

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Arto Puustinen

PLASMALEIKKAUKSEN KONEPARAMETRIT

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 Joensuu
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä

Arto Puustinen

Nimike

Plasmaleikkauksen koneparametrit

Toimeksiantaja

Kesla Oyj

Tiivistelmä

Opinnäytetyö selittää Messer Multitherm 4000 -hienosädeplasmaleikkurin koneparametrien säätämisen vaikutuksia polttoleikattaviin kappaleisiin. Tavoitteena oli saavuttaa paremmin tuotantoa palvelevia polttoleikkeitä annettujen toleranssien sisällä. Näiden säätöjen ja koneparametrien ymmärtämisen on tarkoitus palvella tuotantoa mahdollisimman tehokkaasti ja laatutietoisesti. Tuotannossa olevat uudet teräsmateriaalit ja laitteiston vanhat leikkausparametrit olivat päivityksen tarpeessa.

Opinnäytetyön toteutus suoritettiin työssä opitun, plasmaleikkauslaitteiston ohjekirjojen ja metallitekniikan kirjallisuuden avulla.

Kieli Suomi

Sivuja 20

Asiasanat

Koneparametrit, Kesla, Nestix , leikkaus, cnc-plasma



THESIS
April 2020
Degree Program in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 Joensuu
FINLAND
+358 13 260 600

Author

Arto Puustinen

Title

Machine Parameters of Plasma Cutting

Commissioned by

Kesla plc

Abstract

This thesis explains the effects of adjusting the machine parameters of the Messer Multitherm 4000 fine-ray plasma cutter on the parts to be cut. The goal was to achieve cut pieces which serve production better within the given tolerances.

Understanding these adjustments and machine parameters is intended to serve production in the most efficient and quality-conscious manner possible. The new steel materials in production and the old cutting parameters of the equipment were in need of updating.

The thesis was carried out with the help of plasma-cutting instruction manuals and metal engineering literature.

Language Finnish

Pages 20

Key words

machine parameters, Kesla, Nestix, cutting, cnc-plasma

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tietoperusta	2
2.1	Terminen leikkaus	2
2.2	SFS-EN ISO 9013	2
2.3	Plasmaleikkaus	3
2.4	Hienosädeplasmaleikkaus	3
2.5	Hienosädeplasmaleikkauslaitteisto	4
2.6	Teräkset, niiden ominaisuudet ja standardit	5
2.6.1	Teräsryhmät	6
2.6.2	SSAB Multisteel	9
2.6.3	SSAB Domex 500ML	9
2.6.4	Strenx 700 MC Plus	9
2.6.5	Hardox 400	9
2.6.6	SFS-EN 10020	10
2.6.7	SFS-EN 10149-2	10
3	Työn tarkoitus ja tavoitteet	11
4	Tutkimuksen toteuttaminen	11
5	Tulokset ja niiden tulkinta	15
5.1	Tarkastelu	18
5.2	Tutkimuksen luotettavuus	19
	Lähteet	20

Kuvat

Kuva 1. Hienosädeplasmaleikkauksen periaate

Kuva 2. Messer Multitherm 4000 -hienosädeplasmalaitteisto

Kuva 3. Astemittalaite

Kuva 4. Digitaalinen työntömittalaite

Kuva 5. Aloitusnystyrä

Kuva 6. Testikappale

Kuva 7. Polttimen kulutusosat

Kuva 8. Hapen linjapaine oli aloitettaessa 8.4 Baria ja paineilman 7.4 Baria

Kuva 9. Koneparametrien säätötaulukko

Kuva 10. Testi 1

Kuva 11. Testi 6

Kuva 12. Astemittauksen suorittaminen

Taulukot

Taulukko 1. Säätöparametrit

Taulukko 2. Testikappaleiden mitatut suureet

1 Johdanto

Opinnäytetyössä vastataan Kesla Oyj:n Kesälahden tehtaan osavalmistuksen polttoleikkauspuolella ilmenneeseen tarpeeseen plasmaleikkauskoneiden polttojälkeen vaikuttavien koneparametrien säätömahdollisuuksista. Teräsmateriaalien jatkuvan uudistumisen myötä laitteiston vanhojen leikkausparametrien päivitykselle oli tarvetta.

Rantasalmen raivausväline on perustettu vuonna 1960 Rantasalmella, jonka perustaja oli pienviljelijä Antti Kärkkäinen. Rantasalmen raivausväline muuttui Kesla Oy:ksi Kesälahdelle muuton myötä vuonna 1974 ja vuonna 1998 Kesla Oyj:ksi. Toimipaikkoja yrityksellä on Kesälahdella, Ilomantsissa, Appen-Weierissä Saksassa ja Joensuussa. Päätoimipaikkana toimii Joensuu. Yritys työllistää 247 henkilöä ja liikevaihto vuonna 2019 oli 47 miljoonaa euroa. Kotimarkkinoiden ohella suurin osa liikevaihdosta noin 68 % koostuu viennistä 44 eri maahan. [1.]

Kesla on metsäteknologian moniosaaja, joka tuottaa useita erilaisia koneita puunkorjuun tuotantoketjuun kannolta tehtaalle. Tuotevalikoimiin kuuluu muun muassa harvesteripäät, hakkurit, teollisuus- ja puutavaranosturit ja traktoreiden metsäperävaunut.[2.]

Kesla Oyj:n Kesälahden tehtaalla suoritetaan pääosa Kesla konsernin osavalmistuksesta, johon hienosädeplasmaleikkurin koneparametrit vahvasti liittyvät. Kesälahdella on käytössä kaksi cnc-ohjattua hienosädeplasmaleikkauskonetta: Messer Multitherm 4000, 260A suoraan leikkaukseen ja Messer Omnimat L 4000, 400A viisteleikkaukseen.

Poltettava materiaali on pelkästään terästä. Käytössä olevina laatuina muun muassa SSAB Multisteel, Strenx ja Hardox. Haasteen niiden oikeaan käsittelyyn tekee monet eri lujusluokat. Kesälahden osavalmistuksen plasmaleikkaus osaston kahden työvuoron läpi menee teräsmateriaalia noin 35 000 kg viikossa.

2 Tietoperusta

Opinnäytetyön aineistona on käytetty plasmaleikkauslaitteiston mukana tulleita ohjekirjoja, valmistustekniikan kirjoja ja muutamia internet-sivustoja.

Kyseenomaista aihetta koskevaa aineistoa on tällä hetkellä vähän saatavilla kirjallisessa muodossa tai kirjallisuus on esitetty englannin kielellä.

2.1 Terminen leikkaus

Termisellä leikkauksella tarkoitetaan poltto-, laser- tai plasmaleikkausta, joissa metallia leikataan lämpöenergian avulla polttamalla tai sulattamalla [3, 1].

Polttoleikkaus on yksinkertainen ja edullinen leikkausmenetelmä, jossa hapen ja polttokaasun avulla leikataan terästä. Polttoleikkaamalla pääsemme jopa 300 millimetrin paksuuteen saakka. Polttoleikkaamalla voidaan valmistaa myös viisteitä leikkausprosessin yhteydessä. [4.]

Plasma on ionisoituneen kaasun olotila, joka sisältää paljon energiaa. Teräksen plasmaleikkauksessa plasma sulattaa materiaalia ja sulanut materiaali puhalletaan pois kaasusuihkulla. Plasmaleikkauksessa lämpöä muodostuu leikkuualueelle vähemmän kuin polttoleikkauksessa. [4.]

Laserleikkaamalla saadaan toleranssiltaan tarkempia kappaleita, jotka eivät tarvitse jälkikäsitteilyä leikkuun jälkeen. Laserleikkaus on nopea ja kustannustehokas menetelmä ohuemmissa ainevahvuuksissa. Leikkuumenetelmällä voidaan leikata pieniäkin reikiä ja tarkkoja muotoja. [4.]

2.2 SFS-EN ISO 9013

SFS-EN ISO 9013. 2017. Terminen leikkaus- asiakirjassa esitetään termisesti leikattujen pintojen luokittelun geometriset tuotemäärittelyt ja laatutoleranssit poltto-, plasma- ja laserleikkaukseen sopiville materiaaleille. Asiakirja soveltuu

polttoleikatuille pinnoille, joiden aineenpaksuus on 3...300 mm, plasmaleikatuille pinnoille, joiden aineenpaksuus on 0,5...150 mm ja laserleikatuille pinnoille, joiden aineenpaksuus on 0,5...32 mm.

Geometrisiä tuotemäärittelyjä voidaan käyttää, jos tähän asiakirjaan viitataan piirustuksissa tai asiaankuuluvissa asiakirjoissa, kuten toimitusehdoissa. Tätä asiakirjaa voidaan poikkeuksellisesti käyttää erikseen sovittaessa myös muille leikkausprosesseille. [5.]

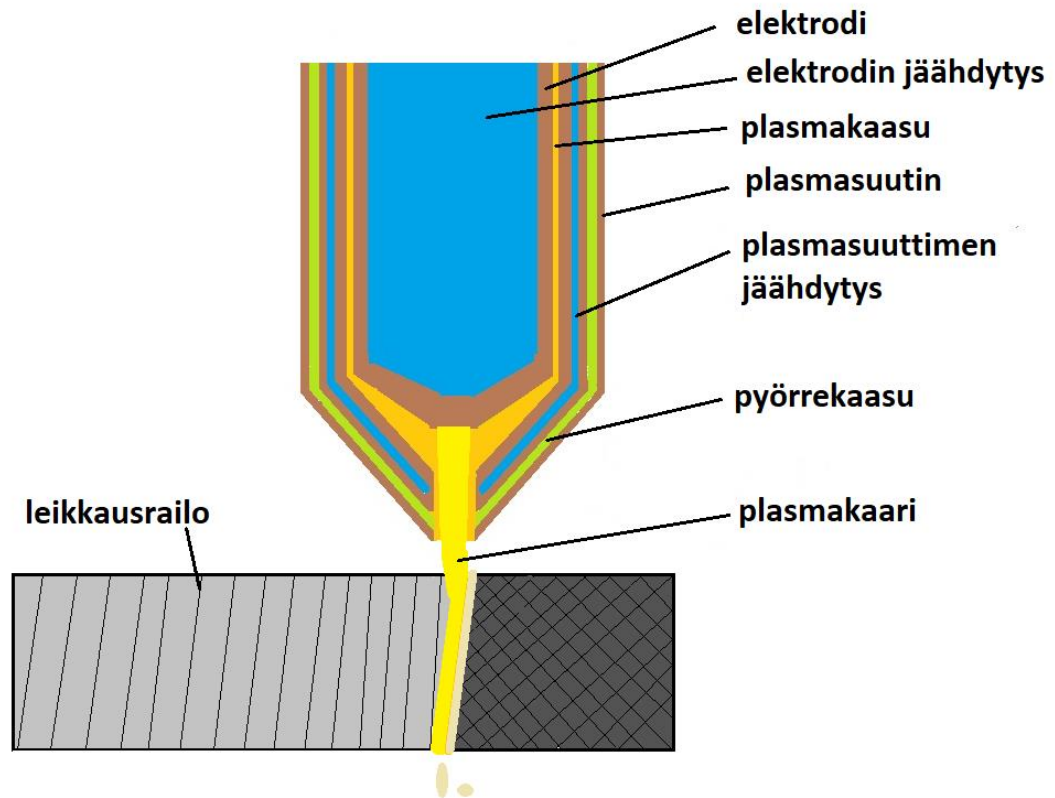
2.3 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on terminen leikkausprosessi, jota voidaan käyttää kaikkien sähköä johtavien metallien leikkaukseen. Leikkaus tapahtuu katodina toimivan elektrodin ja anodina toimivan työkappaleen välillä palavan valokaaren tuottaman lämmön vaikutuksesta. [6.]

Plasmaleikkauspolttimessa elektrodi on sijoitettu plasmasuuttimen sisään, ja elektrodin ympärillä suurella nopeudella virtaava plasmakaasu ionisoituu elektrodin ja työkappaleen välillä palavassa valokaaressa muodostaen plasmakaaren. Plasmasuuttimen kärjessä oleva kapeneva aukko kurouttaa plasmakaaren, minkä ansiosta plasmakaaren energiatiheys ja lämpötila saadaan huomattavasti korkeammaksi kuin vapaasti palavassa valokaaressa. [6.]

2.4 Hienosädeplasmaleikkaus

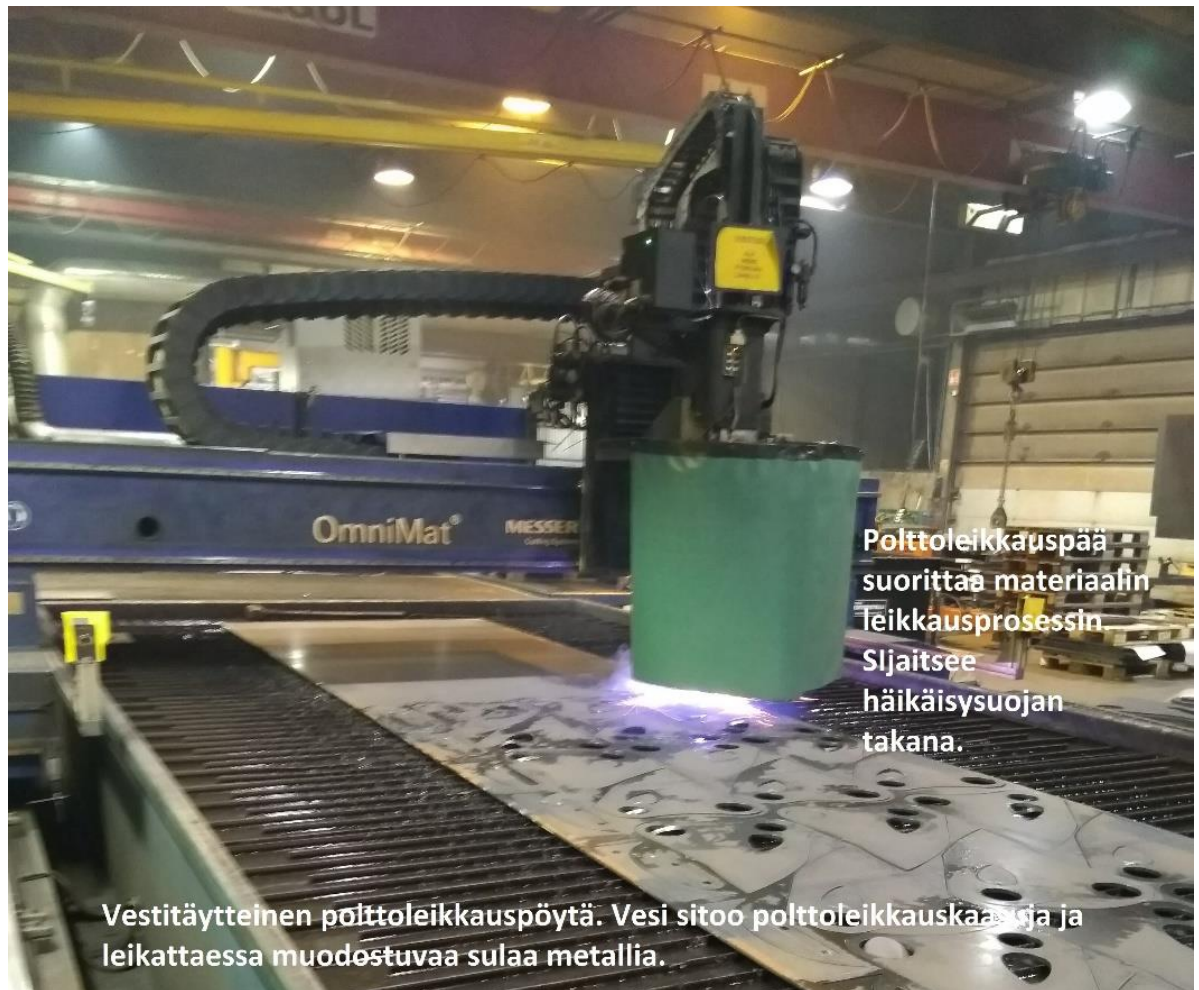
Hienosädeplasmaleikkaus (kuva 1) on menetelmä, jossa plasmakaari saadaan kuroutumaan entisestään pyörrekaasun ja/tai lisäsuuttimien avulla. Tämä parantaa leikkauksen laatua sekä tehokkuutta entisestään, ja lisäksi elektrodin suojaus paranee ja käyttöikä pitenee. [6.]



Kuva 1. Hienosädeplasmaleikkauksen periaate

2.5 Hienosädeplasmaleikkaukslaitteisto

Hienosädeplasmaleikkaukslaitteistoon (kuva 2) kuuluu virtalähde ja cnc-ohjauskonsoli, jotka ovat erillään leikkaukskoneistosta. Leikkaukspää kuuluu polttoleikkauksportaaliin, joka liikkuu erittäin mittatarkasti asennettujen johteiden päällä. Portaalin alapuolella on polttoleikkaukspöytä, johon leikattavat levyt nostetaan tarvittavilla apuvälineillä. Polttoleikkauksessa syntyvien kaasujen poisto voidaan suorittaa eri tavoin. Leikkaukspöydän alla voi olla tehokkaat imurit tai pöydässä voidaan käyttää vettä poltettavan materiaalin alapuolella, joka sitoo itseensä suurimman osan kaasuista polttoleikatessa ja/tai lisäksi poltinpään vierestä voidaan imeä ylöspäin nousevat kaasut pois poistoimurilla.



Polttoleikkäuspää suorittaa materiaalin leikkausprosessin. Sijaitsee häikäisysoojan takana.

Vestitöynteinen polttoleikkäuspöytä. Vesi sitoo polttoleikkäuskäasua ja leikkätaessa muodostuvaa sulaa metallia.

Kuva 2. Messer Multitherm 4000 -hienosädeplasmalaitteisto

2.6 Teräkset, niiden ominaisuudet ja standardit

Teräs on materiaali, joka vastaa käyttäjien tarpeita. Teräksen ominaisuudet sopivat hyvin suunnittelijoiden, konepajojen ja rakentajien tarpeisiin vaativissa kohteissa ja kovissa olosuhteissa. [7, 270.]

Jos hiilimäärä sulassa raudassa on korkeintaan 2 %, jähmettyy koko sula primäärisinä austeniittikiteinä ja synnyttää rautahiiliseosta. Tätä seosta kutsutaan teräkseksi. Teräs on plastisesti muovattavaa sekä seostamalla ja lämpökäsittelyin lujitettavissa. [8, 21.]

Teknillisiä teräslaatuja on standardisoitu Suomessa verrattain runsaasti. Terästen merkintä on esitetty SFS 100 standardissa, jonka mukaan tunnus voidaan muodostaa neljällä eri tavalla:

a. lujuusominaisuuksiin perustuen

Fe 355 DP-01 SFS 1150, jossa Fe = tunnus
 355 = murtolujuus N/mm²
 D = IWW:n laatuluokitus(D vaativin)
 P = paineastiateräs
 01 = lisämerkintä (normalisoitu)

b. kemialliseen koostumukseen perustuen

C 35-07 SFS 455 C = hiiliteräs
 35 = 0,35 % hiiltä
 07 = lisämerkintä (nuorrutettu)

c. numerotunnukseen perustuen

teräs 506-01 SFS 506 teräs 506 = tunnus, 506 stand. numero
 01 = lisämerkintä (normalisoitu)

d. käyttötarkoitukseen perustuen

Z32-350 N SFS 676 Z32 = kuumasinkitty ohutlevy
 350 N = merkitys annettu yhteenvetostandardissa A 400 H betoniteräs, kuumavalssattu harjatanko, jonka myötölujuus on vähintään 400 N/ mm², kuten [8, 31.] todetaan.

2.6.1 Teräsryhmät

Standardissa käytetty nimitys kertoo useimmiten tuotteen käyttötarkoituksen tai sen erikoisominaisuuden. Numeroryhmiä on jätetty vapaaksi tulevaa tarvetta varten, sillä standardisointi laajenee, kun uusille teräsryhmille ehditään laatia standardeja tarpeitten kasvaessa. [8, 33–34.]

Teräsryhmät niille varattuine numeroineen ovat:

200 ... 299	Rakenneteräkset
300 ... 349	Koneteräkset
350 ... 399	Valuteräkset
400 ... 449	Jousiteräkset
450 ... 499	Nuorrutusteräkset
500 ... 549	Hiiletysteräkset
550 ... 599	

600 ... 649	Kylmävalssatut ohutlevyteräkset
650 ... 699	Kuumasinkityt ohutlevyteräkset
700 ... 799	Ruostumattomat teräkset
800 ... 849	
850 ... 899	
900 ... 949	Työkaluteräkset
1000 ... 1049	
1050 ... 1099	
1100 ... 1199	Paineastiateräkset
1200 ... 1299	Betoniteräkset

Rakenneteräkset-ryhmään luetaan kuuluviksi sellaisinaan teräsrakenteisiin soveltuvat teräkset, jotka ovat pääasiassa niukka- tai keskihiilisiä teräksiä, joskin joku runsashiilinen teräskin voi tulla kysymykseen. Näitä lujempia rakenneteräksiä saadaan niukalla seostuksella. Valssatut tangot, profiilit ja levyt ovat määrällisesti suurin rakenneterästen ryhmä, sillä niistä valmistetaan siltoja, laivoja, mastoja ja muita vastaavanlaisia rakenteita. Luotettavaa hitsattavuutta vaaditaan näiltä teräksiltä, kun sen sijaan karkenevuus on haitallinen ominaisuus. Valetut rakenneteräkset homogenisoidaan lämpökäsittelmällä ne valun jälkeen. [8, 33.]

Koneteräkset kuuluvat tavallaan rakenneteräksiin, mutta kun koneita rakennettaessa kaivataan suurempia lujuuksia kuin muissa rakenteissa, seostetaan teräksiä niukalla seosainemäärällä, jolloin saadaan jopa rajoitetusti lämpökäsiteltäviä teräksiä, joitten hitsaaminen onnistuu vain erikoismenetelmillä. [8, 33.]

Teräksen valaminen on huomattavasti vaikeampaa kuin valuraudan, koska suuri kutistuminen, korkea valulämpötila ja kaasujen liukeneminen vaikeuttavat korkealaatuisen valoksen valmistusta. Tähän **valuterästenryhmään** on kerätty teräksiä, joiden valaminen on mahdollista tietyn laatutason kappaleitten aikaansaamiseksi. [8, 33.]

Tämän ryhmän terästen tärkein ominaisuus on suuri kimmoinen muodonmuutos ja hyvä väsymislujuus. Halvimmat laadut saatetaan voimakkaalla kylmämuokkauksella jousimaiseen tilaan, mutta pääosa **jousiteräksistä** karkaistaan. Tasainen ainespaksuus on ihanteellista karkaisun onnistumiseksi ja seostamalla piillä

runsaat puoli prosenttia hiiltä sisältävä teräs, saadaan hyvät jousiominaisuudet omaava karkaistava teräs. Vaativiin tarkoituksiin seostetaan jousiteräs kromilla ja vanadiinilla. [8, 33.]

Nuorrutettaessa karkaistaan kappale martensiittiseksi rakenteeltaan ja päästetään sen jälkeen sellaisessa lämpötilassa, että martensiittinen rakenne säilyy muuttuen päästömartensiittiseksi. Materiaalin on siis oltava karkenevaa voidakseen muuttua martensiitiksi karkaisukäsittelyssä. Ohuilla ainespaksuuksilla riittävä hiilipitoisuus tuottaa martensiittisen rakenteen kappaleeseen, mutta ainespaksuuden kasvaessa on käytettävä seostusta, jotta päästäisiin tähän. Näin ollen **nuorrutusteräksissä** on sekä hiili- että seostettuja laatuja. [8, 33–34.]

Hiiletysterästen-ryhmän teräksillä on matalahiilinen ferriittinen teräs, jonka pintakerros saatetaan karkenevaksi lisäämällä sen hiilipitoisuutta riittävästi. Tämä tapahtuu sopivan runsashiilisen väliaineen avulla siten, että hiiltä absorboituu puhtaasti kappaleen pintaan ja siitä diffundoituu edelleen syvemmälle olosuhteitten ollessa tähän soveliaat. Kun näin käsitelty kappale karkaistaan, saadaan hiiletettyyn pintaan martensiittinen rakenne. Pelkästään hiilettämällä käsitellyn kappaleen pintakerros saadaan martensiitiksi vain ohuilla ainespaksuuksilla. Paksumpien kappaleitten niukkahiilisessä lähtöaineessa on oltava karkenevuutta parantavia seosaineita sitä enemmän, mitä paksummasta kappaleesta on kysymys. Vain tällaisen aineen pintakerros muuttuu martensiitiksi hiiletyskäsittelyn jälkeisessä karkaisussa. [8, 34.]

Kylmävalssatut ohutlevyteräkset valssataan useimmiten tiiviistämättömästä ja niukkahiilisestä teräksestä. Näitä on muutamia eri lujuuksia standardissa ja siinä määritellään kullekin valmiille tuotteelle laatuvaatimukset. [8, 34.]

Ohutlevyjä koskevien vaatimusten lisäksi **kuumasinkittyjen ohutlevyteräksien**-ryhmän materiaaleilla on pinnoitetta koskevia määräyksiä standardissa. Monet näistä ohjeista koskevat ko. levyjen käyttöä opastavia seikkoja. [8, 34.]

2.6.2 SSAB Multisteel

SSAB Multisteel on monipuolinen rakenneteräs, joka täyttää useiden eurooppalaisten ja amerikkalaisten rakenne-, laivanrakennus- ja paineastiaterässtandardien vaatimukset. Tämä joustavuus tavallisiin teräksiin verrattuna auttaa pienentämään varastoja teräslajivalikoimasta tinkimättä eli toimitusten tai oman tuotannon kärsimättä. [9.]

2.6.3 SSAB Domex 500ML

SSAB Domex 500ML -rakenneterästä on helppo hitsata, taivuttaa ja käsitellä niin konepajalla kuin työmaallakin. Sen suuren lujuuden ja hyvän särmättävyyden ansiosta teräsrakenteet voidaan valmistaa ohuemmista levyistä ja hitsiliitoksia tarvitaan vähemmän. Tämä erikoisluja, termomekaanisesti valssattu (M) alhaisen lämpötilan (L) sitkeä rakenneteräs tekee teräsrakenteista ympäristötietoisia, kestäviä ja tyylikkäitä. SSAB Domex® 500ML -teräkselle ei ole mitään rakenneterässtandardia. [9.]

2.6.4 Strenx 700 MC Plus

Strenx 700MC Plus on erikoisluja rakenneteräs, joka kehittyneen kylmämuovattavuutensa ja iskusitkeytensä ansiosta sopii erittäin vaativiin käyttökohteisiin. Strenx 700MC Plus vastaa EN 10149-2 -standardissa S700MC-teräkselle asetettuja vaatimuksia tai ylittää ne. Sitä käytetään tyypillisesti erittäin vaativissa käyttökohteissa, jotka edellyttävät teräkseltä erinomaista taivutettavuutta, korkeaa iskusitkeyttä kylmissä olosuhteissa ja hyvää mekaanista leikattavuutta. [9.]

2.6.5 Hardox 400

Hardox 400 on monikäyttöinen kulutusteräs, jonka kovuus on 400 HBW ja jossa yhdistyvät erinomainen sitkeys, hyvä taivutettavuus ja hyvä hitsattavuus.

Hardox 400 on yleiskäyttöön soveltuva kulutusteräs. Erinomaisen sitkeytensä, hyvän taivutettavuutensa ja hitsattavuutensa ansiosta tätä terästä voidaan käyttää kohtuulliselle kulumiselle altistuvissa rakenteissa. [9.]

2.6.6 SFS-EN 10020

SFS-EN 10020 standardi sisältää terästen määritelmät ja luokittelun. Ensimmäisessä määritelmässä teräs luokitellaan kemiallisen koostumuksen mukaan, jolloin seosaineille annetaan raja-arvot taulukon muodossa. Toisessa määritelmässä teräs luokitellaan ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen mukaan. Näissä jaotteluna on : perusteräokset, laatuteräokset ja erikoisteräokset. Näiden terästen käyttöominaisuuksille annetaan raja-arvot taulukon muodossa. [8, 35.]

2.6.7 SFS-EN 10149-2

SFS-EN 10149-2 eurooppalainen standardi yhdessä standardin EN 10149-1 kanssa määrittelee hitsattavien kuumavalssattujen lujien kylmämuovattavien terästen vaatimukset levytuotteille. Teräslajit esitetään taulukossa 1. kemiallisen koostumuksen mukaisesti ja taulukossa 2. mekaanisten ominaisuuksien mukaisesti. Ne toimitetaan termomekaanisesti valssattuna kohdan 7.2 mukaisesti. Tämä eurooppalainen standardi on voimassa kuumavalssatuille levytuotteille paksuusalueella

—1,5...20 mm, kun myötörajan vähimmäisvaatimus on 315...460 MPa

—1,5...16 mm, kun myötörajan vähimmäisvaatimus on 500...700 MPa

—2...10 mm, kun myötörajan vähimmäisvaatimus on 900...960 MPa. [10.]

3 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä ymmärrettäväksi plasmaleikkauslaitteiston koneparametrit ja niiden vaikutus polttoleikattuihin osiin. Työ suoritetaan muuttamalla koneparametrejä ja tekemällä testileikkaukset tämän jälkeen. Muutokset todetaan mittaamalla astemittalaitteella (kuva 3), digitaalisella työntömitalla (kuva 4) ja osittain myös silmämääräisellä havainnoinnilla koneen leikatessa kappaletta.



Kuva 3. Astemittalaite



Kuva 4. Digitaalinen työntömittalaite

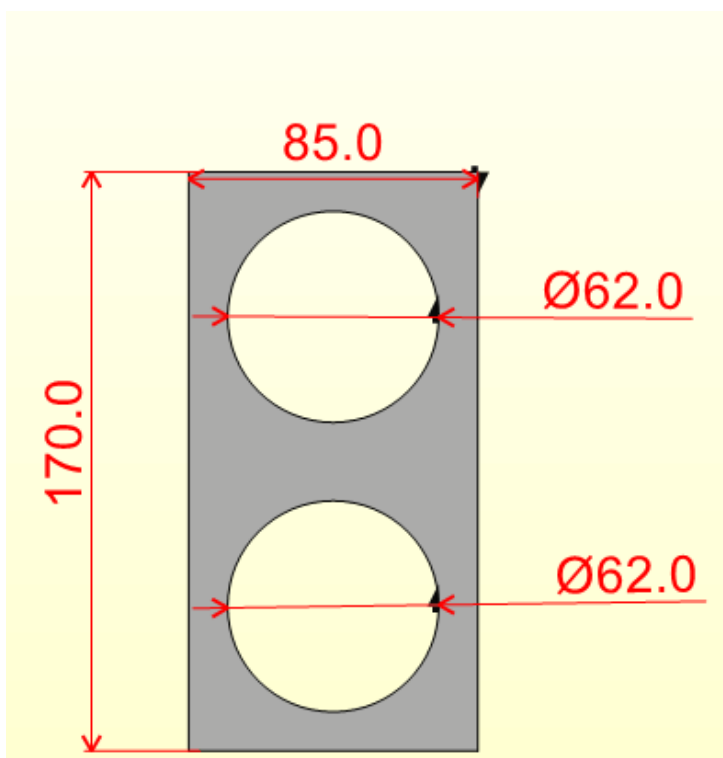
4 Tutkimuksen toteuttaminen

Koneparametrien säätäminen aloitettiin perehtymällä plasmaleikkauslaitteiston, sekä sen ohjekirjassa annettuihin leikkausparametreihin ja polttoleikattuihin tuotannon kappaleisiin. Näissä havaittiin 12 mm paksuudessa tuotantoa häiritseviä ja toleranssiarvot ylittäviä aloitusnystyröitä (kuva 5).



Kuva 5. Aloitusnystyrä

Seuraava vaihe oli piirtää testikappale ja tehdä cnc-ohjelma Nestix ohjelmistolla plasmaleikkauslaitteistolle. Testikappaleeksi (kuva 6) tuli 170,0 mm x 85,0 mm suorakaide, jossa oli kaksi 62,0 mm halkaisijaltaan olevaa reikää ja kappaleen paksuus 12 mm. Reiät kappaleeseen tehtiin siksi, että samalla kappaleella voitiin todeta säätöarvojen muutokset sekä sisä- että ulkopinnan leikkausjäljessä.

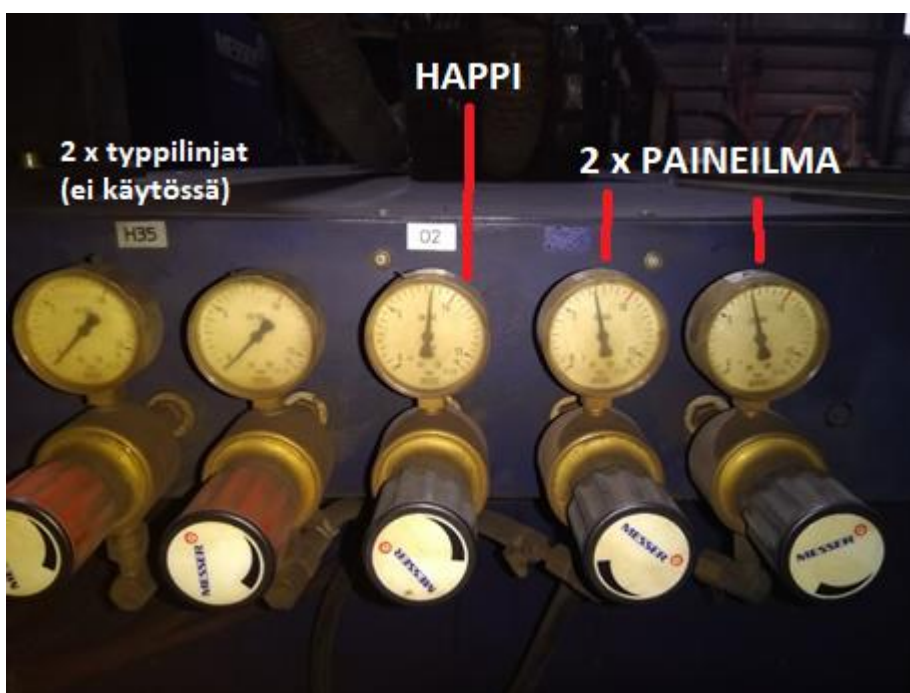


Kuva 6. Testikappale

Kokeet suoritettiin Messer Multitherm 4000 260A -plasmaleikkauskoneella, ja testiteräksenä oli 12 mm paksu Strenx 700 MC Plus. Ulkoiset muuttajat suljettiin pois ennen aloitusta. Plasmaleikkauskoneen poltinpään kulutusosat vaihdettiin käyttämättömiin (kuva 7). Vaihdettaviin kulutusosiin kuuluu suutin, elektrodi, pyörrengas ja suojakilpi. Samalla tarkistettiin myös plasmaleikkauskoneelle tulevan paineilman ja hapen linjapaineet (kuva 8) ja lukemat tallennettiin.



Kuva 7. Polttimen kulutusosat



Kuva 8. Hapen linjapaine oli aloitettaessa 8.4 Baria ja paineilman 7.4 Baria

Ensimmäisenä testikappaleita leikattiin kaksi kappaletta plasmaleikkaukseen alkuperäisillä parametreillä. Kappaleet merkittiin selkeästi ja kuvattiin digikameralla. Mittaukset suoritettiin digitaalisella työntömittalaitteella ja mekaanisella astemittalaitteella. Nämä mittalaitteet ovat riittävän tarkkoja mittaamaan plasmaleikattujen osien heittoja niin, että ne ovat SFS-EN ISO 9013 standardin sallimissa raja-arvoissa.

Raja-arvot 12 mm paksuiselle teräkselle plasmaleikkauksessa löytyvät SFS-EN ISO 9013 standardin toleranssiluokasta 2. Nimellismittoja koskevat sallitut eromitat ovat mitalle 170 mm \pm 1,9 mm, mitalle 85 mm \pm 1,8 mm ja mitalle 62 mm \pm 1,8 mm. Kohtisuoruustoleranssia 12 mm paksuiselle teräkselle ei suoraan ole, mutta 10 mm paksuudesta 15 mm paksuuteen asti olevan taulukkoarvon mukaan se on 4 astetta.

Leikkausparametrien muutoksien perustana oli tuotannon kappaleissa olleet aloitusnystyrät. Päättelemällä mistä tämä voisi johtua, saatiin ohjenuora, sille mitä parametrejä on ruvettava muuttamaan aloitusnystyröiden poistamiseksi.

Seuraavaksi koneen parametrejä muutettiin alkuperäisistä arvoista hieman (kuva 9) ja leikattiin testikappaleet uudelleen. Kappaleet merkittiin, kuvattiin ja todennettiin vaikutukset mittaamalla.

Kokeita suoritettiin useilla eri parametreillä. Leikatut kappaleet merkittiin, kuvattiin ja mitattiin jokaisen parametri muutoksen jälkeen.



Kuva 9. Koneparametrien säätötaulukko

Leikkauspaineet tarkastettiin testikappaleiden leikkauksien jälkeen ja muutoksia paineissa ei ollut tapahtunut. Polttimen kulutusosat myös tarkastettiin testien jälkeen ja ne olivat erittäin hyväkuntoiset.

5 Tulokset ja niiden tulkinta

Testikappaleita poltettiin kuusilla eri leikkausparametreillä. Testit suoritettiin peräkkäin, jotta muuttuvien tekijöiden vaikutus olisi mahdollisimman pieni. Alapuolella olevasta taulukosta näkyy kokeillut säätöparametriarvot (taulukko 1).

Taulukko 1. Säätöparametrit

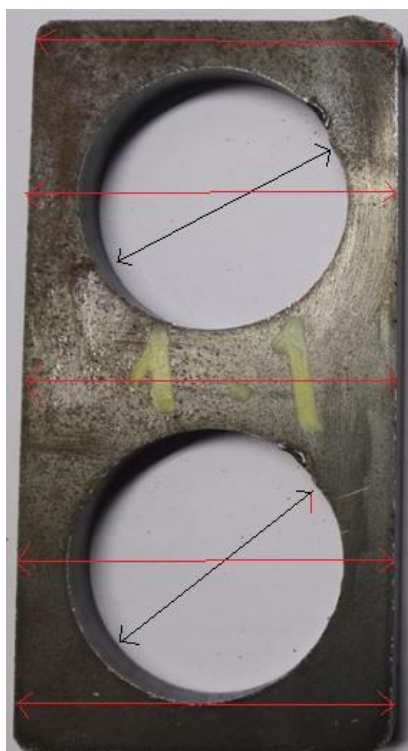
	Alkuperäiset arvot	Testi 1	Testi 2	Testi 3	Testi 4	Testi 5	Testi 6
Kaarijännitteen mittausviive(s)	0.4	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	1.5
Autom. korkeudensäädön viive(s)	0.5	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	1.5
Ryömintäaika(s)	0.0	0.5	1.0	1.0	1.2	1.7	1.4
Ryömintänopeuden kerroin	100	80	60	60	40	30	20

Kaarijännitteen mittausviive ja automaattisen korkeudensäädön viive vaikuttaa suoraan sekunteina siihen, milloin kone aloittaa käyttämään automaattista poltinpään korkeuden seuranta aloituspuhkaisun jälkeen.

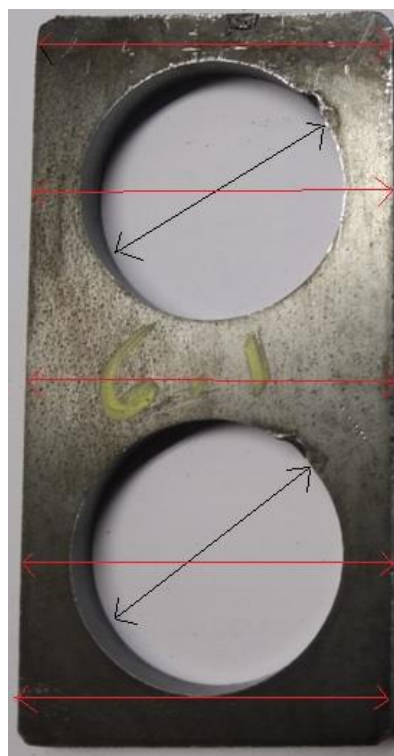
Ryömintäaika merkitsee aikaa sekunteina, milloin kone leikkaa ryömintänopeuskertoimen mukaista nopeutta ennen paluuta täyteen leikkausnopeuteen.

Ryömintänopeuden kerroin on prosenttilukuarvo alkuperäisestä leikkausnopeudesta. Eli esimerkiksi 200 A leikkauspäällä 12 mm teräksen leikkuussa kerroin 60 lasketaan $0,6 \times 3049 \text{ mm/min} = 1829 \text{ mm/min}$ ($3049 \text{ mm/min} = 100 \% \text{ leikkausnopeus}$). Leikkausnopeus on tällöin ryömintäajan aikana 1829 mm/min.

Taulukossa 2 näkyy kappaleiden mitatut suureet koneparametrien muuttamisen jälkeen. Kuvassa 10 lähtökohta eli testi numero 1 ja kuvassa 11 testi numero 6, jonka leikkausparametrejä päädyttiin käyttämään tuotannossa.



Kuva 10. Testi 1



Kuva 11. Testi 6

Taulukko 2. Testikappaleiden mitatut suureet

Kappaleen mitat: 85,0 mm x 170,0 mm, reikä 62,0 mm	Reiän halkaisi- jan minimi mitta mm	Reiän halkaisi- jan mak- simi mitta. mm	Reiän kulma asteina kap- paleen vaa- kapintaan nähdän	Kappa- leen le- veys aloi- tuspis- teen koh- dalta mm	Kap- pa- leen- leveys mak- simi mm	Ulkolaidan leikkauspinta asteina kap- paleen vaa- kapintaan nähdän
Testi 1	60,14	61,57	93	86,16	85,45	92
Testi 2	60,8	61,72	91	85,98	85,15	92
Testi 3	61,49	61,89	91	85,72	84,99	92
Testi 4	61,41	61,63	92	85,25	84,97	91
Testi 5	61,57	61,75	92	85,39	84,94	91
Testi 6	61,67	61,9	91	85,01	85,05	91

Reiän minimimitan mittaus suoritettiin molemmista rei'istä kolmesta eri kohdasta aloituspisteen kohdalta ja sen välittömästä läheisyydestä. Reiän halkaisijan maksimimittaa varten mittaus suoritettiin molemmista rei'istä kummankin reiän kolmesta eri kohdasta. Kappaleen leveyden minimimitan mittaus suoritettiin kolmesta eri kohdasta aloituspisteen kohdalta/välittömästä läheisyydestä. Kappaleen leveyden maksimimitan mittaus suoritettiin neljästä eri kohdasta. Kaksi mitausta suoritettiin kohtisuoraan reikien päältä. Kolmas mittaus kappaleen ehyeltä osalta reikien välistä ja neljäs mittaus kappaleen aloituspisteen vastaisesta päästä noin 15 mm etäisyydeltä kappaleen reunasta. Reiän ja kappaleen polttoleikatun ulkopinnan astemittaus suoritettiin kuvan 12 osoittamalla tavalla.

**Kuva 12. Astemittauksen suorittaminen**

5.1 Tarkastelu

Kuten taulukosta 2 näkyy, koneparametrejä muuttamalla saatiin pienennettyä kappaleeseen jäävää aloituskohdan nystyrää. Miksi parametrien säätöä ei sitten jatkettu lisää, että olisi päästy täydelliseen kappalegeometriaan? Visuaalisessa tarkastelussa huomattiin selvästi, että testin 5 ryömintänopeuden ajan ja kertoimen lisääminen rupesi tekemään sisäreiästä hieman ovaalin muotoisen. Tämä johtui nopeasta kiihdytyksestä ryömintänopeudesta täyteen leikkausnopeuteen. Plasmakaari ei pysy polttoleikkuslaitteiston kiihtyvyyden mukana. Havaittiin myös, että aloituskohtaan jäävän polttoleikkaus kuonan määrä lisääntyi ja se tarttui kiinni niin tiukasti, että tarvittiin jo koneellista hiomista. Alkuperäinen ongelma kappaleen jälkikäsitteilyn hitaudesta ei olisi poistunut, vaan siirtynyt uuteen kohtaan.

Mittausten ja visuaalisen tarkastelun lopputuloksena päädyttiin käyttämään testin 6 arvoja päivittäisessä polttoleikkaus prosessissa. Vaikkei nämä mittauksissa saadut tulokset ole vielä kappaleelle annettuja todellisia mittoja, ovat ne jo selkeästi SFS-EN ISO 9013 standardin mukaisia.

Testauksissa opittiin, että parametrien säädössä on käytettävä tiettyä logiikkaa. Ryömintänopeuden aika-arvo ei saa olla suurempi kuin kaarijännitteen mittausviive tai automaattisen korkeudensäädön viive. Jos ryömintänopeuden aika-arvo asetetaan kuitenkin suuremmaksi kuin kaarijännitteen mittausviive tai automaattisen korkeudensäädön viive, polttoleikkuslaitteiston automaattinen korkeuden seuranta ei toimi ja poltin kulkee liian korkealla leikattavaan materiaaliin nähden.

Jos polttokoneen parametreissa olisi mahdollisuus säätää ryömintäajan jälkeistä kiihtyvyyttä ennen täyden leikkausnopeuden saavuttamista, saataisiin aloitusnystyrä ongelmaa poistettua vieläkin tehokkaammin. Koneella, jolla testit ajettiin tällaista mahdollisuutta ei kuitenkaan ollut.

Kaiken kaikkiaan ongelman ratkaisu onnistui hyvin ja suunnitellusti. Saatu tieto on tuotannon käytössä päivittäin. Tällä samalla pariaatteella on helppo tarkastella tarvittaessa muidenkin levylaatujen ja paksuuksien aloituskohdan ongelmia.

5.2 Tutkimuksen luotettavuus

Virheiden mahdollisuus tutkimuksessa pyrittiin minimoimaan kaikin keinoin. Testileikkaukset suoritettiin uusilla polttimen kulutusosilla, paineilman ja hapen paineet olivat vakiot testin ajan. Leikkaukset suoritettiin peräkkäin siten, että kone pysäytettiin vain parametrien säätämisen ajaksi.

Virhemahdollisuus tulee mittalaitteiden käytöstä ja niiden tarkkuudesta. Työntömitalla mittausepävarmuus on 0,1 mm. Mittaukset suoritti sama henkilö, mittalaitteet pysyivät samoina ja mittaukset suoritettiin samalla tavoin joka kappaleelle. Pitäisin tutkimustulosta kaikin puolin luotettavana.

Lähteet

1. Kesla Oyj. 2020. 60-luvulta tähän päivään. <https://www.kesla.fi/fi/yritys/kesla-60-luvulta-nykypaevaeaan/16.4.2020>. 16.4.2020.
2. Kesla Oyj. 2020. <https://www.kesla.fi/>. 16.4.2020.
3. Työturvallisuuskeskus. 2019. KAMAT tietokortti. https://ttk.fi/files/6495/Terminen_leikkaus_1.5_01112018.pdf. 12.1.2020.
4. BE Group Oy Ab. 2020. Palvelut, Terminen leikkaus. <https://www.begroup.fi/palvelut/terminen-leikkaus/>. 13.2.2020.
5. SFS-EN ISO 9013. 2017. Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu. Geometrinen tuotemäärittely ja laatutoleranssit. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
6. IONIX OY. 2020. Plasmaleikkaus. <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/plasmatyosto/plasmaleikkaus/>. 13.2.2020.
7. Lepola, P. & Makkonen, M. 2006. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.
8. Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2007. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto.
9. SSAB. 2020. Brändit ja tuotteet. <https://www.ssab.fi/tuotteet>. 4.3.2020.
10. SFS-EN ISO 10149-2. 2014 Kuumavalssatut lujat kylmämuovattavat teräslevytuotteet. Osa 2: Termomekaanisesti valssattujen terästen tekniset toimitusehdot. Suomen Standardisoimisliitto SFS.