

Teräsrakenteiden levyosien viimeistely ja jäysteenpoisto

Lauri Brandt

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2021

Konetekniikka
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka

BRANDT LAURI:

Teräsrakenteiden levyosien viimeistely ja jäysteenpoisto

Opinnäytetyö 37 sivua
Kesäkuu 2021

Työn tavoitteena oli tutustua teräslevyosien jäysteenpoistoon ja reunaviimeistelyyn sekä löytää sopiva uusi menetelmä konepajayrityksen laajenevan levyosatutannon tehostamiseen. Opinnäytetyön teoriaosuudessa tutustuttiin teräslevyosien reunavirheiden syntymiseen sekä jäysteenpoiston ja reunaviimeistelyn metodeihin. Teräsrakennuksessa käytettävien paksujen levyosien leikkuujäysteen ja plasmaleikkauksen kuonan poistoon sopiviin menetelmiin tutustuttiin teoriaa soveltaen. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Konepaja Survonen Oy.

Opinnäytetyössä kartoitettiin yrityksen levyleikkauksen nykyinen prosessikulku vaihe vaiheelta ja vaihtoehtoisia menetelmiä verrattiin nykyiseen. Jäysteenpoistoa haluttiin kehittää vähentämällä virheen syntymistä sekä tehostamalla sen käsittelyä. Työssä käsiteltiin levyleikkauksen eri vaiheita ja reunavirheen vähentämistä leikkuuprosessin yhteydessä sekä kappaleiden jälkikäsittelyä. Erilaisista käyttökohteeseen sopivista viimeistelyvaihtoehdoista valittiin yrityksen käyttöön parhaat.

Opinnäytetyön johtopäätöksenä todettiin että kaikkien levyosien plasmaleikkaaminen ja helppokäyttöinen viimeistelykone sujuvoittaisivat levyleikkeiden valmistamista. Vaihtoehtoisesti pelkkä tehokkaampi jäysteenpoistomenetelmä auttaisi nykyisellä mekaanisella leikkuumenetelmällä valmistettujen kappaleiden jälkiviimeistelyä.

Asiasanat: jäysteenpoisto, viimeistely, reunaviimeistely, levyleikkaus, jäyste

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

BRANDT, LAURI
Finishing and Deburring of Steel Plate Parts

Bachelor's thesis 37 pages
June 2021

This thesis was ordered by Konepaja Survonen Oy. The goal of this thesis was to get acquainted with the deburring and finishing process of steel plate parts and to find a better solution suited for the growing needs of the company's plate part manufacturing process.

The theory part of the thesis studies the formation of burrs and plasma cutting dross and the ways to minimise it. Further, the deburring processes suited for finishing the plate parts used in steel construction were studied.

The current state of plate part manufacturing process was first surveyed step by step. The process was then compared with alternative cutting and finishing methods. The part finishing process was to be streamlined by reducing burr formation and making the additional deburring and edge finishing process more efficient.

In conclusion, an investment in plasma cutting and simple deburring machinery would streamline the plate part manufacturing. Alternatively, more efficient deburring method would help finish the parts made using the current method of manual shearing.

Key words: deburring, part finishing, edge finishing, burr, dross

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	JÄYSTEENPOISTO JA REUNOJEN VIIMEISTELY	6
2.1	Jäyste.....	6
2.2	Jäysteen minimointi.....	7
2.3	Plasmaleikkurin tuottama kuona	8
2.4	Jäysteenpoisto ja reunan viimeistely	9
2.5	Jäysteenpoiston ja reunaviimeistelyn menetelmät	10
2.5.1	Hionta	11
2.5.2	Harjaus	12
2.5.3	Täryhiominen.....	13
2.5.4	Rummutus	13
2.5.5	Sähköiset, kemialliset ja termiset menetelmät	14
3	TOIMINNAN NYKYTILAN KARTOITTAMINEN	16
3.1	Levyosien valmistaminen	16
3.2	Levyosien jäysteenpoisto	17
4	YRITYKSEN LEVYLEIKETUOTANNON TEHOSTAMINEN	19
4.1	Reunavirheiden vähentäminen	19
4.1.1	Reikien lävistys.....	19
4.1.2	Levyleikkaus	22
4.1.3	Plasmaleikkaus.....	22
4.2	Osien viimeistelyn tehostaminen.....	24
4.2.1	Jäysteenpoistorumpu	24
4.2.2	Manuaalinen jäysteenpoistokone	25
4.2.3	Automaattinen jäysteenpoisto- ja reunapyörästyskone.....	26
4.3	Osanumeron merkintä.....	27
4.3.1	Mekaaninen merkintä	28
4.3.2	Lasermerkintä.....	29
4.3.3	Merkintöjen kestävyys	29
4.3.4	Viimeistelyn ja osanumeron merkkauksen automatisointi	30
5	YHTEENVETO RATKAISUVAIHTOEHDOSTA	31
5.1	Plasmaleikkaus ja viimeistelykone	31
5.2	Mekaaninen leikkaus ja massaviimeistely	32
6	POHDINTA	34
	LÄHTEET.....	35

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia konepajan levyosatutannon jäysteenpoistoa ja kappaleiden viimeistelyä. Opinnäytetyön toimeksiantaja on teräsrakenteita valmistava Konepaja Survonen Oy, Huittisissa. Teräsrakenteiden valmistuksessa käytettävien levyosien mekaanisen leikkauksen ja plasmaleikkauksen jäljiltä niihin jää jäysteitä sekä teräviä reunoja, jotka pitää poistaa. Yrityksen tuotannon eräkokojen kasvaessa levyosien leikkausta seuraava jälkikäsitteily sekä osien merkintä halutaan toteuttaa tehokkaammin.

Opinnäytetyössä tutustutaan levyleikkeiden jäysteen, plasmaleikkauksen kuonan ja reunavirheiden syntyyn ja sen vähentämiseen, sekä reunaviimeistelyn ja jäysteenpoiston työskentelymenetelmiin. Samalla tutustutaan levytuotannon vaatimukseen ja kohdeyrityksen nykyistä tuotantoa verrataan uusiin mahdollisiin menetelmiin. Erilaisia menetelmiä ei testata käytännössä, vaan selvityksen jälkeen yrityksellä on valmius lähteä toteuttamaan jatkotutkimuksia opinnäytetyön pohjalta.

2 JÄYSTEENPOISTO JA REUNOJEN VIIMEISTELY

Tässä kappaleessa käsitellään jäysteen ja reunavirheiden syntymistä, sekä tutustutaan sen välttämiseen. Kappaleen reunojen viimeistely sekä jäysteenpoisto kattavat kumpikin hieman eri osa-alueet teräsosien jälkikäsittelyssä, mutta niiden välillä on paljon yhteneväisyyksiä. Jäysteenpoiston ja reunaviimeistelyn työmetodien samankaltaisuuden takia tässä opinnäytetyössä niihin viitataan yhdessä viimeistelymenetelminä.

2.1 Jäyste

Jäyste on materiaalin työstämisessä syntyvä muodostuma. Se on leikkauspintojen reunoilla esiintyvää epätasaisuutta ja ulkonevaa materiaalia (kuva 1). Jäyste on ei-toivottua jäämää, joka halutaan minimoida. (Gillespie 1999, 1)



KUVA 1. Jäysteitä teräslevyssä reiän reunoilla

Jäysteet aiheuttavat kappaleissa Gillespien mukaan monia eri ongelmia. Terävät reunat voivat muun muassa satuttaa työntekijää kokoonpanovaiheessa sekä hankaloittaa osien yhteensopivuutta. Mekaanisten koneenosien toiminta ja kestävyys voivat heikentyä, sillä ylimääräinen jäyste aiheuttaa hankaumia ja kitkaa. Myös kappaleen pinnoitteen ja maalin kalvopaksuus voi ohentua terävissä reunoissa käytettäessä nestemäistä maalia, mikä heikentää tuotteen säänkestävyyttä. (Gillespie 1999, 1)

Jäysteen syntymiseen vaikuttaa kappaleen materiaalin, osan työstämisen ja kappaleen muodon ominaisuudet. Jäyste syntyy lastuavassa ja leikkaavassa työstössä silloin, kun kaikki työstettävästä metallista ei leikkaudu pois, vaan sitä jää pieni osa esimerkiksi jrsityn alueen kohtisuoralle reunalle. Työstettävän alueen reunalla leikkuuterän voima ja työstettävän metallin heikko vastustava tukivoima aiheuttaa jäljelle jäävän materiaalin taipumisen ulospäin leikkautumisen sijaan. Voima aiheuttaa ohueen leikkautumattomaan materiaaliin plastisen muodonmuutoksen. Tämä jättää kappaleen leikkuualueen reunalle terävän jäämän. Lähes sama periaate pätee myös poratun reiän puhkaisupuolelle syntyvään porausjäysteeseen. (Dornfield 2010)

Jäysteen kokoon vaikuttavat materiaalissa eniten sen muokkautuvuus ja muokauslujittumisaste. Isojen jäysteiden syntyminen vaatii helposti muokkautuvan materiaalin. Hauraassa materiaalissa ei synny isoja jäysteitä, sillä plastisen muodonmuutoksen alue on pieni. Esimerkiksi hauraaseen valurautaan jää harvoin näkyviä reunajäysteitä. Rakenneteräs taasen on jäysteen syntymiseen otollinen materiaali. Siihen jää helposti teräviä jäystereunoja mekaanisessa leikkauksessa. (Dornfield 2010; Gillespie 1999, 2)

2.2 Jäysteen minimointi

Ensimmäinen askel jäysteenpoistoon on kappaleen valmistuksessa syntyvän jäysteen minimointi. Kun jäysteet ovat pieniä ja harvassa, niiden poistaminen vaatii vain vähän aikaa ja vaivaa. (Gillespie 1999, 2–3,14) Kappaleen valmistus voi tulla kalliiksi, jos siitä joudutaan poistamaan vaikeita ja isokokoisia jäysteitä. Jäysteenpoiston osa tuotteen hinnasta on suuri. Mitä monimutkaisempia ja tarkempia osia valmistetaan, sitä kalliimmaksi jäysteiden poisto yleensä tulee. Esimerkiksi autoteollisuudessa keskiverto-osan valmistuksen kuluista 15–20 % syntyy jäysteenpoistossa. Tarkkuusosien, kuten lentokoneiden moottoreiden monimutkaisien komponenttien valmistuksessa jäysteenpoiston osuus voi olla jopa 30 %. (Dornfield 2010)

Lastuava työstö ja varsinkin otsajrsintä on hyvin yleinen työskentelytapa mekaanisten osien valmistuksessa ja sen aikana syntyvän jäysteen vähentämi-

seen on keskitytty viime vuosikymmeninä hyvin vahvasti. Keskittymällä jäysteen syntymisen välttämiseen voidaan viimeistelyssä säästää huomattavasti. (Dornfield 2010; Gillespie 1999, 2–3)

Metallin muokkautuvuuden takia jäystettä syntyy eniten kun työkalu poistuu materiaalin pinnalta. Tätä voidaan kuitenkin tehokkaasti vähentää muun muassa suunnittelemalla työstölinjat siten, ettei työkalun terä leikkaa kappaleen reunasta ulospäin, sekä järjestämällä työstöt niin, ettei jäystereuna jää kriittisille alueille. Jyrsinnässä onkin usein parempi valita hitaampi työstömenetelmä ja samalla säästää aikaa jäysteenpoistossa. (Dornfield 2010)

2.3 Plasmaleikkurin tuottama kuona

Plasmaleikkaus on suurella lämpötilalla metallia sulattava leikkaustapa, jota käytetään paljon rakenneteräksen leikkaamisessa. Metallia leikatessa plasmaleikkuri jättää pienen määrän leikkausjäysteen tapaista kuonaa leikattavan palan kääntöpuolelle leikkauskohtien reunoille (kuva 2). Tämä ilmiö ei synny samalla periaatteella kuin normaali leikkuujäyste, vaan on uudelleen jähmettynyttä metallia, joka on sylkeytynyt leikkauksen pohjalle. (Esab n.d.b.) Vaikka nämä ovatkin kaksi eri asiaa, on sana jäyste niin yleinen suomen kielessä, että usein epähuomiossa sitä käytetään kuvaamaan molempia. Usein puhutaan myös polttoleikkauksen purseesta, vaikka purse tarkoittaa valuosien muottien saumojen kohdalla esiintyvää ulkonemaa.



KUVA 2. Kuonaa plasmaleikatun reiän reunoilla

Modernit plasmaleikkauskoneet pystyvät leikkaamaan varsinkin ohuempia levyjä lähes kokonaan ilman kuonaa. Silti kuluneilla komponenteilla ja väärillä asetuksilla leikatessa sitä voi syntyä. Varsinkin leikkuupään väärä etäisyys ja nopeus vaikuttavat kuonan esiintymiseen. (Esab n.d.b; Matilainen 2011, 207)

Normaaleihin leikkuujäysteisiin (luku 2.1) verrattuna plasmaleikkauksessa syntynyt reunan ulkonema on usein isompaa ja vaatii siten hieman järeämpiä keinoja sen poistamiseen. Leikkurin jättämä kuona ja reunan epätasaisuudet käsitellään levyosia viimeisteltäessä loppujen lopuksi konepajatuotannossa hyvin samalla tavalla kuin normaalit jäysteet. Niissä voidaan suurelta osin käyttää samoja koneita ja työkaluja.

2.4 Jäysteenpoisto ja reunan viimeistely

Koska täydellisen työstöjäljen tavoittelu on aika ajoin vaikeaa, on kappaletta usein pakko käsitellä jälkikäteen. Lähes väistämättä kappaleessa on hieman jäysettä, kuonaa, tai teräviä reunoja ja kulmia, jotka pitävät käyttökohteesta ja tavoitellusta laadusta riippuen käsitellä. Pelkän jäysteenpoiston lisäksi kappaleen viimeistelyllä varmistutaan laadusta usealla eri osa-alueella. Reunojen pyöristys tai teroitus, pintojen puhdistus, kiillotus, hiominen, sekä virheiden ja kolhujen korjaus voidaan kaikki saavuttaa käyttämällä jäysteenpoistomenetelmiä. (Gillespie 1999, 14)

Jäysteenpoisto ja osien reunojen ja kulmien viimeistely on tärkeä työvaihe. Ylimääräisten jäysteiden lisäksi myös jäysteettömän kappaleen terävistä leikkuureunoista halutaan usein päästä eroon. Siksi jäysteenpoisto on lähes poikkeuksetta myös reunaviimeistelyä, eikä kappaleen viimeistely ole aina vain pelkkää jäysteenpoistoa. Pelkkä jäysteenpoisto tarkoittaisi ainoastaan ylimääräisen materiaalin poistoa reunasta, eikä reunan muotoon vaikutettaisi. Yleensä teräviin reunoihin halutaan pieni pyöristys. Gillespien (1999) kirjassaan esittelemä esimerkki rikkoutuneesta lasinpalasesta kiteyttää reunaviimeistelyn ja ”jäysteettömän reunan” yksinkertaisesti: Lasinsirun terävä reuna on kaikessa hauraudessaan säröytynyt täydellisen jäysteettömästi, joten olisi erheellistä kutsua sen käsittelyä jäysteenpoistoksi. Reunan viimeistely kattaa kaiken sen käsittelyn, jota tälle terävälle reunalle voidaan tehdä. Monet jäysteenpoistossakin käytetyt

viimeistelymenetelmät, kuten täryhiominen ja jäysteenpoistorummutus käsittelevät reunan lisäksi koko kappaleen pinta-alan. (Gillespie 1999, 14–15)

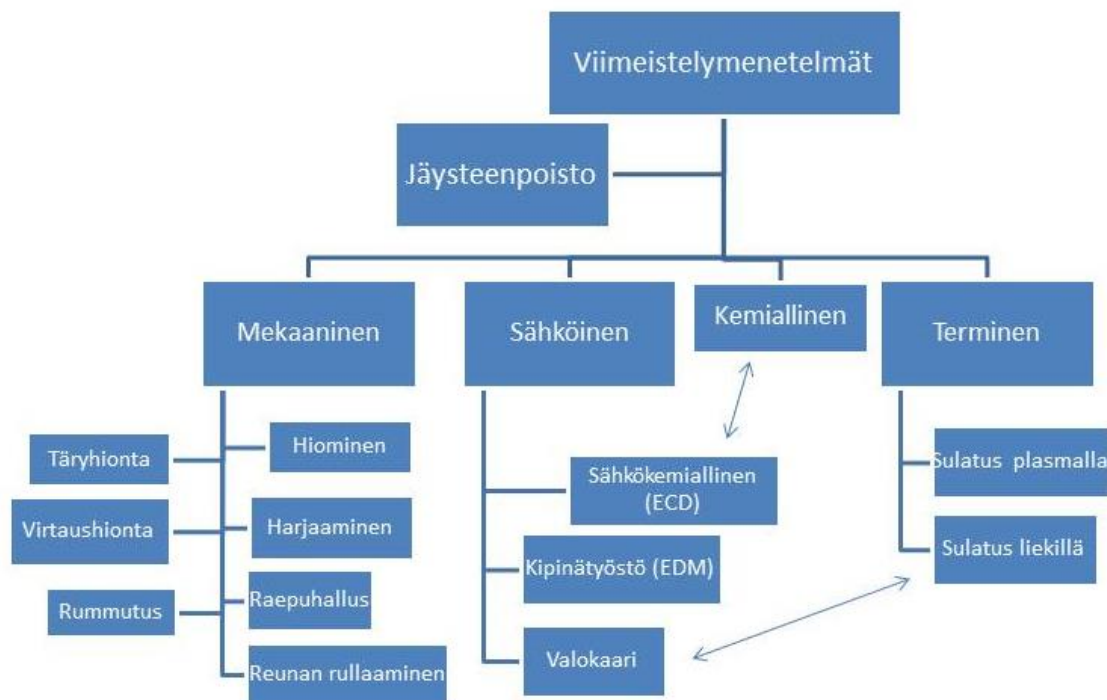
Teräsrakenteita valmistettaessa tarvitsee määrittää, kuinka paljon reunoja tulee käsitellä sekä paljonko jäysteitä ja leikkuukuonaa on sallittua jättää. Useimmisissa laatustandardeissa tuotteiden reunoista halutaan hieman pyöristetyt. Tarvitava reunojen viimeistelyn taso on tärkeä määrittää, sillä kappaleiden liiallinen työstäminen on hukkaa. Turhan pitkälle viimeistely osa ei tuota lisäarvoa sen lopullisessa käyttötarkoituksessa. Liiallinen työstäminen myös pitkittää läpimenoaika, joka laskee virtaustehokkuutta ja tulee yritykselle kalliimmaksi. (Modig 2016)

Teräsrakentamisen 1090-standardissa rakenteiden kaikille teräsosille on määritetty tietty kulmanpyöristys, joka estää aiemmin mainitun pinnoitteen kalvopak-suuden ohenemisen (luku 2.1). Teräsosiin ei saa jättää teräviä reunoja tai leikkauksessa aiheutunutta jäystereunaa vaan ne tulee viimeistellä pyöreäksi. (SFS-EN 1090-2:2018) Pyöristyksen koko vaihtelee riippuen käytettävästä laatu-utasosta. Yksi yleinen reunapyöristys on 2 mm.

2.5 Jäysteenpoiston ja reunaviimeistelyn menetelmät

Erilaisia jäysteenpoisto- ja reunaviimeistelymenetelmiä on lukuisia ja oikean valitseminen on tärkeää tähdättäessä nopeaan ja mahdollisimman halpaan prosessiin, joka tuottaa haluttuja tuloksia. Kannattava jäysteenpoisto valitaan eräkoon, sallitun jäysteen ja reunan laadun, läpimenoajan, sekä myös turvallisuus- ja ympäristövaikutuksien summaa ajatellen. (Gillespie 1999, 15–22; Gillespie 2005).

Viimeistelymenetelmät voidaan jakaa karkeasti neljään eri kategoriaan; mekaanisiin, sähköisiin, termisiin ja kemiallisiin. Jaottelu on karkea, sillä eri menetelmien välillä on yhteneväisyyksiä eivätkä yksittäiset esimerkit aina mahdu tietyn yksittäisen kategorian sisälle. Alla olevassa kuviossa on esitelty kategorioiden alta esimerkkejä, jotka sopivat jäysteenpoistoon sekä reunan viimeistelyyn. Jäysteenpoisto yhdistyy kuviossa viimeistelyyn, sillä ne voidaan toteuttaa samoilla työmenetelmillä (Gillespie 1999, 7–13).



KUVIO 1. Viimeistelymenetelmiä

Viimeistelytavat voidaan jakaa yksittäisiin ja erämenetelmiin. Erämenetelmällä tarkoitetaan työtapaa tai konetta, jolla pystytään käsittelemään useita kappaleita samalla kerralla, mutta materiaalivirta ei ole jatkuvaa kuten liukuhihnatyöskentelyssä. Tällaisesta koneesta hyviä esimerkkejä ovat jäysteenpoistorummutus ja läpivirtaamaton täryhionta.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään lähinnä teräsrakennuksen levyosien jäysteenpoistoon. Käsiteltävien levyosien jäysteet ja reunavirheet ovat karkeita ja niitä on paljon. Tulevissa luvuissa esitellään tähän käyttöön parhaiten soveltuvia menetelmiä. Näitä ovat hionta, harjaus, täryhionta ja rummutus. Sähköiset, kemialliset ja termiset jäysteenpoistomenetelmät esitellään lyhyemmin, sillä ne on tarkoitettu pääsääntöisesti tarkempiin käyttökohteisiin.

2.5.1 Hionta

Parhaiten epätasaisuuksien ja ulkonemien tasoitukseen soveltuva hionta on tehokas abrasiivinen menetelmä. Hiomalla tehty jäysteenpoisto pyöristää kap-

paleen reunaa ja etenkin kulmia hyvin tehokkaasti. Hiominen on hyvä menetelmä, kun käsiteltävän kappaleen reunat halutaan tasoittaa ja kulmista halutaan pyöreät. Hionnan eräs huono puoli tulee esiin silloin, kun kappaleessa esiintyy kuoppia, sisäkulmia tai muita siseneviä käsiteltäviä muotoja. Hiomatyökalut eivät helposti taivu sellaisiin.

Käsin kulmahiomakoneella tehtävä hiominen on selvästi yleisin viimeistelytapa terästuotteiden valmistuksessa sen yksinkertaisuuden takia. Käsin toteutettu reunaviimeistely ei tosin ole kovin mittatarkka ja kappaleen reunapyöritys voi olla paikoin epätasainen. On olemassa myös automatisoituja jäysteenpoistoon tarkoitettuja hiomakoneita. Niissä levyosat asetetaan liukuhihnalle, joka kuljettaa osat erilaisten hiomatyökalujen läpi (luku 4.2.3). Koneistetulla hionnalla viimeistelyjälki on hyvin tasainen, sillä koneella poistetaan ihmiskäden virheen mahdollisuus. Jos kappaleeseen halutaan saada aikaan tietyn kokoinen reuna- viiste, hionta on siihen tarkoitukseen helppo metodi.

2.5.2 Harjaus

Harjaus on tehokas ja laajasti käytetty viimeistelytapa. Käsiteltävät osat harjataan esimerkiksi metalli- tai nylonharjaksilla, jolloin jäysteet irtoavat ja reunat saadaan pyörästettyä. Harjaus on myös halpa ja ympäristöystävällinen viimeistelymetodi. Harjasten koosta ja materiaalista riippuen käsittely voi olla hellävarainen tai hyvinkin tehokkaasti abrasiivinen. (Gillespie 1999, 261–267)

Leveät harjalaikat lyhyillä yksittäisillä harjaksilla ovat yleensä kaikista aggressiivisimpia. Tietyillä harjatyypeillä voidaan saada aikaan myös metallin pinnan kiillottumista ja tasoittumista. Esimerkiksi teräsharjat eivät niinkään syö metallia, vaan hakkaavat kappaleen pintaa pyörästäen reunoja ja ulkonemia. Hiovat nylonharjakset pyörästävät kappaleen ulkonemat abrasiivisesti. Tehokkaimmat harjakset voivat olla monen millimetrin paksuisesta kovateräksestä valmistettuja ja luovat kappaleen pintaan lähes taotun näköisen viimeistelyn. (Cleveland Deburring Machine Company n.d.; Gillespie 1999, 267–269)

Harjaaminen toimii monissa käyttökohteissa, sillä se mukailee kappaleen pienempiäkin pinnanmuotoja huomattavasti normaalia hiomista paremmin. Harjaa-

va työkalu on usein yhdistetty samaan koneeseen hiomatyökalujen kanssa, jolloin saadaan yhdistettyä hiomisen ja harjaamisen hyvät puolet. (AMS 2019)

2.5.3 Täryhiominen

Nykyään erittäin yleinen täryhiominen on nopea ja tasalaatuinen kappaleiden massaviimeistelytapa. Siinä osat upotetaan hiomakappaleiden sekaan, joita täristetään siten, että osat hioutuvat niitä vasten kaikkialta. Hiomakappaleiden kokoa ja karkeutta vaihtelemalla osaan saadaan haluttu viimeistelyaste ja pinnan karkeus. Oikean kokoisella ja muotoisella hiomamateriaalilla, eli hiomamedialla, voidaan minimoida käsittelyaikaa. Täryhionnalla voidaan tehdä nopea ja karkea siistiminen, tai käsitellä kappale jopa kauniiseen peilikiiltoon asti. Käsitteilyn aikana kappale hioutuu kauttaaltaan, joten reunojen, jäysteiden ja kulmien lisäksi myös pinnat tulee käsiteltyä. (Gillespie 1999, 148; 2005)

Täryhiomakoneita on monenlaisia, mutta ne voidaan karkeasti jakaa kertaladattaviin sekä jatkuvan virtauksen malleihin. Teollisuudessa yleinen ratkaisu on käyttää ns. läpivirtaavaa mallia, johon käsiteltäviä kappaleita voidaan laittaa jatkuvalla syötöllä. Osat ajautuvat koneen läpi tasaisella nopeudella. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kerralla täytettävää mallia, johon kaikki osat lasketaan samaan aikaan. Tällaisessa mallissa voidaan määrittää tarkasti kappaleiden käsittelyaika.

2.5.4 Rummutus

Rummutuksella (engl. barrel tumbling) tarkoitetaan käsiteltävien tuotteiden pyörittystä suljetussa rummussa, jossa osat hakkautuvat ajan mittaa hiomamateriaalia, sekä toisiaan vasten siten, että niiden reunat, kulmat ja ulkonemat pyörivät ja pinnat puhdistuvat. Jo satoja vuosia tunnettu ja 1800-luvulla yleisesti käytetty viimeistelytapa on tehokas ja yksinkertainen erämenetelmä. Käsitteily tuottaa kappaleeseen hyvin pyörityneet reunat, sekä puhtaan pinnan. Rummutuksella voidaan käsitellä lähinnä vain pienempiä osia sillä isommat osat eivät liiku rummun sisällä kunnolla. Käsiteltävien osien painoraja on koneesta riippuen 5–20 kilogrammaa. (Gillespie 1999, 145–148; Baijers n.d.; Laurila 2021)

Hioutuvuuden edistämiseksi osien joukkoon voidaan lisätä teräskuulia tai täryhionnassakin käytettyä hiomamateriaalia. Rummun eri pyörimisnopeuden ja hiomamateriaalien yhdistelmät vaikuttavat osien viimeistelyasteeseen. Käsitteilyllä voidaan saada aikaan teräsosien nopea puhdistus pintaruosteesta ja jäysteistä tai koko osan kaunis tasainen hionta. (Inovatec n.d.)

Jäysteenpoistorummutus on tyypillisesti erämenetelmä, mutta myös jatkuvan virtauksen laitteita on kehitetty. Modernit jäysteenpoistorummut ovat toimintaperiaatteeltaan yksinkertaisia, mutta niissä on nykyaikaisia toimintoja. Rummut voidaan sisäpuolelta vuorata kumilla, mikä vähentää yhdessä äänieristelaatikon kanssa työvaiheen meteliä. Koneen sisältä voidaan imeä pois hiomapöly, mikä jättää osat puhtaammiksi. (Arku n.d.) Täryhiominen on ohittanut rummutuksen suositumpana viimeistelymenetelmänä, mutta rumpujen käyttö on silti hyvin yleistä (Gillespie 1999, 145–148; Gillespie 2005).

2.5.5 Sähköiset, kemialliset ja termiset menetelmät

Jäysteen ollessa tarpeeksi pieni tai vaikeassa paikassa se voidaan poistaa lämmöllä, sähkövirralla tai kemiallisesti. Reunan pyöristäminen sulattamalla voidaan tehdä muun muassa plasmalla tai sähkövirralla. Kemikaaleja voidaan käyttää joko itsessään poistamaan pieniä jäysteitä tarkoilta reunoilta tai apuna abrasiivisessa käsittelyssä. Teollisuudessa kemikaaleja on käytetty usein esimerkiksi mekaanisten menetelmien tehostamisessa. Käyttämällä eri menetelmiä saadaan erilaisia vaikutuksia, kuten kemiallisen käsittelyn nopea läpivirtaus tai sähköisten menetelmien työjäljen tarkkuus.

Sähköinen jäysteenpoisto tai kipinätyöstö (EDM, Electrical discharge machining) on hyvin tarkka työmenetelmä. Sillä voidaan käsitellä pienet valitut pinnat nopeasti suurella tarkkuudella. Jäystereuna poistetaan tehokkaan sähkövirran avulla, joka ei lämmitä kappaletta läheskään niin paljoa, että lämpö vaikuttaisi koko kappaleeseen. Tämäntapaisia työmenetelmiä käytetään silloin, kun vaaditaan ehdotonta tarkkuutta monimutkaisissa osissa, esimerkiksi hammaspyörien reunojen viimeistelyssä. (Engineersedge n.d.; MicroGroup n.d.)

Sähkökemiallisessa jäysteenpoistossa (ECD, Electrochemical deburring) jäyste ns. sulatetaan pois kemiallisen elektrolyysin avulla. Menetelmässä työkalun (kattodi) ja työstettävän kappaleen (anodi) välillä kulkee sähkövirta, mikä ei aiheuta kappaleeseen mekaanista kulutusta tai lämpötilavaihtelua. Menetelmä on omiaan vaikeasti yllettävissä ja tarkkuutta vaativissa paikoissa. (Gillespie 1999, 299; Flowgrinding Corp n.d.)

3 TOIMINNAN NYKYTILAN KARTOITTAMINEN

Ennen uusien toimintatapojen etsimistä kiinnitetään huomio tämänhetkisten prosessien tutkimiseen. Toiminnan nykytilan kartoituksessa otettiin selvää millä työtavoilla levyosia valmistetaan, sekä miten osat viimeistellään ennen kuin ne voidaan käyttää teräsrakenteiden kokoonpanossa.

3.1 Levyosien valmistaminen

Teräsrakennekokoonpanojen valmistuksessa käytetään leikattuja teräslevyjä. Osat ovat normaalisti noin kämmenen kokoisia vaihtelevan paksuisia levyosia, jotka hitsataan kiinni kokoonpanoon. Levyosat leikataan muotoon ja rei'itetään, jonka jälkeen ne siistitään jäysteistä sekä kulmat ja reunat pyöristetään. Valmiit levyosat silloitetaan kiinni teräskokoonpanoon, jonka jälkeen ne voidaan hitsata. Useimmat osat leikataan levyleikkurilla paikan päällä Huittisissa. Vaikean muotoiset sekä kaikki yli 12 mm teräslevyosat tilataan polttoleikattuina.

Levyleikkaus

Levyleikkaaja saa osien 2D-piirustukset, joiden pohjalta hän alkaa valmistella levyosien valmistusta. Teräslevy leikataan muotoon Aliko CNC-suuntaisleikkurilla. Tämä kone leikkaa teräslevyyn vain suoria leikkauksia, joten osat, joissa on kaarevia muotoja, joudutaan plasmaleikkaamaan.

Kun levyosat on saatu leikattua, niihin lävistetään reiät AMO Hydracrop 80/S-monitoimileikkurilla. Teräslevyyn lävistetään reikä meistillä yhdeltä puolelta, jolloin toiselle puolelle jää hieman jäysteitä. Levyleikkauksessa osien leikkaus särmit sekä kulmat jäävät hyvin teräviksi. Ne pitää siistiä ennen kuin osat voidaan käyttää kokoonpanossa.

Plasmaleikkaus alihankintana

Kaikki yli 12 mm paksut osat, sekä ohuemmat osat, joiden valmistus on vaikeaa yrityksen omalla levyleikkurilla, tilataan ulkopuolelta plasmaleikkausyritykseltä. Nämä osat toimitetaan sellaisinaan ilman jälkikäsitteilyjä. Leikattujen osien ul-

kosivuilla sekä reikien reunoilla on levyvahvuudesta riippuen hieman leikkauksesta aiheutunutta kuonasulaa, joka on poistettava.

Levyosien merkitseminen

Muotoonleikkauksen jälkeen levyysiin merkataan maalikynällä osanumero (kuvat 3 ja 4). Jokainen osa merkitään käsin kirjoittamalla. Tapa on helppo ja toimiva, mutta siinä on yksi rajoittava puoli; merkkkaus häviää, jos osat käsitellään jäysteenpoistorummussa, tai missään muussa viimeistelyssä jossa kappaleen koko pinta hioutuu.

3.2 Levyosien jäysteenpoisto

Leikatut ja rei'itetyt levyosat täytyy siistiä ennen hitsausta. Jäysteenpoisto, sekä reunaviimeistely tehdään manuaalisesti kulmahiomakoneen hiomalaiikalla tai nauhahiomakoneella. Leikkeiden reunat ja kulmat pyöristetään samalla kun jäysteet poistetaan. Kulmia ja reunoja pyöristetään tekijästä riippuen vaihteleva määrä ja laikka on niin karhea, että huolimattomalla työskentelyllä siitäkin voi syntyä pieni määrä terävää epätasaista hiomajäystettä.



KUVA 3. Jäysteenpoistoa nauhahiomakoneella

Tämä työvaihe tehdään ennen osan asentamista kokoonpanoon. Manuaalinen osien siistiminen on yksinkertainen, mutta aikaa vievä prosessi, joka kuormittaa työntekijää teräsrakenteiden kokoonpanon aikana. Osien jäysteenpoiston aikana osia käännellään ja käsitellään käsin. Työ on raskasta, sillä levyt painavat usein jopa yli kymmenen kiloa.



KUVA 4. Manuaalisesti viimeistelyjä levyosia silloitettuna ennen hitsausta.

Yrityksellä on ollut pitkään käytössä jäysteenpoistorumpu. Käsittelyn jälkeen osien kulmat sekä reunat ovat pyöristyneet tasaisesti ja tehokkaasti, myös reikien reunojen jäysteet on saatu hävitettyä. Rummun käyttö on kuitenkin hieman hankalaa, sillä maalikynällä osiin tehdyt merkinnät häviävät käsittelyn aikana ja levyosat joudutaan lajittelemaan uudelleen niiden valmistuksessa käytettyjen piirustuksien avulla. Suuri osa jäysteenpoistosta ja siistimisestä tehdään vielä manuaalisesti kokoonpanon aikana. Rummusta puuttuu myös nykyaikaisia ominaisuuksia, kuten sisäpinnan kumivuoraus, mikä tekee siitä erittäin äänekkään.

4 YRITYKSEN LEVYLEIKETUOTANNON TEHOSTAMINEN

Kohdeyrityksen levyosat tuotannossa valmistetaan satoja teräskappaleita päivässä. Leikkeet ovat vaihtelevan kokoisia ja työstettävän levyn vahvuus vaihtelee 3–50 mm välillä. Koska osia on monia erikokoisia, tulee myös tuotannon mukautua erilaisiin käsiteltäviin kappaleisiin. Yritys pyrkii vähentämään levyleikkeiden viimeistelyyn kulunutta aikaa ja työvoimaa.

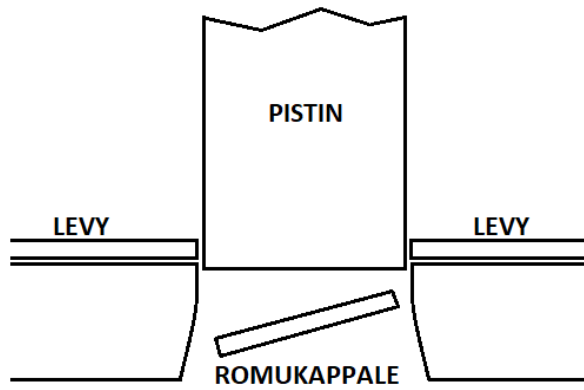
4.1 Reunavirheiden vähentäminen

Reunavirheiden korjaus voidaan joko toteuttaa tehokkaammin tai sen syntymistä pystytään välttämään ennaltaehkäisevästi. Kuten aiemmin (luku 2.2) on käsitelty, paras tapa tehostaa jäysteenpoistoa ja jälkikäsitteilyä, on välttyä viimeistelyä vaativien ongelmien syntymiseltä jo kappaleen valmistusvaiheessa. Yrityksen levyleikkeiden merkittävimmät reunaongelmat ovat levyleikkurin jättämät terävät reunat ja kulmat, rei'ityksen jäysteet, sekä polttoleikkauksen kuona.

Yrityksen valmistamat teräsrakenteet eivät vaadi järin suurta tarkkuutta, mutta terävät ja jäysteiset reunat täytyy pyöristää. Reunoja on vaikea pyöristää jo leikkuvaiheessa, mutta varsinaisista reunavirheistä voidaan päästä eroon.

4.1.1 Reikien lävistys

Reikien lävistäminen eli meistaus on metallilevyn mekaanista rei'itystä. Menetelmässä käytetään meistiä (kuva 5). Halutun muotoinen pistin työntyy levyn läpi leikaten levyä tarkasti lähes samalla periaatteella kuin mekaanisessa levyleikkauksessa. Perinteisen lävistyksen hyviä puolia ovat sen nopeus ja yksinkertaisuus. Reikien lävistäminen ei aiheuta lastuja eikä kappaleeseen korkeaa kuumuutta.



KUVA 5. Meisti

Lävistyks aiheuttaa reikien kääntöpuolelle huomattavan terävät reunat (kuva 1 ja 6). Lävistyksen jäljiltä levyn päälipuolella reunat ovat hieman pyöristyneet, kun materiaali muokkautuu meistin pistimen mukana leikkaussuunnassa, ennen murtolujuuden ylittämistä ja leikkautumista. Tätä kutsutaan vajaasärmäksi. Kääntöpuolella leikkauspinnan reunat ovat terävät, sillä pieni määrä materiaalia venyy ja aiheuttaa levyn kääntöpuolelle jäysteen. (Matilainen 2011, 170) Kuvassa 6 levyosan reiän leikkauspinnalla näkyy murtunut vyöhyke, kiillottunut vyöhyke, sekä terävä jäystereuna. Kuvassa 7 kohdassa B on esitelty reunan rakennetta tarkemmin.



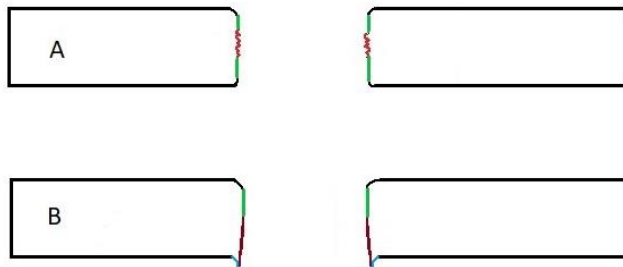
KUVA 6. Meistattu reikä

Yrityksen käytössä olevassa meistissä on tuet sekä ylä- että alapuolelta. Tässä koneessa leikattavan reiän reunat tuetaan leikkauksen aikana, mikä auttaa leikattavaa levyä pysymään suorassa. Tuenta tekee myös leikkuupinnasta hieman

suoremman kuin perinteistä täysin tukematonta meistiä käytettäessä (Custom-PartNet n.d.). Reiän reunat ovat hyvin mittatarkat, eikä vastaavaa tarkkuutta saada aikaan plasmalla.

Länsi-Saksassa on aikoinaan kehitelty tapa, jossa lävistettävä reikä tai leikattava reuna leikataan kahdessa vaiheessa kummaltakin puolelta. Tällä menetelmällä ensimmäisessä vaiheessa pistin painetaan noin puoleen väliin levyn paksuudesta siten, että leikkausvoimaa ei ylitetä. Toisessa vaiheessa samankokoinen pistin painaa lopullisen reiän toiselta puolelta vastakkaisesta suunnasta. Tällä leikkaustavalla saadaan aikaan siistimpi leikkauspinta, sillä päälipuolella on jo osittain leikkautunut ura ja kummallekin puolelle syntyy pyöristymä, eikä repeävä osa jää kovin isoksi. (Gillespie 1999, 49)

Kuvassa 7 vihreällä merkattu alue kuvastaa kiillottunutta aluetta, punainen repeytyynyttä aluetta ja sininen jäystereunaa. Kaksiliikkeisen meistin leikkujälki on jäysteetöntä, sekä sen tekemän reiän reunat ovat jo valmiiksi pyöristyneitä.



KUVA 7. Lävistetyin reiän läpileikkaus kaksiliikkeisellä meistillä (A) ja yksiliikkeisellä meistillä (B)

Kaksiliikkeinen meisti ei kuitenkaan yksinään ratkaise kaikkia reunaongelmia vaikka reikien reunat voitaisiin parhaassa tapauksessa jättää kokonaan käsittelemättä. Ei siis ole kannattavaa hankkia kyseistä uutta konetta, sillä levyosia joudutaan reikien siististä leikkujäljestä huolimatta silti käsittelemään. Investointi uuteen meistiin olisi turhaa, sillä olemassa oleva meisti toimii tässä tilanteessa yhtä hyvin.

4.1.2 Levyleikkaus

Yrityksen käytössä on hyvin perinteinen CNC-levyleikkuri. Suuntaisleikkuri pysyy leikkaamaan vain suoria reunoja. Levyleikkurin toimintaperiaate on hyvin samankaltainen kuin meistin. Siinä kappale tuetaan kummaltakin puolelta ja leikkuupinta painaa levyä alas terävää tukipintaa päin näin leikaten sen, lähes kuten saksilla leikatessa.

Leikkurin tuottama reuna on laadultaan tasainen ja jäysteet ovat matalia, mutta reuna on selvästi terävämpi verrattuna plasmaleikkeisiin. Suuntaisleikkurin toimintaperiaatteen takia kulmien pyöristys ei ole mahdollista. Tämä jättää myös kaikki kulmat hyvin teräviksi (kuva 8). Vaikka levyleikkeen päälipuolelle jäävä vajasärmä on pyöristynyt ja tasainen, on kääntöpuolelle jäävä jäystereuna liian terävä käsittelemättä jätettäväksi.



KUVA 8. Teräviä reunoja ja vajasärmä levyleikkeissä

Levyleikkurin leikkuujälkeen ja jäysteen kokoon vaikuttavat muun muassa leukojen terien kunto sekä niiden väliin jäävä vapaa väli eli vällys. Tähdittäessä parhaaseen leikkuujälkeen on pidettävä erityistä huolta laitteen terien kunnosta. (Matilainen 2011, 170–173; CustomPartNet n.d.)

4.1.3 Plasmaleikkaus

Alihankitussa plasmaleikkauksessa syntyneet metallisulajäämät ovat yrityksen käyttöön täysin hyväksyttävän kokoisia eivätkä reunat ole teräviä. Jälkeen ja laatuun ollaan tyytyväisiä. Paksumpia levyosia leikatessa sulaa jää reunoille

enemmän. Kuonajäämä on silti helposti irtoavaa ja sitä esiintyy vain leikkeiden kääntöpuolella. Reuna on silti nopeasti viimeisteltävä, mutta koko kappaleen jokaista sivua ei välttämättä tarvitse käsitellä. Se tekee viimeistelystä nopeampaa kuin mekaanisesti leikattujen osien viimeistely.

Plasmaleikkauksessa levyosan kulmat eivät jää kovin teräviksi kuten mekaanisessa levyleikkauksessa. Kulmiin voidaan jo kappaleen suunnitteluvaiheessa määrittää tarvittava pyöristys. Tämä ominaisuus vähentää reunapyöristykseen kulunutta aikaa.

Kaikki yrityksen oma levyn muokkaus on mekaanista leikkausta, jonka jälkeen kaikki kulmat ja reunat pitää viimeistellä. Investoimalla moderniin plasma- tai laserleikkuriin levyt pystyttäisiin leikkaamaan siistimmin. Modernin leikkurin jälki olisi etenkin ohuilla levyvahvuuksilla hyvin puhdasta, eikä jäysteenpoistoa tai reunaviimeistelyä tarvitsisi välttämättä tehdä kuin vain leikkeen kääntöpuolelle.

Termistä leikkausta käytettäessä reiät pystyttäisiin leikkaamaan kappaleeseen samalla kerralla, mikä nopeuttaisi levyleikkeiden tekemistä huomattavasti. Tällä hetkellä varsinkin suuria levyeriä valmistettaessa mekaanisella leikkauksella työhön tarvitaan kaksi työntekijää joista toinen käyttää levyleikkuria ja toinen tekee osiin reiät. Plasmaleikkauksessa tarvitaan vain yksi työntekijä.

Laserleikkaus vai plasmaleikkaus

Vaihtoehto plasmaleikkaamiseen on laserleikkaus. Sillä saadaan aikaan erittäin tasainen leikkuupinta. Laserin leikkuujälki on siisti, mutta se ei sovellu paksujen levyjen leikkaukseen. Taloudellisesti optimaalinen leikattavan levyn paksuus on CO₂-laserilla noin 0,5–15 mm ja plasmalla noin 3–35 mm. Vaikka laserleikkaus onkin hyvin tarkkaa ja siistiä, ei ole järkevää investoida monta kertaa kalliimpaan laserleikkuriin, jos sen tuomat edut eivät ole käytettävissä paksuimmilla levyvahvuuksilla, jotka aiheuttavan termisessä leikkauksessa yrityksen suurimmat reunaongelmat. Modernin ja hyvin optimoidun plasmaleikkurin ominaisuudet ja leikkausjälki ovat juuri sopivat kohdeyrityksen käyttöön. Tällaisen työaseman hinta alkaa 50 000 € luokasta. (Esab n.d.a. Matilainen 2011, 205–206)

Levyleikkauksen alihankinta

Nykyään Suomessa on plasmaleikkausyriityksiä lähes joka kaupungissa ja leikkaustyön hinnat ovat alhaisia. Yrityksellä olisi mahdollista ulkoistaa kaikki levyleikkaus kokonaan leikkausyriitykselle, joka toimittaisi siistejä levyosia valmiina käyttöä varten. Tämä vapauttaisi koko levyleikkaukseen kuluva työmäärän muuhun tekemiseen. Tosin tällöin haittapuolena olisi se, että reagointiaika esimerkiksi puuttuvaan osaan tai uuden leikkeen valmistamiseen hidastuisi huomattavasti. Se voisi aiheuttaa mahdollisia lisäongelmia.

4.2 Osien viimeistelyn tehostaminen

Jos hyväksytään levyyn leikkauksessa syntyvät reunavirheet, eikä niiden syntymistä voida helposti vähentää, pitää keskittyä virheen tehokkaaseen käsitteilyyn. Jäysteiset ja terävät reunat voidaan käsitellä suurina erinä, tai yksitellen manuaalisesti. Koska yrityksen valmistamat levyosat ja eräkoot ovat vaihtelevan kokoisia, pitää valita käytettävä työskentelymetodi sopimaan näihin raameihin. Pahimmillaan uusi huonosti optimoitu taikka muuten epäsovelias työskentelytapa voi jopa aiheuttaa lisäkuluja ja hidastaa tuotantoa (Modig 2016).

Tämänhetkinen manuaalinen levyosien hiominen on yksinkertainen ja helposti mukautuva levyosien viimeistelytapa. Se kuitenkin kuormittaa tuotannon työntekijöitä ja on hidasta. Mahdollisen uuden työskentelytavan toivotaan olevan nopeampi, työergonomisempi, sekä vähemmän työläs.

4.2.1 Jäysteenpoistorumpu

Yrityksen käytössä on yksi jäysteenpoistorumpu, jolla käsitellään leikattuja levyosia. Huolimatta sen sangen tehokkaasta toiminnasta ja siististä jäljestä, ei sen käyttö ole ongelmaton. Eniten päänvaivaa tuottaa osien pinnalta katoavat osanumerot ja merkinnät. Suuri osa käsittelyn tuomasta hyödystä hävitään siinä, kun kaikki käsitellyt osat joudutaan lajittelemaan ja tunnistamaan uudelleen. Leikkeiden osanumeron löytäminen on hidasta, sillä monien osien eroavaisuudet eivät näy päällepäin paljaalle silmälle, vaan ne selviävät ainoastaan mittaamalla.

Jäysteenpoistorummun käyttö onkin parhaimmillaan silloin, kun sinne voidaan laittaa kerrallaan erä samoja osia, jotka eivät voi sekoittua keskenään. Jos rumpuja olisi useampi kuin yksi, tai yhdessä rummussa olisi useampi toisistaan erotettu kammio, eivät osat sekoittuisi keskenään. Se vähentäisi lajitteluun kulunutta työmäärää.

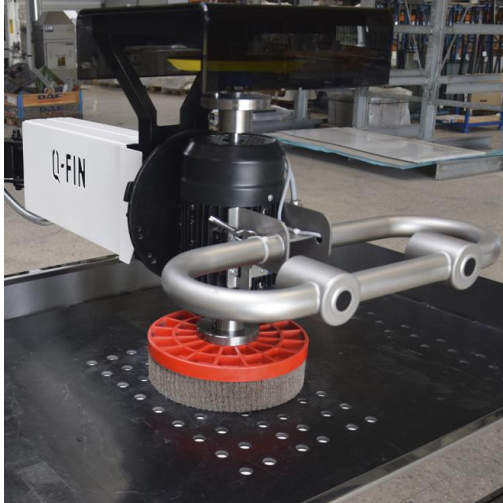
Rummutuksella osat puhdistuvat kauttaaltaan, mikä vähentää kokoonpanojen maalausta edeltävään hiekkapuhallukseen kuluvaan aikaa. Hiovaa ainetta lisäämällä rummutuksesta saataisiin mahdollisesti entistäkin nopeampaa (Gillespie, 1999). Internetissä on olemassa ilmaisia ohjeistuksia ja laskentaohjeita, joilla voidaan määrittää tarvittavan hiomamateriaalin laatu kuhunkin käyttökohteeseen.

Suomessa esimerkiksi Finnblast Oy valmistaa jäysteenpoistorumpua, joka on varustettu melua vähentävällä kumivuorauksella ja pölynpoistolla. Haluttaessa rumpu pystyttäisiin jakamaan kahteen osaan väliseinällä. (Finnblast 2014; Laurila 2021)

4.2.2 Manuaalinen jäysteenpoistokone

Keskikokoisten tuotantoerien jäysteenpoistoon tarkoitettu harjahiomakone on monipuolinen ja helposti käyttöönotettava ratkaisu levyosien viimeistelyyn. Se on askeleen koneellisempi versio käsin hiomisesta. Eri valmistajat käyttävät tuotteistaan eri nimiä, kuten viimeistelykone tai manuaalikone.

Koneen toimintaperiaate on yksinkertainen. Pöytään kiinnitetty hiomakone on varustettu harjaksella ja pysyy varren nivelten ansiosta koko ajan vaakatasossa. Pöytätasolla on kuminen rei'itetty imupinta, joka pitää käsiteltävän levyn paikallaan. Koneella käsitellyn levyleikkeen pinta ja reunat saadaan puhdistettua jäysteistä ja kuonasta, sekä reunat pyöristyvät siihen suunnitellun harjan avulla. Koska kerralla käsitellään vain osien päälipinta, eikä työkalu käänny, jää toisenkin puolen käsittelyn jälkeen osa sivun leikkauspinnasta vielä viimeistelemättä. Tästä johtuen esimerkiksi karkea vesileikkauspinta voi jäädä rosoiseksi, vaikka reunat ja levyn pinnat ovatkin siistejä ja viimeistelyjä. (Q-fin n.d.)



KUVA 9. Manuaalinen jäysteenpoistokone varustettuna harjalla (Q-fin)

Koneen edut ovat sen käytön joustavuudessa. Irtonaisten osien työstö on nopeaa, eikä konetta tarvitse säätää eri levyvahvuuksien välillä. Viimeistelyjälki on tasaista. Reunat jäävät nätisti pyöristetyiksi, eikä niihin synny käsinhionnassa helposti epähuomiossa tapahtuvaa liiallista viistettä. Työergonomisesti kone on parempi verrattuna käsin tehtävään hiontaan. Myös se, etteivät kappaleen pinnalta häviä kerralla kaikki merkinnät, on kohdeyrityksen käytössä hyvä asia. Näin osanumerot voidaan säilyttää kappaleessa jäysteenpoiston ajan. Hienostuneemmissa malleissa on myös erilaisia kulmajyrsintään tarkoitettuja työkaluja, mutta yrityksen käyttöön tarvitaan vain yksinkertainen normaaliin reunanpyöristykseen pystyvä harjatyökalu.

4.2.3 Automaattinen jäysteenpoisto- ja reunapyöristyskone

Suuremman tuotannon jäysteenpoistoon tarkoitettu viimeistelykone on automatisoitu laite, jonka liukuhihnalle syötetään levyosia. Osan kulkiessa koneen läpi sen pintaa harjataan ja hiotaan. Kone poistaa jäysteet, tasoittaa pintapuolien epätasaisuuksia ja pyöristää osan reunat samalla tavalla vain levyosan pintapuolilta kuten edellä mainitussa manuaalisessa jäysteenpoistokoneessa. Kone soveltuu ainoastaan levyosien viimeistelyyn, eikä se käsittele paksujen osien koko leikkuupintaa. (Arku n.d.; Baijers n.d.)



KUVA 10. Automaattisella jäysteenpoistokoneella viimeistelyjä osia (Arku n.d.)

Automaattisella koneella viimeistelyjälki on siistiä ja tasalaatuista. Osien käsittely on nopeaa, sillä kappaleita voidaan ajaa jatkuvalla syötöllä koneen läpi. Jos esimerkiksi kahdenkymmenen raskaan levyosan siistimisessä menee aikaa kolme varttia, voidaan sama työ toteuttaa koneella minuuteissa. Koneet ovat kuitenkin suhteellisen kalliita. Esimerkiksi Arku Edgebreaker kone maksaa malista riippuen 100 000–400 000 euroa. Suuressa tuotannossa koneella käsiteltäisiin kuitenkin tuhansia kiloja terästä vuodessa, jolloin viimeistelyssä säästetty työ määrä on valtava. (Wahlstedt 2021)

4.3 Osanumeron merkintä

Koska teräskokoonpanojen valmistuksessa käytetään lukuisia eri osia, kuuluu jokainen tunnistaa helposti kokoonpanojen kasausvaiheessa. Tunnistuksen helpottamiseksi osiin kirjoitetaan osanumero. Teräskappaleiden merkintä voidaan toteuttaa esimerkiksi maalaamalla tai piirtämällä, polttamalla laserilla, muokkaamalla metallin pintaa tai erillisellä tarralla tai kilvellä.

Ongelma nykyisessä osanumeron merkintätavassa on se, ettei se kestä levyosien viimeistelyä rummussa, tai täryhiomakoneessa. Maalikynällä tehdyt merkinnät kuluvat pois heti. Mitä järeämpi osien viimeistely on sitä kestävämpi osamerkintä pitää olla. Osamerkinnälle selvästi vaarallisin viimeistelytapa onkin osien rummutus tai karkea täryhionta. Siinä kappaleiden koko pinta-ala käsitellään, joten maalaamalla tai muuten heikosti tehdyt merkinnät häviävät. Yrityksen käyttöön tarvitaan osien merkintätapa, joka kestää valitun jäysteenpoisto-

menetelmän. Vaihtoehtoisesti osat tarvitsisi tunnistaa nopeasti ja merkata uudelleen heti viimeistelyn jälkeen.

4.3.1 Mekaaninen merkintä

Tämänhetkinen osien merkkaustapa on nopea ja kätevä, mutta se ei kestä kulu- tusta. Paremmin kulutusta kestävä merkintätapa olisi tehdä merkinnät metallin pintaa työstämällä. Esimerkiksi pistekirjoitus, raavintakirjoitus, stanssaaminen ja lasermerkkaukset tekevät merkinnän suoraan metallin pintaan. Nämä mekaaniset merkinnät kestävätkä kulutusta ja käsittelyä paremmin kuin maalikynä, mutta niidenkin välillä on eroja.

Stanssaus

Stanssauksella tarkoitetaan materiaalin pintaan lyötävää merkintää. Metalliin painautuva teksti tehdään erimuotoisilla kirjainstansseissa. On olemassa perinteisiä manuaalisia stansseja, joita voidaan käyttää esimerkiksi lyömällä tai painamalla. On myös automaattisia stanssaus koneita, johon teksti syötetään näppäimistöllä ja kone merkitsee kappaleen automaattisesti.

Pistemerkintä

Dot peen -merkintä eli pistemerkintä on stanssausta muistuttava, menetelmä jossa edestakaisin värähtelevä kova terä pistää metallin pintaan pieniä kuoppia ja kirjoittaa siten materiaaliin halutun tekstin tai merkin (kuva 11). Pistekirjoitin- koneet toimivat nopeasti ja automaattisesti.



KUVA 11. Syvä pistemerkintä teräslevyssä (Pannier n.d.)

Koneilla pystyy kirjoittamaan monilla eri fonteilla ja kirjasinkoilla sekä jopa piirtämään yksinkertaisia kuvia. Käyttötavasta riippuen voidaan valita joko kannettava tai jalustalla oleva merkkauksyksikkö. Levyosien merkintään parhaiten soveltuva vaihtoehto on jalustalla ja työtasolla varustettu laite, johon levyosat voi asettaa merkittäväksi.

4.3.2 Lasermerkintä

Lasermerkintä on hyvin yleinen merkkaustapa. Varsinkin suuremmissa tuotantolaitoksissa ja automatisoiduissa linjastoissa on käytössä täysin automaattisia tai puoliautomaattisia lasermerkkaukskoneita. Laserilla merkintä on todella nopeaa ja se voidaan integroida myös moneen koneeseen. Esimerkiksi laserleikkuri voi samalla kerralla leikata levyosan muotoon ja kaivertaa pinnan täyteen haluttuja kuvioita. Laserilla voidaan merkata lähes mille tahansa pinnalle hyvin tarkkoja kuvia ja kirjaimia. Laserin jälki ei ole läheskään yhtä syvää kuin pistemerkintä, mutta voittaa tarkkuudessaan ja nopeudessaan lähes kaikki muut perinteiset merkkaustavat.

Yksittäiset lasermerkintälaitteet ovat noin 40 000 euron kokoisia investointeja. Merkkauslaitteet ja koodien lukulaitteet voivat toimia osana isompaa automaatiota. Ne ovat suuressa osassa tuotannon täyttävää automatisointia ja voivat vähentää kappaleiden käsittelyyn kulunutta aikaa roimasti, sillä yksi merkkauksen kestäminen kestää vain sekunteja. Esimerkiksi lasermerkattuja QR-koodeja ja viivakoodeja voidaan käyttää apuna tuotannon seuraamisessa ja osien jäljitettävyyden parantamisessa. (Järvi 2021)

4.3.3 Merkintöjen kestävyys

Tarkkaa tietoa eri merkitsemismenetelmien kulutuksenkestosta löytyy hyvin rajoitetusti. Lasermerkintä ei tee kovin syvää jälkeä teräkseen, joten se kuluu kovassa kulutuksessa hyvin nopeasti pois. Paineilmalla toteutetussa pistemerkinnässä syntynyt merkki on parhaimmillaan tarpeeksi syvä kestävänsä ainakin harjauksen ja hennon hiomisen jäysteenpoistomenetelmänä. Merkintälaitteiden huollossa työskentelevän Hinkan mukaan on kuitenkin hyvin todennäköistä, että jäysteenpoistorummutuksessa sekä tehokkaassa hiomisessa tämäkin merkintä

kuluu pois. Paras tapa ottaa selvää, toimiiko merkintätapa valitun jäysteenpoistotavan kanssa, on testata se käytännössä. (Hinkka 2021)

Rakenneteräs on helposti muokkautuvaa materiaalia, joten pistemerkkkaus on sille tehokas merkkaustapa. Voimakas kone pystyy tekemään syviä merkintöjä leveälläkin kärjellä. Kulutusta paremmin kestävät syvät ja leveät pisteet vaativat luettavuuden säilymiseen myös isomman kirjainkoon. (Dragičević 2017)

4.3.4 Viimeistelyn ja osanumeron merkkauksen automatisointi

Automatisoidun liukuhihnamallisen viimeistelykoneen yhteyteen on mahdollista integroida osanumeron merkkkaus esimerkiksi tietokoneohjatulla laserkirjoittimella. (Järvi 2012) Jos osanumero tai kappaleen muoto olisi tunnistettavissa konenäön avulla ennen kappaleen menemistä koneen sisälle, se voitaisiin merkata uudestaan automaattisesti heti käsittelyn jälkeen.

Laserilla merkintä voidaan integroida myös levyvalmistukseen plasmaleikkurin yhteyteen. Jos levyleikkauksen yhteydessä osiin merkattaisiin osatunnus esimerkiksi QR-koodilla, se voitaisiin lukea konenäön avulla juuri ennen viimeistelyvaihetta. Tämä ensimmäinen lasermerkkkaus kuluu viimeistelyn aikana pois. On myös mahdollista tunnistaa kappale sen muodosta, jolloin ensimmäistä merkkausta ei tarvittaisi. Jälkimmäinen pysyvä merkkkaus toteutettaisiin käyttäen normaaleja kirjaimia, jotta se on luettavissa kokoonpanon aikana. Tämän merkkauksen ei tarvitse kestää hiomista, joten silloin laser olisi nopein vaihtoehto.

Jäysteenpoistokoneen eteen ja taakse rakennettaisiin liukuhihnasto, joka pysäyttäisi kappaleet osanumeron lukua varten, syöttäisi tunnistetun kappaleen koneen sisälle ja pysäyttäisi viimeistellyn kappaleen uuden osanumeron merkkausta varten. Leikatut kappaleet vain nostettaisiin hihnalle ja viimeistellyt sekä uudelleen merkatut kappaleet laskettaisiin käyttövalmiina trukkilavalle. Linjastolla voitaisiin hyödyntää sähkömagneeteilla toimivia nostoavustimia vähentämään työntekijöiden kuormitusta.

5 YHTEENVETO RATKAISUVAIHTOEHDOSTA

Tähän lukuun on koottu muutama vaihtoehto teräsrakentamisessa käytettävien levyleikkeiden tuotannon ja viimeistelyn tehostamiseen. Samalla esitellään eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia, sekä asioita joita niiden kanssa tulee ottaa huomioon. Eri menetelmätavoissa on jokaisessa omat vahvuutensa, sekä varjopuolensa. Menetelmää ei voi valita täysin yhden seikan perusteella, vaan se täytyy valita kaikkien plussien ja miinusten summaa vertaillen. Valittaessa sopivaa tapaa, on joskus tehtävä kompromisseja. Kohdeyrityksen tuotannon kasvaminen edellyttää tehokkaiden ratkaisujen löytämistä. Usein tämä vaatii investoimista uuteen laitteistoon tai toimintamallien muuttamista.

5.1 Plasmaleikkaus ja viimeistelykone

Plasmaleikkaamalla kaikki valmistettavat levyleikkeet itse omalla plasmaleikkurilla, voitaisiin tehostaa levytuotantoa sekä käyttää nopeampia viimeistelytapoja (luku 4.1.4). Leikkuri vähentäisi muotoonleikkaukseen uppoavaa työmäärää ja työvaiheita, sillä plasmaleikattuja kappaleita ei tarvitse erikseen rei'ittää meistillä. Myös yrityksen omavaraisuus kasvaisi, sillä paksummat levyvahvuudet pystyttäisiin leikkaamaan itse.

Jotta kallista ja aikaa vievää levyosien viimeistelyä tarvittaisiin vähemmän, pitää parantaa leikkuujälkeä (luku 2.2). Jos päädytään ottamaan käyttöön plasmaleikkuri, leikkuujäljen viimeistely ja reunojen pyöristäminen voidaan toteuttaa nopeammin, kuonan jäädessä lähinnä leikkeen toiselle puolelle. Tuotettaessa vain levyosia helppokäyttöisimmät ja nopeimmat viimeistelymenetelmät ovat joko automaattinen tai manuaalinen jäysteenpoistokone (luvut 4.2.2 ja 4.2.3). Nämä koneet ovat levyosille tarkoitettuja nopeita ja tehokkaita ratkaisuja, joissa on pieni riski osien keskenään sekoittumiseen. Varsinkin manuaalinen jäysteenpoistotaso on halpa investointi eikä se vaadi suurta tilaa. Laite voitaisiin sijoittaa samaan tilaan levyleikkurin kanssa, jolloin osien viimeistely olisi osa levyleikkausprosessia, eikä kokoonpanoa.

Automaattinen kone on manuaaliseen verrattuna huomattavasti nopeampikäyttöisempi ja tehokkaampi. Samalla laitteen hankintahinta on paljon kalliimpi. Jos konepajan tuotanto laajenee entisestään, voi tällaiseen laitteeseen investoiminen osoittautua pidemmällä aikavälillä järkeväksi. Koneella saataisiin aikaan useita käyttövalmiita levyosia pienessä ajassa eikä siihen kuluisi työntekijöiden aikaa kokoonpanovaiheessa (luku 3.2).

Edellä mainituissa jäysteenpoistokoneissa maalikynällä merkattu osanumero pystytään haluttaessa säilyttämään kappaleen kääntöpuolella. Silloin ei siis ole välttämätöntä tarvetta ottaa käyttöön muunlaisia merkintätapoja. Kun kappaleen molemmat puolet viimeistellään, osanumero kirjoitetaan välissä käsitellylle pinnalle. Tämä on tosin hieman epäkäytännöllinen toimintatapa, mikä hidastaa automaattisen koneen käyttöä. Luvussa 4.3.3 esitelty konenäön hyödyntäminen tekisi levyosien jälkikäsittelystä täysin automaattisen.

Täryhiomakone ja jäysteenpoistorumpu (luvut 2.5.3 ja 2.5.4) ovat molemmat myös erittäin tehokkaita vaihtoehtoja plasmaleikkattujen kappaleiden viimeistelyyn. Niillä viimeistelyjä kappaleita on kuitenkin vaikeampi seurata. Siksi ne ovat huonompia vaihtoehtoja tähdättäessä helposti mukautuvaan ja nopeasti virtaavaan levytuotantoon.

5.2 Mekaaninen leikkaus ja massaviimeistely

Mekaanisen leikkaamisen helppous, ja laiteinvestointien halpuus on yksi sen suurimmista vetovoimista. Vaikka plasmaleikkaukseen ei haluttaisi siirtyä on kohdeyrityksellä jo käytössä toimiva mekaanisen leikkauksen laitteisto, jolla pystytään leikkaamaan suurin osa käytettävästä materiaalista. Tosin leikkuujäljen vaatima kaikkien kulmien ja reunojen jälkikäsittely vie aikaa ja kuormittaa työntekijöitä (luku 3.1).

Koska mekaanisessa leikkauksessa lähes kaikki reunat ja etenkin kulmat jäävät hyvin teräviksi, pitää kappale viimeistellä kaikilta puolilta. Tähän tarkoitukseen soveltuvia menetelmiä ovat esimerkiksi täryhionta (luku 2.5.2) ja rummutus (luku 2.5.4). Nämä massaviimeistelymetodit pyöristävät kaikki kulmat ja reunat tehokkaasti ja huomattavasti halvemmalla investoinnilla kuin automaattinen

jäysteenpoistokone. Terävien kulmien pyöritys on varsinkin rummutuksella hyvin helppoa.

Jäysteenpoistorummutus, täryhionta, sekä muut koko kappaleen pinta-alaa käsittelevät massaviimeistelymenetelmät tuovat mukanaan kuitenkin ongelmia osanumeron merkitsemiseen. Paineilmakäyttöinen pistemerkklauslaite olisi siihen mahdollinen yksinkertainen ratkaisu, mutta varmaksi tavaksi sen voi todeta vasta kokeilemalla (luku 4.3).

Niin kutsuttu läpivirtaava täryhiomakone voitaisiin toteuttaa osaksi prosessivirtaa heti levyleikkauksen jälkeen. Tällaisessa koneessa pystytään jotakuinkin seuraamaan kappaleiden virtaa, mikä tekee levyjen osanumeron tunnistamisesta huomattavasti helpompaa verrattuna rummutukseen. Täryhiomakoneessa käytettäisiin karkeampaa hiomamateriaalia pyrittäessä nopeaan viimeistelyyn. Isompaa hiomamateriaalia käytettäessä pienimmät koverat muodot ja sisäkulmat jäävät hioutumatta. Tämä edesauttaisi myös pistekirjoituksen pysymistä kappaleiden pinnalla koko käsittelyn ajan.

Uuteen laitteistoon investoiminen ei automaattisesti tuota tulosta, vaan prosessi pitää optimoida toimimaan käyttötarkoituksessaan. Vanhan metodin optimointi voi parhaimmillaan tuottaa parempia tuloksia kuin mitä uudella saataisiin aikaan. (Modig 2016) Jos olemassa olevaan jäysteenpoistorumpuun on mahdollista asentaa väliseinä, voitaisiin käsitellä kerrallaan useampia erilaisia osia ilman niiden sekoittumista toisiinsa.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli alussa tutustua pelkästään jäysteenpoiston erilaisiin toteuttamisvaihtoehtoihin. Heti alussa kirjallisuuteen tutustuessa kävi ilmi se, että pelkkälevyosien jäysteenpoisto on hyvin rajallinen aihe. Opinnäytetyöhön lisättiin siksi myös jäysteen ja reunavirheen syntymiseen liittyvää teoriasisältöä sekä päädyttiin käsittelemään samalla yleisesti teräskappaleiden viimeistelyssä käytettäviä menetelmiä.

Vaikka tämän opinnäytetyön kehyslähteenä käytetty yksi jäysteenpoiston laajimmista teoksista, Gillespien *Deburring and Edge Finishing Handbook*, on jo yli 20 vuotta vanha, on sen asiasisältö vielä hyvin paikkansapitävää. Varsinkin mekaanisen jäysteenpoiston ja osien viimeistelyn metodit ovat pysyneet tällä vuosituhannella hyvin samanlaisina. Nykyään isoin ero entiseen, on mekaanisen jäysteenpoiston noussut automaattitaso. Kirjallisuuden lisäksi tietoa on etsitty tutustumalla eri valmistajien viimeistelykoneisiin.

Tutustuttaessa kohdeyrityksen levytuotantoon huomattiin, että suurimmat reuna viimeistelyongelmat syntyvät mekaanisessa leikkauksessa. Terävät kulmat ja reunat vaativat paljon viimeistelyä manuaalisesti hiomalla. Kirjallisuuden perusteella voidaan todeta, että paras tapa vähentää viimeistelyyn kuluva vaivaa, on reunavirheiden syntymisen minimoiminen ja osien jälkikäsitteilyn sujuvoittaminen. Siksi siirtyminen plasmaleikkaukseen olisi ainakin tästä näkökulmasta kannattavaa. Lisäksi resurssitehokas ja nopea jäysteenpoistotapa kuten automaattinen jäysteenpoistokone, tai hyvin toteutettu jäysteenpoistorummutus tai täryhiominen parantaisi levyosien viimeistelyn läpimenoaikaa ja tasoittaisi laatu vaihtelua.

Opinnäytetyön tuloksena on laadittu katsaus erilaisiin jäysteenpoisto- ja reuna viimeistelymenetelmiin. Työn yhteenvedossa on esitetty parhaaksi koetut viimeistelyvaihtoehdot eri levyleikkausmetodeille. Yritys voi opinnäytetyön pohjalta aloittaa lisätutkimukset halutun levytuotantotavan parantamiseen.

LÄHTEET

Airwell. n.d. TopGrinder manuaalikone. Verkkosivu. Viitattu 13.4.2021.

<https://airwell.fi/tuotteet/q-fin-viimeistelykoneet/topgrinder-manuaalikone/>

AMS. 2019. Deburring-polishing machines. PDF-dokumentti. Viitattu. 30.3.2021.

https://advancedmachinerysystems.com/wp-content/uploads/2020/07/COSTA_MD4MD5MD61_compressed.pdf

Arku. n.d. Deburring machines. Verkkosivu. Viitattu 19.4.2021

<https://www.arku.com/en/products/deburring-machines/>

Baijers. 2021. Automaattiset jäysteenpoistokoneet. Verkkosivu. Viitattu

15.4.2021. <https://beijers.fi/tuotevalikoima/pintakasittely/automaattiset-jaysteenpoistokoneet/>

Cleveland Deburring Machine Company. n.d. Abrasive Brush Machining. Verk-

kosivu. Viitattu 1.4.2021. <https://cdmcmachine.com/category/abrasive-brush-machining/>

CustomPartNet. n.d. Sheet metal cutting (Shearing). Verkkosivu. Viitattu

24.3.2021. <https://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>

Dornfield, D. & Min, S. 2010. A Review of Burr Formation in Machining. Berkeley: UC Berkeley.

Dragičević, D., Ostojic, G., Lazarević, M., Tegeltija, S., Stankovski, S. 2017.

Reliability of Dot peen marking in product traceability. University of Novi Sad.

https://www.researchgate.net/publication/320137188_Reliability_of_Dot_peen_marking_in_product_traceability

Engineers Edge. n.d. Electrical Discharge Machining. Verkkosivu. Viitattu

30.3.2021. <https://www.engineersedge.com/edm.shtml>

Esab. n.d.a. Plasmaleikkaus. Verkkosivu. Viitattu 15.3.2021.

<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/plasmaleikkaus.cfm>

Esab. n.d.b. Leikkausautomaatio. Verkkosivu. Viitattu 12.4.2021.

<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>

Finnblast. 2014. Jäysteenpoistorummut. Verkkosivu. Viitattu 25.2.2021.

<https://www.finnblast.fi/tuotteet/jaysteenpoistorummut/>

Flowgrinding Corp. n.d. Electrochemical Deburring Systems. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2021. <https://www.flowgrinding.com/products-services/electrochemical-deburring-systems/>

Gillespie, L. 1999. Deburring and edge finishing handbook. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers.

Gillespie, L. 2005. Your burr technology efforts changed the world. Kansas City: Deburring Technology International. Luettu 19.4.2021.

<https://www.larouxgillespie.com/burrhist.pdf>

Hinkka, H. 2021. Muototerä Oy. Merkintälaittehuolto. Puhelinhaastattelu 15.4.2021. Haastattelija Brandt, L.

Inovatec Machinery. n.d. The Basics of Barrel Tumbling. Verkkosivu. Viitattu 13.4. <https://www.inovatecmachinery.com/blog/barrel-tumbling-guide/>

Järvi, T. 2021. KILT Oy. Puhelinhaastattelu 12.5.2021. Haastattelija Brandt, L.

Laurila, M. 2021. Finnblast Oy. Puhelinhaastattelu 28.4.2021. Haastattelija Brandt, L.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitlä, E., Hultin, S. 2010. Ohutlevy-tuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

MicroGroup. n.d. Electrical Discharge Machining. Verkkosivu. Viitattu 13.4.2021. <https://www.microgroup.com/capabilities/machining/electrical-discharge-machining/>

Modig, N. & Åhlström, P. 2016. Tätä on LEAN. Tukholma: Rheologica publishing.

Pannier. n.d. Dot peen marker. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2021

<https://www.pannier.com/stamping/dot-peen/deep-marker/>

Q-fin. n.d. Top grinder. Verkkosivu. Viitattu 29.3.2021

<https://qfin-deburring.com/machinesolutions/topgrinder/>

SFS-EN 1090-2:2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsra-
kenteiden tekniset vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Wahlstedt, T. 2021. Baijers Oy. Pintakäsittely. Puhelinhaastattelu 29.4.2021.
Haastattelija Brandt, L.