

VALOKAARIUUNIN SULATUSELEKTRODIKUOREN JAT- KOSHITSAUSLIITOKSEN VAATIMUKSET

Outokumpu Chrome Oy

Kunnari Jani

Opinnäytetyö

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Tekijä	Jani Kunnari	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	IWE, IWI-C, TkL Timo Kauppi		
Toimeksiantaja	Outokumpu Chrome Oy, Tornio		
Työn nimi	Valokaariuunin sulatuselektrodikuoren jatkohitsausliitoksen vaatimukset		
Sivumäärä	31+5		

Tämä opinnäytetyö vastaa toimeksiantajan esittämään tutkimuskysymykseen ”Tarvitaanko elektrodikuoren jatkohitsauksessa hitsaajan pätevöintiä?” Tähän asti hitsaajat on perehdytetty työhön ”kisälli” tyyppisesti. Lisäksi selvitettiin jatkohitsaukseen liittyviä vaatimuksia.

Vastauksen löytämiseksi tutkittiin standardeja, kirjallisuutta sekä hitsausoppaita. Laitetoimittajan asettamia vaatimuksia (hitsiluokka C) verrattiin standardin 9606–1 asettamiin raja-arvoihin. Tulosten ja kokemuseräisen tiedon perusteella tultiin siihen johtopäätökseen, että nykyinen tapa on riittävä eikä hitsaajien pätevöintiä tarvitse tehdä edellä mainitun standardin mukaisesti.

Joiltain osin hitsin vaatimukset ovat nykyisellään korkeammat kuin mitä standardi SFS-EN ISO 5817 antaa C-luokan hitsille. Hitsin laatua tutkittiin tekemällä mikrohetarkastelu kahteen jatkohitsejä suorittavan henkilön koehitsiin, joka osoitti niiden olevan vaatimustenmukaisia.

Tulokseksi saatiin, että hitsaajien pätevöintiä ei tarvita kyseisessä työssä, joten nykyinen perehdyttäminen on riittävä.

Avainsanat standardi, pätevyys, laatuvaatimus

Author	Jani Kunnari	Year	2023
Supervisor(s)	IWE, IWI-C, Lic.(Tech.) Timo Kauppi		
Commissioned by	Outokumpu Chrome Oy, Tornio		
Title	Arc Furnace Melting Electrode Cover Splice Weld Joint Requirements.		
Number of pages	31+5		

This thesis answers the research question posed by the client "Is there a need for welder qualification in the splice welding of electrode cores?" Until now, welders have been trained in an "apprentice" type of way. In addition, the requirements of the welding joint were investigated.

Standards, literature, and welding manuals were examined to find the answer. The requirements set by the equipment supplier (welding class C) were compared with the limits set by standard 9606-1. Based on the results and empirical knowledge, it was concluded that the current practice is adequate and that there is no need to qualify welders according to the above standard.

In some respects, the requirements for the weld are currently higher than those given in SFS-EN ISO 5817 for a Class C weld. The quality of the weld was examined by micro-weld inspection of two test welds of the person performing the splice welds, which showed that they conformed to the requirements.

The result was that welders do not need to be qualified for the job, so the current training is sufficient.

Keywords standard, competence, quality requirement

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 YRITYSESITTELY	8
2.1 Outokumpu Chrome Oy, Tornion ferrokromitehdas	8
2.2 Valokaariuuni	8
2.3 Sulatuselektrodit	9
3 HITSAUS	11
3.1 MAG-umpilankahitsaus	11
3.2 Lämmöntuonti	13
3.3 Hitsiliitoksen mekaaniset ominaisuudet	14
3.4 Hyväksytyt hitsausohjeet	15
3.5 Hitsaajien pätevyys	16
4 ELEKTRODIKUOREN JATKAMINEN	19
4.1 Elektrodikuoren rakenne	19
4.2 Hitsaus	21
4.3 Hitsien tarkastus	23
5 JATKOSHITSIN VAATIMUKSET	25
5.1 Hitsausvirheet	25
5.2 Makro- ja mikrohietutkimus	27
6 POHDINTA	31
LÄHTEET	32
LIITTEET	34

ALKUSANAT

Kiitokset Outokumpu Chrome Oy ja kunnossapitoinsinööri Ilpo Ylijääskölle opin-
näytetyön aiheesta sekä neuvoista.

Opinnäytetyön ohjaajalle Timo Kaupille avusta ja ohjauksesta työhön liittyen.

Outokumpu Chrome Oy vuorokoneasentajille Ville, Matti ja Marko tiedoista ja
koehitseistä.

Jani Koivuselle yleisestä kannustuksesta.

Torniossa 15.5.2023

Jani Kunnari

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

VKU	Valokaariuuni
FeCr	Ferrokromitehdas
DT	Destructive Testing – Rikkova aineenkoetus
NDT	Non-Destructive Testing – Rikkomaton aineenkoetus
WPS	Welding Procedure Specification - Hitsausohje

1 JOHDANTO

Hitsaus on yleisin metallien liittämismenetelmä. Se on erikoisprosessi, jonka laatuvaatimukset tulisi määrittää ennen työn aloittamista. Prosesseja ja laitteistoja on useita erilaisia mutta tässä opinnäytetyössä käsitellään vain MAG-hitsausta, joka on toistaiseksi yleisin käytössä oleva.

Hitsaus erikoisprosessina on lähes täydellisesti standardoitu joka osa-alueella, ja siihen liittyy myös oleellisesti standardoidut materiaalit. Tuloksena saatavalle hitsillekin olevien standardien määrä ei ole aivan vähäinen. Hitsiluokkien määräytyminenkin hitsausvirheiden perusteella löytyy mistäpä muualta kuin sopivasta standardista.

Eräs määritelmä hitsaajalle on henkilö, joka kuljettaa puikonpidintä, hitsauspis- toolia tai hitsauspoltinta käsivaraisesti ja laatuun liittyvä todentaminen, joka on, että objektiiviseen näyttöön perustuva varmistuminen siitä, että määritellyt vaati- mukset on täytetty. Hitsaaja voi suorittaa standardin mukaisen hitsauskokeen ja saada itselleen pätevöinnin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on vastata toimeksiantajana toimivan Outokumpu Chrome Oy:n esittämään kysymykseen koskien valokaariuunien sulatuselektro- dikuoren jatkoshitsauksen vaatimuksia.

Työn tavoitteet ovat seuraavat:

1. selvittää tarvitaanko kuoripalojen jatkoshitsauksessa hitsaajien pätevöin- tiä
2. määrittää vaatimukset tarkasteltavalle hitsiliitokselle.

Aiheen antoi tehtaan kunnossapitoinsinööri, ja opinnäytetyö rajattiin koskemaan vain kuoripalojen jatkoshitsausta.

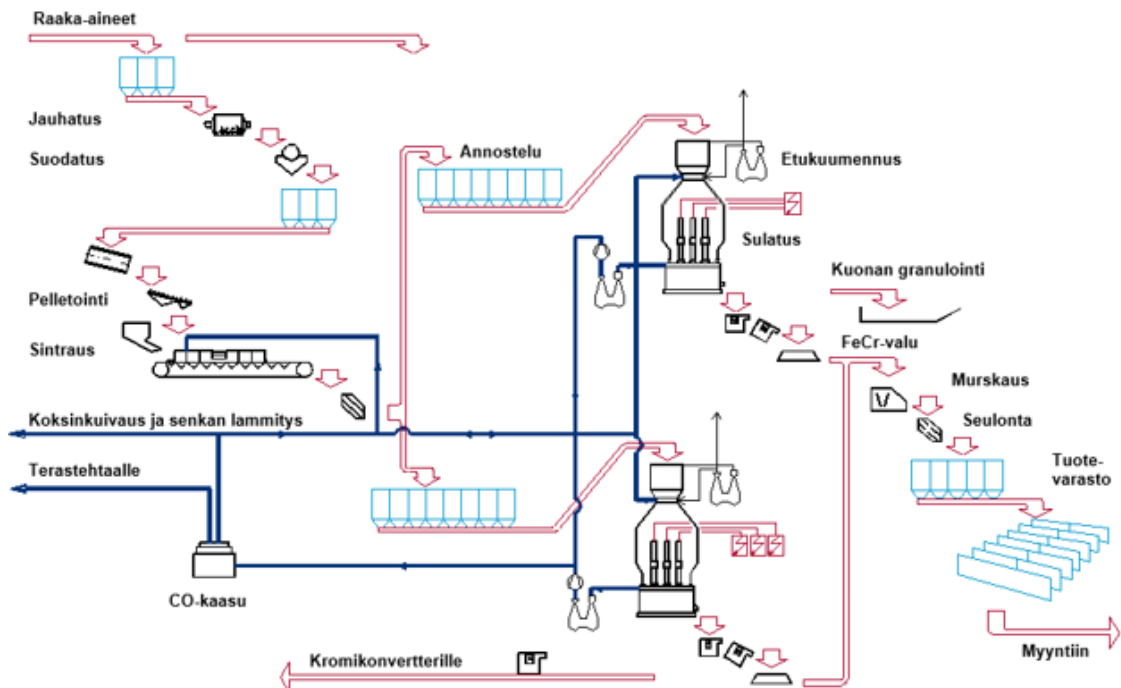
2 YRITYSESITTELY

2.1 Outokumpu Chrome Oy, Tornion ferrokromitehdas

Outokumpu Chrome Oy on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiö. Yhtiöön kuuluu Elijärven kaivos Keminmaassa sekä Tornion ferrokromisulatot. Ensimmäinen ferrokromisulatto otettiin käyttöön vuonna 1968, toinen 1985 ja kolmas 2012. Elijärven kaivos käsittelee malmin pala- ja hienorikasteeksi, joka kuljetetaan maanteitse Tornion tehtaalle, jossa rikaste sulatetaan ferrokromiksi. Ferrokromisula sisältää hie-man yli 50 % kromia ja loppu on pääasiassa rautaa. Vuotuinen tuotanto on noin 530 000 tonnia, josta osa käytetään Outokumpu Oyj:n omilla terästehtailla ja osa myydään ulkopuolisille toimijoille. Sivutuotteena saatavat häkäkaasu ja kuona käytetään myös hyödyksi. (Outokumpu 2023a.)

2.2 Valokaariuuni

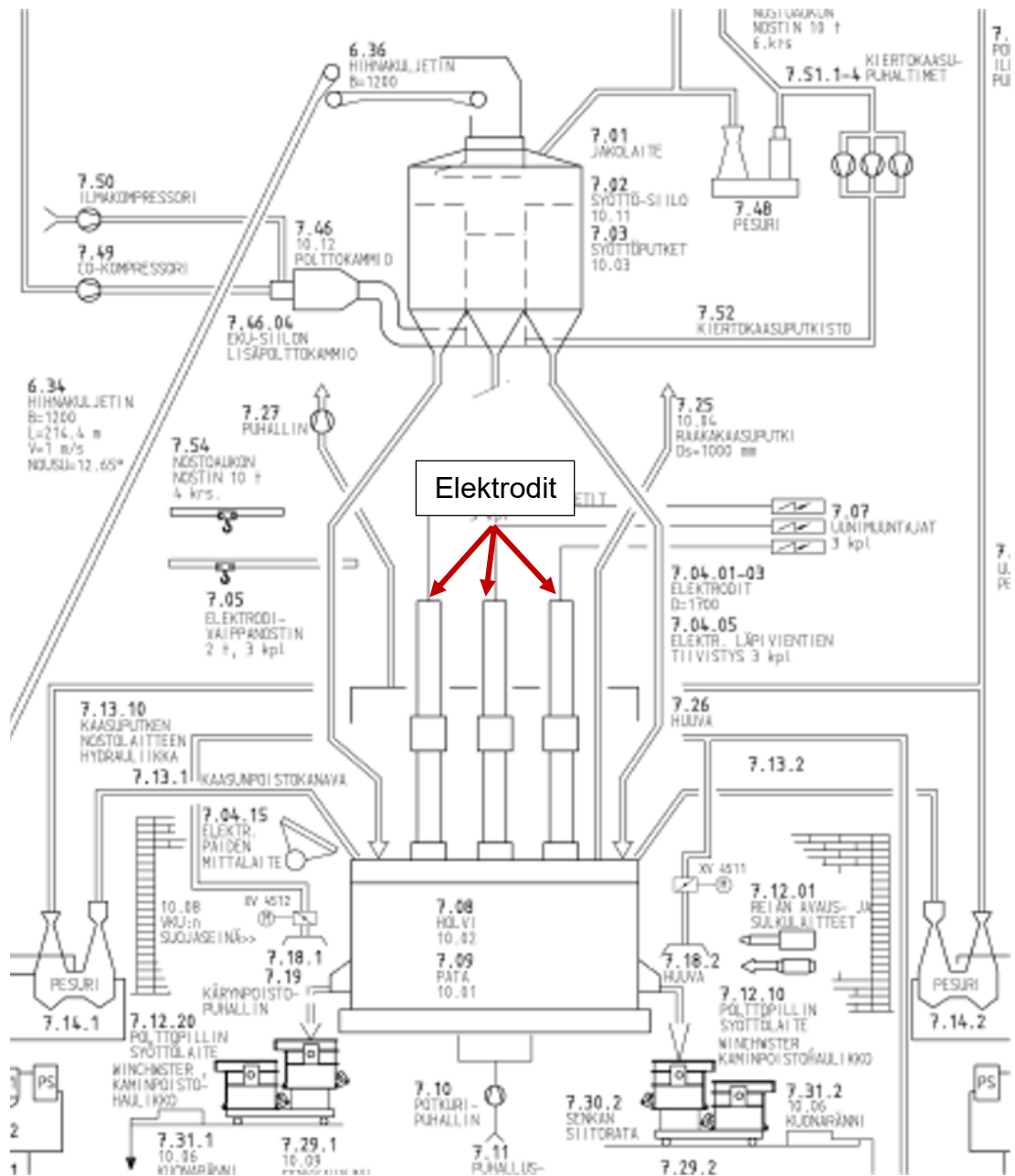
Kaikki kolme sulatukseen käytettävää jatkuvatoimista suljettua uppokaaritoimista valokaariuunia ovat pääosin samanlaisia, joiden ero on oikeastaan vain fyysinen koko ja sen myötä kapasiteetti. Havainnekuvassa (Kuvio 1) on esitettyvalokaariuunien VKU 1 ja 2 prosessikaavio. Annostelussa kerätään panos, jossa on palamalmia, koksia, kvartsiittia ja kromiittipellettiä haluttu määrä kutakin. Panos tuodaan kuljettimella ylös kylmäsyötesiiloon ja siitä etukuumennusuuniin, josta materiaali virtaa sulatusuuniin syöttöputkia myöten painovoiman avulla. Uuniin johdetaan sähköä sulatus elektrodien kautta, jolloin niiden ja panoksen välille syntyy valokaari, joka sulattaa materiaalin. Sopivan sulatusajan jälkeen avataan laskureikä sulan laskemiseksi valusenkkoihin, joihin metalli jää ja kuona ominaispailtaan huomattavasti kevyempänä jatkaa ylijooksutuksena rakeistukseen. Valusenkoissa oleva ferrokromi joko kuljetetaan sulana terässulatolle tai valetaan valuojaan ja jäähtymisen jälkeen murskataan. Kuona käytetään pääsääntöisesti maanrakennuksessa hiekan korvaajana. Sulatuksessa muodostuva häkäkaasu kerätään pesureiden kautta isoon puskurina toimivaan säiliöön, josta se jaetaan käyttökohteisiin ympäri tehdasaluetta nestekaasun korvaajana. (Outokumpu 2023a.)



Kuvio 1. Ferrokromitehtaan tuotantokaavio (Outokumpu 2023b)

2.3 Sulatuselektrodit

Valokaariuunissa on kolme sulatuselektrodia (Kuvio 2). Elektrodi koostuu kuoresta ja vertikaalijäykisteistä sekä elektrodimassasta. Kuori ja jäykisteet muodostavat putken, joka yltää uunista kerrokseen, jossa tapahtuu kuoren jatkaminen ja elektrodimassan lisääminen. Elektrodit kuluvat sulatuksessa ja niiden etäisyys sulatuspadan pohjaan pyritään pitämään kulloinkin haluttuna. Kun elektrodi lyhenee sitä, askelletaan alaspäin noin 30 mm kerrallaan. Kun elektrodia askelletaan, valmis kuori laskee jatkotasolla ja kun se on sopivalla korkeudella olemassa olevan kuoren sisään, lisätään elektrodimassaa hieman kahden sadan litran tynnyriä isompina lieriöinä, jonka jälkeen suoritetaan kuoren jatkoshitsaus. Elektrodimassa sulaa uunin lämmöstä kuoren sisällä ja sintrautuu elektrodiksi. (Outokumpu 2023a.)



Kuvio 2. Valokaariuuni 2 (Outokumpu 2023b)

3 HITS AUS

Kappaleiden liittämistä toisiinsa tai kappaleen pinnoittamista tuomalla sulaan liitospintaan tai -pintoihin soveltuvaa lisäainetta kutsutaan hitsaukseksi. Kiinteä liitos muodostuu, kun sula perusaine ja siihen tuotu lisäaine jäähtyvät, (Lepola & Ylikangas 2016, 13.)

Sulahitsaus on menetelmä, jossa hitsattavien liitoskohtien pinnat kuumennetaan sulaan lämpötilaan, jolloin pinnat sulavat yhteen ilman puristusta. Hitsaus tehdään joko ilman lisäainetta tai lisäaineellisenä. Lisäaineella ja perusaineella on suunnilleen sama sulamispiste. (Lepola & Ylikangas 2016, 14.)

”Hitsauksen aikana liitoskohdan lämpötila on ylittänyt perusaineen ja lisäaineen sulamislämpötilan, jolloin hitsin sulaneen alueen kiderakenne on muodostunut valumaiseksi. Hitsin keskialueella on puhtaan lisäaineen muodostama vyöhyke. Keskialueelta perusaineelle päin siirryttäessä tullaan lisäaineen ja perusaineen muodostamalle seostuneelle vyöhykkeelle, joka rajoittuu perusaineen sulatunkeumarajaan asti. Sekoittumisaste riippuu käytettävästä hitsausmenetelmästä, railomuodosta, hitsausparametreista sekä hitsauspalkojen lukumäärästä. Suurilla hitsaustehoilla hitsattaessa sulatunkeumaraja siirtyy syvemmälle perusaineeseen ja sekoittuminen on suurempaa. kun käytetään kapeaa hitsausrailloa, lisäaineen määrä jää pieneksi ja perusaineen osuus kasvaa seostumisessa.” (Lepola & Ylikangas 2016, 21.)

”Hitsaus on metallurginen tapahtuma, jossa terästä sulatetaan, seostetaan, jäähmetetään ja lämpökäsitellään. Yleensä teräksen hitsaus vaikeutuu mitä lujempaa teräs on ja mitä suurempia hiilen ja muiden seosaineiden pitoisuudet ovat. Hitsauksen yhteydessä tapahtuvien ilmiöiden tunteminen ja hallitseminen ovat tärkeitä hitsauksen suunnittelussa ja suorituksessa.” (Ovako 2020, 3.)

3.1 MAG-umpilankahitsaus

Sulatuselektrodien kuoren jatkamisessa on käytössä otsikonmukainen hitsausprosessi, jonka numerotunnus on standardin SFS-EN ISO 4063 (Hitsaus ja niiden lähiproessit. Prosessien nimikkeet ja numerotunnukset) mukaan 135. Lyhenne

MAG tulee englanninkielisistä sanoista Metal Active Gas eli se on metallikaarihitsausta aktiivisella kaasulla. Jos hitsauksessa käytetään inerttiä kaasua silloin, on kyseessä MIG-hitsaus (Metal Inert Gas), jota tehdään esimerkiksi alumiinille, nikkeliseoksille, kuparille, jne. (AGA 2014, 4.)

MAG-hitsaus on osittain mekanisoitu hitsausprosessi, jossa lisäainelankaa syötetään asetetulla nopeudella suojakaasulla suojattuun hitsisulaan. Valokaari, joka palaa lisäainelangan kärjen ja perusaineen välissä, sulattaa lisä- ja perusainetta. (Kemppi 2018, 5.)

Kun jännitteellinen lisäainelangan kärki koskettaa maadoitettua työkappalettavalokaari syttyy. Hyvin korkea oikosulkuvirta aiheuttaa aineen höyrystymistä, minkä ansiosta kaariväli tulee sähköä johtavaksi ja valokaari syttyy. Tarvitaan riittävän korkea jännite ja oikosulkuvirta, nopea oikosulkuvirran nousu sekä mahdollisimman pieni kosketuspinta lisäaineen ja työkappaleen välissä valokaaren sytyttämiseksi. (Kemppi 2018, 8.)

MAG-hitsauslaitteiston pääosat ovat nykyään invertterihitsausvirtalähde, jolla säädetään jännitettä sekä langansyöttönopeutta, jonka mukaan säätyy automaattisesti myös hitsausvirta. Langansyöttölaitteiston tehtävänä on syöttää hitsauksen lisäainelankaa valokaareen langanjohdinputkea myöten hitsauspistoolin kosketussuuttimen läpi, jossa lisäainelanka sulaa hitsisulaan valokaaren lämmöstä. Langansyötön tapahtuu säädetyllä vakionopeudella. Laitteiston päälle/pois-ohjaus tapahtuu hitsauspistoolista ja sen läpi kulkee suojakaasu, hitsausvirta sekä lisäainelanka. Suojakaasu suojaa hitsisulaa, elektrodiä, lisäainelangan päätä ja sulaa lisäainepisaroihin ilman hapelta ja typeltä, jolloin valokaarella on edellytykset palaa toivotulla tavalla. Suojakaasu toimii myös hitsauspolttimen osien jäähdyttäjänä. Maakaapelin tehtävänä on sulkea virtapiiri virtalähteen ja työkappaleen välissä. (Lepola & Ylikangas 2016, 71–76.)

Hitsaus on yleisin tapa liittää teräksiä toisiinsa. Lähes kaikessa hitsaavassa teollisuudessa käytetään nykyisin MIG/MAG-hitsausta. Raskas ja keskiraskas teollisuus ovat suuria käyttäjiä kuten esimerkiksi laivanrakennus, teräsrakenteiden ja putkistojen valmistajat sekä kunnossapito- ja korjausyritykset. Ohutlevyteollisuudessa käytetään myös paljon MIG/MAG-hitsausta esimerkkeinä autoteollisuus

sekä pienteollisuus. Useinmiten kotitallistakin löytyy MIG/MAG-hitsauslaitteisto. (Kemppi 2023.)

3.2 Lämmöntuonti

Terästen hitsauksessa lämmöntuonti on tärkeä hitsin ominaisuuksiin vaikuttava tekijä. Lämmöntuonnilla tarkoitetaan kaarihitsauksessa hitsiin siirtynyttä lämpö- määrää palon pituusyksikköä kohti. Se riippuu mm. hitsausmenetelmästä, hitsausnopeudesta, virrasta, jännitteestä, perusaineesta, levypaksuudesta sekä hitsausasennosta. Lämmöntuonti vaikuttaa hitsin jäähtymisnopeuteen, joka taas vaikuttaa hitsiliitoksen mekaanisiin ominaisuuksiin erityisesti nk. ferriittisillä teräksillä. Ferriittisillä teräksillä tarkoitetaan teknisen raportin CEN ISO/TR 15608 (Hitsaus. Metallisten materiaalien ryhmittely) materiaaliryhmien 1–6 mukaisia teräksiä eli seostamattomia teräksiä, normalisoituja hienoraeteräksiä, säänkestäviä teräksiä, termomekaanisesti valssattuja hienoraeteräksiä, nuorrutusteräksiä ja erikautuskarkenevia teräksiä, niukasti vanadiinilla seostettuja Cr-Mo-(Ni) teräksiä, vanadiinia sisältämättömiä Cr-Mo teräksiä sekä runsaasti vanadiinilla seostettuja Cr-Mo-(Ni) teräksiä. (Kauppi 2020, 28.)

Lämmöntuonti Q voidaan laskea tarvittaessa seuraavan kaavan avulla:

$$Q = k \frac{U \times I}{v} \times 10^{-3} \quad (1)$$

jossa

Q	on	lämmöntuonti [kJ/mm]
k	on	terminen hyötysuhde
U	on	kaarijännite mitattuna mahdollisimman läheltä valokaarta [V]
I	on	hitsausvirta [A]
v	on	kuljetusnopeus [mm/s]

Termisen hyötysuhteen k arvo prosessille 135 on 0,8. (SFS-EN 1011-1 2009, 19)

3.3 Hitsiliitoksen mekaaniset ominaisuudet

Liitoksen sijainnista ja muodosta riippuvat tekijät sekä metallurgiset tekijät vaikuttavat hitsiliitoksien ominaisuuksiin. Staattisten mekaanisten ominaisuuksien kannalta hitsausmetallurgiset tekijät ovat määräävämpiä, kun taas sijainti ja muoto-tekijät vaikuttavat enemmän väsymislujuuteen. (Ovako 2020, 15.)

”Hitsauslämmön vaikutuksesta syntyy hitsausliitoksen alueelle vyöhyke, jossa alkuperäinen mikrorakenne on muuttunut. Mikrorakenteesta riippuen myös sitkeys, lujuus ja kovuus muuttuvat. Mekaaniset ominaisuudet riippuvat ensi sijassa teräksen kemiallisesta koostumuksesta ja liitoksen jäähtymisnopeudesta sekä tämän tuloksena syntyvästä mikrorakenteesta. Hitsin jäähtymisnopeuteen vaikuttavat edelleen lämmöntuonti, levynpaksuus, työlämpötila ja liitosmuoto. Nämä vaikuttavat tekijät voidaan ottaa huomioon yhteisesti jäähtymisajan määrittämisessä. Merkittävimmät mikrorakennemuutokset liitoksen jäähtyessä tapahtuvat lämpötilavälillä 800–500 °C, kun austeniitin hajaantuminen tapahtuu lämpötilan laskiessa tämän alueen läpi. Jäähtymisnopeutta kuvaavana suureena käytetäänkin yleensä jäähtymisaikaa $t_{8/5}$ sekunneissa, joka tarkoittaa tämän lämpötila-alueen ohittamiseen kuluvaan aikaan. Kun jäähtymisaika on lyhyt eli liitos jäähtyy nopeasti, liitoksen iskusitkeysominaisuudet ovat hyvät mutta kovuus liitoksen muutosvyöhykkeellä nousee karkenemisestä johtuen korkeaksi. Vastaavasti, jos jäähtymisaika on pitkä, kovuus jää matalaksi niin iskusitkeysominaisuudet heikenevät. MIG/MAG-hitsauksessa puhutaan normaalisti 5–15 sekunnista.” (Lukkari, Kyröläinen & Kauppi 2019, 101.)

Teräksen karkenevuudella tarkoitetaan sen taipumusta muuttua jäähtyessään rakenteeltaan martensiittiseksi. Karkenevuus riippuu olennaisesti teräksen kemiallisesta koostumuksesta. Tärkein karkenevuuteen vaikuttava tekijä on hiilipitoisuus. Hyvin hitsattavissa teräksissä se yleensä rajoitetaan alle 0,25 %. Hiilipitoisuuden kohotessa tämän yläpuolelle joudutaan hitsauksessa jo tavallisilla aineenpaksuuksilla turvautumaan erikoistoimiin, esimerkiksi käyttämään esikuumennusta ja korotettua lämpötilaa. Teräksen karkenevuutta lisäävät myös useimmat seosaineet, kuten esimerkiksi mangaani, kromi, nikkeli, molybdeeni ja boori. (Ovako 2020, 7.)

Hitsattavuutta voidaan tarkastella ns. hiiliekvivalentin (CE) avulla, joka ottaa huomioon teräksen karkenevuuden. Hiiliekvivalentti CE lasketaan standardissa SFS-EN 1011-2 (Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus) liitteessä C annetulla kaavalla:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (2)$$

Terästä pidetään hyvin hitsattavana, jos sen hiiliekvivalentti on alle 0,41. Teräs on kohtalaisesti hitsattavissa 0,45 asti ja tämän jälkeen vielä rajoitetusti hitsattavissa. Luvut ovat suuntaa antavia eivätkä ne kerro yksinään hitsattavuudesta, sillä hitsattavuus riippuu myös perusaineen paksuudesta. (Ovako 2020, 7.)

Hitsien mekaanisia ominaisuuksia tarkastellaan rikkovalla aineenkoetuksella, joita esimerkiksi ovat poikittainen vetokoe, taivutuskoe, iskukoe, kovuuskoe sekä makro- ja mikrohietutkimus. (SFS-EN ISO 15614-1 2019)

3.4 Hyväksytyt hitsausohjeet

Laatujärjestelmästandardien terminologiassa hitsaus katsotaan erikoisprosessiksi. Kyseisissä standardeissa erikoisprosessit yleensä vaaditaan suoritettavaksi kirjoitettujen menettelyohjeiden mukaan. Hitsaustöiden suunnittelun perustaksi sekä laadunvalvontaan tarvitaan hitsaustöiden aikana hitsausohjeita. Hyväksytyjen hitsausohjeiden (WPS, Welding Procedure Specification) käyttö luo perustan sille, että hitsi täyttää asetetut vaatimukset, mutta sekään ei vielä takaa sitä.

Yleisimpiä hitsausvirheitä voidaan tutkia NDT-menetelmillä, mutta nykyisillä menetelmillä on mahdoton arvioida mekaanisia ominaisuuksia. Erityisongelman muodostavat metallurgiset poikkeavuudet, jotka ovat johtaneet tiettyjen sääntöjen luomiseen hitsausohjeen hyväksymiseksi. (SFS-EN ISO 15607 2019, 5.)

Hitsauksen laadunhallinta perustuu suurelta osin standardien antamiin vaatimuksiin ja määrittelyihin. Niihin viitataan monissa tuotestandardeissa mutta ne ovat tuotteista riippumattomia, Yrityksissä on yleensä kattavat laatujärjestelmät laadunhallintaan ja -varmistukseen, jotta voidaan varmistaa tuotteiden vaatimustenmukaisuus.

Erilaisiin hitsauksiin on ohjeita, jotka on pyritty antamaan siten, että niitä noudattaen syntyy mahdollisimman virheetön ja tarkoituksenmukainen hitsausliitos. Kunnollista lopputulosta ohjeet ja suositukset eivät yksistään takaa vaan, vastuu siitä on monella toimijalla: mm. työn suunnittelijalla, suorittajalla ja valvojalla. (Ovako 2020, 3.)

Ennen varsinaista tuotantohitsausta tulee suorittaa hitsausohjeiden hyväksyntä. Ensin laaditaan alustava hitsausohje (pWPS, preliminary Welding Procedure Specification) käyttäen hyväksi yleistä hitsaustietoutta ja kokemusta aikaisemmasta tuotannosta sekä varmistetaan että ohjetta voidaan käyttää varsinaisessa tuotannossa. Hyväksymispöytäkirjan (WPQR, Welding Procedure Qualification Record) laatimisen perustana käytetään alustavaa hitsausohjetta. ja hyväksyminen voidaan tehdä yhdellä taulukossa 1 annetulla hyväksymistavalla. Hyväksyminen on voimassa jatkuvasti pätevyysalueen sisällä, ellei toisin ole määritetty. Jokaiselle hyväksymistavalle on esitetty vaatimukset ao. testausstandardissa. (SFS-EN ISO 15607 2019, 7)

Taulukko 1. Hitsausohjeen hyväksymistavat (SFS-EN ISO 15607 2019, 8 muokattu)

Hyväksymistapa	Standardi	Sovellutus
Menetelmäkoe	EN ISO 15614-1	Voidaan aina käyttää, elleivät koekappaleet poikkea oleellisesti todellisten hitsausliitosten geometriasta, jännityksistä ja luoksepäästävydestä.
Testatut hitsausaineet	EN ISO 15610	Käyttö on rajattu hitsausmenetelmille, joissa käytetään hitsausaineita. Hitsausaineiden testauksen on vastattava tuotannossa käytettävää perusainetta. Lisärajoituksia materiaaleihin ja muiden parametrien suhteen esitetään standardissa ISO 15610.
Aikaisempi hitsauskokemus	EN ISO 15611	Käyttö on rajattu hitsausmenetelmille, joita on käytetty aikaisemmin suurelle määrälle hitsejä verrattavissa olevissa kohteissa, liitoksissa ja materiaaleissa. Vaatimukset esitetään standardissa ISO 15611.
Standardihitsausohje	EN ISO 15612	Menetelmäkokeen kaltainen. Rajoitukset esitetään standardissa ISO 15612.
Esituotannollinen koe	EN ISO 15613	Voidaan periaatteessa aina käyttää, mutta vaatii koekappaleen valmistamista tuotantoolosuhteissa. Sopii sarjatuoannolle.

3.5 Hitsaajien pätevyys

Hitsaajan pätevyyskoestandardin SFS-EN ISO 9606-1:2017 (Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset) johdannossa todetaan seuraavasti: "Hitsaajan kyvyllä seurata suullisia tai kirjallisia ohjeita sekä hitsaajan taidon todentamisella on suuri merkitys varmistettaessa hitsatun tuotteen laatua."

Pätevöitettyjen hitsaajien käyttöä edellytetään nykyisin hyvin useasti teollisessa hitsauksessa. Pätevyyskokeessa hitsataan standardikoeappale, joka arvostellaan. Koehitsin hitsausvirheet arvioidaan silmämääräisesti standardin SFS-EN ISO 5817 2014 (Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat) vaatimusten mukaisesti, ellei toisin sovita. Koehitsi hyväksytään, jos koekappaleessa havaitut hitsausvirheet täyttävät standardin SFS-EN ISO 5817 hitsiluokan B mukaiset vaatimukset, lukuun ottamatta seuraavia hitsausvirheitä, joille vaatimus on hitsiluokka C: korkea kupu, (502 ja 503), ylisuuri a-mitta (5214) ja reunahaava (501). (SFS-EN ISO 9606-1:2017, 28.)

Standardissa SFS-EN ISO 5817 eri hitsiluokkia on kolme, joilla katetaan suurin osa hitsaussovelluksista. Luokkien tunnuksset ovat B, C ja D. Vaativin luokka joka valmiille hitsille annetaan, on B. (SFS-EN ISO 5817 2014, 10.)

Hitsien silmämääräinen tarkastus tehdään standardin SFS-EN 17637:2016 (Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus) vaatimusten mukaan.

METSTA:n julkaisemasta koulutusmateriaalista ”Hitsiluokat ja hyväksymisrajat”, jossa esitellään keskeiset standardit, niiden periaatteet ja tärkeimmät käsitteet löytyy tähän yhteyteen sopiva tiivistelmä standardista SFS-EN ISO 5817 (Kuvio 3). Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry (METSTA) vastaa Suomessa kone-, painelaite- ja ATEX-direktiivien standardisointiohjelmista. Se toimii kiinteässä yhteistyössä mm. SFS ry:n kanssa ja laajimpana vastuualueena sillä on kansainvälisessä ISO-standardisoinnissa metalliset materiaalit ja hitsaus. (METSTA 2020.)

Samaisessa koulutusmateriaalissa kerrotaan, että hitsien silmämääräiseen tarkastukseen voidaan käyttää sellaisenaan hitsiluokkastandardia SFS-EN ISO 5817. Standardissa ei anneta mitään yksityiskohtaisia suosituksia siitä, miten hitsausvirheitä voidaan havaita tai kokoa määrittää rikkomattomalla aineenkoetuksella. (METSTA 2020, 16.)

Koulutusmateriaalissa sanotaan myös SFS-EN ISO 17635 (Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille) yleisohjeet NDT kohdalta,

ettei SFS-EN ISO 5817 ja 10042 mukaisia hitsiluokkia voida käyttää suoraan hyväksymisrajoina koska ne liittyvät tuotantohitsauksessa saavutettavissa olevaan kokonaislaatuun. (METSTA 2020, 20.)

Hitsiluokat (SFS-EN ISO 5817)

Standardissa ryhmitellään hitsausvirheet mitoituksellisten arvojen perusteella kolmeen hitsiluokkaan

Hitsiluokka D

- rakenteille, joilla pieni vaurioitumismahdollisuus
- pieni vauriosta johtuva haitta

Hitsiluokka C

- staattisille kuormitetuille rakenteille
- painelaitteille

Hitsiluokka B

- väsytyskuormituksen alaisille rakenteille
- tapauksille, joissa on riski haurasmurtumiselle

Hitsiluokka	Kuvaus
D	Tyydyttävä
C	Hyvä
B	Vaativa

Kuvio 3. Hitsiluokat (METSTA 2020, 12)

SFS-EN ISO 17365 -standardissa annetaan vaatimus ainetta rikkomatonta tarkastusta tekeville henkilöille. Sen mukaan hitsien rikkomattomia aineenkoetuksia suorittavan ja lopullisia hyväksymistuloksia arvioivan tarkastajan on oltava pätevoidetty standardin ISO 9712:2022 (Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet.) mukaan sopivalle tasolle asiaankuullulla teollisuussektorilla. (SFS-EN ISO 17635 2016, 8.)

Kuitenkaan aina ei vaadita NDT-tarkastajien päteväntiä vaan esim. standardissa SFS-EN ISO 3834-2:2021 (Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset) kohdassa 8.3 todetaan, että: "valmistajan on tarvittaessa osoitettava, että tarkastava henkilöstö on pätevä". (SFS-EN ISO 3834-2 2021, 8.)

SFS-EN ISO 17637:2016 käsittelee metallisten materiaalien sulahitsausliitosten pintavirheiden silmämääräistä tarkastamista. Sen mukaan silmämääräinen tarkastus pitää sisällään railon tarkastuksen, hitsauksen aikaisen tarkastuksen, valmiin hitsin tarkastuksen ja korjattujen hitsien tarkastuksen. Standardissa SFS-EN ISO 5817 on esitetty hitsiluokkakohtaiset raja-arvot 24 kpl pintavirheelle.

4 ELEKTRODIKUOREN JATKAMINEN

4.1 Elektrodikuoren rakenne

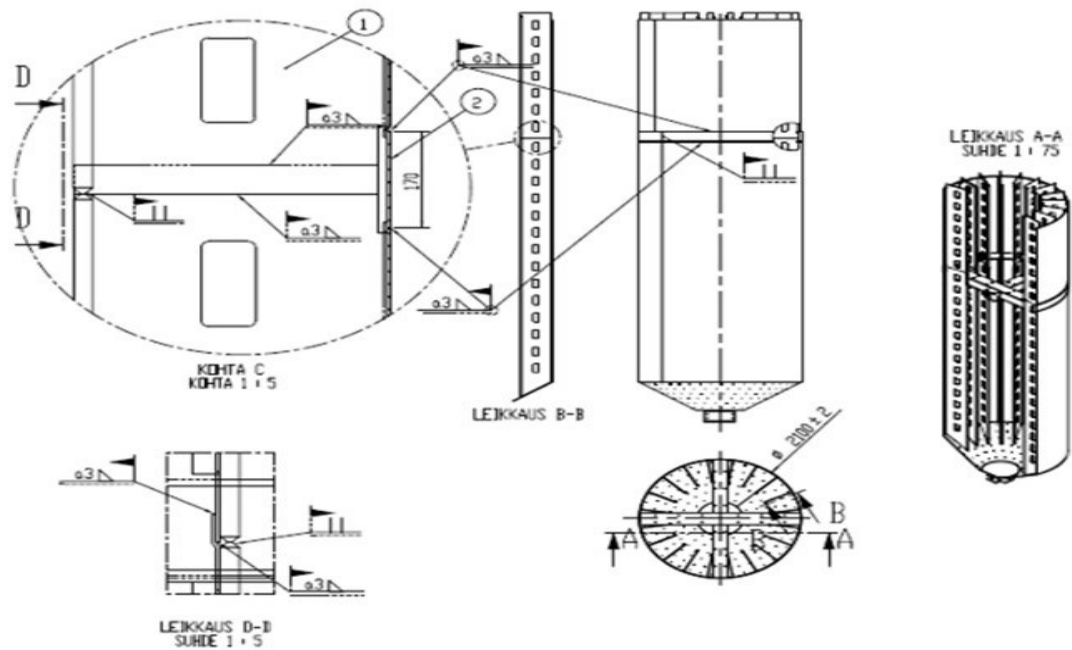
Kuvassa 4 on esitetty osa elektrodikuoren kokoonpanopiirustuksesta. Valokaariuuneilla VKU 1 ja VKU 2 kuoren aineenvahvuus $s = 3$ mm ja valokaariuunilla VKU 3 $s = 4$ mm. Uusi kuoripala on pituudeltaan $l = 2350$ mm ja halkaisija määräytyy uunin mukaan. Vertikaalijäkisteet ovat kummastakin päästä 200 mm pidemmät kuin kuori. Se nostetaan nosturilla olemassa olevan kuoren päälle niin, että vertikaalijäkisteet ovat hieman lomittain. Tämän jälkeen asetetaan tasavälein 3 kpl asennustyökaluja eli pitimet paikoilleen (Kuvio 4) ja lasketaan kuoripala niiden varaan.



Kuvio 4. Pitimien asettelu ja pidin (Outokumpu Chrome Oy 2023)

Pitimet on säädetty niin, että kuoripalat jäävät 150 mm etäisyydelle toisistaan (Kuvio 6). Vertikaalijäkisteet asemoidaan toisiaan vasten kuvion 5 leikkauksen D-D mukaan, silloitetaan ja hitsataan toisiinsa molemmilta puolilta, jonka jälkeen pitimet poistetaan. Kuvassa 6 nähdään edellä mainittu tehtynä. Kuoripalojen reunat ovat rullamuovatut siten, että upotus on materiaalivahvuuden syvyinen ja 15 mm korkea, jolloin viimeisenä asennettava peitinlevy on samalla tasolla kuoripalan ulkopinnan kanssa. Seuraavaksi 170 mm leveä peitinlevy lasketaan kuorien väliin jääneen välin päälle, kiristetään tiukasti M12 ruuviliitoksella levyn päihin silloitushitsattujen asennuslevyjen avulla kuoripaloja vasten ja hitsataan niihin

kiinni. Samalla hitsataan myös peitinlevyn päiden välinen pystyjatkoshitsi. Asennuslevyt poistetaan kulmahiomakoneella ennen pystyjatkoshitsin hitsaamista.



Kuvio 5. Kuoripalan rakenne. (Outokumpu 2023b)



Kuvio 6. Kuoripala vertikaalijäykisteet hitsattuna ja tuet poistettuna VKU2:lla (Outokumpu Chrome Oy 2023)

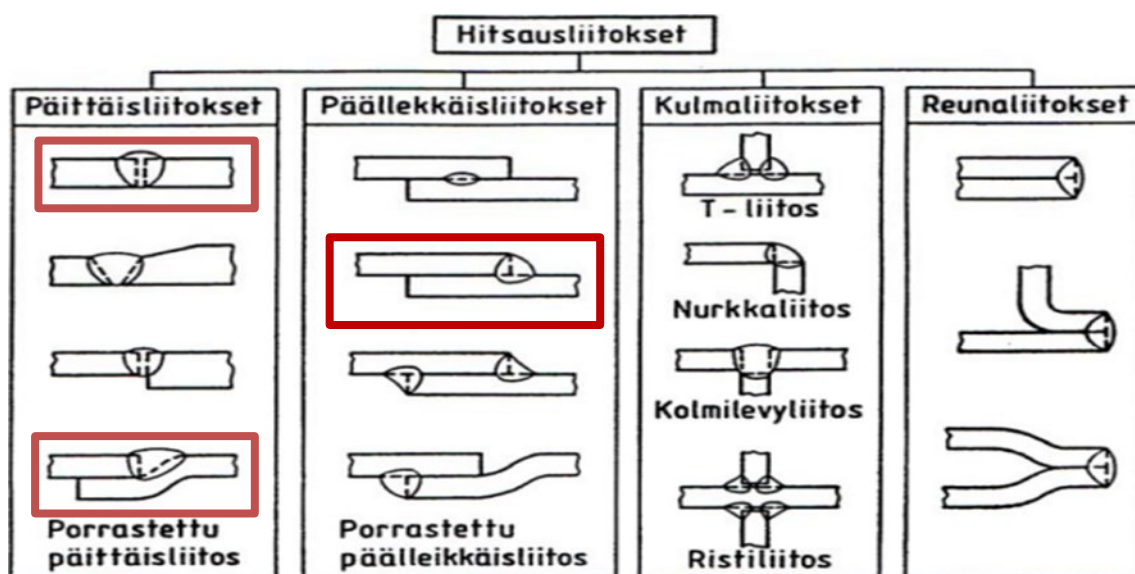
Kuoripalat valmistetaan standardin SFS-EN 10025-2 vaatimusten mukaisesta seostamattomasta kuumavalssatusta S355J2+N rakenneteräksestä laitetoimittajan ohjeen mukaan Outokumpu Stainless Oy:n Tornion keskuskorjaamolla, josta ne toimitetaan ferrokromitehtaan sulatoille. Jatkamisessa tarvittava peitinlevy valmistetaan keskuskorjaamolla samasta materiaalista ollen 170 mm leveä pituuden määräytyessä kuoren halkaisijan mukaan. Peitinlevyyn kiinnitetään valmiiksi myös kiinteä juurituki pystyjatkoshitsille sekä asennuslevyt.

Kuoren jatkaminen tapahtuu vuorokoneasentajien toimesta ja kuitenkin aina niin, että työparista toinen on kyseisessä vakanssissa tai muutoin vankan kokemuksen omaava. Jatkaminen suoritetaan uunin käynnissä ollessa. Kaikki FeCr-kunnossapidossa työskentelevät asentajat perehdytetään kyseiseen työhön, että he pystyvät tarvittaessa toimimaan vuorokoneasentajan työparina. Hitsauksen osalta perehdytyksessä käydään läpi odotettava hitsilaatu, hitsausvirheet ja niiden estäminen sekä virheiden korjaaminen. Käytännössä kaikki aloittavat hitsauksen vertikaalijäykisteiden hitsauksesta ja kun hitsi on laadullisesti hyväksyttävää, niin aloitetaan perehdytys peitinlevyn hitsaamiseen.

4.2 Hitsaus

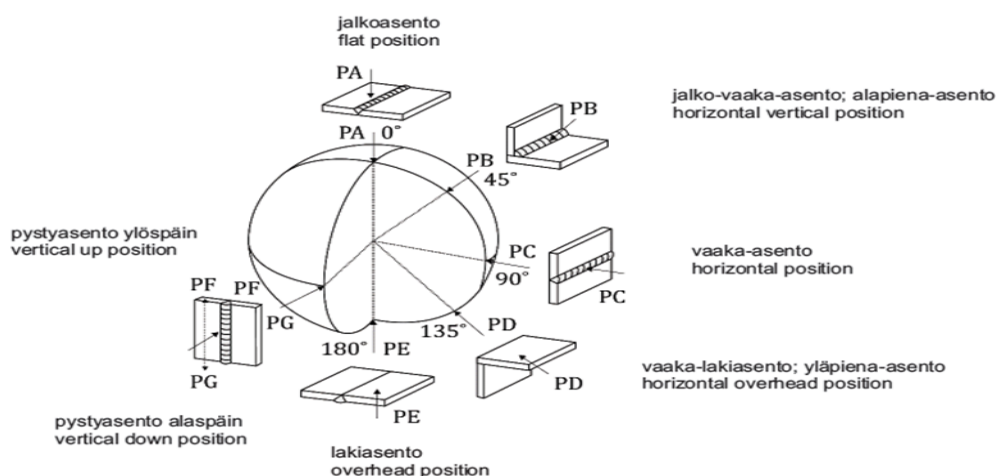
Kuoripalojen jatkoshitsaus suoritetaan MAG-hitsauslaitteistolla prosessilla 135. Suojakaasuna käytetään Woikoski SK-18 (EN ISO 14175 - M21 – ArC - 18 luokka M21) ja lisäainelankana ESAB OK Autrod 12.51 1.0 mm (EN ISO 14341 - A G 42 4 M21 3Si1).

Liitostyypit ovat porrastettu päittäis- ja päällekkäisliitos sekä päittäisliitos (BW) (Kuvio 7). Vertikaalijäykisteet hitsataan pienahitsinä (FW) asennoissa PB ja PD (Kuvio 8) vetävällä polttimella molemmin puolin, mikä on haastavaa, koska hitsaus suoritetaan kuoripalojen väliin jäävästä 150 mm:n raosta.



Kuvio 7. Liitostyytit (Niemi & Kemppe 1993, 11)

Peitinlevy hitsataan samoin pienahitsinä asennossa PB ja PD joko vuorotellen ylä- ja alareunaa tai reuna kerrallaan käyttäen pääsääntöisesti hieman työntävää hitsauspistoolin asentoa. Tällä tavoitellaan matalampaa hitsikupua sekä hitsauskipinöiden suuntautumista hitsaajasta poispäin. Peitinlevyn päiden pystyjatkohitsin päittäisliitos hitsataan asennossa PF tai PG riippuen railon leveydestä sekä hitsaajan mieltymyksestä. Joissain tapauksissa päittäisliitos on hitsattava monipalkkona sovitushaasteiden takia.



Kuva 54 Perusasennot

Kuvio 8. Hitsauksen perusasennot (SFS 3052 2020, 50)

Lämmöntuontia arvioitiin erään hitsaajan käyttämällä hitsausarvoilla, jotka olivat:

$$k = 0,8$$

$$U = 27,2 \text{ V}$$

$$I = 214 \text{ A}$$

$v = 10 \text{ mm/s}$, tällöin:

$$Q = 0,8 \times \frac{27,2 \text{ V} \times 214 \text{ A}}{1000 \times 10 \text{ mm/s}} = 0,47 \text{ kJ/mm}$$

Tuloksena saatu lämmöntuonti on aika pieni, mihin vaikuttaa kuljetusnopeus tässä tapauksessa suuresti. Kirjallisuudessa annetaan (ks. esim. Lukkari ym. 2019, 104), MAG-umpilankahitsaukselle tyypillisesti lämmöntuonniksi 1–2 kJ/mm mutta esimerkiksi Kempin standardihitsausohjeessa (sWPS) (Liite 3) lämmöntuonti vaihtelee välillä $Q = 0,53\text{--}1,25 \text{ kJ/mm}$. Matalampi lämmöntuonti vaikuttaa kuitenkin enemmän positiivisesti perusaineen ja hitsin metallurgisten ominaisuuksien säilymiseen kohdassa 3.3 esitetyn jäähtymisajan $t_{8/5}$ kautta.

4.3 Hitsien tarkastus

Vertikaalijäykisteiden hitseistä ei tarkastella kuin se, että a-mitta täyttyy. Peitinlevyn hitsit tarkastetaan hitsaamisen jälkeen etsimällä silmämääräisesti nähtäviä hitsausvirheitä. Hitsit tarkastetaan periaatteella "kaasutiivis" eli hitsin pitää olla täysin ehjä, koska sulaneen elektrodin massa tulee pienemmästä reiästä kuin vesi. Yleisimmät esiintyvät hitsausvirheet ovat imuontelo eli paippi, huokoset, vajaan a-mitta sekä reunahaava. Hitsien huokoisia sisältävät kohdat avataan kulmahiomakoneella perusaineeseen saakka ja hitsataan uudestaan. Vajaalla a-mitalla olevat ja reunahaavaiset hitsit avataan tarvittaessa tai suoritetaan vain päälle hitsaus. Tarkistamisen yhteydessä hitsistä hiotaan korkea kupu, poistetaan hitsausroiskeet ja hitsin lopetuskohdat siten, että hitsi ei ole mistään kohtaa kuoren pintaa korkeampi. Korkeusvaatimus on asetettu siksi, ettei liitos vaurioita alempana sijaitsevien askelluslaitteistojen mantteleiden neoprenivuorausta ja on sen vuoksi tiukempi kuin B-luokan hitsille asetetut raja-arvot standardissa SFS-EN ISO 5817. Kuvassa (Kuvio 9) nähdään hiottu ja tarkastettu hitsiliitos.



Kuvio 9. Kuoripalojen jatkoshitsi (Outokumpu Chrome Oy 2023)

5 JATKOSHITSIN VAATIMUKSET

5.1 Hitsausvirheet

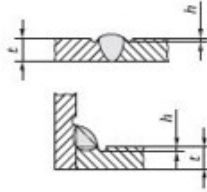
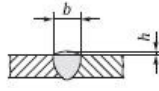
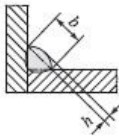
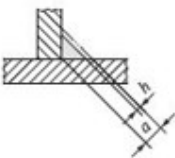
Vika on ei-sallittu virhe. Hitsausvirhe on hitsissä esiintyvä epäjatkuvuus tai poikkeama hitsin oletetusta geometriasta. Hitsausvirheet on luokiteltu kuuteen ryhmään standardissa SFS-EN ISO 6520-1:2008 (Hitsaus ja lähiprosessit. Geometristen hitsausvirheiden luokittelu metallisissa materiaaleissa, 8.):

- halkeamat
- ontelot
- sulkeumat
- liittymävirheet
- muoto- ja mittavirheet
- muut virheet.

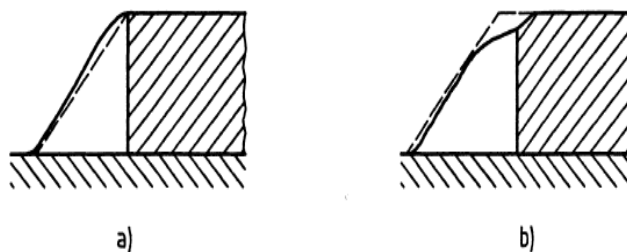
Hitsausvirheiden tarkka luokittelu perustuu edellä mainittuun standardiin, josta löytyy myös virheiden kuvaukset. Epäselvyyksien välttämiseksi virheiden määritelmässä on mukana piirroskuvat sekä tarvittavat selitykset. Taulukkoon 2 on koottu standardista SFS-ISO EN 5817 löytyvät hitsiluokkien virheet raja-arvoineen, jotka koskevat tämän työn aihetta.

Taulukko 2. Hitsausvirheet. (SFS-EN ISO 5817 muokattu)

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	Ei sallita
			— päittäishitsi — pierahitsi				
			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
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

1.7	5011	Jatkuva reunahaava	Juoveva liittyminen vaaditaan Tätä ei katsota systemaattiseksi virheeksi	0,5-3	Lyhyt: $h \leq 0,2 t$	Lyhyt: $h \leq 0,1 t$	Ei sallita
	5012	Katkonainen reunahaava		> 3	$h \leq 0,2 t$, enintään 1 mm	$h \leq 0,1 t$, enintään 0,5 mm	$h \leq 0,05 t$, enintään 0,5 mm
1.9	502	Korkea lupu (päätäishitsi)	Juoveva liittyminen vaaditaan 	$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$, enintään 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$, enintään 7 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, enintään 5 mm
1.10	503	Korkea lupu (pienahitsi)		$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$, enintään 5 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$, enintään 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, enintään 3 mm
1.20	5213	Liian pieni a-mitta	Ei sovelleta hitsausprosesseille, joille on näyttö suuresta tunkeumasta 	0,5-3 > 3	Lyhyt: $h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 a$ Lyhyt: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$, enintään 2 mm	Lyhyt: $h \leq 0,2 \text{ mm}$ Lyhyt: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$, enintään 1 mm	Ei sallita Ei sallita

Standardissa SFS-EN ISO 1011-2:2001 esitetty tarkennus ulkokulman sulamisen vaikutuksesta a-mittaan päällekkäisliitoksessa pienahitsillä (Kuvio 10) on oleellisesti tähän liittyvä, koska materiaalivahvuus on sama kuin laitetoimittajan kokoonpanokuvissa esittämä hitsin a-mitta.



a) Hyväksyttävä

b) Ei ole hyväksyttävä, koska a-mitta on pienentynyt.

Kuvio 10. Ulkokulman sulaminen (SFS-EN ISO 1011-2, 22)

Muut mahdolliset SFS-EN ISO 6520-1 esitetyt virheet, joita ei saa olla valmiissa liitoksessa ovat:

- 601 sytytysjälki: paikallinen jälki perusaineen pinnalla hitsin vieressä, joka johdetaan valokaaren palamisesta tai sytyttämisestä railon ulkopuolella.
- 602 roiskeet: lisäaineesta tai hitsiaineesta sinkoutuneet pienet sulapisarat, jotka ovat tarttuneet kiinni perusaineen tai jähmettyneen hitsiaineen päälle.
- 603 vioittunut pinta: pinnan vaurioituminen, kun tilapäiset hitsatut kiinnikkeet on poistettu murtamalla.
- 604 hiontajälki: hionnan aiheuttama pinnan paikallinen vaurioituminen.
- 606 liiallinen hionta: työkappaleen niin voimakas hionta, että sen paksuudesta tulee liian pieni.

5.2 Makro- ja mikrohietutkimus

Hitsejä tutkittiin Lapin AMK Kemin Kosmoksen laboratorioissa standardin SFS-EN ISO 17639:2013 (Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Hitsien makro- ja mikrohietutkimus) mukaisella makrohietutkimuksella, joka kuuluu ainetta rikkoviin menetelmiin ja sitä käytetään hitsausliitoksien makro- ja mikroskooppisten ominaisuuksien selvittämiseen. Se tehdään tavallisesti poikkileikkauspinnoin. Tutkimusta varten leikattiin kuoripaloissa käytettävää ohutlevyä koekappaleiksi, jotka aseteltiin jatkotasolla siten että tilanne vastasi hitsausasentoa PB. Hitsauksen suorittivat erään vuoron vuorokoneasentajat käyttäen täysin samoja laitteistoja ja asetuksia kuin kuoren jatkoa tehdessään. Kumpikin asentaja hitsasi yhden koehitsin. Hitseistä leikattiin näytteet (Kuvio 11) ja (Kuvio 12).



Kuvio 11. Koehitsi näytteenotto (Lapin AMK Kemi 2023)



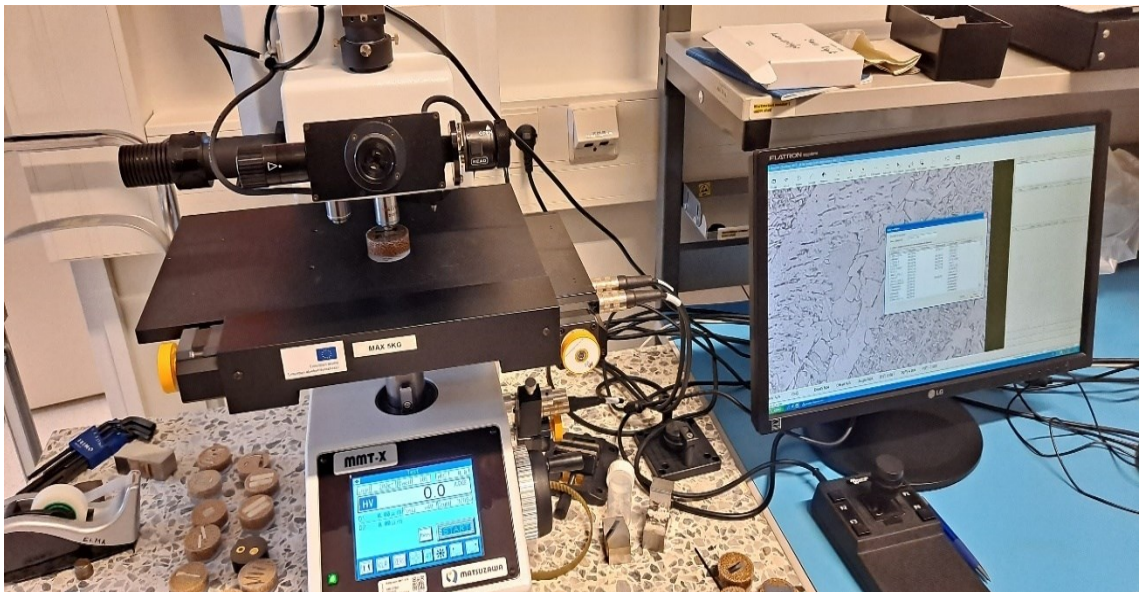
Kuvio 12. koepalat (Lapin AMK Kemi 2023)

Koepaloista valmistettiin kuumavalettu metallografinen näyte, johon laitettiin molemmista hitseistä poikkileikkausnäyteaihiot. Näyte hiottiin, kiillotettiin ja syövytettiin mikrorakenteen esiin saamiseksi. Syövytys toi esiin hitsin, jonka erottaa selvästi perusaineesta (Kuvio 13). Hitsin tunkeuma oli hyvä, muutosvyöhyke (HAZ) ei ollut leveä eikä hitsissä ollut nähtävissä virheitä.

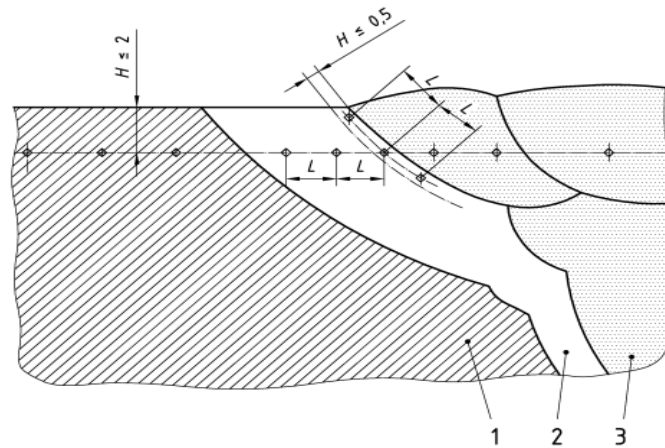


Kuvio 13. Metallografinen näyte (Lapin AMK Kemi 2023)

Kummallekin koehitsille tehtiin myös kovuuskoe standardin SFS-EN ISO 6507-1:2018 (Metallien Vickersin kovuuskoe) mukaisesti hitsin mahdollisen karkeneamisen toteamiseksi (Kuvio 14). Painumarivi aseteltiin hitsin ulkoreunasta perusaineeseen kuvan (Kuvio 15) mukaisesti.



Kuvio 14. Kovuusmittaus (Lapin AMK Kemi 2023)

**Selite**

- 1 Perusaine
- 2 Muutosvyöhyke
- 3 Hitsiaine

Kuvio 15. Painumarivin sijainti (SFS-EN ISO 9015-1 2011 Hitsien rikkova aineen-koetus metalleille. Kovuuskokeet, 20)

Liitteissä (Liite 4) ja (Liite 5) kovuuden mittaustulokset molemmista hitseistä, joissa kummassakaan ei ole poikkeavaa ja karkenemisesta johtuva kovuuden nousu on aika lievää. Kovuuskokeista ei tehty varsinaista testausselostetta kokeen tyyppin ja käyttötarkoituksen vuoksi.

6 POHDINTA

Omaan noin kahdenkymmenen vuoden kokemuksen elektrodikuoren jatkamisesta ja osaltaan helpotti, mutta myös vaikeutti opinnäytetyön tekemistä aiheesta. Minut on opetettu kuoripalojen jatkamiseen kisällityyppisellä perehdyttämällä aikoinaan ja olen itse opettanut samalla menetelmällä uusia työntekijöitä. Mielestäni tämä menetelmä on tässä tapauksessa hyvä ja toimiva, koska muutujia on vähän ja tehtävä on melko yksinkertainen ja jonka hyväksymiskriteerit ovat kohtuudella saavutettavissa.

Standardeissa on ikävä puoli, että vaikuttaa paljon kuka lukee ja tulkitsee niitä milläkin tietämyksellä. Kaikki ovat asettelultaan sellaisia, jotka tukevat esimerkiksi valmistajan tavoitteita täyttää ISO 9000 ja ISO 9001 luokituksia. Opinnäytetyön aiheena oleva hitsikään ei mene jatkokäsittelyyn, myyntiin, ulkoiselle asiakkaalle yms., vaan sulaa pois, kun elektrodia on askellettu niin kauan, että hitsi on uunin sulapinnan tienoilla.

Laitetoimittajan piirustuksiin oli merkitty hitsausvaatimukseksi standardin ISO 5817 mukaisesti luokka C ja standardin SFS-EN ISO 9606-1:2017 mukaan hitsaajan päteväntämiseksi vaaditaan ISO 5817 mukaisesti luokka B, joka on vaativampi. Tämän perusteella jatkohitsauksessa ei tarvita hitsaajan päteväntä, vaan nykyinen toimintatapa on riittävä. Koehitseille tehdyt tutkimukset tukevat myös tätä päätelmää.

Toimeksiantajan olisi hyvä miettiä pWPS:n tai WPS:n tekemistä hitsauksen laadunhallinnan dokumentoinnin vuoksi, koska tällä hetkellä käytettävät hitsausarvot ovat tallennettu hieman puutteellisesti standardeja ajatellen. Toimeksiantajan käytettävissä on hitsauskoordinaattori sekä laboratorio, jossa tarvittavat kokeet voidaan suorittaa.

Tämä opinnäytetyö on aiheen ja tietoperustan mukaisesti ohjannut ja tarkastanut henkilö, joka on koulutettu ja standardien mukaisesti päteväntetty (IIW International Institute of Welding hyväksymä IWE International Welding Engineer & IWI-C International Welding Inspector – Comprehensive).

LÄHTEET

- AGA 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen. Viitattu 3.4.2023
https://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI_tcm634-122347.pdf.
- Kauppi, T. 2020. Käytännön hitsausmetallurgiaa. Osa 1: Terästen faasimuutokset. Hitsaustekniikka-lehti 4/20. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.
- Kemppi Academy 2018. MIG/MAG-hitsaus. Viitattu 14.3.2023
<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/asiantuntijapalvelut/kemppi-academy/>
- Kemppi 2023. Hitsausaapinen. Osa: MIG/MAG-hitsaus. Viitattu 3.4.2023
<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mig-maghitsaus/>
- Lepola, P. & Ylikangas, R. 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Lukkari, J, Kyröläinen, A & Kauppi, T. Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2A. 2019. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry
- Metsta.fi 2020. Hitsiluokat ja hyväksymisrajat. Viitattu 14.3.2023.
https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/10/METSTA_Hitsiluokatjahyvaksymisrajat_2020.pdf.
- Niemi E. & Kemppi J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: Painatuskeskus.
- Outokumpu 2023a. Outokumpu O`net. Viitattu 12.1.2023
<https://stainlesssteels.sharepoint.com/sites/onet-fi-kemittornio/SitePages/Ferrokromitehdas.aspx>.
- Outokumpu 2023b. Piirustukset WebDoha. Viitattu 10.2.2023 Outokummun sisäinen verkko.
- Ovako 2020. Ovakon terästen hitsaus. Viitattu 5.4.2023.
https://metals.ovako.com/48e4ed/globalassets/metals/ovakon_terasten_hitsaus_2020-paiv-versio.pdf.
- SFS 3052:2020. Hitsaussanasto. Yleistermi. 6. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1011-1 2009. Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 1: Yleisohjeet kaarihitsaukselle. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1011-2 2001. Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus. 1. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 15607:2019. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Yleisohjeet. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15609-1:2019. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hitsausohjeet. Osa 1: Kaarihitsaus. 3. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15614-1:2017 2019. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä menetelmäkokeella. Osa 1: Terästen kaari- ja kaasuhitsaus sekä nikkelin ja nikkelseosten kaarihitsaus. 5. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17635:2016. Hitsien rikkoman aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17637:2016. Hitsien rikkoman aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17639 2013. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Hitsien makro- ja mikrohitutkimus. 1. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 3834-2:2021. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 4063 2011. Hitsaus ja sen lähiprosessit. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 5817 2014. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. 3. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 6507-1:2018. Metallien Vickersin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. 3.painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 6520-1 2008. Hitsaus ja lähiprosessit. Geometrinen hitsausvirheiden luokittelu metallisissa materiaaleissa. Osa 1: Sulahitsaus. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 9015-1 2011. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Kovuuskokeet. Osa 1: Kaarihitsausliitosten kovuuskoe. 1. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 9606-1:2017. Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 9712:2022. Rikkoman aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. yleisperiaatteet. 2. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

LIITTEET

- Liite 1. Ainstodistus
- Liite 2. Elektroduoren kokoonpanokuva
- Liite 3. Kemppi WPS
- Liite 4. Kovuuskoetulokset hitsaaja 1
- Liite 5. Kovuuskoetulokset hitsaaja 2

Liite 1 Ainestodistus

Severstal		СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА		№ 4020107739											
CERTIFICATE OF QUALITY AND QUANTITY				17.07.2021											
Продávец (Экспортёр)/Производитель, адрес Seller (Exporter)/Manufacturer, address ПАО "СЕВЕРСТАЛЬ" Череповец, Мира 30 PAO SEVERSTAL Cherepovets, Mira 30		СЕРТИФИКАТ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ INSPECTION CERTIFICATE EN 10204/3.1 Система менеджмента качества соответствует требованиям Quality Management System is certified to meet the requirements ISO 9001, IATF 16949, STO Газпром 9001													
Грузополучатель, адрес Consignee, address SIA "Severstal Distribution" LV-1039, Riga, Starta iela, 13, 3717076658 LLC "Severstal Distribution" LV-1039, Latvia, Riga, Starta str., 13		Заказ № Order № 7183		Контракт № Contract No 428/1000-100036											
Страна назначения Латвия Country of destination Latvia		Номер т/с Freight car No 90995739		Лист Page 1 Листов Pages 1											
Наименование продукции Рудон г/к Description of goods Hot rolled coil		Вид груз. мест РУЛОН Type of packages COIL		Кол-во товара 1 Quantity											
Стандарт (марка/поставки/профиля) Standards of (grade/product/shape) EN 10025-2:2019 / EN 10025-2:2019 / EN 10051-10															
Отгружаемые позиции / Shipped positions															
№ пп item No	Поз No	Плавка Heat No	Партия/Ед Batch No	Марка Grade	Размеры, мм Dimensions, mm	Кол-во Quantity	Ид № Serial №	Масса нетто факт. кг Netto weight fact. kg	Масса брутто факт. кг Gross weight fact. kg						
1	20	115294	55207 01	S355J2 +N	4 x 1500	1	10402201076	16120	16130						
Примечание: Сталь прокатана на непрерывном стане. Нетравленная. Нетромасляная. Не дроссированная. Note: Steel rolled in continuous mill. Unpickled. Unoilied. Non-skiprassed.															
Качественные характеристики / Quality Parameters															
№ пп item No	Кромка Edge	Группа поверхности Surface Group	Подкласс кач-ва Subclass quality												
1	ME	B	3												
Химический состав / Chemical Composition															
№ пп / item No	C %	Si %	Mn %	S %	P %	Cr %	Ni %	Cu %	Al %	N %	V %	Ti %	Nb %	Mo %	CEV %
1	0.16	0.03	1.53	0.004	0.009	0.05	0.02	0.04	0.037	0.006	0.004	0.031	0.023	0.004	0.43
Результаты испытаний / Test Data															
№ пп item No	Рулон Coil	Предел текучести ReH, поперек Yield str. ReH, trans. МПа	Предел прочности Rm, поперек Tensile str. Rm, trans. МПа	Относительное удлинение дельта-5, поперек Elongation 5, trans. %											
1	01	490	582	25											
Указанный в настоящем ДОКУМЕНТЕ товар соответствует по качеству действующим стандартам, техническим условиям и спецификациям и может быть отгружен на экспорт. It is hereby the quality of goods mentioned in this DOCUMENT is in conformity with demands of specifications to contract and the goods may be exported.															
Маркировка Marking: CE															
Стан/Mill:	2000														
			Signed by electronic signature, 5560 Zavtur A.L., 17.07.2021 03:34:19 PAO Severstal, Cherepovets, 30 Mira				Используйте QR-код для проверки подлинности сертификата Ссылка на проверку сертификата Идентификационный код: 0400014937 Identification Code:								
To verify the digital signature you need to install the certificate InternetCA from the site pk.sibcom.com/ru/certificate . Для проверки ЦУП следует установить сертификат Qualified_bin со страницы pk.sibcom.com/ru/certificate .															

Liite 3 Kemppi WPS



STANDARD
WELDING PROCEDURE
SPECIFICATION (WPS)
 EN ISO 15609-1: 2004
 EN ISO 15612: 2004

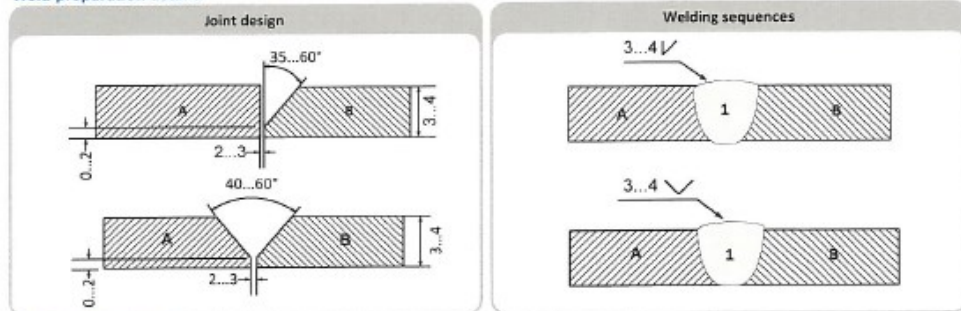
WPS no: WPS 135-BW-1
 Date: 2014-04-04
 Rev.1: Page 1 [2]
 Language: EN

WPQR no: MK 135-BW-4	Method of preparation and cleaning: Cutting and grinding Throat thickness (mm): -	Welding position: PA Distance contact tube/workpiece (mm): 15...20
Manufacturer: Kemppi Oy, Lahti, Finland	Preheat Temperature (°C): ≥ 5	Mode of metal transfer: Short circuiting transfer
Joint type and weld type: BW, P/T	Interpass Temperature (°C): -	Weld details: sl, nb/mb

Identification of parent material

Parent material	Group EN ISO 15608	Standard	Range of thickness (mm)	Range of outside diameter (mm)
A S235/S275/S355 ReHs355N/mm2	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2	3...4	> 500 > 150 (rotated)
B S235/S275/S355 ReHs355N/mm2	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2	3...4	> 500 > 150 (rotated)

Weld preparation details



Welding parameters

Run	Welding process	Size of filler material d (mm)	Current I (A)	Voltage U (V)	Type or current/ polarity	Wire feed speed (m/min)	Travel speed v (mm/min)	Heat input Q (kJ/mm)
1	135	1,0	90...130	16...18	DC-/DC+	3...4	90...130	0.53...1.25
1	135	1,2	120...140	15...17	DC+	2...3	140...160	0.54...0.82

Identification of filler materials

Standard EN ISO 14341-A	Designation G 42 2 MIG3Si1 G 42 3 MIG3Si1 G 42 4 MIG3Si1 a)	Filler material handling See filler material manufacture's instructions
----------------------------	--	--

Identification of shielding gas

Standard EN ISO 14175	Group M21	Shielding gas flow rate: 15...20 l/min
--------------------------	--------------	---

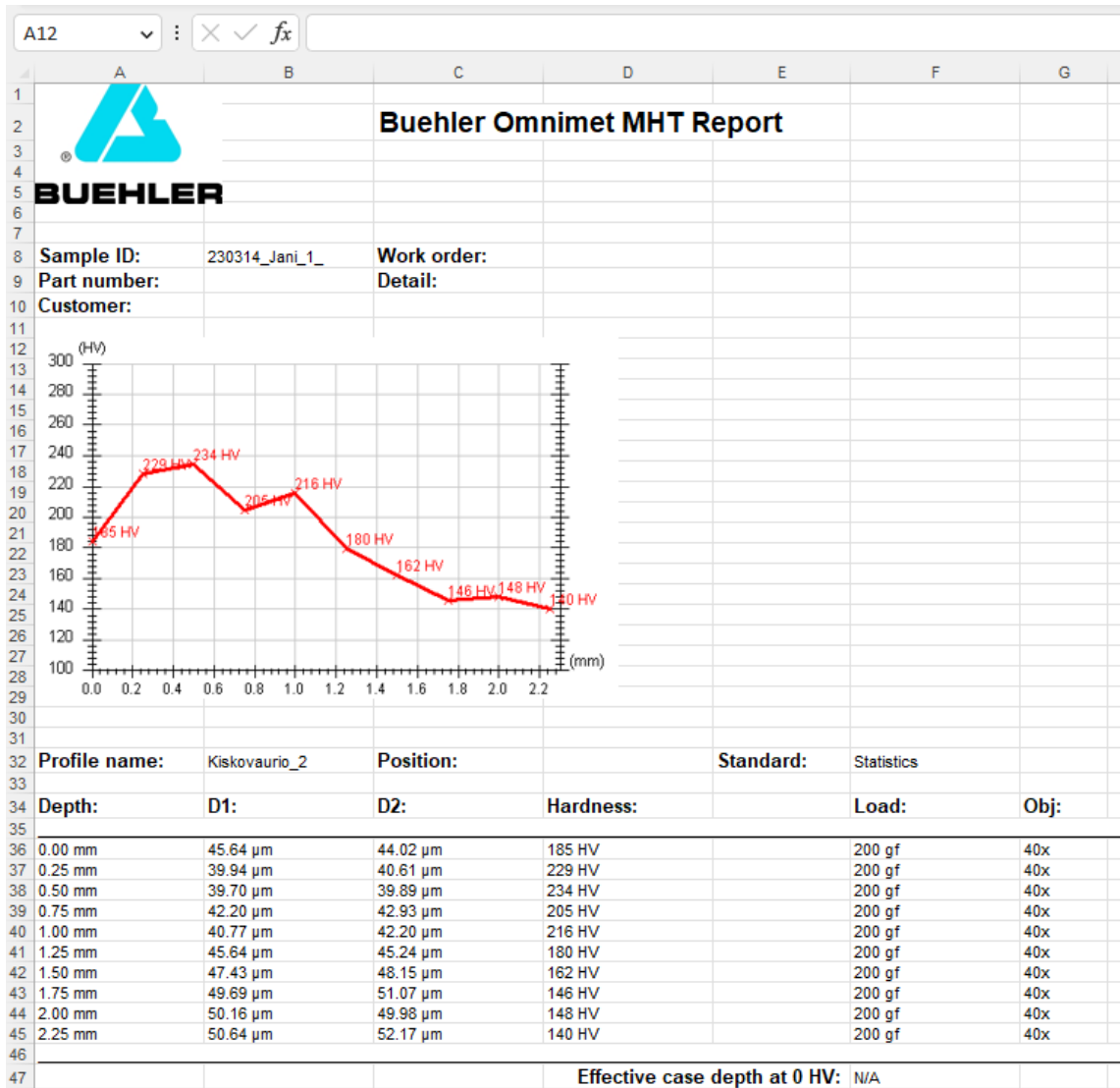
Other information

a) Filler materials that comply with the classifications above can be used, such as Esab OK Autrod 12.51, Elgamatic 100, Böhler EMK6.

KEMPPi
 Dr. Petteri Jernström
 Kemppi Oy, Manufacturer

IWE Kari Juvonen
 Inspecta Tarkastus Oy, Notified body

Liite 4 Kovuuskoetulokset hitsaaja 1



Liite 5 Kovuuskoetulokset hitsaaja 2

