen aikana hitsausaumaa seurattiin ja hitsausarvot sekä hitsausparametrit dokumentoitiin (taulukko 13).

Männänvarren ja silmukan perusaine oli mustateräs eli Fe 52 / S355K2, jossa männänvarren seinämäpaksuus oli 50 mm ja silmukan 39 mm.

Suojakaasu oli 75 % Ar + 25 % CO₂ ja sen virtanopeus 16L/min. Vapaalangon pituus 15 - 23 mm, virtalaji DC+ ja a-mitta 18 mm ja hitsausasento oli jalkohitsaus (PA). Hitsausaineentuotto oli n. 3,0 kg/h.

Männänvarsi hitsattiin silmukkaan viidellä palolla. Pohjapalko eli ensimmäinen palko hitsattiin ilman sivuliikettä ja muut palot sivuliikkeellä.

Taulukko 13. Männänvarren ja silmukan hitsauksessa käytetyt hitsausparametrit

Palko N:o	Lanka mm	Virta A	Jännite V	Hits.nopeus Cm/min	Langansyöttö m/min	Lämmötuonti KJ/Cm
1	0,8	160 – 170	25,2	30	14	6,5 – 6,9
2	0,8	160 – 170	25,2	30	14	6,5 – 6,9
3	0,8	160 – 170	25,2	30	14	6,5 – 6,9
4	0,8	170 – 180	25,2	30	14	6,9 – 7,3
5	0,8	170 – 180	25,2	30	14	6,9 – 7,3

5.2.3 Koesauvojen irrotus ja kiillotus

Hitsatut koekappaleet leikattiin aluksi sähkökoneen timanttilaikalla kahdeksi palaksi, tällä haluttiin vain saada etupään ja takapään hitsausliitokset erottumaan toisistaan. Seuraavaksi valmiiksi leikattuihin etu- ja takapäähän piirrettiin koesauvojen sijainti. Tämän jälkeen koesauvat leikattiin valmiiksi samalla sähkökoneella (4 kappaletta), hiomista ja kiillottamista varten. Samalla tavalla saatiin valmiiksi männänvarren ja silmukan hitsausliitoksesta irrotettu koesauva.

Koesauvojen irrotuksen jälkeen, koesauvat valettiin ProntoPress-20- kuumavalukoneella (kuva 35).

Lopuksi näytekappaleet (koesauvat) hiottiin ja kiillotettiin TegraPol-21 automaattisella kiillotuskoneella (kuva 36). Hiottu ja kiillotettu sylinterin (NS80) etu- ja takapää on esitetty kuvissa 44 ja 45 sekä hiotun ja kiillotetun sylinterin männänvarteen hitsatut silmukat kuvissa 46 ja 47.



Kuva 44. Sylinteriputken etupää



Kuva 45. Sylinteriputken takapää



Kuva 46. Männänvarsihitsaus näyte 1



Kuva 47. Männänvarsihitsaus näyte 2

6 NÄYTEKAPPALEIDEN TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET

Koekappaleiden hitsauksen jälkeen hitsaussaumot tarkistettiin osittain menetelmästandardin SFS-EN 288-3 mukaisesti. Ensin hitsaussaumalle suoritettiin silmämääräinen tarkistus ja magneettijauhetarkastus. Tämän jälkeen hiotuille ja kiillotetuille näytekappaleille tehtiin makrohietutkimukset sekä kovuusmittaukset.

6.1 Silmämääräinen tarkastus

Hitsaussaumot olivat silmämääräisesti tarkastettuna laadukkaita eikä hitsin pintapaloissa havaittu hitsausvirheitä. Hitsien pintakuvut täyttivät hyvin hitsausluokan B (vaativa) vaatimukset. Kuvut liittyivät jouhevasti perusaineeseen, eikä reunahaavaa ollut havaittavissa, esimerkiksi kuvassa 48 on esitetty koekappaleen hitsin pintapalkoa.



Kuva 48. Koekappaleen (NS80) pintapalko

6.2 Magneettijauhetarkastus

Hitsausseamien silmämääräisessä tarkastuksessa ei havaittu mitään muovivirheitä. Silmämääräisen tarkastuksen jälkeen tehtiin vielä magneettijauhetarkastus, koska sillä voidaan havaita hitsipinnan läheisyydessä sijaitsevat virheet, kuten halkeamat, huokokset ja kuonansulkeutumisesta. Hitsausseamat olivat magneettijauhetarkastuksessaakin laadukkaita, eikä pintapaloissa havaittu halkeamia tai huokosia.

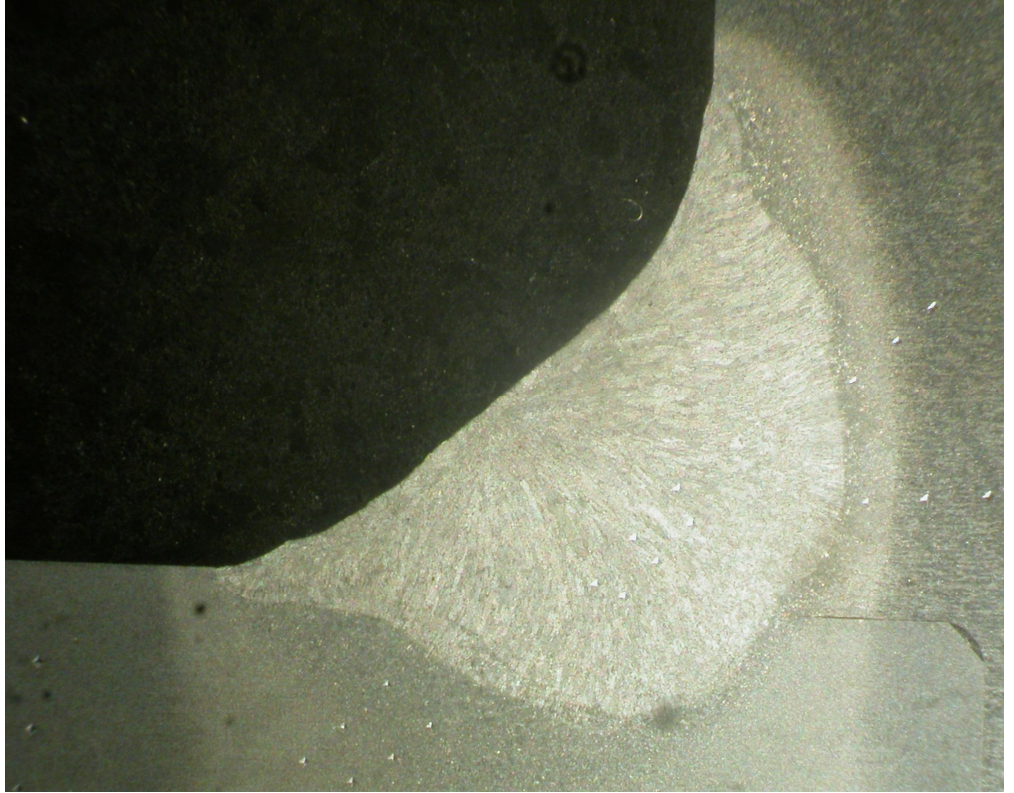
Magneettijauhetarkastus on ainoa NDT-menetelmä, jolla pystyy havaitsemaan kapean, tiukasti puristuneen halkeaman. Hitsausvirheiden leveyttä ei voida määrittää tarkasti, mutta niiden pituus pystytään määrittämään hyvin.

6.3 Makrohietutkimus

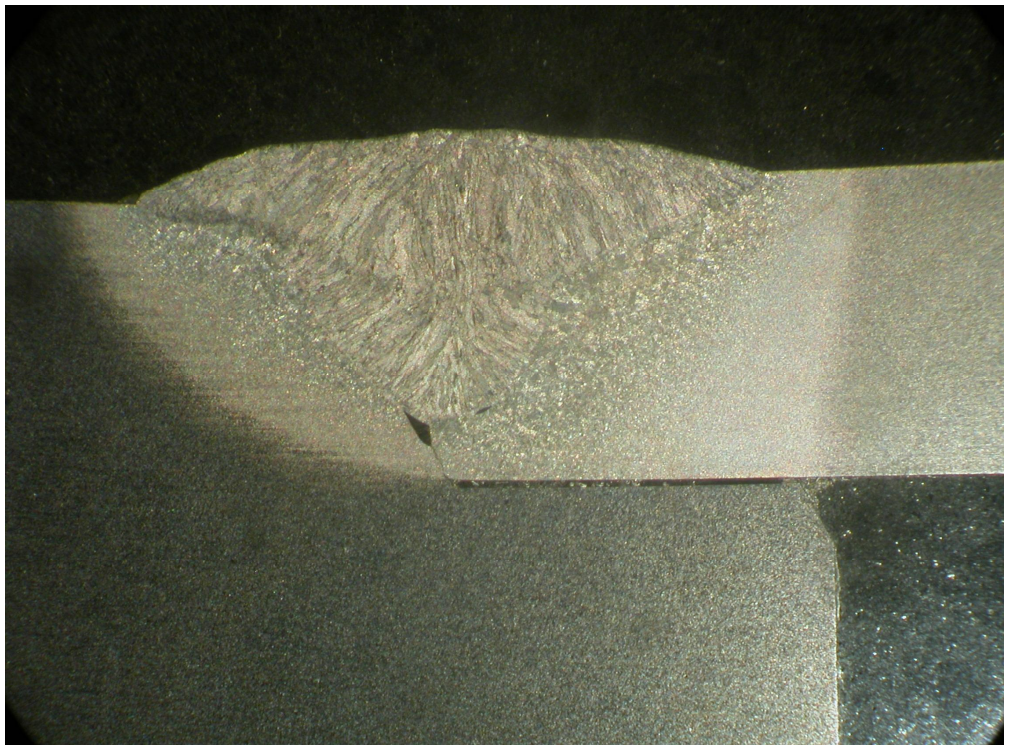
Makrohietutkimuksella tutkittiin hitsausliitosten sulatunkeumarajat, palkojen rakenteet, muutosvyöhykkeet ja hitsausvirheet. Hitsausseamien (näytekapaleet) poikkileikkauksesta valmistettua makrohietta tarkasteltiin mikroskooppilla.

Koekappaleen NS50 etupään makrohietarkastuksessa hitsin sulatunkeumaraja, palkorakenne ja muutosvyöhyke mahtuvat hyvin hitsausluokkaan B (vaativa). Hitsissäkään ei havaittu mitään hitsausvirheitä (kuva 49).

Koekappaleen NS50 takapään makrohietarkastuksessa havaittiin hitsausvirhe, ns. vajaa hitsautumissyvyys tai vajaa tunkeuma. Se syntyy silloin kun hitsi ei ole tunkeutunut riittävän syväälle railossa. Vajaa hitsautumissyvyys syntyy hitsin juureen, jolloin toinen kylki tai molemmat railon kyljet eivät ole sulaneet hitsin juuressa. Tätä hitsausvirhettä ei sallita hitsausluokissa D, C ja B. Kuvassa 50 on esitetty vajaa hitsautumissyvyys toisen railon kyljessä koekappaleen NS50 takapään hitsausliitoksessa.

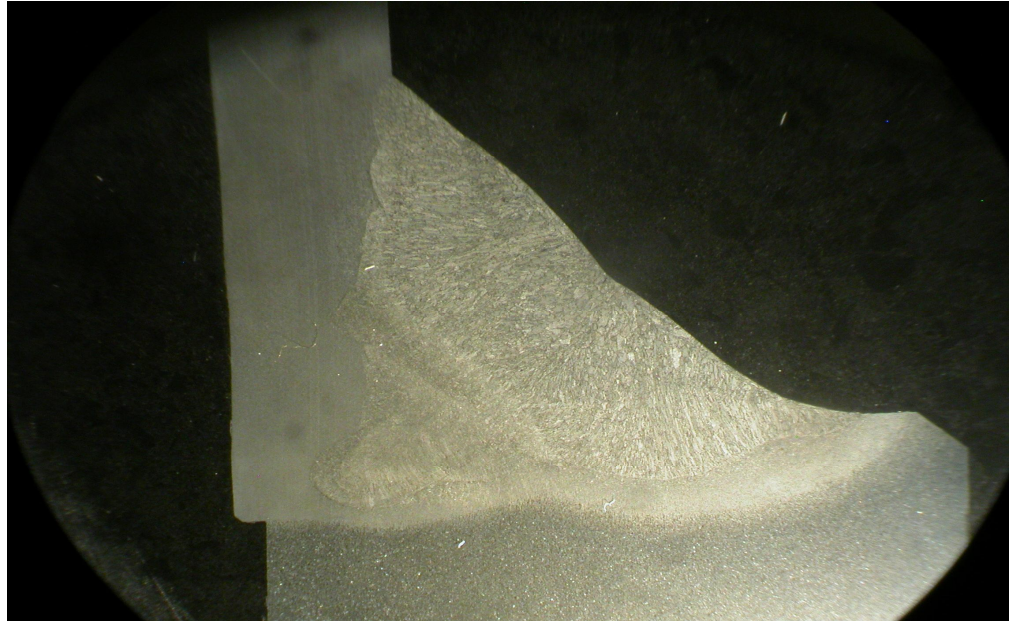


Kuva 49. Koekappaleen NS50 etupään hitsausliitoksesta otettu makrohie

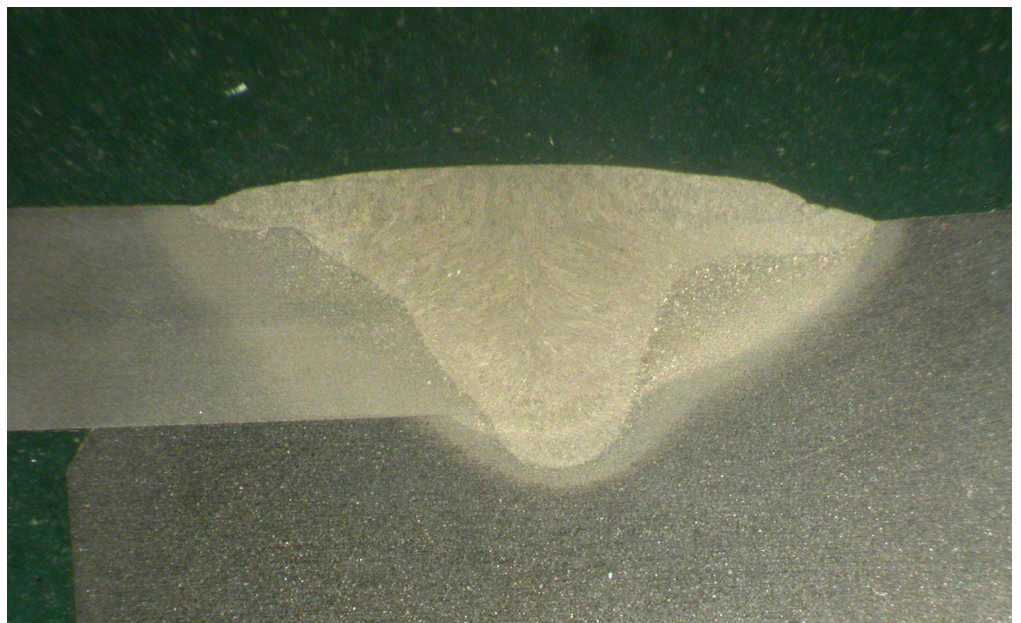


Kuva 50. Koekappaleen NS50 takapään hitsausliitoksesta otettu makrohie, jossa on näkyvissä vajaa tunkeuma

Koekappaleen NS80 etu- ja takapään makrohietarkastuksessa hitsausliitosten sulatunkeumat, palkorakenteet ja muutosvyöhykkeet täyttävät hitsausluokan B (vaativa) vaatimukset. Myöskään hitsissä ei havaittu mitään hitsausvirheitä ja tunkeumat olivat erittäin hyvät (kuvat 51 ja 52).



Kuva 51. Makrohie koekappaleen NS80 etupään hitsausliitoksesta



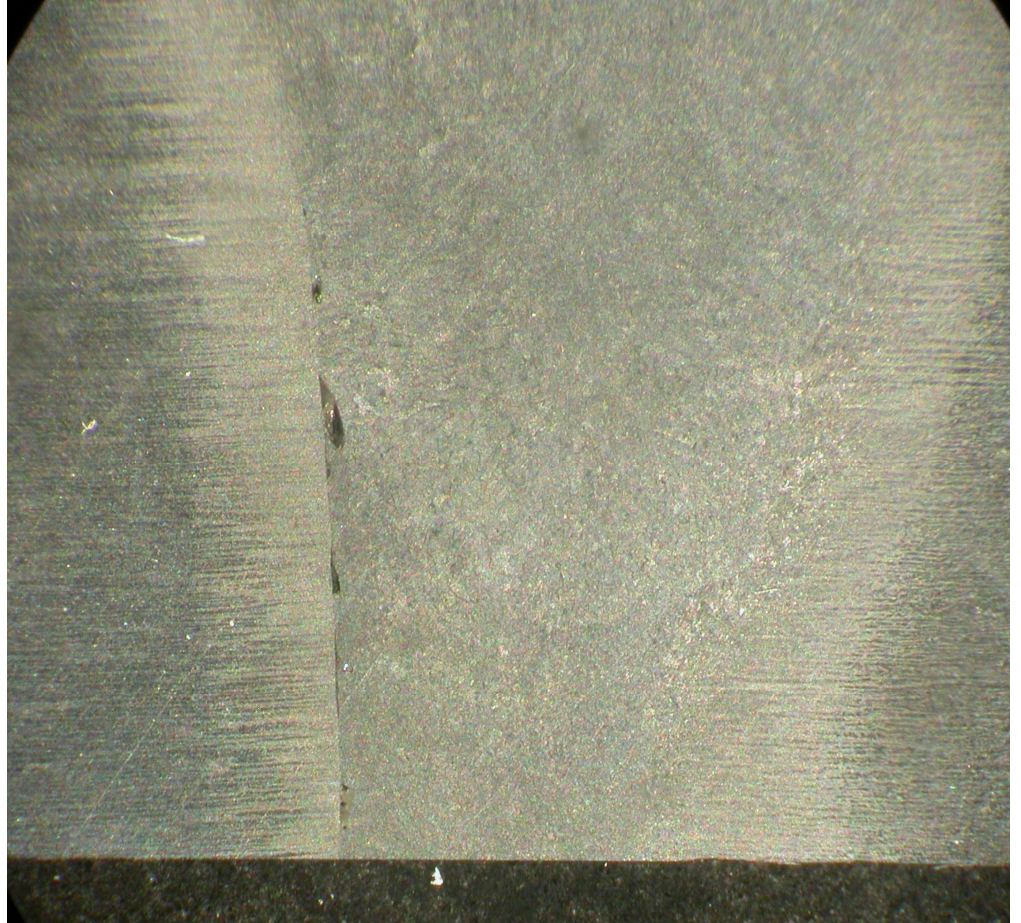
Kuva 52. Makrohie koekappaleen NS80 takapään hitsausliitoksesta

Koekappaleiden NS50 ja NS80 männänvarsien ja silmukoiden hitsausliitosten makrohietutkimuksessa havaittiin vaarallinen hitsausvirhe, eli liitosvirhe. Tämä virhe voi esiintyä railokyljessä tai palkojen välissä monipalkohitsissä. Männänvarsien ja silmukoiden hitsausliitoksissa liitosvirheet esiintyivät railojen kyljissä (kuvat 53 ja 54). Liitosvirhe on hitsausliitoksen lujuuden kannalta vaarallinen, joten se ei täytä hitsausluokan B (vaativa) eikä hitsausluokan C (hyvä) vaatimuksia.



Kuva 53. Koekappaleen NS50 männänvarren ja silmukan hitsausliitos, jossa liitosvirhe on näkyvässä railokyljessä

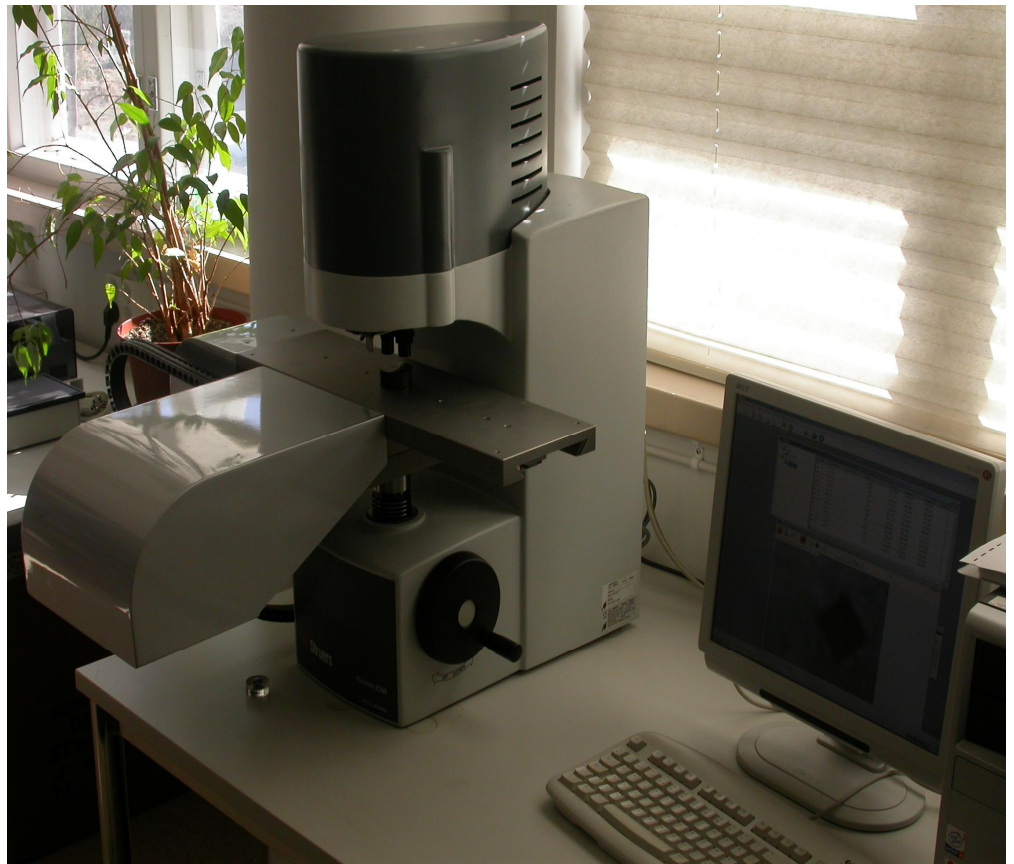
Kuvassa 54 on esitetty koekappaleen NS80 männänvarren silmukan hitsausliitos, jossa liitosvirhe on vielä pahempi kuin koekappaleen NS50. Tämä virhe on havaittavissa melkein koko hitsausliitoksen kyljessä silmukan puolella, jossa hitsin ja silmukan yhteensulaminen ei onnistunut hyvin.



Kuva 54. Koekappaleen NS80 männänvarren ja silmukan hitsausliitoksen liitosvirhe

6.4 Kovuusmittaus

Kovuuskokeet tehtiin standardin SFS-EN 288-3 mukaisesti käyttäen Vickerskoetta HV10. Koesauvoista tehdystä makrohieestä mitattiin kovuudet Duramin-A 300 D-kovuusmittauslaitteella, joka on esitetty kuvassa 55. Mittauspisteiden rivit asetettiin 2 mm:n etäisyydelle hitsin pinnasta. Kovuusmitaukset tehtiin hitsistä, muutosvyöhykkeeltä ja perusaineesta, josta kustakin alueesta tuli kolmen mittauspisteen rivi.



Kuva 55. Duramin-A 300 D-kovuusmittauslaite

6.5 Havaitut hitsausvirheet ja niiden estäminen

Näytekappaleiden makrohietutkimuksessa huomattiin hitsausvirheitä. Kun hitsausvirheet tutkittiin mikroskoopilla, todettiin että havaitut hitsausvirheet olivat vajaa tunkeuma ja liitosvirhe.

Vajaan tunkeuman syntymisen syyt tässä tapauksessa (kuva 49) olivat joko liian pieni hitsausvirta ja/tai hitsausenergia, tämä voidaan korjata esimerkiksi vaihtamalla umpilankahitsaus metallitäytelankahitsaukseen, tai liian paksu hitsauslanka, tämä virhe korjataan käyttämällä ohuempaa hitsauslankaa. Myös pieni ilmarako ja liian pieni railokulma vaikuttavat vajaan tunkeuman syntymiseen.

Männänvarsien ja silmukoiden hitsausliitokseen syntyvään liitosvirheeseen vaikuttavat syyt ovat seuraavat:

- liian pieni hitsausnopeus ja liian suuri hitsausvirta, jolloin hitsausnopeuden ja hitsausvirran suhteet eivät ole kohdallaan
- liian syvä ja kapea railo, jonka seurauksena pohjapalon luoksepäästävyys vaikeutuu ja vapaalanka pitenee.
- liian pitkä vapaalanka, jolloin valokaari pitenee ja hitsauslangan kuljetuksen hallitseminen on vaikeaa.
- liian ohut hitsauslanka (käytetty hitsauslanka 0.8 mm)
- liian pieni hitsausenergia, johon voi olla syynä liian pieni hitsausvirta ja/tai liian suuri hitsausnopeus
- epäpuhtaat railot tai puhdistamatta jätetyt edelliset palot
- automaattisen pyörityslaitteen puute

Liitosvirhettä voidaan estää seuraavilla keinoilla:

- käytetään oikeaa suoritustapaa: korjataan hitsausarvot virta, nopeus ja kuljetus
- Käytetään riittävän leveää railoa tai kavennetaan hitsauspistoolin kosketussuutinta, että päästään niin lähelle pohjapalloa kuin mahdollista (vapalanka lyhenee)
- käytetään ainakin 1,0 mm:n hitsauslankaa
- käytetään riittävää hitsausenergiaa ja lämmöntuontia, suuntaamalla siten, että se sulattaa hitsauskohteen ja huomioimalla, ettei hitsisula pääse vyörymään edelle sekä välttämällä ylhäältä alaspäin hitsausta
- pitempi pysähtymisaika vaaputuksella, kun hitsataan railokylkiä
- hitsataan männänvarsi silmukkaan automaattissa
- puhdistetaan tarkasti railon pinnat ja edelliset palot

6.6 Tulosten analyysi

Hitsaussaumamat olivat silmämääräisessä tarkastuksessa ja magneettijauhetarkastuksessa laadukkaita, eikä hitsin pintapaloissa ollut hitsausvirheitä.

Makrohietutkimuksessa havaittujen hitsausvirheiden, vajaan tunkeuman ja liitosvirheen vuoksi tulos ei täyttänyt hitsausluokkien C (hyvä) ja B (vaativa) vaatimuksia, joten alustavaa hitsausohjetta ei voida hyväksyä koekappaleen NS50 takapään hitsausliitokselle, eikä koekappaleiden NS50 ja NS80 männänvarsien ja silmukoiden hitsausliitokselle. Tällöin on hitsattava uudet kappaleet tai tehtävä muutoksia alustavaan hitsausohjeeseen. Muiden koekappaleiden alustava hitsausohje voidaan hyväksyä.

Kovuusmittauksessa hitsausliitoksesta saatujen arvojen perusteella ei perusaineessa, hitsissä eikä muutosvyöhykkeellä ole suurtakaan kovuusarvojen vaihtelua. Liitteissä 6 ja 7 on koekappaleiden NS50 ja NS80 etu- ja takapään sekä niiden männänvarsien ja silmukoiden hitsausliitosten kovuusko-

keiden tuloksia. Kovuuskokeista saatujen tulosten mukaan kovuusarvot täyttävät Vickerskokeen HV10 vaatimukset, jotka on esitetty taulukossa 4.

7 YHTEENVETO

Hitsausohjeiden (WPS) laatiminen ja hyväksyminen edellyttävät tarkat tiedot, jotka löytyvät standardisarjasta SFS-EN 288-1, 288-2 ja 288-3 (nykyään korvattu uusilla standardeilla EN 15607, EN 15609 ja 15614). Hitsausohje on hyväksyttävä ennen varsinaista tuotantoa ja sitä ennen on laadittava sekä hyväksyttävä alustava hitsausohje (pWPS).

Alustava hitsausohje on kokeilumuotoinen hitsausmenetelmä, joka sisältää hitsausmenetelmän kaikki asiankuuluvat muuttujat, mm. hitsausparametrit, hitsausenergian, lämmöntuontin, hitsausliitoksen muodon jne. Alustava hitsausohje laaditaan menetelmäkokeita varten.

Hitsausohjeet voidaan hyväksyä viidellä tunnetulla tavalla:

- aikaisemmalla hitsauskokemuksella
- hyväksytysti testatuilla hitsauslisäaineilla
- standardimenetelmällä
- esituotannollisella kokeella
- menetelmäkokeella

Polarteknik PMC Oy Ab:n Nastolan tehtaan vaatimuksesta laadittiin alustava hitsausohje (pWPS), jonka perusteella hitsausohje (WPS) voidaan myöhemmin hyväksyä.

Nastolan tehtaassa suurin osa hydraulisylintereitä hitsataan MAG-metallitäytelangalla automaattissa. MAG-täytelankahitsauksen mekanisointi ja automatisointi on helppoa, nopeaa ja tehokasta. MAG-täytelanganhitsauksessa kaarityypit eli lyhytkaari, kuumakaari, sekakaari ja pulssikaari ovat tärkeitä. Hitsaajan/operaattorin on tunnettava kaikki kaarityypit ja niiden käyttöalueet.

Koekappaleiden NS50 ja NS80 sylinteriputket, etu- ja takapäät sekä männänvarret ja silmukat valmistettiin ja hitsattiin Nastolan tehtaassa. Koekappaleiden hitsausliitoksesta irrotettiin koesauvat ja koesauvoista tehtiin näyte-kappaleet makrohietutkimukselle sekä kovuuskokeelle.

Silmämääräisessä tarkastuksessa ja magneettijauhetarkastuksessa koekappaleiden hitsausaumat olivat laadukkaita, eikä saumojen pintapaloissa havaittu mitään hitsausvirheitä. Näiden tarkastusten jälkeen valmistetuille näytekappaleille suoritettiin makrohiet tutkimus ja kovuuskokeet.

Makrohiet tutkimuksessa tutkittiin näytekappaleiden hitsausliitosten sulatunkeumarajat, palkojen rakenteet, muutosvyöhykkeet ja hitsausvirheet. Makrohiet tutkimuksessa havaittiin vaarallisia hitsausvirheitä, kuten vajaa tunkeuma ja liitosvirhe. Vajaa tunkeuma syntyi koekappaleen NS50 sylinteriputken ja sen takapään hitsausliitoksessa. Liitosvirhe oli koekappaleiden NS50 ja NS80 männänvarsien ja silmukoiden hitsausliitoksessa. Näitä virheitä ei sallita hitsausluokissa C (hyvä) ja B (vaativa). Alustavaa hitsausohjetta näille mainituille kappaleille ei voida hyväksyä. Alustavaa hitsausohjetta on siis muutettava ja hitsattava uudet koekappaleet. Koekappaleiden NS50 etupään ja koekappaleen NS80 sekä etupään että takapään alustava hitsausohje voidaan hyväksyä.

Kovuusmittaukset tehtiin näytekappaleiden perusaineesta, hitsistä ja muutosvyöhykkeeltä standardin SFS-EN 288-3 mukaisesti. Kovuuskokeiden tulokset mahtuivat hyvin Vickerskokeen HV10 vaatimukseen.

VIITELUETTELO

- [1] Suomen standardisoimisliito SFS. Hitsaus. osa 1: Hitsauksen laatuhallinta. Helmikuu 1995.
- [2] Lukkari Juha. Hitsaustekniikka perusteet ja kaarihitsaus. Opetushallitus. Oy Edita AB. Helsinki. 1998.
- [3] Lepola Pertti – Makkonen Matti. Hitsaus ja teräsrakenteet. WSOY. Konetekniikka. Porvoo. 1998.
- [4] Häkkilä Juha. Hitsausohjeidenlaadinta ja hyväksymisprosessi. HIT Savonia koulutuspäivä. Kuopio. 13.12.2005.
- [5] Kuusisot Tuomo. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen. Merkki osaamisesta AGA. Oy AGA Ab. 2000.
- [6] Setälä Jukka. Retco Oy Welding Products. EWT, Ing EurEta. Helmikuu 2002.
- [7] Hitsaustekniikka. Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y. 1/2004.
- [8] Elga Hitsauslisäaine Käsikirja. Quality Know-How in Welding. Elga-Hitsaus OY. Maaliskuu 1998.
- [9] Lukkari Juha. Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Hitsausuutisissa julkaistut artikkelit, osat 1-5. Tammikuu 2001.

Valmistajan hitsausohje (WPS)

Paikka: Kokeen valvoja/testauksen suorittaja
 Hitsausohje:
 Valmistaja:
 Viite
 nro: Railon valmistusmenetelmä ja puhdistus:
 WPAR nro: Perusaineeneittely:
 Hitsaajan nimi: Aineenpaksuus (mm):
 Hitsausprosessi: ulkohalkaisija (mm):
 Liitosmuoto: Hitsausasento:

Railon yksityiskohdat (kuva)²

Liitoksen kuva	Hitsausjärjestys (palkojen kuva)

Palko	Hitsausprosessi	Lisäaineen mitat	Hitsausvirta A	Kaarijännite V	Virtalaji/napaisuus	Langan syöttönopeus	kuljetusnopeus ²	Lämmöntuonti

Lisäaineen luokittelumerkintä ja kaupp nimi:

Lisäaineen luokittelumerkintä ja

kaupp nimi:

käsittely:

Suojakaasu/fauhe:

Kaasunvirtausnopeus (suojakaasu)

Volframielektrodin tyyppi/koko:

juuren avauksen/juutuen yksityiskohdat

Korotettu työlämpötila:

Palkojen välinen työlämpötila:

Hitsauksen jälkeinen lämpökäsittely ja/tai vanheneminen:

Aika, lämpötila, menetelmä:

Kuumennus- ja jäätyminenopeudet²:

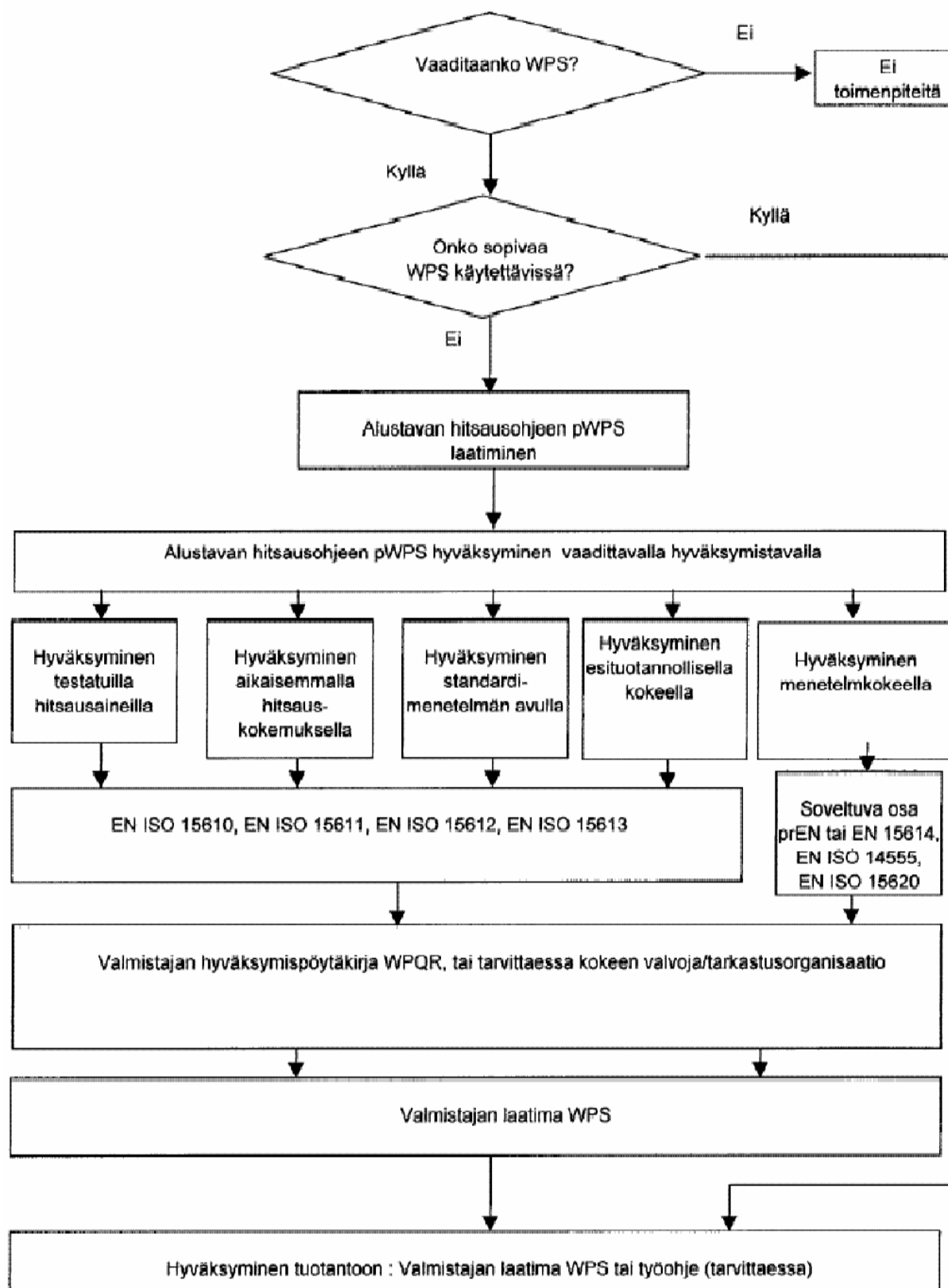
Valmistajan nimi

Kokeen valvoja tai testauksen suorittajan nimi

Päivämäärä ja allekirjoitus

Päivämäärä ja allekirjoitus

Hitsausohjeen hyväksymisvaiheet



MAG-metallitytelangan tuotemerkki



Elgacore MXA 100

Luokitus:

pr EN 758 T 42 2 MM 3 H5
SFS 3328 51-3
AWS A5.20-79 E 70T-1

Kuvaus:

MXA 100 suurituottoinen jalkohitsien ja alapienojen Ar/CO₂-kaasulla hitsattava metallitytelanka. Kaari palaa vakaasti vähäisin roiskein ja antaa syvän tunkeuman. Kuonan muodostuminen on erittäin vähäistä, kuin umpilangoilla, eikä palkojen valista kuonausta tarvita. Koska kaaren syytyvyyskin on hyvä, MXA 100 soveltuu erino-

maisesti robotisoituun ja mekanisoituun hitsaukseen. Hitsiaineen mekaaniset ominaisuudet ovat hyvät ja vetypitoisuus erittäin alhainen. MXA 100 soveltuu tavallisilla rakenneteraksilla tapahtuvaan yleiseen terasrakentamiseen.

Hitsausasennot:



Hitsausvirta:

DC +

Hyotyluku:

96%

Suojakaasu:

80% Ar + 20% CO₂, 22-25 l/min

Vapaa langanpituus:

15-25 mm

Hitsiaineen ominaisuudet:

Koostumus p-%

C	Si	Mn
0.03	0.7	1.6

Mekaaniset ominaisuudet

Myötölujuus, R_e: 470 N/mm²
Murtolujuus, R_m: 560 N/mm²
Murtovenymä A₅: 31%
Iskusitkeys, CV: -20°C • 75 J

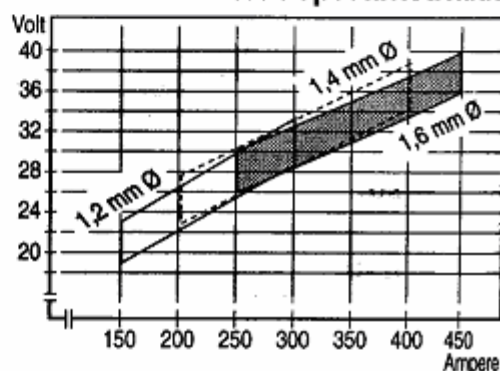
Vetypitoisuus/100g hitsiainetta:

≤ 5 ml

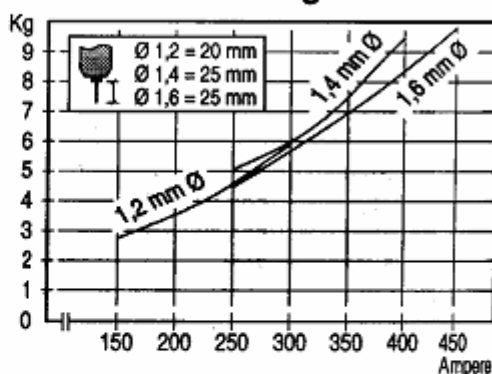
Hyvaksynnat:

ABS 3SA, 3YSA
BV SA 3YM
CL
DNV III YMS
Force E 51 3M(H)
GL 3YS
LR 3S, 3YS
MRS 3YSHH
TTK 51-3
TUV Eignungsgepruft

Suosittelava hitsausparametrialue:



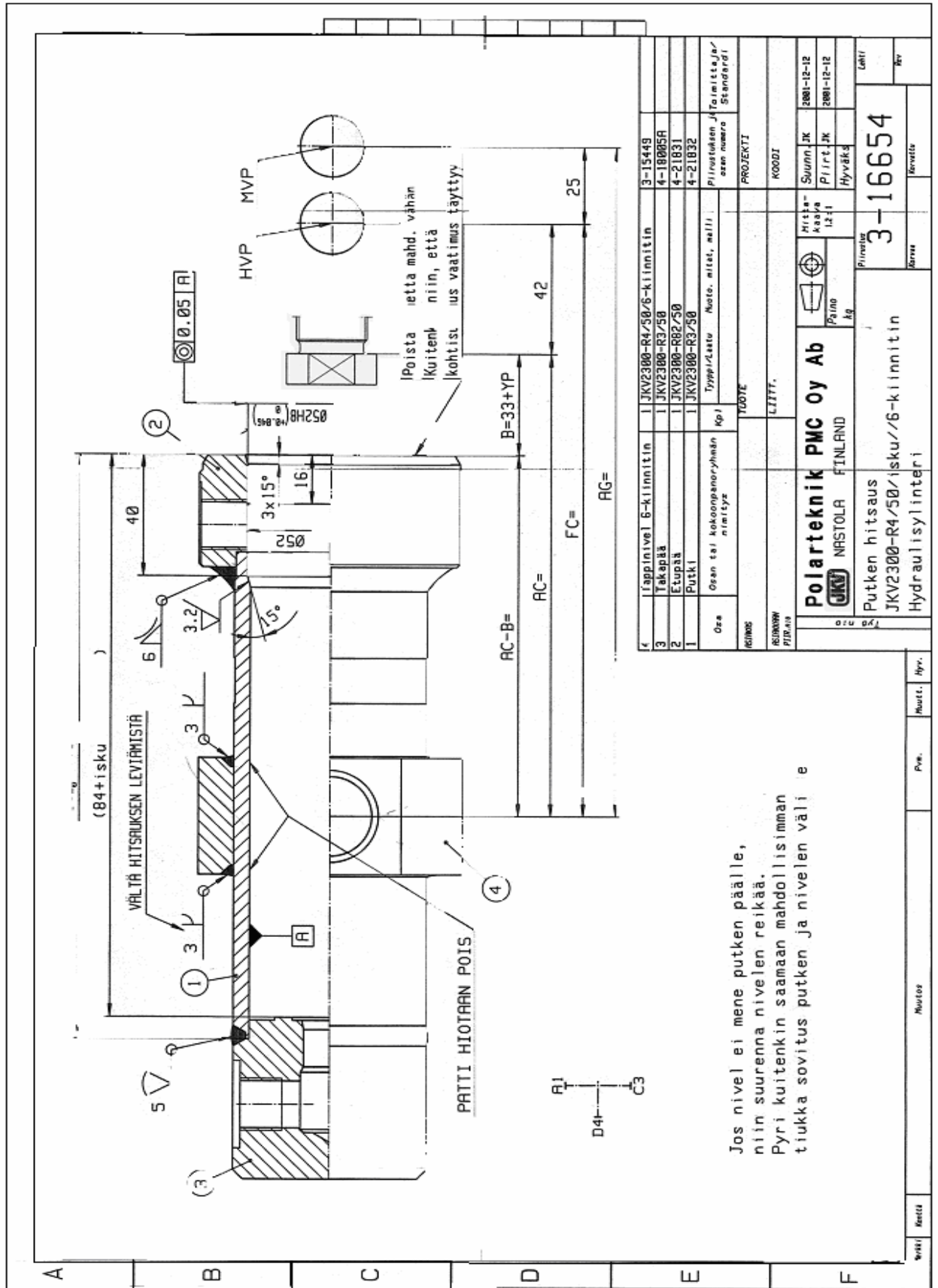
Hitsiaineentuotto kg/h:



Pakkaustiedot:

Halk. mm	Tuote nro.	Kelapaino kg
1,2	9562-2012	20
1,4	9562-2014	20
1,6	9562-2016	20
1,2	9562-2312	200 (AutoPac)
1,4	9562-2314	200 (AutoPac)
1,6	9562-2316	200 (AutoPac)

Hydraulisylinterin etu- ja takapään hitsaus sylinteriputkeen



Jos nivel ei mene putken päälle, niin suurena nivelen reikää. Pyri kuitenkin saamaan mahdollisimman tiukka sovitus putken ja nivelen väli e

4	lappinevel 6-kiinnitin	JKV2300-R4/50/6-kiinnitin	3-15449
3	Takapää	JKV2300-R3/50	4-18005A
2	Etupää	JKV2300-R82/50	4-21831
1	Putki	JKV2300-R3/50	4-21832
Osa	Osan tai kokoonpanoryhmän nimi	Typpe/Laatu	Muoto, mitat, malli
Osasto	TUOTE		
RYHMÄ	LIIITE		
PIIRIT	Koodi		
02	Hittauskaava 2001-12-12		
03	Paino 2001-12-12		
04	Hyväksä		
05	Painotus 3-16654		
06	Kerros		
07	Kerros		
08	Kerros		

Polarteknik PMC Oy Ab
 JKV NASTOLA FINLAND
 Putken hitsaus
 JKV2300-R4/50/isku//6-kiinnitin
 Hydraulisylinteri

Koekappaleen NS50 kovuusmittauksen tulokset

Koekappaleen NS50 etupään kovuudet

Pointnr.	Hardness	High/Low
1	395	
2	406	
3	406	
4	227	
5	215	
6	230	
7	266	
8	280	
9	248	
10	223	
11	236	
12	231	
13	208	
14	218	
15	234	

Koekappaleen NS50 takapään kovuudet

Pointnr.	Hardness	High/Low
1	207	
2	214	
3	189	
4	236	
5	274	
6	277	
7	223	
8	231	
9	209	
10	209	
11	205	
12	204	
13	206	
14	202	
15	214	

Koekappaleen NS50 männänvarren ja silmukan kovuudet

Pointnr.	Hardness	High/Low
1	248	
2	239	
3	244	
4	212	
5	212	
6	217	
7	218	
8	204	
9	202	
10	195	
11	189	
12	178	
13	160	
14	149	
15	177	

Koekappaleen NS80 kovuusmittauksen tulokset

Koekappaleen NS80 etupään kovuudet

Pointnr.	Hardness	High/Low
1	182	
2	199	
3	199	
4	196	
5	182	
6	171	
7	180	
8	191	
9	196	
10	210	
11	208	
12	210	
13	210	
14	212	
15	213	

Koekappaleen NS80 takapään kovuudet

Pointnr.	Hardness	High/Low
1	166	
2	165	
3	166	
4	164	
5	206	
6	220	
7	222	
8	225	
9	223	
10	192	
11	180	
12	212	
13	195	
14	197	
15	201	

Koekappaleen NS50 männänvarren ja silmukan kovuudet

Pointnr.	Hardness	High/Low
1	169	
2	160	
3	160	
4	178	
5	178	
6	175	
7	158	
8	162	
9	160	
10	179	
11	202	
12	201	
13	198	
14	194	
15	204	