



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**AINETTA LISÄÄVÄT VALMISTUSMENETELMÄT: METALLIN
LASERSINTRAUS**

Karhunen Ville

**KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
Kandidaatintyö 2017**

TIIVISTELMÄ

Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät: metallin lasersintraus

Ville Karhunen

Oulun yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2017, 24 s. + 1 s. liitteitä

Työn ohjaaja: Tapio Korpela

Tämän kandidaatin työn tarkoituksena on selvittää metallin lasersintrauksen keskeisiä ominaisuuksia, erot muihin ainetta lisääviin valmistusmenetelmiin ja valmistusprosessi CAD-mallista konkreettiseksi osaksi.

Asiasanat: metallin lasersintraus, 3D-tulostus, ainetta lisäävät valmistusmenetelmät

ABSTRACT

Additive manufacturing: direct metal laser sintering

Ville Karhunen

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2017, 24 p. + 1 p. appendixes

Supervisor: Tapio Korpela

The purpose of this Bachelor's thesis is to find out key features and characteristics of direct metal laser sintering process, compare it to other additive manufacturing methods and main process of converting CAD-model into real part.

Keywords: direct metal laser sintering, 3D-printing, additive manufacturing

ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on esitellä metallin ainetta lisääviä valmistusmenetelmiä ja käydä tarkemmin metallin lasersintrauksen ominaisia piirteitä. Tämä työ on tehty Oulun yliopistolla konetekniikan koulutusohjelmassa

Haluan kiittää työni ohjaajaa Tapio Korpelaa hyvistä ohjeista ja neuvoista työn tekemisessä.

Oulu, 11.12.2017

Ville Karhunen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 AINETTA LISÄÄVÄT VALMISTUSMENETELMÄT	8
2.1 Keskeisten menetelmien esittely	8
2.1.1 Suorakerrostus	8
2.1.2 Kerroslaminointi	9
2.1.3 Jauhepetisulatus	11
3 METALLIN LASERSINTRAUS	13
3.1 Menetelmän ominaisuudet	13
3.1.1 Laitteen rakenne	13
3.1.2 Laitteen materiaalit	14
3.1.3 Menetelmän toimintaperiaate	14
3.2 Käyttömahdollisuudet ja käytettävät koneet	15
3.2.1 Esimerkki menetelmän käytöstä	15
3.3 Erot muihin rm-menetelmiin	16
3.3.1 Suorakerrostus	16
3.3.2 Kerroslaminointi	16
3.3.3 Jauhepetisulatus	16
4 VALMISTUSPROSESSI KAPPALEILLE	18
4.1 3D-geometrian mallintaminen	18
4.2 STL-formaattiin muuntaminen	18
4.3 Koneen valmistusparametrit ja tiedonsiirto koneelle	19
4.4 Kappaleen valmistaminen ja viimeistely	19
4.4.1 Jauheenpoisto	20
4.4.2 Lämpökäsittely	20
4.4.3 Koneistus	20
4.4.4 Rae- & kuulapuhallus	20
4.4.5 Kemiaalliset ja mekaaniset kiillotukset	21
5 YHTEENVETO	22

6 LÄHDELUETTELO.....	23
7 Liite.....	25

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on tutustua metallin ainetta lisäävien valmistusmenetelmien ominaisuuksiin sekä käydä syvällisemmin metallin lasersintrauksen karakteristisia ominaisuuksia. Menetelmän suuri kehitys viime vuosina on nostanut paljon mielenkiintoa aiheen ympärille, ja nykyisten tietokoneiden ansiosta kappaleiden valmistaminen CAD-mallista on parantunut huomattavasti. Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät tarjoavat kilpailukykyisen vaihtoehdon perinteisille valmistusmenetelmille. Liiketoiminnaltaan ainetta lisäävien valmistusmenetelmien liikevaihto odotetaan nousevan 20 miljardiin dollariin vuoteen 2020 mennessä. (Vihinen, 2015)

2 AINETTA LISÄÄVÄT VALMISTUSMENETELMÄT

Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät ovat käytöltään nousseet räjähdysmäisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana laitteiden hintojen laskun, valmistusmenetelmien kehityksen myötä, tietokoneiden ja CAD-ohjelmien kehityksen myötä. Ainetta lisäävien valmistusmenetelmän alkusysäystä voidaan pitää Pierre Ciraudin vuonna 1972 kehittämää suorakerrostuksen kaltaista laitetta, joka myöhemmin patentoitiin Ciraudin nimiin (US4532882 A). Ensimmäinen kaupallinen ainetta lisäävä valmistusmenetelmä stereolitografia tuli kuitenkin markkinoille vasta vuonna 1987. Ainetta lisäävien valmistusmenetelmien juurina voidaan pitää osaltaan topografiaa ja kuvanveistoa. (Wohlers & Gornet, 2014, s. 1-2; David et al. 2009, s. 1-2)

2.1 Keskeisten menetelmien esittely

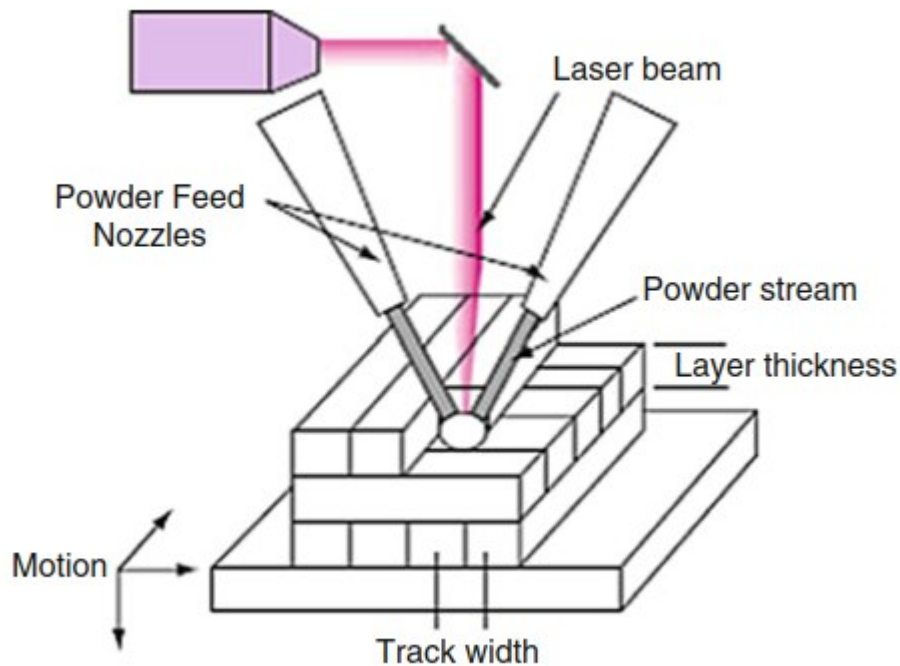
Standardin SFS-ISO/ASTM 52900:2016 mukaan ainetta lisääviä menetelmäluokkia ovat: sideaineen suihkutus, suorakerrostus, pursotus, materiaalin suihkutus, jauhepetisulatus, kerroslaminointi ja valokovetus altaasta. Tässä työssä tarkastellaan menetelmiä eri metalleille ja niiden seoksille ja verrataan niitä valittuun aiheeseen.

2.1.1 Suorakerrostus

Suorakerrostus (direct energy deposition) on ensimmäisiä ainetta lisääviä valmistusmenetelmiä, jossa sulatettava materiaali syötetään suuttimen kautta kappaleen pinnalle ja samaan aikaan kohdennetaan suoraa energiaa, joka sulattaa materiaalin syötön aikana. Materiaaleina käytetään lankaa tai jauhetta, ja energianlähteenä laseria tai elektronisuihkua. Vaikeissa kappaleissa menetelmä vaatii joko tukimateriaalin tai moniakselisen suuttimen. Suorakerrostusta käytetään monimutkaisten 3D-kappaleiden luomiseen suoraan CAD-tiedostoista. ks. kuva 1.

Useat yritykset ovat valmistaneet kustomoituja omaan käyttöön soveltuvia koneita, joiden yleisiä erottavia tekijöitä on: laserin teho, laserin polttopisteen koko, laserin tyyppi, jauheen tai langan syöttö menetelmä, inertia kaasun syöttö ja liikkeen ohjaus yksikkö.

Suorakerrostuksen etuina on: mahdollisuus korjata rikkiäisiä kappaleita, kyky tuottaa täysin tiiviitä kappaleita, mikrorakenne hyvin kontrolloitavissa ja monimutkaisten kappaleiden valmistuksen mahdollisuus on hyvä. Suorakerrostuksen ongelmina on mittatarkkuuden ja pinnanlaadun heikkous, Suojakaasun tarve sekä hidas syöttönopeus. (Gibson et al. 2015, s. 245–267)



Kuva 1. Suorakerrostuksen kaaviopiirros (Gibson et al. 2015, s. 246.)

2.1.2 Kerroslaminointi

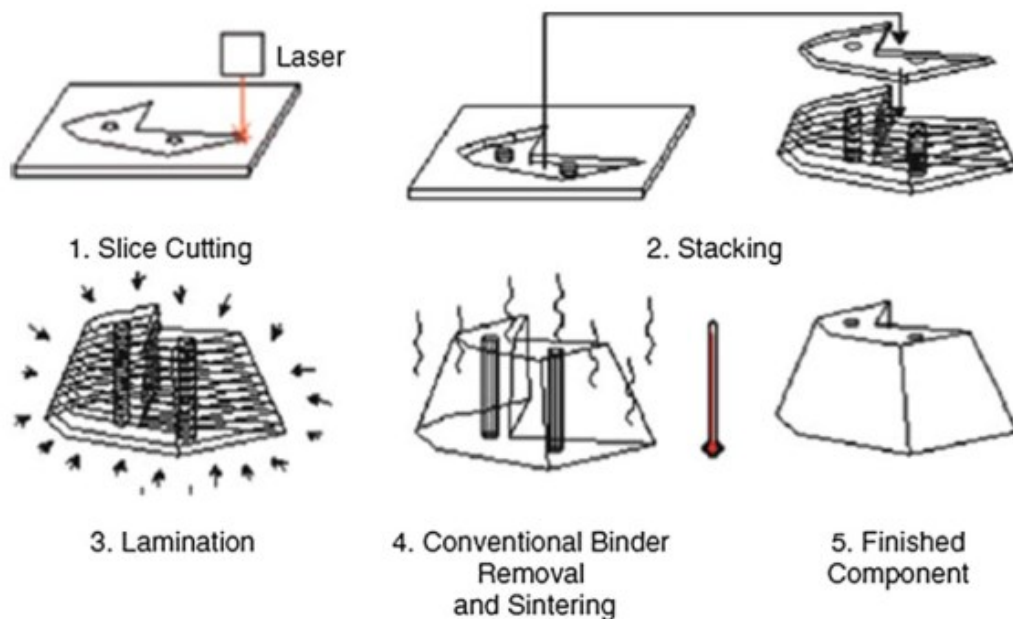
Kerroslaminoinnissa (sheet lamination processes) kasataan käytettävän materiaalin levyjä kerros kerrokselta, missä jokainen kerros vastaa CAD-mallin poikkileikkausta. Kappale saa lopullisen muodon, kun levyistä leikataan malliin kuulumattomat kohdat pois. Leikkaus on mahdollista tehdä ennen tai jälkeen kasaamisen. Laminointi voidaan myös tehdä käyttäen metalliliuskoja, jotka kiinnitetään kerroksittain kappaleeseen ja työstökoneella työstetään ylimääräiset osat pois. Materiaalista riippuen levyt voidaan

kiinnittää: liimaamalla, hitsaamalla, pulttaamalla, ultraäänellä, lämpökäsittelyllä, puristimilla tai juottamalla. ks. kuva 2.

Laminoitaessa metallilevyjä on huomattava:

- Valmiiksi leikattujen levyjen asennus kappaleeseen vaatii tarkkaa sijoittamista toisiinsa nähden, varsinkin jos levyjen geometriassa ei ole helppoa tukipistettä. Sijoittamiseen käytetään yleensä jonkinlaista työkalua, jolla levyn sijainti saadaan sopimaan kappaleeseen.
- Kiinnityksen jälkeen tapahtuva leikkaus vaatii laajamittaisen jälkikäsittelyn tukimateriaalin poistoon. Tarkkojen yksityiskohtien teossa pitää olla tarkkana, että päästään haluttuun lopputulokseen.

Yleisessä käytössä kerroslaminoinnin hyviä puolia ovat: sisäisten kanavien tai onteloiden teko valmiiksi leikatuilla levyillä on helppoa, valmistustapana nopea ja joustava, haluttaessa halpaa ja yksinkertaista levyjä voidaan pultata tai käyttää puristimia. (Gibson et al. 2015, s. 219–230)



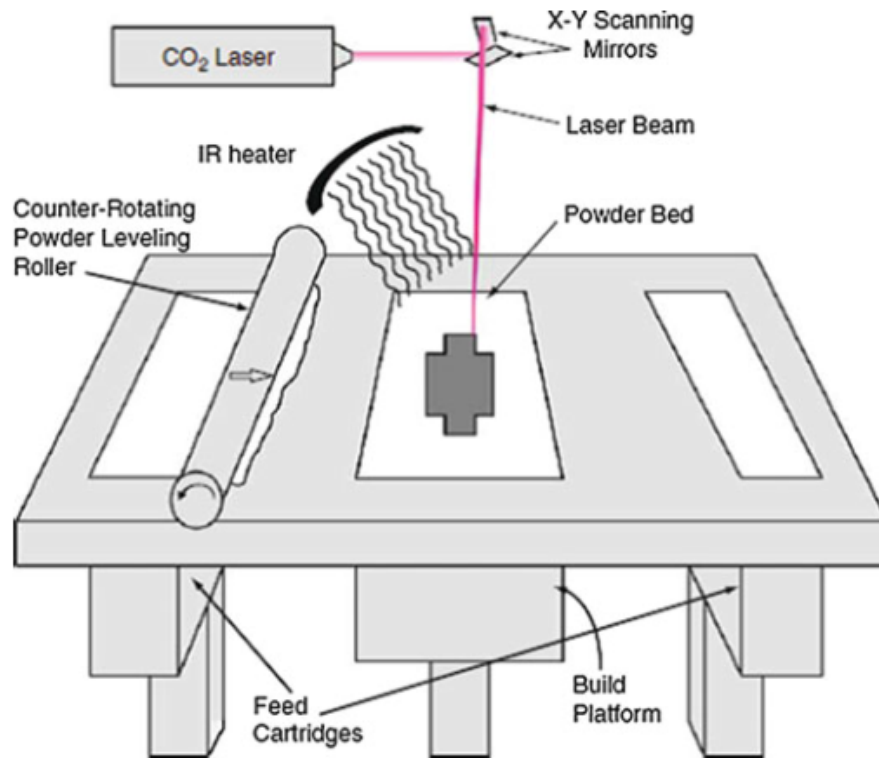
Kuva 2. Kerroslaminoinnin kaaviopiirros (Gibson et al. 2015. s. 223.)

2.1.3 Jauhepetisulatus

Jauhepetisulatuksen karakteristisia perusosia on yksi tai useampi lämpöenergian lähde, lämpöenergian kohdistaja ja mekanismi, jolla jauhetta levitetään pedille ks. kuva 3. Yksinkertaistettuna menetelmässä tapahtuu jauheen levitys, selektiivinen kiinnitys lämpöenergian avulla, valmistusalustan lasku ja uuden jauheen levitys. Jauhepetisulatus sanana on harhaanjohtava, koska menetelmään voidaan lukea neljä erilaista fuusiota:

- Kiinteän vaiheen sintraus, (solid state sintering,) missä metallijauhe partikkelit fuusioituvat toisiinsa ilman sulamista. Sintrautumista alkaa tapahtua noin puolella välissä absoluuttista sulamispistettä ja jatkuu aina sulamispisteeseen asti. Sintraantuminen on alussa hyvinkin nopeaa jauhe partikkelien kuroutuessa toisiinsa kiinni. Prosessi hidastuu, kun partikkelien pinta-ala pienenee. Riittävä lämpötila ja aika sintrauksessa saa aikaan partikkelien paremman kuroutuvuuden, jolloin kappaleen huokoisuus vähenee. Prosessin hidastumisen takia kiinteän vaiheen sintraus ei ole pääasialliselta käytöltään kaupallisesti kannattavaa.
- Kemikaalisesti indusoitu sidonta, (chemically induced binding) missä lämmöllä luotu kemikaalinen reaktio saa jauheen sitoutumaan toisiinsa. Reagoiva aine voi olla toista jauhetta tai ilmakehän kaasu. Menetelmä on ensisijaisesti käytössä vain keraamisille materiaaleille. Menetelmä ei ole kaupallisesti käytetty, koska prosessi vaatii jälkikäsitteilyä vähentämään osittaista huokoisuutta kappaleesta.
- Sulan faasin sintraus (liquid-phase sintering, LPS) on kahden tai useamman eri jauheen sekoitus, jossa alemmassa lämpötilassa sulava jauhe liimaa kiinteät partikkelit toisiinsa kiinni ilman toisten partikkelien sulamista tai sintraantumista. Menetelmää käytetään esimerkiksi jauhemetallurgiassa valmistamaan kovametalli työkaluja, joiden valmistaminen ja työstäminen ovat muulla tavalla vaikeaa.
- Sulatus, (full melting) jossa materiaali sulatetaan kokonaan halutulta alueelta. Sulatusta tapahtuu myös jossain määrin kappaleen kiinteälle osalle, jolloin saadaan hyvä kiinnittyminen ja tiiveys. Menetelmän on kaupallisesti käytetty,

koska menetelmä ei vaadi jälkikäsittelyä ja on hyvinkin vertailukelpoinen bulkkimetallien ominaisuuksien kanssa. (Kruth et al. 2004, s. 44–58; Gibson et al. 2015, s. 107–144)



Kuva 3. Jauhepetimenetelmän kaaviopiirros (Gibson et al. 2015, s. 108.)

3 METALLIN LASERSINTRAUS

Direct metal laser sintering (DMLS) -menetelmä on Electrolux Rapid Development (ERD) ja Electro Optical Systems (EOS) yhtiöiden kehittämä 3D-menetelmä, (rapid manufacturing) missä kutistumatonta jauhesekoitusta sintrataan suuri tehoisella laserilla kerroksittain. Menetelmän on tarkoitus tuottaa tarvittu netto-muoto yhdellä prosessilla.

Menetelmän alkusysäyksenä voidaan pitää 80- ja 90-luvulla löydettyjen kutistumattomien pronssi jauhesekoitusten onnistuneesta paineettomasta sintraushehkutusta ja myöhemmin tutkitusta mahdollisuudesta laserilla tapahtuvaan sintraukseen. Positiiviset tulokset johtivat 1994 yhtiöiden yhteistyöhön, jonka tarkoituksena oli kehittää kaupallinen dmls prosessi. Vuonna 1995 myyntiin tulleen koneen jälkeen yhtiöt ovat keskittyneet uusien jauhesekoitusten kehittämiseen. (Gibson et al. 2015, s. 134–136; Hänninen, 2001, s. 24–29)

3.1 Menetelmän ominaisuudet

DMLS -menetelmä kuuluu jauhepetisulatus ryhmään, millä voidaan valmistaa nopeasti haluttuja kappaleita netto-muodossa suoraan CAD-datasta. Menetelmällä voidaan valmistaa vaikeita geometrioita, sisäisiä ominaisuuksia sekä vaikeita läpivientejä. Valmiit metalli kappaleet ovat lujia, kestäviä sekä muokkauksesta jäävä jäännösjännitys on vähäinen. Valmiit kappaleet toimivat niin lopputuotteessa kuin prototyyppinä. (Hänninen, 2001, s. 24-26)

3.1.1 Laitteen rakenne

DMLS-koneessa on jauhepetisulatukselle ominaiset laitteen komponentit, jotka ovat: Teräksinen vertikaalisesti liikkuva rakennusalusta, pulverivarasto, kaavain pulverin levittämiseksi, laseri (hiilidioksidilaser, YAG-laser, kuitulaser), laserin suuntaamiseen tarvittavat ohjauspeilit ja optiikat. ks. kuva 3. (Shellabear & Nyrhilä, 2004, s. 7; Syrjälä & Tuomi, 1997, s. 33)

3.1.2 Laitteen materiaalit

Laitteen ensimmäinen käytettävä materiaali oli EOSINT M Cu 3201, joka koostui kolmen eri pulverin seoksesta. Seoksen päämateriaalina oli pronssi ja siinä oli myös mukana nikkeliä. Laite levitti ja sintrasi käytettävää materiaalia 50 µm kerrospaksuudella. Käytettävällä materiaalilla kappale jää sintrauksen jälkeen huokoiseksi, mutta kestää jopa 200 MPa vetolujuutta. (Nyrhilä et al. 1998, s. 487–489; Syrjälä & Tuomi, 1997, s. 33)

Menetelmän kehityksen myötä on saatu parannettu prosessin tuottamaa pinnanlaatua ja vähentämään laser sintrauksen aiheuttamaa tarkkuuden heittoa. Suurimpana kehitysaskeleena pidetään jauhesekoituksen kerrospaksuuden pienentämistä 50 µm:stä 20 µm:iin. Toinen kehityksen kohde on uusiin käyttötarkoituksiin kehitetyt jauhesekoitukset. Käytettäviä päämateriaaleja ovat: erilaiset polymeerit, maraging-teräs, ruostumaton teräs, nikkelseokset, koboltti-kromi, titaani ja alumiini. (Shellabear & Nyrhilä, 2004, s. 6-7) [liite 1. EOKSEN käytettäviin materiaaleihin]

3.1.3 Menetelmän toimintaperiaate

3D CAD-malli muunnetaan STL-tiedostomuotoon (stereolithography) ja ajetaan se käytettävälle koneelle. Kone levittää komentojen mukaan ohuen kerroksen pulveria pinnoitetulle teräsalustalle, jolle valmistettava kappale kiinnittyy. Lasersäteellä piirretään ensin kappaleen ääri viivat ja tämän jälkeen sintrataan sisälle jäävä alue. Lasersäteen suuntausta ja tarkkuutta säätelee laserin optiikat ja peilit X ja Y suuntaan. Kappaleeseen ei synny sintrauksen johdosta niin paljon lämpöä, että se estäisi uuden pulverikerroksen levittämisen välittömästi. Menetelmää jatketaan, kunnes kappale on valmis. Valmis kappale irrotetaan metallialustasta ja puhdistetaan käyttämättömästä pulverista. Tarkempia pinnanlaatuja voidaan tehdä jälkikäsitteilyllä irrotuksen jälkeen. (Gibson et al. 2015, s. 44–45; Syrjälä & Tuomi, 1997, s. 34).

3.2 Käyttömahdollisuudet ja käytettävät koneet

DMLS -menetelmällä voi valmistaa laajalla skaalalla kappaleita. Menetelmän suurin rajoittava tekijä on kappaleen kokoon vaikuttava rakennusalan koko. Tarkoissa pinnanlaaduissa kerroksittain valmistava menetelmä jättää porrasmaista pintaa, joka tulee jälkikäsitellä. (Syrjälä & Tuomi, 1997, s. 34)

Menetelmällä valmistetuilla tuotteilla yhteistä on pieni tai keskisuuri koko, monimutkainen geometria tai sisäisiä läpivientejä, joita on vaikea valmistaa perinteisillä keinoilla. Menetelmä on kustannustehokas myös perinteisempien kappaleiden valmistuksessa, jos valmistuserät ovat pieniä. (Syrjälä & Tuomi, 1997, s 34; Porter 2017)

Teollisuuden sovellutuksia käytetään mm. lääketieteessä, ilmailualalla, työstövälineet ja prototyyppien valmistuksessa. Materiaaleille luokiteltuja teollisuuden sovellutuksia lisää liitteessä ks. Liite 1.

3.2.1 Esimerkki menetelmän käytöstä

SpaceX yhtiön Dragon ”V2”-avaruusaluksen rakettimoottorin kammiot on suunniteltu DMLS – menetelmää käyttäen. Valmistusmenetelmällä saatuja etuja on kevyt rakenne, joka kestää moottorin kovaa työntövoimaa ja kestää useita uudelleenkäyttöjä. SpaceX käytti EOS -yhtiön konetta ja käytti materiaalina inconel -superseosta. (aviaton week network, 30.5.2014)

3.3 Erot muihin rm-menetelmiin

Käydään läpi muiden valmistusmenetelmien suurimmat erot tutkittavaan menetelmään

3.3.1 Suorakerrostus

Suorakerrostuksen suurimpia heikkouksia verrattuna tutkittavaan menetelmään ovat: 4- tai 5- akselista suutinta tarvitaan usein valmistamaan vaikeita kappaleita, kappaleet voivat tarvita tukimateriaaleja, kerrostumisnopeus on hitaampi ja liiallinen nopeuden säätö vaikuttaa kappaleen mikrorakenteeseen. Suorakerrostuksella voidaan korjata vaurioituneita kappaleita pursottamalla uutta kerrosta pintaa. Lisäksi erilaiset korroosion kestävät pinnoitukset ovat mahdollisia. (Gibson et. al. 2015, s. 245–250)

3.3.2 Kerroslaminointi

Kerroslaminointia voidaan pitää vaihtoehtoisena vaihtoehtona muihin valmistusmenetelmiin. Kerroslaminoinnin tyylistä riippuen kappaleen valmistus voi olla hinnaltaan tai laadultaan matala. Menetelmällä voidaan helposti valmistaa sisäisiä kanavia tai onteloita. Kappaleen tiiveys riippuu kiinnitysmenetelmästä. Vaikeat geometriat vaativat erillisiä työkaluja sijoittamiseen, tai integroidun työstökoneen. (Gibson et. al. 2015, s. 219–233)

3.3.3 Jauhepetisulatus

Tutkittava menetelmä on jauhepetisulatuksen yksi valmistusmenetelmä ja kuuluu parametreista riippuen yhteen tai useampaan materiaalin fuusioista. Suurin ero menetelmien välillä on ero sintrauksen ja sulattamisen kanssa. Sulattamisella saadaan yleisesti hyvä kappaleen kiinnittyminen ja tiiveys, kun sulamista tapahtuu osittain myös kappaleen kiinteälle osalla. Suuri lämmön tuonti kappaleeseen puolestaan voi vaatia

kappaleen jäädyttämistä ennen uuden jauhekerroksen lisäämistä. Sulamisessa tulee ottaa huomioon kappaleen kutistuminen ja pyrkiä vähentämään sitä mallin teossa. Kappaleen hapettuminen sulamisen aikana on myös otettava huomioon ja käytettävä tarvittavia suojavaasuja. (Gibson et. al. 2015, s. 107–144)

4 VALMISTUSPROSESSI KAPPALEILLE

Kappaleesta riippuen ainetta lisäävillä valmistusmenetelmillä on tietynlaisia etenemisen vaihteita, jotka riippuvat käytetystä teknologiasta ja halutusta kappaleesta. Siirryttäessä yhä kompleksisimpiin ja viimeistellyimpiin kappaleisiin lisääntyy myös vaiheiden määrä ja tarvittava iterointi suunnittelussa. (Gibson et al. 2015, s. 4–5).

4.1 3D-geometrian mallintaminen

Ensimmäisessä vaiheessa luonnostellaan kappaleen suurpiirteinen muoto ja toiminnot, joiden pohjalta muodostetaan digitaalinen 3D Cad-malli. Mallintamista voidaan tehdä ohjelmisto pohjaisella optimoinnilla, Skannaamalla fyysinen kappale 3D-skannerilla, suunnittelijan käyttämällä käyttöliittymällä tai yhdistelmiä menetelmistä. Digitaalista mallia käyttäen voidaan valmistaa fyysinen malli käyttäen ainetta lisääviä valmistusmenetelmiä. (Gibson et al. 2015, s. 44–45).

4.2 STL-formaattiin muuntaminen

Valmis digitaalinen 3D-geometria muunnetaan STL-formaattiin (stereolitography), joka luo approksimaation kappaleen muodosta käyttäen kolmiopintoja. Kolmiopinnassa on kolme kärkipistettä ja pintanormaali, mitkä ilmoittavat kolmion alan ja sisä- ja ulkopinnan. Kolmiot eivät kykene kopioimaan kappaleen muotoja täydellisesti vaan muodostavat vääristymää kappaleen pinnalle, mitä voidaan kontrolloida lisäämällä verkotuksen määrää. Yleisesti kappaleen ja verkotuksen pintojen välinen etäisyys pidetään pienempänä kuin valmistuslaitteiston kykenemä resoluutio. Verkotuksen liiallinen tihentäminen kasvattaa mallinnettavan kappaleen tiedostokokoa ja lisää valmistusaikaa. (Gibson et al. 2015, s. 45–47).

Kolmiopintojen lisäksi kappaleelle on annettava kappaleelle tarkoituksen mukainen asento, josta kappale viipaloidaan kappaleen valmistusmenetelmälle otollisimmalla tavalla. Viipaloinnissa on haettava hyvää paksuutta, jossa valmistusaika ei veny turhan pitkäksi ja saatu kappale on käyttökelpoinen (Syrjälä & Tuomi, 1997, s. 16–17)

STL-formaatin muunto voi myös aiheuttaa virheitä kappaleen geometrian luontiin. Etenkin vaikeat geometriat aiheuttavat kolmiopinnan verkotuksen pintanormaalien väärä suunta, joka voi estää tai vaurioittaa tiedoston käyttöä seuraavassa vaiheessa. Virhetilojen korjaamiseksi on käytössä korjaavia ohjelmia tai mallia voidaan korjata myös käsin, mutta usein ongelmien löytäminen on työlästä. (Gibson et al. 2015, s. 45–47).

4.3 Koneen valmistusparametrit ja tiedonsiirto koneelle

Mallin STL-tiedosto siirretään valmistavalle koneelle ja tarkistetaan koneen antama mallin haluttu muoto näyttöpäätteestä. Tämän jälkeen kappale sijoitetaan rakennealustalle ja määrätään kappaleen valmistusasento. Valmistusasennon määräyksellä on vaikutusta valmistuksen onnistumiseen ja tarvittaviin tukimateriaaleihin. Ainetta lisäävissä valmistusmenetelmissä valmistetaan yleensä useita kappaleita yhtäjaksoisesti, niinpä kappaleen sijoittamisella rakennusalustalle on väliä. Kappaleeseen vaikuttava kutistuminen menetelmän aikana voidaan ottaa huomioon CAD-mallissa tai lineaarisesti suurentaa kappaletta parametreja valittaessa. (Gibson et al. 2015, s. 47).

Koneen ja materiaalin ominaiset valmistusparametrit määritellään ennen kappaleen valmistusta. yleensä valintoina on kerrospaksuuden ja valmistusnopeuden valinta, mutta myös muita parametreja voi koneesta riippuen olla. Epäkelpoiset parametrit kuluttavat aikaa tai valmistuva kappale on laadultaan hyväksymiskelvoton. (Gibson et al. 2015, s. 47–48).

4.4 Kappaleen valmistaminen ja viimeistely

Tietojen syötön jälkeen kone alkaa valmistamaan kappaletta annettujen tietojen mukaan. Riippuen valmistusmenetelmästä liikkuuko koneessa alusta vai suuttimen pää. Koneen tehtyä kaikki kerrokset kappale irrotetaan alustasta, tukirakenteista ja ylimääräisestä rakennusmateriaalista. (Gibson et al. 2015, s. 47–48).

Jälkikäsittelyn tarkoituksena on saada valmistetusta kappaleesta sen mekaaniset ja esteettiset vaatimukset täyttymään. Käydään läpi eri jälkikäsittelyn menetelmiä (Tutkimusraportti VTT-R-03327-16, s. 9).

4.4.1 Jauheenpoisto

Varsinkin jauhepetimenetelmillä valmistetuissa kappaleissa on paljon käyttämätöntä jauhetta tukemassa valmistuvaa kappaletta. On kuitenkin tärkeää puhdistaa kappaleesta irtonainen jauhe, jotta kappale toimii suunnitellulla tavalla. Yleisesti kappaleessa kiinni oleva irtonainen jauhe lähtee hyvin harjatessa tai paineilmalla, kuitenkin sisäisien onteloiden puhdistaminen voi vaatia erikoisempia työkaluja. (Tutkimusraportti VTT-R-03327-16, s. 9–10).

4.4.2 Lämpökäsittely

Lämpökäsittelyn tarkoituksena on vähentää valmistuksen aiheuttamia jäännösjännityksiä kappaleessa, sekä saada parempia mekaanisia ominaisuuksia mikrorakennetta muuttamalla. Lämpökäsittelyt tehdään usein eri vaiheissa ja kappaleen geometria, halutut mekaaniset ominaisuudet, kappaleen materiaali ja koko vaikuttavat lämpökäsittelyprosessin käytettäviin parametreihin. (Tutkimusraportti VTT-R-03327-16, s. 10).

4.4.3 Koneistus

Kappaleen koneistuksella haetaan yleensä tiettyjen pintojen korkeampaa pinnanlaatua ja mittatarkkuutta. Tarkkuutta vaativat kohdat ovat yleensä kappaleen reiät, kierteet, kiillotusta vaativat pinnat tai muuten kriittiset pinnat. (Tutkimusraportti VTT-R-03327-16, s. 11–12).

4.4.4 Rae- & kuulapuhallus

Rae- ja kuulapuhallusta käytetään parantamaan kappaleen pinnanlaatua, poistamaan valmistusmenetelmässä kiinni jäänyttä ylimääräistä materiaalia ja parantamaan pinnan mekaanisia ominaisuuksia esimerkiksi jännityskeskittymiä tai väsymislujuutta. Menetelmän parametreina käytetään rakeiden ja kuulien materiaalia, raekokoa,

partikkelien nopeus sekä rakeiden iskukulma. (Tutkimusraportti VTT-R-03327-16, s. 12–13).

4.4.5 Kemialliset ja mekaaniset kiillotukset

Suurin osa erilaisista kiillotuksista tapahtuu kemiallisilla aineilla, mekaanisella työllä tai niiden yhdistelmällä. käytettyjä menetelmiä on erilaiset abrasiiviset virtaus menetelmät, hionta, mekaaninen kiillotus, kemiallinen kiillotus, sähkökemiallinen kiillotus, peittäus, pinnoitus ja maalaus. (Tutkimusraportti VTT-R-03327-16, s. 13–22).

5 YHTEENVETO

Metallin lasersintrauksella on erittäin hyvät valmiudet luoda oma markkinarako monimutkaisten kappaleiden ja pienien eräkokojen valmistukseen. Menetelmän avulla voidaan parhaimmillaan saavuttaa valmistuksen materiaalisäästöjä, valmistaa toiminnallisesti suorituskykyisempiä tuotteita ja valmistaa helposti räätälöitäviä tuotteita. Haittapuolina mainittakoon laitteiden korkeat käyttö- ja hankintakustannukset, menetelmälle ominainen pitkä valmistusaika sekä kappaleen viimeistelyn tarve.

6 LÄHDELUETTELO

Aviation week network, 2014 SpaceX Unveils ‘Step Change’ Dragon ‘V2’ [verkkodokumentti] saatavissa <http://aviationweek.com/space/spacex-unveils-step-change-dragon-v2> [viitattu 4.12.2017]

Bourell DL, Beaman JJ, Leu MC & Rosen DW, 2009. A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead, US – Turkey workshop on rapid technologies

Gibson I, Rosen D, Stucker B, 2015. Additive manufacturing technologies – 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing. 2nd edition. USA: springer-Verlag New York. ISBN 978-1-4939-2113-3.

Hänninen J, 2001. DMLS moves from rapid tooling to rapid manufacturing, Metal powder report volume 56, Issue 9

Kruth JP, Mercelis P, Froyen L & Rombouts M, 2004. Binding mechanism in selective Laser sintering and selective laser melting, Rapid prototyping journal, Vol. 11 issue: 1, s. 26-36.

Nyrhilä O, Kotila J, Lind J-E & Syvänen T, 1998. Industrial use of direct metal laser sintering. Rusko: Electrolux Rapid Development.

Porter J, 2017. Täydentävät valmistusmenetelmät -kurssin luennot. Konetekniikan koulutusohjelma, Oulun yliopisto.

SFS-ISO/ASTM 52900, 2016. Materiaalia lisäävä valmistus. Yleiset periaatteet. Terminologia. Helsinki: Suomen standardisoimistolitto SFS 44 s.

Shellabear M & Nyrhilä O, 2004. DMLS – development history and state of the art, LANE 2004 conference, Erlangen, Germany.

Syrjälä S, Tuomi J, 1997. Rapid prototyping – Mallien prototyyppeiden ja työkalujen pikavalmistus. Helsinki: Teknologien kehittämiskeskus, teknologiakatsaus 52/97. ISBN-951-53-0768-6.

Teknologian tutkimuskeskus VTT oy, 2016, AM-prosessin integrointi tuotantoon – metalliosien valmistuksen työvaiheet, VTT-R-03327-16 Espoo.

Vihinen J, 2015. Yrityksesi kilpailukyvyyn lisääminen 3D-tulostuksen avulla. Tampere: Tampereen teknillinen Yliopisto.

Wohlers T & Gornet T, 2014. History of additive manufacturing, Wohlers associates, inc

7 LIITE

Liite 1. <https://www.eos.info/material-m>