



CNC Leikkausparametrit

Plasmaleikkaus

Teemu Jokela

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Ylempi AMK-tutkinto
Automaatioteknologia

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu, Ylempi AMK-tutkinto
Automaatioteknologia

TEEMU JOKELA:
CNC leikkausparametrit
Plasmaleikkaus

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Joulukuu 2013

Opinnäytetyöni liittyy omaan harrastepohjalta rakennettuun cnc plasmaleikkuriin. Innoituksen työn aloittamiseen sain kiinnostuksesta mekatronisiin laitteisiin, sekä tarpeesta saada geometrisesti monimuotoisia metalliosia harrastetoimintaan helposti ja edullisesti. Laitteistolla oli leikattu muutamia koepaloja ennen tämän opinnäytetyön aloittamista. Seuraavaksi oli tarve luoda tietokanta leikkaukseen liittyvistä parametreista ja päätin ottaa sen opinnäyteaiheekseni.

Kirjallisuusosuuden alussa on lyhyesti kerrottu mikä on tietokanta ja mihin sitä tarvitaan. Sen jälkeen paneudutaan plasmaleikkaukseen: plasmaleikkaus prosessi teoriassa ja millaisia laitteita kuuluu plasmaleikkuriin. Leikkaukseen tutustumisen jälkeen siirrytään tietokannan luomiseen ja lopuksi arvioidaan tutkimustuloksia.

Asiasanat: plasmaleikkaus, tietokanta

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences, Master's Degree
Degree Programme in Automation Technology

TEEMU JOKELA
CNC cutting parameters
Plasma cutting

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 1 pages
December 2013

This engineering thesis is related to my own designed and build CNC plasma cutting system. Inspiration to start this projekt was my interest about mechatronic system and needs to get geometrically complex metal parts economically and easily. Before start of this thesis I was allready made some cutting tests. The next step to do was creating a database, so I decided to take this to subject off my thesis.

Begining of theory is told about database, what is it and why we need it especially in automation solution. After that we take a look about plasma cutting: Theory of plasma, plasma in metal cutting solution and device needed it cutting operation. Finally continuing to database section and over wieving the test result.

SISÄLLYS

<u>1</u>	<u>JOHDANTO.....</u>	<u>6</u>
<u>2</u>	<u>PLASMALEIKKAUSTIETOKANTA.....</u>	<u>8</u>
<u>3</u>	<u>PLASMALEIKKAUS</u>	<u>9</u>
	3.1.Laser, plasma ja vesileikkaus.....	9
	3.2.Historia.....	10
	3.3.Mitä on plasma?.....	11
	3.4.Mitä on plasmaleikkaus?.....	12
	3.5.Toimintaperiaate.....	13
	3.5.1Leikkauksessa käytettävät kaasut.....	14
	3.5.2Virtalähde.....	15
	3.5.3Polttimet.....	16
<u>4</u>	<u>TIETOKANNAN LUOMINEN.....</u>	<u>20</u>
	4.1.Tutkimussuunnitelma.....	20
<u>5</u>	<u>TULOKSET JA ANALYSOINTI</u>	<u>21</u>
	5.1.Tutkimuksen toteutus	21
	5.2.Tietokantaan tallennettavien muuttujien asetteluarvot.....	21
	5.2.1Suuttimen koko.....	21
	5.3.Kaasu ja kaasun paine.....	22
	5.3.1Leikkausvirta (A).....	22
	5.3.2Polttimen korkeus leikattavasta kappaleesta.....	22
	5.3.3Materiaali	23
	5.3.4Materiaalivahvuus.....	25
	5.3.5Liikenopeus.....	25
	5.4.Piercing aika ja -korkeus.....	26
	5.5.Tool offset	26
	5.6.Leikkausprosessin vaiheet	27
	5.7.Leikkauslaatu.....	28
<u>6</u>	<u>TULOKSET JA ANALYSOINTI.....</u>	<u>30</u>
	6.1.Tutkimuksen toteutus.....	30
	6.2.Havainnot.....	31
	6.2.1Materiaalit.....	31
	6.3.Asetukset.....	32
	6.4.Päätelmä.....	34
	<u>LÄHTEET.....</u>	<u>36</u>
	<u>LIITE 1. TAULUKKO LEIKKAUSPARAMETREISTA.....</u>	<u>37</u>

LYHENTEET JA TERMIT

CNC	Computeried numeriactal control
THC	Torch high control
PWM	Pulse wide modulation
Piercing	Aloitusreiän polttaminen
Lead-in	Poltin ohjataan kappaleen geometriaan
Cutting	Poltin liikkuu kappaleen geometrialla
Lead-out	Poltin ohjataan pois kappaleen geometrialta
Tool-offset	Leikkausrailon leveyden kompensointiarvo
Parametri	Muuttajan asetusarvo, tietokantaan tallennettuna parametri.
Koordinaattipöytä	CNC ohjattu mekaniikka, jossa liikesuuntana vähintään x ja y
Leikkausmuuttuja	Leikkausprosessiin vaikuttava tekijä, esimerkiksi materiaali
elektrodi	Polttimen osa, joka toimii johteena plasmakaareen
Cam-ohjelmisto	Ohjelmisto, joka kääntää CAD kuvan esim. DXF-tiedoston G-koodiksi eli ohjaustietokoneen ymmärtämään muotoon.
Cad- ohjelmisto	Piirustusohjelmisto, jolla mallinnetaan leikattavan kappaleen geometria.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö liittyy omaan harrasteprojektiin eli cnc ohjattuun plasmaleikkuriin. Metallitöitä harrastaessa syntyy usein tarve saada mittatarkkoja ja geometrisesti monimuotoisia levytuotteita. Harrastetoiminnassa tällaisia kappaleita tarvitaan usein vain yksi tai kaksi. Yhden tai kahden kappaleen teettäminen mittatilaustyönä laserleikkuulla metallipajassa tulee harrastelijalle melko kalliiksi. Tästä syystä aloin etsimään edullisempaa vaihtoehtoa laserleikkaamiselle ja mahdollisuutta leikata tarvitsemani kappaleet itse. Työskennellessäni useita vuosia laserlevytyökeskuksia valmistavassa yrityksessä huomasin, että pienemmillä metallipajoilla ei ole mahdollisuutta investoida kyseistä laitteistoa. Kiinnostusta ja tarvetta edullisemmalle vaihtoehdolle varmasti olisi. Plasmaleikkauslaitteiden kohtuullisen edullinen hinta ja laitteiston helppohko liittäminen kordinaattipöytään saivat minut aloittamaan projektin. Projektin aikana muutamat yritykset olivat kiinnostuneita leikkuristani ja kertoivat, että heilläkin olisi tarvetta leikkauslaitteistolle. Eräs yritys kertoi valmistavansa suorakaiteen muotoisia osia mekaanisella leikkurilla, jolloin levystä menee noin 30% hukkaan. Plasmaleikkurilla he arvioivat pystyvänsä hyödyntämään 95% levystä.

Tavoitteenani on pyrkiä mahdollisimman tasalaatuiseen ja siistiin leikkausjälkeen taloudellisesti. Leikkausjälkeen vaikuttavia muuttujia on useita. Muuttujalla tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi leikkauskaasun painetta, leikkausvirtaa, polttimeen korkeutta jne. Kaikkien näiden muuttujien yhteensovittaminen oikeassa suhteessa tuottaa parhaan leikkauslaadun. Opinnäytetyössä on tarkoituksena luoda kattava tietokanta plasmaleikkausparametreistä. Plasmaleikkausparametrilla tarkoitetaan muuttujien sopivaa asetteluarvoa parasta leikkauslaatua ajatellen. Oikeiden parametrien avulla eri materiaalien ja materiaalivahvuuksien leikkaaminen on helppoa, taloudellista ja tasalaatuista. Tietokannalla pyritään helpottamaan plasmaleikkauslaitteiston käyttäjää saamaan tasalaatuista jälkeä, riippumatta materiaalista tai sen vahvuudesta. Tietokanta toimii kuin muistivihko, kertoen millaisilla asetuksilla on saatu paras lopputulos.

Opinnäytetyö alkaa plasmaleikkauksen teoriaosuudella, jossa kerrotaan lyhyesti plasmaleikkauksen historiasta ja siitä, mitä plasmaleikkauksella tarkoitetaan. Tämän jälkeen tutustutaan plasmaleikkauksessa tarvittaviin laitteisiin ja plasmaleikkaustekniikkaan. Teoriaosuuden aikana käydään läpi leikkaukseen

vaikuttavia muuttujia ja pyritään ymmärtämään niiden vaikutus leikkaustapahtumaan. Teoriaosuutta hyväksikäyttäen siirrytään tutkimusvaiheeseen. Tutkimus aloitetaan suunnittelulla, jonka jälkeen se toteutetaan ja lopuksi tehdään päätelmä. Päätelmän tuloksena muodostuu tämän opinnäytetyön kannalta oleellisin tuotos eli plasmaeikkaustietokanta.

2 PLASMALEIKKAUSTIETOKANTA

Tähän tietokantaan kirjataan kaikki tunnetut muuttujat ja niiden asetteluarvot eri tilanteissa, jotka vaikuttavat plasmaleikkausprosessin kulkuun. Tässä tapauksessa muuttujat ovat suuttimen koko, leikkauskaasun paine, leikkauksessa käytettävä virta, polttimen etäisyys kappaleesta, leikattava materiaali, materiaalin vahvuus, liikenopeus, piercing korkeus, piercing aika ja tool-offset. Laitteissa, joissa ei ole lainkaan automatiikkaa, vaan käyttäjä tekee manuaalisesti kaikki tarvittavat asetelut, tällainen tietokanta olisi vain paperilla oleva muistio. Esimerkkinä manuaallinen sorvi, jossa käyttäjä tekee kaikki asetelut itse.

Tämän työn lopputulemana syntyvään tietokantaan tallennetaan aiemmin lueteltujen muuttujien asetteluarvot. Näillä arvoilla on merkittävä yhteys toisiinsa, mikä tarkoittaa sitä, että jos yhtä arvoa muutetaan, joudutaan todennäköisesti muuttamaan myös muita arvoja.

Plasmaleikkausprosessi vaatii automatisointia, jotta saavutettaisiin paras mahdollinen leikkauslaatu. Muuttujien asetteluarvoja joudutaan jatkuvasti muuttamaan, joten käyttäjä ei yksinkertaisesti ehtisi säätämään kaikkia asetuksia manuaalisesti kohdalleen ilman, että työkappaleen jokin kulma ehtisi sulaa pilalle. Automatisoidussa järjestelmässä tietokantaa voidaan hyödyntää paremmin ja se pääsee oikeuksiinsa, kun säätöihin voidaan vaikuttaa automatisoidusti ohjausjärjestelmästä. Työstökoneen eri laiteiden välinen integraatiotaso määrää, kuinka moni parametrisäädöistä voidaan toteuttaa automatisoidusti.

3 PLASMALEIKKAUS

3.1. Laser, plasma ja vesileikkaus

Leikkaustavaksi voidaan valita joko laser-, plasma- tai vesileikkaus, koska vaihtaminen leikkaustavasta toiseen ei aiheuta merkittäviä muutoksia koneen muussa rakenteessa. Kyseiseen projektiin valitsin taloudellisista syistä johtuen leikkaustavaksi plasmaleikkauksen. Plasmaleikkuri integroidaan cnc- ohjattavan laitteiston mekaniikkaan ja automaatioon.

Käytettyjen leikkauslaitteistojen hankintahinnoissa on merkittäviä eroja. Taloudellisista syistä johtuen tutkin käytettyjen leikkauslaitteistojen hintoja. Vesileikkauspumppujen hinnat käytettyinä ovat 80 000 €:sta ylöspäin. Laserlähteistä ei sopivia käytettyjä juuri löytynyt, mutta hintatasoa kuvaa esimerkiksi IPG Photonics 200w kuitulaser josta (<http://www.laserresale.com> pyytää) 29 000 €. Yleensä teollisuudessa käytetään 1mm – 8mm levy vahvuuksilla noin 2500 – 3000 W laserlähteitä, joten 200w kuitulaaserilla ei käytännössä tee mitään tässä käyttötarkoituksessa. Plasmalähteitä löytyy käytettynä, mutta uutenakin laitteisto maksaa vain 3 000 € (<http://www.harrisweldingsupplies.com>). 3 000 euron leikkureissa on CNC kommunikointi mahdollisuus eli plasmaleikkauslaitteisto pystyy jakamaan tietoa omasta tilastaan ohjain PC:lle. Ylläpitokustannukset laserilla vaihtelevat riippuen lasertyypistä. Kuitulaserissa ylläpitokustannuksia on vähemmän kuin esimerkiksi hiidioksidilaserissa. Kaasut, kulmapeilit ja muu laserleikkaukseen tarvittava optiikka tuo omat lisäkustannuksensa verrattuna plasmaleikkaukseen. Vesileikkauksen ylläpitokustannukset ovat verrattavissa laserleikkauksen kustannuksiin. Näillä perusteilla voidaan todeta plasmaleikkauksen olevan taloudellisesti kannattava vaihtoehto laser- ja vesileikkaukselle.

TAULUKKO 1. Leikkauslaitteistojen vertailu

	Plasmaleikkaus	Laserleikkaus	Vesileikkaus
Leikkausrailo	0,8- 3,0 mm	0,1- 0,2 mm	0,1- 0,8 mm
Leikkaustarkkuus	0,1- 0,2 mm	0,01- 0,05 mm	0,05- 0,15 mm
Leikkauskyky maks.	150 mm	20- 25 mm	
Hinta	n. 3 000 e	< 29 000 e (200w)	< 80 000 e
Muuta		Nopeampi kuin vesi- tai plasmaleikkaus	

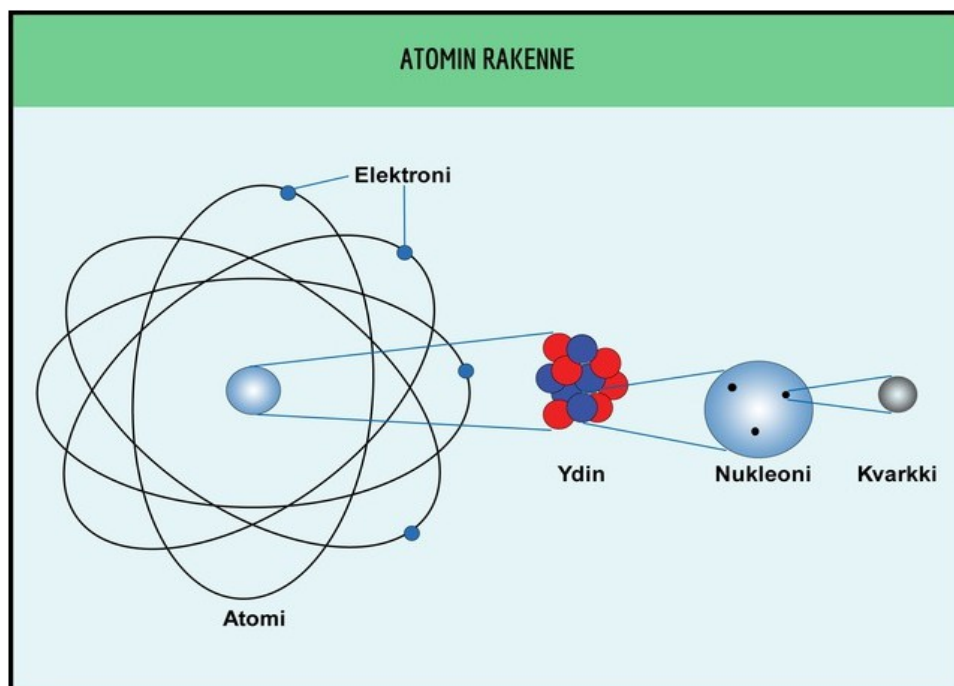
3.2. Historia

Nikola Tesla oli sähkötekniikan tutkija (10. 7. 1856-7. 1. 1943). Hänet on palkittu muun muassa vaihtovirran keksijänä. Hän oli kiinnostunut myös plasmasta ja tutki sitä omassa laboratoriossaan. Tesla oli kiinnostunut plasman sähkönjohtavuusominaisuuksista. Tutkimuksissaan hän havaitsi että plasma pystyi johtamaan sähköä ilman mittauksissa havaittavaa vastusta. (Lähde: Plasma Cutting Handbook, 2011)

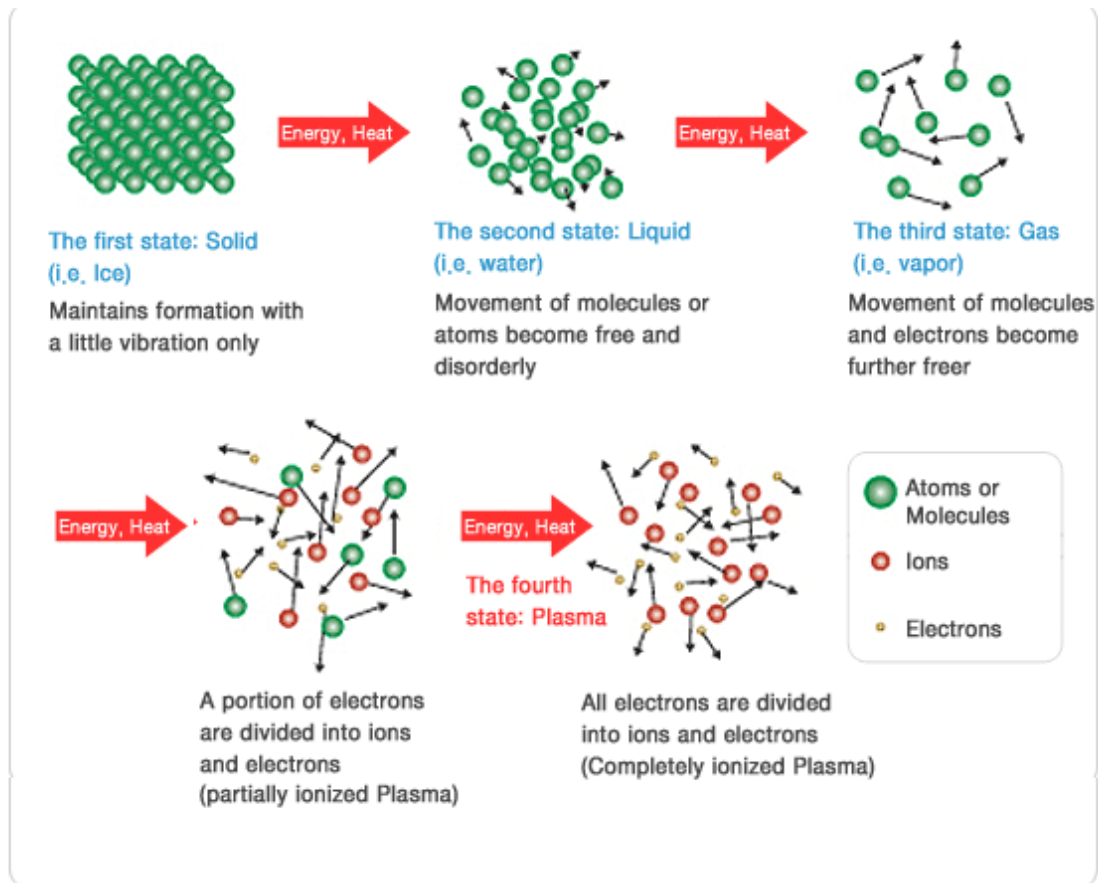
Union Carbiden suunnittelija Bob Gage keksi plasmaleikkauksen 1950- luvun puolessa välissä. Union Carbide kehitteli TIG hitsausmenetelmää, joka toimisi hyvin ruostumattomille teräksille ja alumiinille. Gage kohdisti hitsauskaaren suuttimen avulla ja lisäsi kaasun virtausta, jolloin syntyneen plasmakaaren lämpö riitti sulattamaan teräksen läpi. Hän haki patenttia plasmahitsaukselle ja sai sen vuonna 1957. Plasmaleikkausta käytettiin aluksi ruostumattomien terästen leikkaamiseen. Tuohon aikaan ruostumatonta terästä käytettiin vähän ja kysyntä plasmaleikkauslaitteille oli vähäinen. Ensimmäiset plasmaleikkauslaitteet tulivat markkinoille 1960- luvulla, jolloin laitteiden valmistajat alkoivat kehittämään plasmaleikkausmenetelmää paremmaksi. (Lähde: Plasma Cutting Handbook, 2011) Ongelmana tuolloin oli vielä suuttimien ja elektrodien nopea kuluminen. 1960-luvulla kehiteltiin monia eri variaatioita, jotta saataisiin osien kulumisen hallintaa. Kehittelyn tuloksena syntyi muun muassa 1980-luvun lopussa vedenalainen plasmaleikkaus, joka paransi huomattavasti kuluvien osien ikää, leikkauslaatua sekä nopeutta. Leikkauslaitteet ovat kehittyneet nopeasti viimeisen 10 vuoden aikana ja samalla tulleet edulliseksi vaihtoehdoksi leikata sähköä johtavia materiaaleja. CNC ohjatut leikkurit alkoivat yleistyä vasta 1990-luvulla.

3.3. Mitä on plasma?

Kolmen tutun olomuodon kiinteän, nesteen ja kaasun lisäksi aine voi olla vielä muissakin olomuodoissa. Koko maailmankaikkeudessa aineen yleisin olomuoto on plasma. Auringon ja muiden tähtien aine on plasmaa. Aurinkotuuli on myös plasmaa, joka ilmenee revontulina osuessaan maan ilmakehään. Jotta tämä aineen neljäs olomuoto voidaan ymmärtää, on hyvä muistella aineen perusosasia eli atomeita. Atomi koostuu ytimeistä, jolla on positiivinen sähkövaraus, ja sitä erilaisilla radoilla kiertävistä elektroneista, joilla on negatiivinen varaus. Ilma ja muut lähiympäristömme tutut kaasut koostuvat sähköisesti varauksettomista hiukkasista, eli ne eivät johda sähköä. Kuumassa kaasussa olevat atomit törmäilevät toisiinsa ja törmäyksen seurauksena menettävät elektroneita eli ionisoituvat. Ionisoituneen kaasun hiukkaset ovat sähköisesti varattuja, joten ne voivat kuljettaa sähkövirtaa. Tällaisessa tilassa olevaa ainetta sanotaan plasmaksi. (lähde Tiedettä kaikille, Fysiikka, Hannu Karttunen)



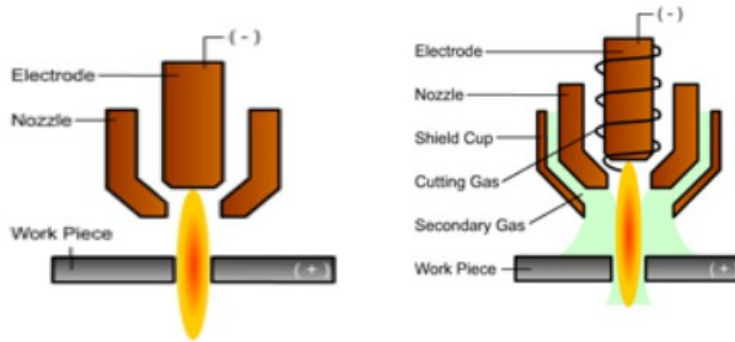
KUVA 1. Atomin rakenne (<https://peda.net/>)



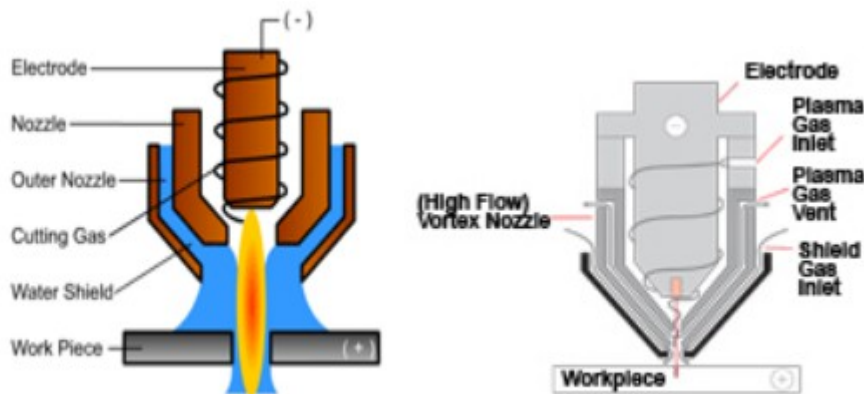
KUVA 2. Olomuotojen muutokset. (www.koreaplasma.net)

3.4. Mitä on plasmaleikkaus?

Plasmaleikkausta voidaan suorittaa joko manuaalisesti tai automatisoidusti. Manuaalisessa menetelmässä käytetään leikkauskaasuna yleensä paineilmaa. Suojakaasua tai vesisuihkua voidaan käyttää automatisoiduissa leikkuslaitteissa stabiloimaan leikkausprosessia. Plasmaleikkauksen alkuaikojen ongelmat suuttimien (nozzle) ja elektrodien (electrode) kestävyuden kanssa johtivat moniin kokeiluihin. Tuloksena näistä kokeista syntyi erilaisia poltinvariaatioita, joille on löytynyt omat käyttökohteensa. Poltinvaihtoehtoja ovat muun muassa suojakaasulla tai vesisuihkulla varustetut polttimet. Muista huomattavasti poikkeava menetelmä on vedenalainen leikkaus. Tällä menetelmällä pyrittiin parantamaan osien kestoja, mutta ratkaistiin myös muita ongelmatekijöitä. Vedenalainen leikkaus paransi käyttäjystävällisyyttä, kun melu ja metallipöly saatiin hallintaan.



KUVA 3. Yksikaasuinen poltin ja suojakaasulla varustettu poltin.
(<http://www.hypertherm.com/>)

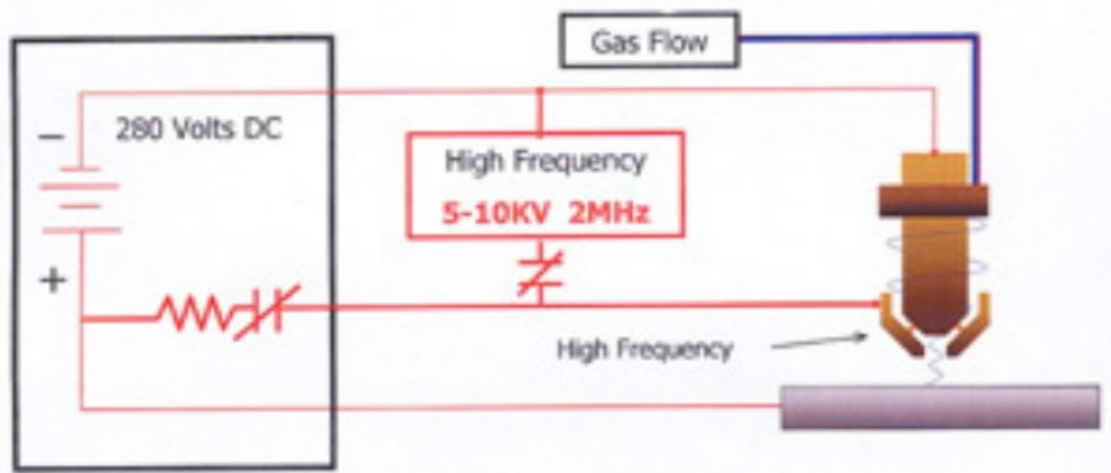


KUVA 4. Vesisuihkulla varustettu poltin sekä erikoistarkkaan leikkaamiseen suunniteltu poltin. (<http://www.hypertherm.com/>)

3.5. Toimintaperiaate

Jotta kaasuuntunut aine eli leikkauskaasu saadaan muutettua neljänteen olomuotoonsa, siihen täytyy lisätä energiaa. Tarvitaan korkeajännite ja -taajuus virittämään kaasuatomit. Kuvassa 5 on kuvattu korkeataajuuspiiri, jota käytetään plasmakaaren sytyttämiseen. Sytytysvaiheessa leikkauskaasu päästetään virtaamaan polttimen läpi ja samaan aikaan aktivoidaan korkeataajuuspiiri, joka pyrkii sytyttämään plasmakaaren suuttimen ja elektrodin välille. Korkealla jännitteellä ja -taajuudella pyritään virittämään leikkauskaasun atomit siten, että ne luovuttavat elektroneja eli aine alkaa ionisoitumaan. Kun riittävä määrä elektrodin ja suuttimen välissä olevista atomeista saadaan luovuttamaan elektroninsa, leikkauskaasu muuttuu plasmaksi eli ionisoituneeksi kaasuksi. Käynnistysvaiheessa plasmakaari palaa suuttimen ja elektrodin välillä. Kun leikattava kappale tuodaan tarpeeksi lähelle poltinta, plasmakaari syttyy elektrodin

(negatiivinen) ja leikattavan kappaleen (positiivinen) välille. Elektrodin ja leikattavan kappaleen välissä on suutin, jolla 20 000 asteinen plasmakaari kohdistetaan pisteeksi levyn pintaan. Plasmasuihku sulattaa materiaalin ja puhaltaa samalla sulaneen aineen pois.



KUVA 5. Toimitaperiaate korkeataajuussytytteisestä plasmaleikkurista. (<http://www.hypertherm.com>)

3.5.1 Leikkauksessa käytettävät kaasut.

Leikkauskaasu poistaa kappaleesta sulan materiaalin ja samalla muodostaa leikkausrailon. Kaasuvirta kohdistetaan suuttimen avulla levyn pinnalle, pienimmillään 1mm halkaisijaltaan olevaksi pisteeksi. Leikkaukseen soveltuvia kaasuja ovat argon, vety, typpi, paineilma ja happi. Niitä voidaan käyttää myös seoksina. Käytettävä kaasu valitaan leikattavan materiaalin sekä lopputuotteen mukaan.

Happi soveltuu parhaiten leikkauskaasuksi, kun leikataan hiiliteräksiä. Happea käytettäessä leikkauskaasuna, leikkauslaatu ja nopeus ovat parempia kuin muilla leikkauskaasuilla. Alumiinin ja ruostumattoman teräksen leikkaamiseen se sopii huonommin. Hiiliteräksiä leikattaessa happi reagoi teräksen kanssa muodostaen hienon suihkun sulasta metallista ja siksi sula aine on helpompi puhaltaa pois leikkausrailosta. Haittapuoli hapella leikkaamisessa on kuitenkin sen kallis hinta, sekä taipumus vaikuttaa negatiivisesti kuluvien osien keston. On kuitenkin mahdollista käyttää käynnistyskaasuna tyypeä ja leikkauskaasuna typen ja hapen seosta, jolloin suutin ja elektrodi kestävät saman ajan, kuin tyypellä ja paineilmalla leikattaessa. Kohonneet

kustannukset saadaan kuitenkin takaisin, kun kappaleiden jälkikäsittelyn tarve on vähentynyt. Suojakaasuksi hapelle sopii paineilma. (Lähde plasma cutting handbook)

Typpi on ollut suosittu leikkauskaasu plasmaleikkaushistorian alusta asti. Käyttökokemusten perusteella tyypeä suositellaan leikkauskaasuksi alumiinille ja ruostumattomalle teräkselle. Suojakaasuksi typelle sopii puhdistettu paineilme ja hiilidioksidi, jonka avulla leikkausnopeutta saadaan hieman lisättyä. Hiilidioksidin käyttö nostaa kuitenkin kustannuksia verrattuna paineilman käyttöön. Vesisuihku sopii myös hyvin, sitä käytetään kuitenkin usein vain suuremmissa leikkauslaitteistoissa. (Lähde plasma cutting handbook)

Argon(65%) ja Vety(35%) kaasuseos soveltuu myös alumiinin ja ruostumattoman teräksen leikkaamiseen. Kyseinen seos on kaikkein kuumin leikkauskaasu, joten se takaa maksimaalisen leikkauskyvyn. Sitä käytetään vesisuihkulla varustettujen polttimien kanssa, jolloin voidaan leikata 6 tuuman (n.150mm) vahvuista ruostumatonta terästä. Argon- vety seoksen ansiosta ruostumattomalle teräkselle saadaan erittäin tasainen, suora ja kiiltävä leikkausjälki. Seoksen käyttäminen on kuitenkin kallista. Suojakaasuksi seokselle sopii typpi. (Lähde Plasma cutting handbook)

3.5.2 Virtalähde

Virtalähteen tehtävä on tuoda prosessiin tarvittava energia leikkauksen aikana, sekä sytyttää pilottikaari käynnistysvaiheessa. Virtalähde muuttaa vaihtojännitteen korkeaksi tasajännitteeksi. Leikattava materiaali kytketään kaapelilla positiiviseen napaan ja polttimen päässä oleva elektrodi negatiiviseen napaan. (Kts. Kuva 5 toimintaperiaate sivu 13)

Tämän projektin virtalähde on varustettu korkeataajuuspiirillä, jota käytetään pilottikaaren sytyttämiseen. Pilottikaarisytytys on hyvä varsinkin maalatuilla tai ruosteisilla pinnoilla, koska korkeataajuusavusteinen sytytys ei vaadi kosketusta leikattavaan materiaaliin. Pilottikaari sytytetään suuttimen ja elektrodin välille tasajännitteen ja korkeantaajuuden avulla. Kun poltin lasketaan tarpeeksi lähelle leikattavaa materiaalia, kaari syttyy materiaalin ja elektrodin välille. Kun virtalähde

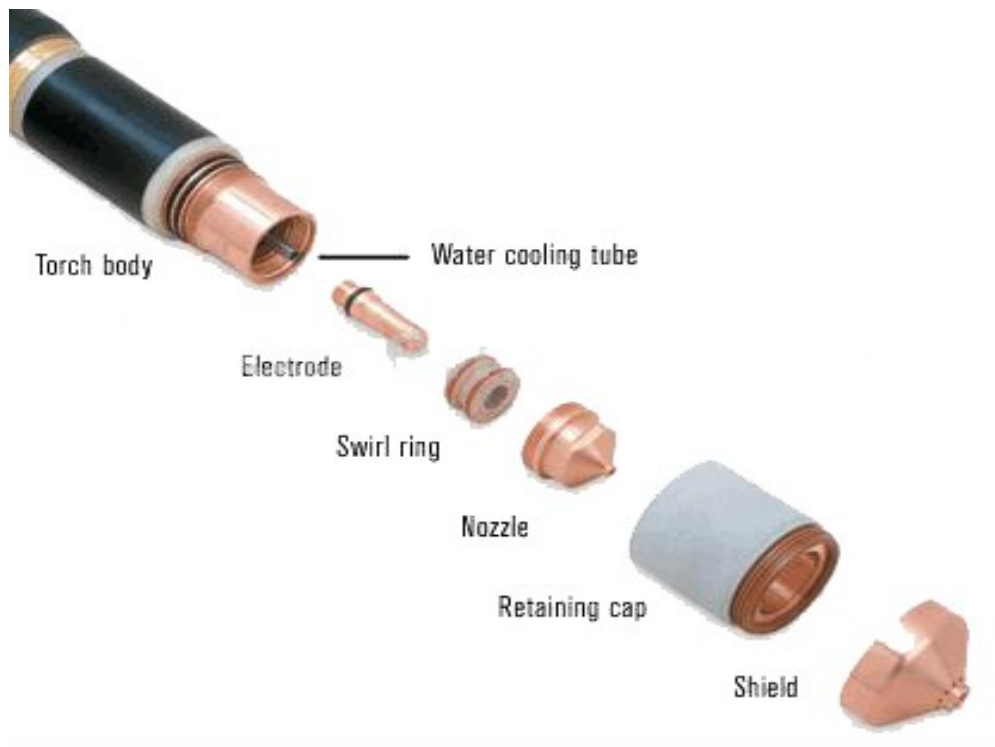
havaitsee, että plasmakaari kuljettaa virtaa materiaalin ja elektrodin välillä, korkeataajuuspiiri sammutetaan ja leikkausta jatketaan päävirtapiirin avulla.



KUVA 6. Virtalähde (Lähde: www.victortechnologies.com)

3.5.3 Polttimet

Poltin on leikkauslaadun kannalta merkittävässä roolissa. Se kuljettaa leikkauskaasun ja sähkövirran leikkaustapahtumaan. Lähimpänä leikattaavaa kappaletta ovat suutin ja elektrodi. Yleensä kevyiden helposti liikuteltavien leikkureiden vakiotoimitukseen kuuluu manuaalinen poltin eli se on suunniteltu vapaalla kädellä tapahtuvaan leikkaukseen. Manuaaliseen leikkaukseen tarkoitettu poltin on yksinkertaisin versio plasmapolttimista. CNC ohjattuun kordinaattipöytään liitettäviä eli automatisoituun leikkaamiseen tarkoitettuja polttimia on suurempi valikoima. Leikkausmenetelmästä riippuen polttimia varustellaan tarpeiden mukaan. Moderneilla plasmaleikkauslaitteilla prosessi voidaan suorittaa esimerkiksi veden alla, joka asettaa omanlaisensa vaatimukset polttimelle. Konepolttimet varustetaan myös vesikiertoisella jäähdytyksellä, toisin kuin manuaalimallit, joissa suutinta ja elektrodia jäähdytetään kaasuvirtauksella.



KUVA 7 Plasmapolttimen osat (www.multicam.ca)

Peruspolttimen rakenne ja siihen kuuluvat osat ovat samat riippumatta siitä onko se tarkoitettu manuaaliseen vai automatisoituun leikkaamiseen. Kuvassa 7 on esillä polttimen osat. Kaikki osat ovat helposti vaihdettavissa polttimen valmistajasta riippumatta. **Polttimenrunko** (torch body) on perusta, johon loput osat kiinnitetään kierrelitoksien avulla. Sen tehtävä on muun muassa säilyttää linjaus kaikkien polttimeen kuuluvien osien kesken. Voidaan sanoa että linjaus on hyvä silloin, kun elektrodin hafniumelementti on suuttimen kanssa keskitetysti ja leikkauskaasun virtaus saadaan keskitettyä näiden väliin jäävälle akselille. Runkoon kiinnitetään ensimmäisenä elektrodi. **Elektrodi** toimii johteena ja tuo energian plasmakaareen. Sen on kestävä äärimmäistä kuumuutta ja siksi sen kärkeen on lisätty sylinterin muotoinen hafnium- tai tungstenelementti. **Pyörrenkaan** (swirl ring) tarkoituksena on ohjata leikkauskaasupyörre elektrodin ympärille, samalla keskittäen virtauksen elektrodin ja suuttimen suhteen. **Suutin** (nozzle) ohjaa kaasuvirtauksen levyn pintaan. Leikkauksen aikana etenkin piercing vaiheessa, sulaa metallia voi sinkoutua kohti suutinta. Sulalta metallilta ja pieniltä törmäyksiltä suutinta pyritään suojaamaan **kilven** (shield) avulla. Alla olevassa listassa on havaintoja elektrodin kunnosta ja siitä mitä se mahdollisesti kertoo paineilma- tai happileikkulaitteiston kunnosta. (<http://multicam.ca/plasma-torch-parts/>)

1. Uusi elektrodi. Keskellä hafniumelementti.



2. Normaali kuluminen, keskellä hafniumelementti ja ympärillä hyvin keskittynyt kaasuvirtauksesta aiheutunut kuvio.



3. Hafniumelementin ympäryys on palanut. Mahdollisesti ongelmia pyörrenkaassa tai polttimen osien linjaus ei ole kunnossa.



4. Leikkauskaasussa on kosteutta. Käynnistyksen yhteydessä korkeataajuus ja kosteus ovat reagoineet hopean kanssa.



5. Jäähdytysneste vuoto. Aiheuttaa rosoisen pinnan, jossa on kiinnitysmateriaaleista sulaneita mustia ja kiiltäviä pisaroita.



6. Heikko kaasuvirtaus sytytysvaiheessa. Kaari on palanut liian kauan sytytys kohdassaan ennen siirtymistä hafniumelementille. Tämä muodostaa sulasta aineesta ympyrän elektrodin keskustan ympärille.



7. Tuhoutunut elektrodi.



8. Matala kaasunpaine. Ympäri elektrodia on havaittavissa pisteitä sulaneesta materiaalista.



9. Liian korkea kaasunpaine. Suutin on hyvässä kunnossa, mutta elektrodiin tulee keskelle kuoppa.



Lähde: How to tell good electrode wear from bad and improve system performance. D. Cook and J. Start Practical Welding Today " - May/June 2002

4 TIETOKANNAN LUOMINEN

4.1. Tutkimussuunnitelma

Projektin luonteesta ja plasmaleikkauslaitteiston mallista johtuen, lähtötiedot tietokannan luomiselle ovat hyvin vähäiset. Asetuksia lähdetään hakemaan kokeellisesti ja pyritään hyödyntämään hankittua teoretietoa. Kokeet aloitetaan järjestelmällisesti minimoimalla muuttuvat tekijät pitämällä osa asetuksista samoina. Esimerkiksi liikenopeus, suuttimen etäisyys levystä, suuttimen koko, materiaali ja materiaali vahvuus. Näin ollen jäljelle jää kaksi asetusta; ampeeri- ja kaasunpaineasettelu. Lisäksi silmämääräisessä leikkausrailon tarkastelussa kiinnitetään huomiota vain vakioituneeseen leikkauksen vaiheeseen eli cutting vaiheeseen (kts. kuva 8) eli railon alku ja loppu jätetään huomioimatta. Tällä tavoin pyritään keskittämään huomio hyvin tarkasti tiettyyn kohtaan yksinkertaistaen koetulosten analysointia. Kokeiden edetessä ja tietojen karttuessa voidaan lähteä laajentamaan kokeiluja lisäämällä muun muassa liikenopeutta sekä vaihtamalla suuttimen kokoa. Toimivien leikkausvaiheen asetusten löydyttyä jatketaan parametrien määrittelyä piercing, lead-in ja lead-out vaiheisiin. Kyseisissä vaiheissa muuttuvia asetuksia ovat vain suuttimen etäisyys ja liikenopeuden säätö. Luomalla tietokanta säädettävistä parametreista, pyritään saavuttamaan hyvä lopputulos taloudellisuuden-, geometristen vaatimusten- ja toistettavan laadun osalta. Hyvin toimivan tietokannan tarkoitus on myös vähentää kappaleiden jälkikäsittelyn tarvetta.



KUVA 8. Vakioitunut leikkausvaihe

5 TULOKSET JA ANALYSOINTI

5.1. Tutkimuksen toteutus

Laatua tarkastellaan aluksi kiinnittäen huomiota leikkausrailoon silmämääräisesti. Kokeet aloitettiin pitämällä mahdollisimman moni parametreistä vakiona ja lähdettiin muuttamaan vain virtaa ja kaasunpainetta. Leikkuunopeus vaikoitiin niin pienelle tasolle, että kyseisellä nopeudella voitiin varmasti saavuttaa hyvä leikkuujälki. Sen jälkeen voidaan lähteä lisäämään nopeutta ja säätämään muita arvoja siten, että lopputulos säilyy mahdollisimman hyvänä.

Koe aloitettiin 1,3 mm:n suuttimella, 3mm:n materiaalivahvuudella ja liikenopeudella 160 mm/min. Aluksi ongelmana oli runsas sulan aineen kertyminen levyn alapintaan. Sulan muodostumista alapintaan voitiin vähentää huomattavasti lisäämällä paineilmalinjaan veden erottimet sekä laskemalla suutin hyvin lähelle materiaalin pintaa (0.2 mm). Laatua silmämääräisesti tarkasteltaessa voitiin huomata myös, että leikkausrailo ei ollut y-akselin suuntaan liikuttaessa aivan pystysuora, joten polttimen mekaaninen linjaus oli syytä tarkistaa. Samalla tutkittiin myös materiaalia kannattelevan pöydän linjaus.

5.2. Tietokantaan tallennettavien muuttujien asetteluarvot

5.2.1 Suuttimen koko

Suutin kohdistaa plasmasuihkun pieneksi pisteeksi levyn pintaan. Suuttimen koko valitaan leikattavan materiaalin vahvuuden mukaan. Suuttimen koon muuttaminen vaikuttaa suoraan kaasunpainesäätöön. Kyseisessä projektissa käytetään 1,3 mm:n suutinta, koska se on riittävä kaikille tutkimuksessa leikattaville materiaaleille. Näin ollen saadaan yksi muuttuja vakioitua. Suuttimen koko kertoo suuttimessa olevan reiän halkaisijan millimetreinä. Plasmasuihku kulkee tämän reiän läpi kohdistuen levyn pintaan.

5.3. Kaasu ja kaasun paine

Tämän laitteiston leikkauskaasuna käytetään paineilmaa. Suojakaasun tai vesisuihkun tarkoitus on minimoida leikkauksen aiheuttamat muutokset leikattavassa materiaalissa, sekä kohdistaa plasmakaarta tarkemmaksi. Tähän opinnäytetyöhön liittyvän laitteiston kannalta ei saavuteta mitään etua kyseisillä menetelmillä, joten suojakaasua tai vesisuihkua ei käytetä.

Kaasun paineen säätämiseen käytetään tässä laitteistossa manuaalista paineensäädintä. Manuaalisen säädön valintaan on päädytty taloudellisista syistä. Paineasetteluun vaikuttaa materiaalin vahvuus sekä polttimen liikenopeus. Leikkauskaasun painetta voidaan säätää 3,0 – 4,5 baarin välillä. Pienemmällä suuttimella painetta ei tarvita yhtä paljon sulan aineen pois kuljettamiseen, kuin isolla suuttimella.

5.3.1 Leikkausvirran voimakkuus (A)

Leikkausvirtaa asetellaan pääasiassa materiaalivahvuuden mukaan, mutta myös seostettujen teräksien kemiallinen koostumus vaikuttaa asetteluun. Nopeassa leikkauksessa vaaditaan enemmän virtaa ja hitaammin leikattavissa kohdissa, kuten kulmissa leikkausvirran asettelua tulisi laskea hyvän laadun saavuttamiseksi. Jos hitaissa kohdissa leikataan samoilla leikkausvirran asetuksilla, kappale lämpenee liikaa, leikkausrailo laajene ja sulaa muodostuu runsaasti levyn alapintaa. Tämä ongelma minimoitiin käyttämällä maltillisia nopeuksia koko työstön ajan, jolloin nopeusvaihtelut geometrian eri kohdissa pysyivät suhteellisen pieninä. Tietokannan tekovaiheessa virran säätäminen polttimen nopeuden suhteen ei ollut mahdollista plasmaleikkauslaitteiston mallista johtuen.

5.3.2 Polttimen korkeus leikattavasta kappaleesta

Polttimen korkeus säädetään materiaalivahvuuden mukaan. Z akseli säätää polttimen korkeutta. Tässä laitteistossa nollassa on aseteltu levyn yläpintaan. Ohutta levyä leikattaessa poltin lasketaan hyvin lähelle levyn pintaa (0,1- 0,2 mm:n korkeudelle levynpinnasta). Lähellä suutinta plasmakaaren halkaisija on pienimmillään ja samalla myös otollisin ohuiden levyjen leikkaamiseen. Paksummilla materiaaleilla täytyy

polttimen etäisyyttä leikattavasta kappaleesta hieman kasvattaa. Tämä johtuu siitä, että plasmasuihkun halkaisija muuttuu suhteessa suuttimen etäisyyteen. Lähellä suutinta plasmasuihku on laajeneva ja loppupäästä supistuva. Korkeus asetellaan siten, että plasmasuihkun taitekohta osuu materiaalin keskilinjalle.

Torch high control (THC) eli polttimen korkeuden säätöautomaatiikka. THC:n avulla pyritään säilyttämään asetettu etäisyys polttimen ja kappaleen välillä. Automaatiikka valvoo leikkauksen aikana levyn etäisyyttä ja lähettää korjauspyynnön ohjaukselle, jos mittaustulokset eivät asetu toleranssien sisään. Tietokannan luomisen aikana tämä toiminto ei ollut vielä käytössä.

5.3.3 Materiaali

Plasmaleikkaus soveltuu kaikille sähköä johtaville materiaaleille. Tietokantaa luotaessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, mitä materiaalia leikataan ja mikä on materiaalin vahvuus. Materiaalien sähkönjohtavuus- ja sulamislämpötilaeroista johtuen leikkausparametreja joudutaan säätämään. Kaikissa materiaaleissa on muitakin metalleja seostettuna, mutta vain pieniä prosentteja suhteessa päämateriaaliin. Ruostumattomissa teräksissä on seostettuna merkittäviä määriä eri metalleja joiden sulamispisteiden erot ovat jopa 1 000 astetta, joten ne asettavat haasteita hyvälaatuisen leikkausjäljen saavuttamiselle.

TAULUKKO 2. Aineiden ominaisvastuksia. (<http://metals.about.com>)

Material	Resistivity $\rho(\Omega\cdot m)$ at 20°C	Conductivity $\sigma(S/m)$ at 20°C
Silver	1.59×10^{-8}	6.30×10^7
Copper	1.68×10^{-8}	5.98×10^7
Annealed Copper	1.72×10^{-8}	5.80×10^7
Gold	2.44×10^{-8}	4.52×10^7
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.5×10^7
Calcium	3.36×10^{-8}	2.82×10^7
Beryllium	4.00×10^{-8}	2.500×10^7
Rhodium	4.49×10^{-8}	2.23×10^7
Magnesium	4.66×10^{-8}	2.15×10^7
Molybdenum	5.225×10^{-8}	1.914×10^7
Iridium	5.289×10^{-8}	1.891×10^7
Tungsten	5.49×10^{-8}	1.82×10^7
Zinc	5.945×10^{-8}	1.682×10^7
Cobalt	6.25×10^{-8}	1.60×10^7
Cadmium	6.84×10^{-8}	1.46^7
Nickel (electrolytic)	6.84×10^{-8}	1.46×10^7
Ruthenium	7.595×10^{-8}	1.31×10^7
Lithium	8.54×10^{-8}	1.17×10^7
Iron	9.58×10^{-8}	1.04×10^7
Platinum	1.06×10^{-7}	9.44×10^6
Palladium	1.08×10^{-7}	9.28×10^6
Tin	1.15×10^{-7}	8.7×10^6
Selenium	1.197×10^{-7}	8.35×10^6
Tantalum	1.24×10^{-7}	8.06×10^6
Niobium	1.31×10^{-7}	7.66×10^6
Steel (Cast)	1.61×10^{-7}	6.21×10^6
Chromium	1.96×10^{-7}	5.10×10^6
Lead	2.05×10^{-7}	4.87×10^6
Vanadium	2.61×10^{-7}	3.83×10^6
Uranium	2.87×10^{-7}	3.48×10^6
Antimony*	3.92×10^{-7}	2.55×10^6
Zirconium	4.105×10^{-7}	2.44×10^6
Titanium	5.56×10^{-7}	1.798×10^6
Mercury	9.58×10^{-7}	1.044×10^6
Germanium*	4.6×10^{-1}	2.17

TAULUKKO 3. Metallien sulamispisteitä (<http://www.onlinemetals.com/meltpt.cfm>)

Metal	Melting Points	
	Fahrenheit (f)	Celsius (c)
Aluminum	1218	659
Brass	1700	927
Bronze	1675	913
Cast Iron	2200	1204
Copper	1981	1083
Gold	1945	1063
Lead	327	163
Magnesium	1204	651
Nickel	2646	1452
Silver	1761	951
Steel	2500	1371
Tungsten	6150	3399
Wrought Iron	2700	1482
Zinc	787	419

5.3.4 Materiaalivahvuus

Plasmalaitteiston valmistaja lupaa maksimi materiaalivahvuudeksi 32 mm rakenneteräkselle. Tietokantaan luodaan 3 mm:n välein taulukko sopivista asetuksista. Tietokantaan listataan yleisimmät leikattavat materiaalit.

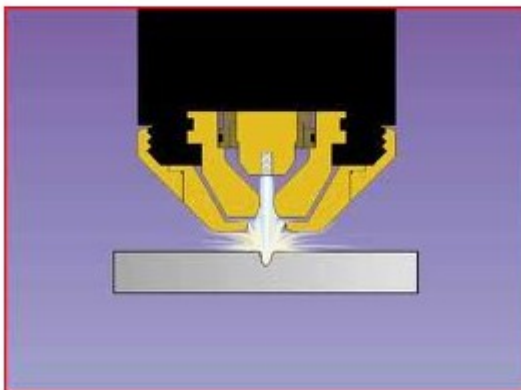
5.3.5 Liikenopeus

Yksi tietokannan tavoitteista on nopea- ja laadukas leikkaus. Polttimen suurimpaan liikenopeuteen vaikuttavat kaikki edellä mainitut asetukset ja muuttujat. Suurin mahdollinen liikenopeus määräytyy periaatteessa plasmalaitteiston tehon perusteella, mutta tämän projektin tietokantaa luotaessa liikenopeus vakioitiin niin pieneksi, että käytännössä muita asetuksia säätämällä haettiin kyseiselle nopeudelle sopivat arvot.

5.4. Piercing aika ja -korkeus

Jokaiselle materiaalille ja materiaalivahvuudelle määritellään viive, jonka ajan poltin pidetään piercing korkeudessa paikallaan. Viiveen jälkeen aloitetaan lead-in ja akselit lähtevät liikkumaan kohti kappaleen ensimmäistä geometriapistettä.

Piercing korkeudella tarkoitetaan suuttimen etäisyyttä leikattavasta materiaalista. Poltin ajetaan kyseiselle etäisyydelle siinä vaiheessa, kun on tarve porautua materiaalin läpi ennen kuin siirrytään lead-in vaiheeseen. Näin toimitaan käytännössä aina, kun leikkaus aloitetaan keskeltä levyä, eikä aloitusreikää ole porattu valmiiksi. Piercing korkeus vaihtelee 3-6 mm:n välillä ja tarkoitus on estää suuttimen vaurioituminen porautumisen aikana. Jos poltin ajetaan heti lähelle levyn pintaa, sulametalliroiske voi vaurioittaa suutinta.



KUVA 9 piercing vaihe (www.fabricatingandmetalworking.com)

5.5. Tool offset

Tool offset on parametrin nimi ja tämä parametri kertoo cam-ohjelmistolle leikkausrailon leveyden. Leikkausasetuksista riippuu kuinka leveä on sulatettu leikkausrailo. Leveyden vaihtelut eri asetuksilla on otettava huomioon ja kirjattava tietokantaan. Tiedon avulla Cam-ohjelmisto pystyy laskemaan oikean työstöradan siten, että kappaleen koko pysyy suunnitellun kokoisena.

5.6. Leikkausprosessin vaiheet

Cad -ohjelmistolla suunnitellusta kappaleesta luodaan cam -ohjelmistolla työstörata. Cam -ohjelmisto kirjoittaa tässä tapauksessa cad -kappaleen geometrian perusteella ratatiedon g-koodiksi, jota ohjausjärjestelmä ymmärtää. Jos työstörataa ajetaan jyrsinkoneella, M3 ja M5 koodia ei lisätä geometriasta toiseen siirryttäessä. Tämä tarkoittaa, että jyrsintä ei pysäytetä (M5), kun siirrytään geometrian erikohtiin. Plasmaleikkurilla työstettäessä tämä ei tietenkään ole mahdollista, vaan poltin on sammutettava välillä. Tästä johtuen prosessi etenee aina seuraavassa järjestyksessä; 1. *piercing* eli ”poraudutaan” materiaalin läpi, 2. *Lead-in* vaiheessa poltin lasketaan *piercing* korkeudesta leikkaus korkeuteen samalla liikkuen geometrian alkukohtaan, 3. *cutting*, jonka aikana prosessi etenee vakionopeudella työstörataa pitkin ja 4. *Lead-out*, jota käytetään työstöradalta poistuttaessa. *Lead-in* ja *Lead-out* vaiheissa pyritään minimoimaan lopulliseen kappaleeseen tulevat ylimääräiset työstöjäljet eli sytytetään poltin suunnitellun kappalegeometrian ulkopuolella ja johdetaan poltin jouhevasti kappaleen geometrialle. Poistuttaessa poltinta ei sammuteta ennen kuin on siirrytty kappaleen geometrian ulkopuolelle.

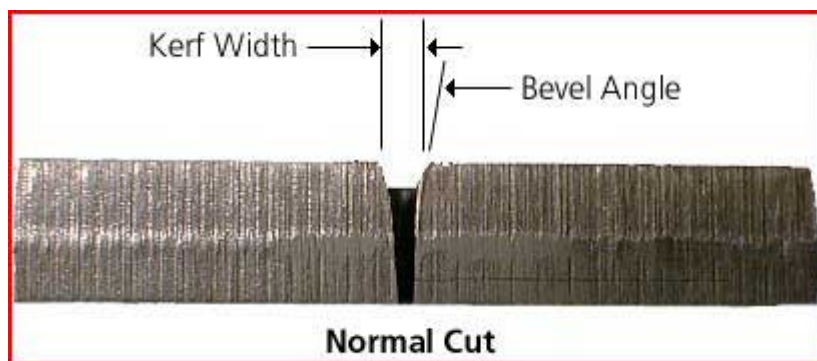


KUVA 10. Leikkausvaiheet geometrian eri kohdissa.

5.7. Leikkauslaatu

Hyvät leikkausasetukset ja laadukas leikkaus tuovat taloudellista hyötyä tuotteen valmistajalle sekä asiakkaalle. Tarkastelemalla toteutunutta geometriaa ja vertaamalla sitä suunniteltuun geometriaan pystytään arvioimaan valmistetun tuotteen laatua. Syntyneeseen geometriaan vaikuttaa oleellisesti laitteiston mekaaninen rakenne ja ohjauksen parametointi, mutta myös plasmaleikkausprosessin tasapainoinen toiminta.

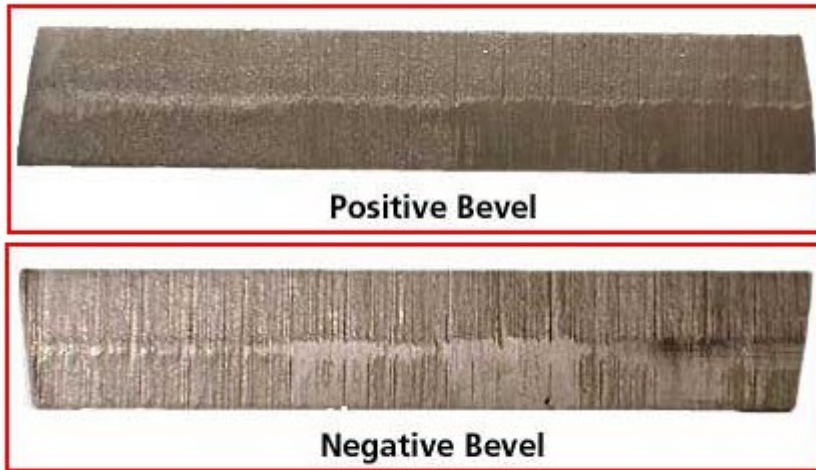
Plasmakaaren muotoon vaikuttavat leikkausvirta, kaasunvirtaus, suuttimen koko ja polttimen liikenopeus. Kuvassa 11 näkyvät railon leveys (kerf width) ja särmän viistekulma (bevel angle). Jotta kappaleesta tulisi geometrisesti suunnitellun kokoinen, tulisi railon pysyä saman levyisenä koko työstön ajan. Railon leveys tallennetaan tietokantaan ja cam- ohjelmisto laskee työstöradan. Ohjaus olettaa, että railon leveys pysyy vakiona. Jos kappaleesta tulee suunniteltua pienempi, on syytä tarkistaa esimerkiksi, että suuttimen koko on oikea ja suuttimen kunto hyvä. Suuttimen kuluessa plasmakaari laajenee ja aiheuttaa leveämmän leikkausrailon.



KUVA 11 Leikkausrailo takaa. (www.Centricut.com)

Useimmat plasmapolttimet aiheuttavat myötöpäivää pyörivän plasmavirtauksen, jolloin ettepäin liikuttaessa leikkausrailon oikeasta puolesta tulee suurempi. Peruspolttimilla tyypillinen särmän viistekulma on 1 – 3 astetta, jota voidaan pitää hyvänä (kuva 11). Viittä astetta suurempi kulma indigoit parametrihäiriöistä. Jos kappaleen geometria on levyn yläpinnassa pienempi kuin alapinnassa, saattaa syynä olla kulunut suutin, liian suuri polttimen korkeus, väärä leikkausvirta tai -nopeus (kuva 12 Positive Bevel). Päin vastaisessa tilanteessa poltin saattaa olla liian lähellä levyä, leikkausvirta-asettelu väärä

tai liikenopeus liian hidas. Plasmakaari polttaa tässä tapauksessa enemmän materiaalia levyn alapinnasta kuin yläpinnasta (KUVA 12 Negative Bevel). Kulunut suutin saattaa aiheittaa epäsäännöllisen negatiivisen ja positiivisen kulman samaan kappaleeseen. Tämä saattaa johtua myös polttimen huonosta linjauksesta tai suuttimen ja elektrodin keskinäisestä linjausvirheestä. Kovera tai kupera leikkausrailo (Kuva 13) kertoo aina polttimen osien linjausongelmasta tai kulumisesta. (Lähde: www.Centricut.com)



KUVA 12. Leikkausrailo positiivisessa ja negatiivisessa kulmassa. (www.Centricut.com)



KUVA 13. positiivinen ja negatiivinen kulmassa samassa kappaleessa. (www.Centricut.com)

6 TULOKSET JA ANALYSOINTI

6.1. Tutkimuksen toteutus

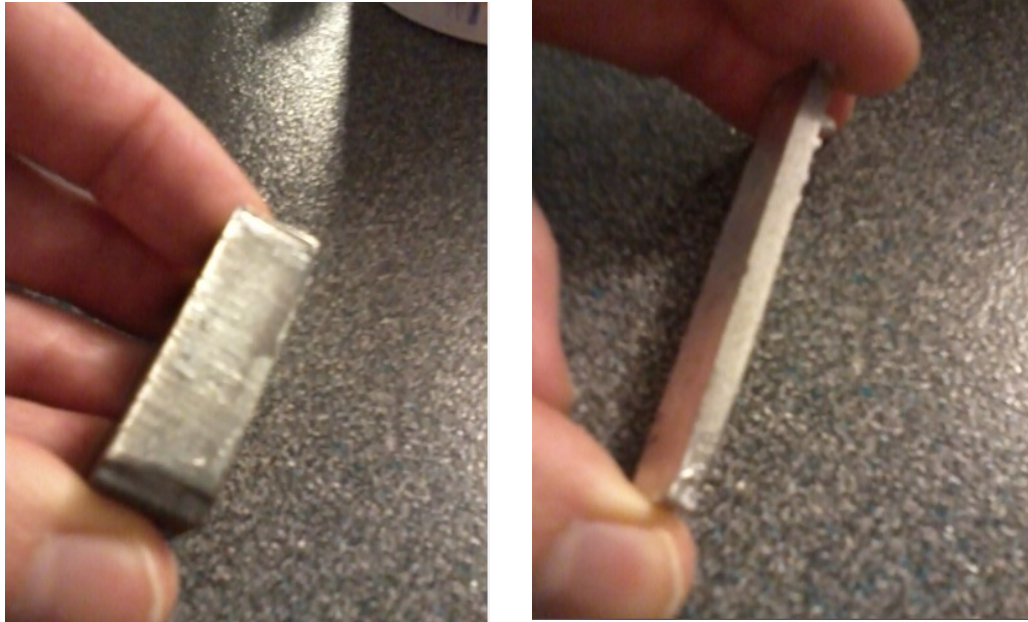
Tutkimuksessa käytettävään laitteistoon kuuluu paineilmakompressori, jossa kaksi vedenerotinta. Toinen paineilmalinjan alussa ja toinen paineilmalinjan lopussa, juuri ennen plasmaleikkauslaitteistoa. Plasmaleikkauslaitteisto on tyypiltään manuaaliseen käyttöön eli vapaalla kädellä leikkaamiseen tarkoitettu. Tästä syystä plasmaleikkauslaitteiston ja ohjausjärjestelmän välinen kommunikaatiotaso on heikko. Muutamia toimintoja, kuten automaattista leikkausvirran säätöä ja polttimeen korkeuden tarkasteluautomaatiikkaa ei pystytä käyttämään. Automaattisen leikkausvirran säädön puuttumisen vaikutus tutkimukseen pyritään minimoimaan maltillisilla leikkausnopeuksilla. Polttimeen korkeuden tarkasteluautomaatiikan puuttumisen vaikutukset minimoidaan puolestaan asettamalla leikattava kappale tarkasti vaateriin polttimeen alapuolella, jolloin polttimeen ja leikattavan kappaleen etäisyys pysyy lähes vakiona. Poltin on manuaaliseen käyttöön tarkoitettu peruspoltin, jolloin siinä ei ole mahdollisuutta suojakaasulle eikä vesisuihkulle. Poltin kiinnitetään cnc ohjattuun mekaniikkaan ja pyritään linjaamaan siten, että plasmasuihku tulee kohtisuoraan leikattavaa kappaletta kohden. Mekaniikan ohjaamiseen käytetään perus PC:tä, johon on asennettu g-koodia lukeva ohjelmisto. Mekaniikka on itse rakennettu koordinaattipöytä, jossa on X-, Y- ja Z-akseli.

Leikkauslaatua tarkastellaan alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen vain rakenneteräksellä, ruostumattomalla teräksellä ja alumiinilla, sillä nämä ovat yleisimmät plasmaleikkauksessa käytettävät materiaalit. Ainevahvuuksina käytettiin 1- 12 mm:n paksuista levyä. Testigeometria, joka leikataan joka materiaalista on 100 x 100 mm:n neliö. Tällä testikappaleella pyritään saamaan leikkkausparametreista selville seuraavat asetteluarvot; leikkausvirta, leikkauskaasun paine, polttimeen korkeus, piercing korkeus ja piercing aika. Testissä käytetään koko ajan samaa suutinta (1,3 mm) ja samaa liikenopeutta (160 mm/min). Tietokantaa varten täytyy lisäksi selvittää tool offset -parametri eli leikkuurailon leveys. Tämä selvitetään leikkaamalla 50mm pitkä suora levyllä siten, että voidaan mitata leikkausrailon leveys.

6.2. Havainnot

6.2.1 Materiaalit

Tutkimus aloitettiin 1 mm:n vaihvuksella rakenneteräksellä. Materiaalivahvuutta kasvatettiin seuraavaksi 3 mm:n sitten 6mm:n ja päätettiin 12 mm:n materiaalivahvuuteen. Ruostumattomalla teräksellä leikattiin vain 3 mm vahva kappale. Alumiinin testaus aloitettiin 2 mm:n vahvuksella materiaalilla. Tämän jälkeen leikattiin 4 mm:n ja lopuksi 10 mm:n vahvuinen levy. Käytetyistä materiaaleista helpoiten leikkautuvaa oli rakenneteräs. Eniten hankaluuksia tuotti alumiini. Kyseisellä laitteistolla yli 10 mm vahvojen alumiinikappaleiden laadukas leikkaaminen on hankalaa. Ongelmana oli sulamateriaali, jota jäi sekä levyn alapintaa, että leikkausrailon seinämiin. Testeissä käytetyissä 2 mm:n ja 4 mm:n ainevahvuuksissa kyseistä ongelmaa ei juurikaan ollut. Alumiinin osalta testejä olisi syytä jatkaa. Leikkauskaasuna olisi paineilman tilalla syytä kokeilla tyypeä. Ruostumattoman teräksen koeajon perusteella voitiin päätellä sen käyttäytyvän rakenneteräksen kaltaisesti, mutta leikkausvirran- ja kaasunpaineen säätö vaatii tarkemmat asetelut.



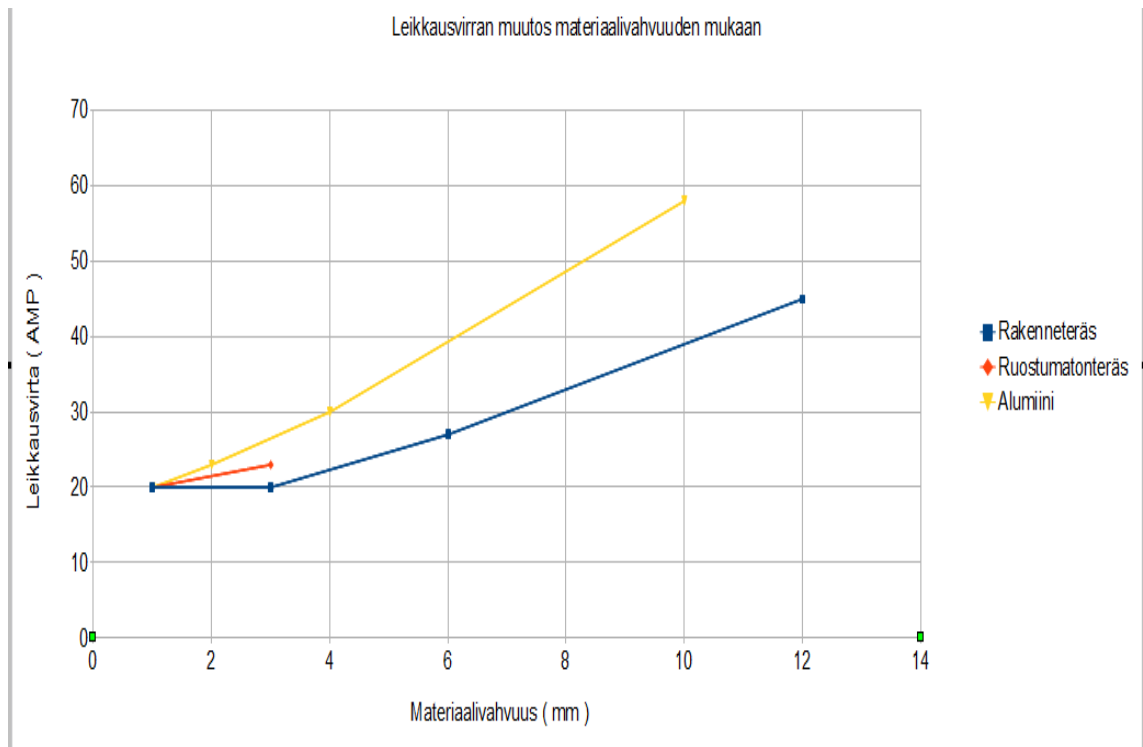
KUVA 14. Rakenneteräksen (12 mm) ja alumiinin (4 mm) leikkausjälki.

6.3. Asetukset

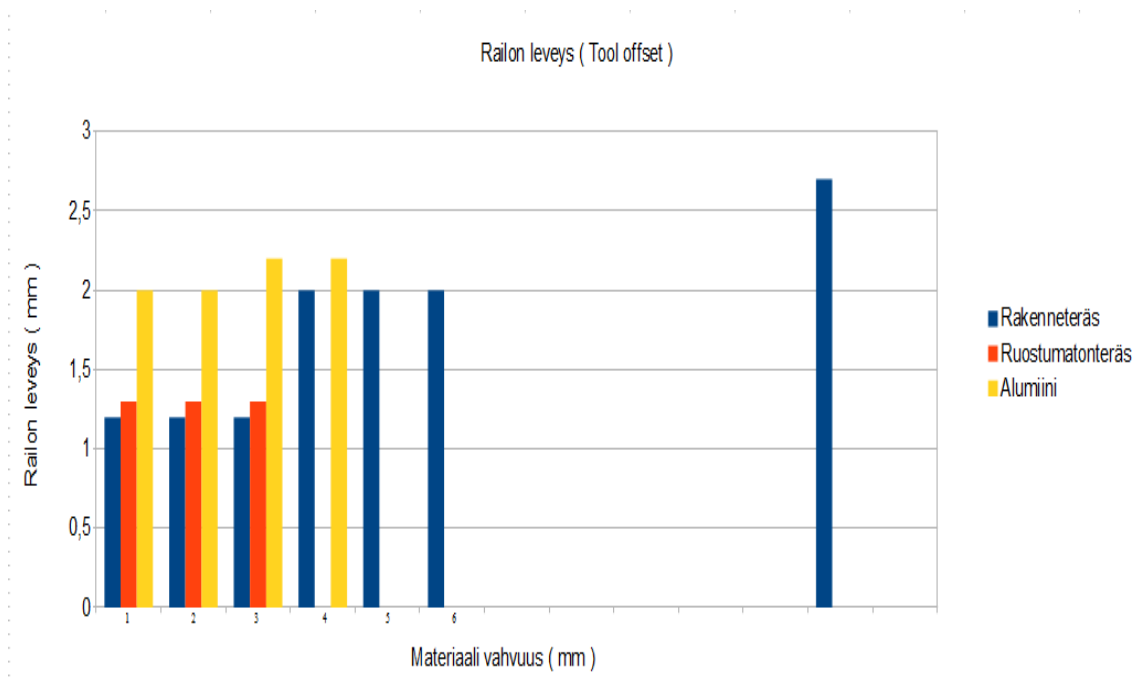
Tutkimuksissa minimoitiin suunnitelmanmukaisesti muuttuvat tekijät. Liikenopeudeksi vakioitiin 160 mm/min ja suuttimena käytettiin 1,3 mm:n suutinta. Käytännössä säädettäviksi arvoiksi jäivät leikkausvirta, polttimen korkeus ja kaasunpaine. Leikkausvirta-asettelun minimi on 20 ampeeria ja maksimi 80 ampeeria. Testien perusteella voidaan tietokantaan kirjata ruostumattomalle- ja rakenneteräkselle leikkausvirraksi 23 ampeeria, kun materiaalivahvuus on alle 3 mm. Kun leikattavan materiaalin vahvuus kasvaa, leikkausvirta täytyy säätää tarkemmin materiaalin mukaan.

Polttimen korkeudeksi voidaan tallentaa ruostumattomalle teräkselle ja rakenneteräkselle alle 3 mm:n vahvuuksilla 0,5 mm, 3 – 6 mm:n vahvuuksilla 0,8 mm ja 6 – 12 mm:n vahvuuksilla 1,2 mm. Testeissä pystyttiin havaitsemaan leikkausrailon nopeaa leventymistä ja sulan aineen huomattavaa lisääntymistä, kun polttimen korkeutta lisättiin. Tästä syystä rakenneteräksellä ja ruostumattomalla teräksellä parhaat leikkaustulokset saatiin matalilla poltinkorkeuksilla. Alumiinilla tilanne oli hankalampi. Leikkausrailosta tuli siistimpi, kun käytettiin huomattavasti suurempaa polttimen korkeutta. 2 mm:n ja 4 mm:n materiaalivahvuuksilla käytin 2 mm:n polttimen etäisyyttä levyn pinnasta. Tämä aiheutti kuitenkin leveämmän leikkausrailon ja sen seurauksena muut ongelmat.

Kaasunpaineen osalta tarvittiin vain pientä hienosäätöä. Leikkauskaasun paineena käytettiin kaikissa testeissä 3,2 – 3,5 baria. Testeissä havaittiin, että leikkauskaasunpaineita ei ollut tarvetta juurikaan muuttaa, jos leikkausnopeus pysyi vakiona. Piercing ajaksi voidaan tallentaa alle 3 mm:n vahvuuksille 0,8 sekuntia, 3 – 6 mm:n vahvuuksille 1,2 sekuntia ja 6 – 12 mm:n 2 sekuntia. Piercing ajat on pyritty valitsemaan turvallisiksi testitulosten perusteella. Liian lyhyt aika aiheuttaa sen, ettei plasmakaari ehdi sulattamaan reikää materiaaliin ennen kuin poltin lähteen liikkeelle. Liian pitkä piercing aika puolestaan aiheuttaa turhan paljon sulaa leikattavan materiaalin ylä- tai alapintaan tai mahdollisesti poltin sammuu, koska leikattava materiaali sulaa polttimen alta pois.



KUVA 15. Leikkausvirran asettelu eri materiaalien ja materiaalivahvuuksien suhteen (1,3mm suutin).



KUVA 16. Leikkausrailon leveyden muutokset materiaalin vahvuuden mukaan (1,3mm suutin)

6.4. Päätelmä

Testien perusteella saatiin luotua tietokanta, jonka avulla eri materiaalien leikkaaminen onnistuu helposti. Liitteenä on excel-taulukko parametreista. Käytännössä nämä parametrit kirjoitetaan Cam -ohjelmistoon, joka tekee tarpeelliset muutokset g-koodiin.

Alumiinin osalta lisätestejä tarvitaan siistin leikkausjäljen aikaansaamiseksi, etenkin paksummilla kappaleilla. Muutamit parametrit jouduttiin vakiomaan testien ajaksi, jotta saataisiin mahdollisimmat selkeät tulokset. Tulevaisuudessa olisi mahdollista parantaa vielä leikkauslaatua ja nopeutta, lisäämällä plasmaleikkauslaitteiston ja ohjauksen välistä integraatiota. Parempi integraatiotaso eli ohjaustietokoneen ja plasmaleikkauslaitteiston kehittyneempi tiedonvaihto mahdollistaisi muun muassa automaattisen leikkausvirta- sekä kaasunpaine säädön. Testikappaleiden ajon aikana käytettiin sängen pieniä liikenopeuksia. Liikenopeudet oli syytä pitää hyvin alhaisena, koska PWM toiminto ei ollut vielä käytössä. Jotta suurempiin liikenopeuksiin päästäisiin säilyttäen sama leikkauslaatu, olisi plasmaleikkurin ja ohjauksen välistä integraatiota lisättävä. Kappaleen geometriaa ajettaessa polttimen liikenopeus vaihtelee. Suoraa ajettaessa polttiin liikkuu nopeammin kuin kulmissa. Tästä syystä kulmakohtiin tarvittaisiin PWM toimintoa, jolla leikkausvirtaa voitaisiin säädellä polttimen nopeuden suhteen.

Plasmaleikkaus osoittautui hyväksi vaihtoehdoksi monimutkaisten geometrioiden leikkaamiseen. Etenkin, kun tarkoituksena oli valmistaa harrastetoimintaan tarkoitettu laitteisto, jolla ei ole +/- 0,5 mm tarkempia vaatimuksia lopputuotteessa, eikä tuotannon tahti aseta suurempia vaatimuksia. Tällaisessa käyttökohteessa ei saavutettaisi suurta etua, vaikka hankittaisiin huomattavasti kalliimpi leikkauslaitteisto, kuten laser. Laitteistosta löytyy kehityskohteita, joilla leikkaustarkkuutta voitaisiin vielä parantaa. Edulliselle cnc ohjatulle plasmaleikkauslaitteistolle tuntuisi olevan kysyntää siinä määrin, että on syytä harkita myös yrityksen perustamista. Yritykseni voisi toimia yhteistyössä edullisesta plasmaleikkauslaitteistosta kiinnostuneiden metallipajojen kanssa ja voisi näiden tahojen tarpeiden mukaan kehittää leikkauslaitteistoa tuotantokäyttöön sopivaksi. Tuotantokäyttöön suunnitellun laitteiston ohjausautomaatioon olisi esimerkiksi tarpeellista lisätä myös polttimen korkeutta

tarkastelevaa automatiikkaa. Korkeuden tarkka valvonta pitäisi leikkausrailon leveyden vaihtelut kurissa.

Leikkausrailosta saatiin riittävän siisti kyseiseen toimintaan ja geometrinen tarkkuus +/- 0,5mm, mikä on hyvä tulos tälle prototyypivaiheessa olevalle laitteistolle. Lähteinä käytetyissä kirjallisissa materiaaleissa oli maininta, että plasmaleikkauksella voidaan saavuttaa laserleikkausta vastaava laatu. Tämän tutkimuksen perustellaan rohkenen olla asiasta eri mieltä. Voidaan ajatella, että lasersäteen tekemä leikkausrailo on 0,1 – 0,2 mm:n välillä riippuen millaista materiaalia leikataan. Plasmaleikkauksessa railon leveys on vähintään 1 mm, joten plasmalla leikatessa materiaalia sulatetaan enemmän ja se väistämättä aiheuttaa kappaleen lämpömuokkautumista ja kuonan kertymistä levyn alapintaan. Tietyillä plasmaleikkausmenetelmillä voidaan epäilemättä päästä lähelle laserleikkauksen laatua.

LÄHTEET

Hypertherm

http://www.hypertherm.com/en/Training_and_education/

<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1061>

http://www.centricut.com/TA_SolvingPACCutQualityProb.htm

www.fabricatingandmetalworking.com

<http://multicam.ca/plasma-torch-parts/>

Practical Welding Today - May/June 2002

www.victortechnologies.com

Plasma cutting handbook, Eddie Paul, 2011

www.koreaplasma.net

Tiedettä kaikille, Fysiikka, Hannu Karttunen

<https://peda.net/>

<http://www.onlinemetals.com/meltpt.cfm>

<http://metals.about.com>

Liite 1. Taulukko leikkausparametreista

Materiaali	Suutin	AMP	Paine	Polttimen korkeus	Liikenoisuus	Piercing korkeus	Piercing aika (S)	TOOL OFFSET
Rakenneteräs 1mm (S235JRQ2)								
piercing	1.3mm	20amp	3.2bar			4mm	0.8	3.5mm
Lead-in	1.3mm	20amp	3.2bar	0.5mm	50.00%		0.8	1.2mm
cutting	1.3mm	20amp	3.2bar	0.5mm	160mm/min		0.8	1.2mm
Lead-out	1.3mm	20amp	3.2bar	0.5mm	160mm/min		0.8	1.2mm
Rakenneteräs 3mm								
piercing	1.3mm	20amp	3.2bar			4mm	0.8	3.5mm
Lead-in	1.3mm	20amp	3.2bar	0.5mm	50.00%		0.8	1.2mm
cutting	1.3mm	20amp	3.2bar	0.5mm	160mm/min		0.8	1.2mm
Lead-out	1.3mm	20amp	3.2bar	0.5mm	160mm/min		0.8	1.2mm
Rakenneteräs 6mm								
piercing	1.3mm	27amp	3.2bar			4mm	1.2	5.0mm
Lead-in	1.3mm	27amp	3.2bar	0.8mm	50.00%		1.2	2.0mm
cutting	1.3mm	27amp	3.2bar	0.8mm	160mm/min		1.2	2.0mm
Lead-out	1.3mm	27amp	3.2bar	0.8mm	160mm/min		1.2	2.0mm
Rakenneteräs 9mm								
piercing	1.3mm							
Lead-in	1.3mm							
cutting	1.3mm							
Lead-out	1.3mm							
Rakenneteräs 12mm								
piercing	1.3mm	45amp	3.2bar			5mm	2	6.0mm
Lead-in	1.3mm	45amp	3.2bar	1.2mm	50.00%		2	2.7mm
cutting	1.3mm	45amp	3.2bar	1.2mm	160mm/min		2	2.7mm
Lead-out	1.3mm	45amp	3.2bar	1.2mm	160mm/min		2	2.7mm
Ruostumaton 1mm (AISI 304)								
piercing	1.3mm							
Lead-in	1.3mm							
cutting	1.3mm							
Lead-out	1.3mm							
Ruostumaton 3mm								
piercing	1.3mm	23amp	3.5bar			5mm	0.8	3.5mm
Lead-in	1.3mm	23amp	3.5bar	0.5mm	50.00%		0.8	1.3mm
cutting	1.3mm	23amp	3.5bar	0.5mm	160mm/min		0.8	1.3mm
Lead-out	1.3mm	23amp	3.5bar	0.5mm	160mm/min		0.8	1.3mm
Ruostumaton 6mm								
piercing	1.3mm							
Lead-in	1.3mm							
cutting	1.3mm							
Lead-out	1.3mm							
Ruostumaton 9mm								
piercing	1.3mm							
Lead-in	1.3mm							
cutting	1.3mm							
Lead-out	1.3mm							
Ruostumaton 12mm								
piercing	1.3mm							
Lead-in	1.3mm							
cutting	1.3mm							
Lead-out	1.3mm							
Alumiini 2mm								
piercing	1.3mm	23amp	3.2bar			6mm	0.8	4.0mm
Lead-in	1.3mm	23amp	3.2bar	2.0mm	50.00%		0.8	2.0mm
cutting	1.3mm	23amp	3.2bar	2.0mm	160mm/min		0.8	2.0mm
Lead-out	1.3mm	23amp	3.2bar	2.0mm	160mm/min		0.8	2.0mm
Alumiini 4mm								
piercing	1.3mm	32amp	3.2bar			6mm	1.2	4.5mm
Lead-in	1.3mm	32amp	3.2bar	2.0mm	50.00%		1.2	2.2mm
cutting	1.3mm	32amp	3.2bar	2.0mm	160mm/min		1.2	2.2mm
Lead-out	1.3mm	32amp	3.2bar	2.0mm	160mm/min		1.2	2.2mm
Alumiini 6mm								
piercing	1.3mm							
Lead-in	1.3mm							
cutting	1.3mm							
Lead-out	1.3mm							
Alumiini 10mm								
piercing	1.3mm	58amp	3.2bar			6mm	3	-
Lead-in	1.3mm	58amp	3.2bar	3.0mm	50.00%		3	-
cutting	1.3mm	58amp	3.2bar	3.0mm	160mm/min		3	-
Lead-out	1.3mm	58amp	3.2bar	3.0mm	160mm/min		3	-
Alumiini 12mm								
piercing	1.3mm							
Lead-in	1.3mm							
cutting	1.3mm							
Lead-out	1.3mm							