

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LASERPINNOITUS TUOTEKEHITYKSESSÄ

Laserinpinnoituksen soveltuvuuden tarkastelu komponentteihin

TEKIJÄ: Eetu Suvanto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Eetu Suvanto	
Työn nimi Laserpinnoitus tuotekehityksessä	
Päiväys 5.5.2024	Sivumäärä/Liitteet 38
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Veisto Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli tuotekehitystyö, jossa tutkittiin laserpinnoituksen mahdollisuuksia korvaamaan nykyisiä valmistusmenetelmiä. Työn tilaajana toimi sahatavaran tuotantolinjoja suunnitteleva ja valmistava Veisto Oy. Työssä tehty tuotekehityksen tarkastelu rajautui kahteen yrityksen valmistamaan komponenttiin.</p> <p>Työssä tutkittiin ja perehdyttiin laserpinnoitusprosessin tarjoamiin menetelmiin ja mahdollisuuksiin, jonka jälkeen tarkasteltiin ja tutkittiin pinnoitusmenetelmien soveltuvuutta yrityksen valmistamiin komponentteihin. Työssä tutkittiin myös lyhyesti muita mahdollisia pinnoitusmenetelmiä ja vertailtiin laserpinnoitusta muihin perinteisiin pinnoitusmenetelmiin. Tämän opinnäytetyön tuotekehitystutkimus keskittyi tarkastelemaan kahta yrityksen valmistamaa komponenttia, joista ensimmäinen oli koneistettu komponentti, jonka pintaan haluttiin luoda lisää kulutus pintaa laserpinnoitusprosessia hyödyntäen. Toinen komponentti oli pyörähdysymmetrinen kappale, johon haluttiin luoda laserpinnoituksella tartuntapintaa.</p> <p>Työssä onnistuttiin luomaan kattava selvitystyö laserpinnoitusprosessista ja sen mahdollisuuksista. Tämän perusteella saatiin tutkittua ja selvitettyä, voiko laserpinnoitusta hyödyntää ja käyttää tutkittuihin komponentteihin. Työssä tehdyn selvityksen avulla toimeksiantajayritys voi tehdä jatkotarkastelua testikappaleille, joiden avulla yritys voi tehdä päätöksen, haluaako se jatkossa käyttää tutkittua laserpinnoitusprosessia. Lisäksi työssä selvitettyjen tietojen avulla yritys voi tarkastella, voiko laserpinnoitusta soveltaa muihin yrityksen tuottamiin komponentteihin.</p>	
Avainsanat Tuotekehitys, laserpinnoitus, terminen ruiskutus, prosessiparametri, materiaaliparametri, laser pinnoitemateriaali	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Eetu Suvanto	
Title of Thesis Laser Cladding in Product Development	
Date 5 May 2024	Pages/Appendices 38
Client Organisation /Partners Veisto Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The topic of this thesis was product development, investigating the possibilities of using laser cladding to replace current manufacturing methods. The client of the study was Veisto Oy, which designs and manufactures sawmill production lines. The product development carried out in the study was limited to two components manufactured by the company.</p> <p>In the study the methods and possibilities offered by the laser cladding process were explored and familiarized. Later in the work, the suitability of the laser cladding methods for the components manufactured by the company was examined and investigated. In the work also other possible cladding methods were briefly investigated and laser cladding was compared to other traditional cladding methods. In the product development research of this thesis, it was focused on examining two components manufactured by the company. The first component was a machined part where additional wear surface was desired to be added by using the laser cladding process. The second component was a rotationally symmetric piece, where an adhesion surface was desired to be created using laser cladding.</p> <p>As a result of this study, it was succeeded in creating a comprehensive examination of the laser cladding process and its potential applications. Based on examination, it was possible to study and find out whether laser cladding could be utilized and used for the studied components. With the information obtained in the study, the client company can further examine test pieces in more detail and then decide whether they want to proceed with the laser cladding process. Additionally, with the help of the information gathered in the work, the client company can consider whether laser cladding can be applied to other components produced by the company.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>Product development, laser cladding, thermal spraying, process parameter, material parameter, cladding material</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	ORGANISAATION ESITTELY .....	7
2.1	Toimeksiantaja .....	7
2.2	Koulutuspaikka .....	7
3	LASERIT JA LASERHITSAUS .....	8
4	LASERPINNOITUS .....	9
4.1	Laserpinnoitusprosessi .....	10
4.2	Laserpinnoituksen edut ja rajoitukset .....	11
4.3	Laserpinnoitusprosessille asetetut parametrit.....	12
4.3.1	Prosessiparametrit .....	12
4.3.2	Materiaaliparametrit.....	14
4.4	Pinnoitteet.....	16
4.4.1	Kobolttipohjaiset kovapinnoitelisäaineet .....	16
4.4.2	Nikkelipohjaiset kovapinnoitelisäaineet.....	19
4.4.3	Nikkelipohjaisia superseoksia.....	20
4.4.4	Rautapohjaiset kovapinnoitelisäaineet.....	21
4.4.5	Metallimatriisikomposiitit .....	22
5	MUITA PINNOITUS MENETELMIÄ .....	23
5.1	LASERSEOSTUS .....	23
5.2	Laserpintakarkaisu .....	23
5.3	Terminen ruiskutus .....	23
5.3.1	Liekkiruiskutus.....	24
5.3.2	Valokaariruiskutus .....	24
5.3.3	Plasmaruiskutus .....	25
5.3.4	Detonaatoruiskutus .....	25
5.3.5	Suurnopeusliekkiruiskutus .....	25
5.3.6	Kylmäruiskutus .....	25
6	TUOTEKEHITYS.....	26
7	YHTEENVETO.....	27
	LÄHTEET .....	28

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Laserpinoitus prosessia havainnollistava kuvaleike (Kokkola LCC Oy, 2024).....	9
--	---

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajayrityksenä toimii vuonna 1964 perustettu perheyhtiö Veisto Oy. Yritys tunnetaan maailmanlaajuisesti heidän suunnittelemistaan ja valmistamistaan HewSaw-merkkisistä sahatavaran tuotantolinjoista. Tämän opinnäytetyön aihe keskittyy sahakoneiden komponenttien tuotekehitykseen, jossa tutkitaan laserpinnoituksen käytön mahdollisuuksia korvaamaan nykyisiä valmistusmenetelmiä. (Veisto Oy, 2024)

Työn aiheena on tutkia ja perehtyä laserpinnoitusprosessin tarjoamiin menetelmiin ja niiden mahdollisuuksiin. Tämän jälkeen tarkastellaan ja tutkitaan pinnoitusmenetelmien soveltuvuutta yrityksen valmistamiin komponentteihin. Työssä myös tutkitaan lyhyesti muita mahdollisia pinnoitusmenetelmiä ja vertaillaan laserpinnoitusta muihin perinteisiin pinnoitusmenetelmiin.

Työn tavoitteena on selvittää, voidaanko laserpinnoituksella valmistaa kaksi yrityksen valmistamaa komponenttia. Ensimmäinen näistä komponenteista on koneistettu osa, jonka pintaan halutaan luoda lisää kulutus pintaa laserpinnoitusprosessin avulla. Toinen komponentti on pyörähdysymmetrinen kappale, johon haluttiin luoda laserpinnoituksella tartuntapintaa.

## 2 ORGANISAATION ESITTELY

### 2.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajayrityksenä toimii vuonna 1964 perustettu perheyhtiö Veisto Oy. Yrityksen pääkonttori ja tehdasalue sijaitsevat Mäntyharjulla Etelä-Savossa. Yritys tunnetaan maailmanlaajuisesti heidän suunnittelemistaan ja valmistamistaan HewSaw merkkisistä sahatavaran tuotantolinjoista. Veisto Oy aloitti 1980-luvulla kansainvälisen toiminnan, jonka jälkeen veisto on toimittanut huippulaatuisia sahalinjoja yli kolmeenkymmeneen maahan. Yrityksellä on myös tytäryhtiöitä seitsemässä eri maassa, jotka toimivat huollon ja markkinoinnin tehtävissä. Veisto Oy työllistää tällä hetkellä kahdeksassa eri maassa 250 henkilöä. Vuonna 2022 Veisto Oy:n liikevaihto oli 57,42 miljoonaa euroa. (Veisto Oy, 2024) (Finder, 2024)

### 2.2 Koulutuspaikka

Savonia-ammattikorkeakoulun kampuksia on kolmella eri paikkakunnalla, ollen yksi suurimpia ja monipuolisimpia ammattikorkeakouluja Suomessa. Savonian päätoimipaikkana toimii Kuopion kampus, lisäksi kampuksia sijaitsee Iisalmessa ja Varkaudessa. Savonia palvelee ja kouluttaa yli 8000 opiskelijaa, samalla toimien yhteistyökumppanina monille yrityksille. (Savonia-ammattikorkeakoulu, 2024)

### 3 LASERIT JA LASERHITSAUS

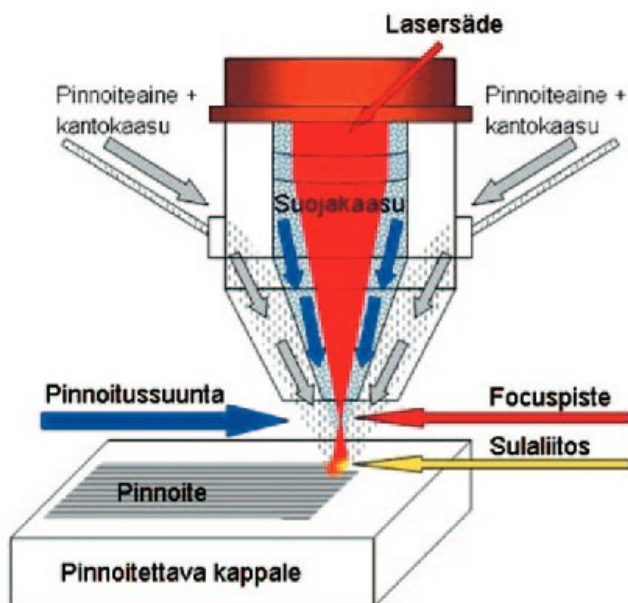
Tälle opinnäytetyölle tehtiin esiselvitys, jossa tutkittiin laserhitsauslaitteiston resonaattoreita, eli erilaisia lasertyyppejä, ja käytiin niistä läpi yleisimmät ja merkittävimmät teknologian kannalta. Esiselvitystyössä selvitettiin myös, mitä on laserhitsaus, ja lisäksi työssä perehdyttiin laserhitsausmenetelmiin sekä selvitettiin laserhitsauksen tuomia etuja sekä haittoja. Työn tarkoituksena oli toimia tiivistettynä tietolähteenä tämän opinnäytetyön tekoon sekä antaa tietoa toimeksiantajalle laserhitsauslaitteistoista ja niiden tuomista eduista tuotannossa.



## 4 LASERPINOITUS

Laserpinnoitusprosessissa työkappaleen pintaan sulatetaan lisäainetta laserin avulla suojaamaan ja parantamaan kappaleen ominaisuuksia. Työkappaleen perusaine on yleisesti helpommin käsiteltävää ja edullisempaa materiaalia, joka pinnoitetaan materiaalilla, joka kestää hyvin kulutusta tai suojaa kappaletta korroosiolta. Laserpinnoituksen avulla voidaan saavuttaa muita pinnoitusmenetelmiä paremmat pinnoiteominaisuudet. Kuvassa 1 esitellään laserpinnoituslaitteiston komponentteja ja toiminta periaatetta. (Ionix Oy, 24) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Laserpinnoitukselle tyypillisiä kohteita ovat pyörähdyssymmetriset kappaleet, kuten akselit, telat, sylinterit, karat ja monet muut. Kuitenkin laserpinnoitusta käytetään ja sovelletaan laajasti kaikenlaisiin koneisiin ja komponentteihin. Lisäksi laserpinnoituksella voidaan tehdä korjauspinnoituksia, joiden avulla saavutetaan jopa alkuperäistä tuotetta paremmat ominaisuudet ja lisäksi kuluneiden osien hylkääminen jää vähäisemmäksi. (Ionix Oy, 24) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)



Kuva 1. Laserpinnoitus prosessia havainnollistava kuvaleike (Kokkola LCC Oy, 2024)

#### 4.1 Laserpinnoitusprosessi

Laserpinnoitusprosessi käyttää laserin tehoa sulattamaan työkappaleen pinnan ja siihen lisätyn pinnoiteaineen. Metallien laserpinnoituksesta käytetään yleisesti nimeä LMD, joka on lyhenne sanoista "laser metal deposition". Laserpinnoituksesta voidaan puhuttaessa käyttää myös nimitystä DMD "direct metal deposition" tai DED "direct energy deposition". (Apricon Oy, 2024)

Pinnoitusmateriaali voidaan tuoda kappaleeseen monin eri tavoin dynaamisesti prosessin aikana: langan, nauhan tai jauheen muodossa. On myös mahdollista levittää lisäainetta kappaleen pinnalle ennen laserin käyttöä pastana, levynä tai kalvona. Yleisimmin laserpinnoituksessa käytetään jauhe- maista lisäainetta, jota voidaan tuoda kappaleen pinnalle pneumaattisesti kantokaasun avulla tai hyödyntämällä painovoimaa laserin sivusta "off-axis-menetelmä". Jauhetta voidaan myös tuoda koaksiaalisesti lasersäteen kanssa. Kantokaasua voidaan käyttää myös suojakaasuna prosessissa. Pinnoitemateriaali on mahdollista levittää työkappaleeseen etukäteen käyttämällä erilaisia termisiä ruiskutusmenetelmiä, kuten liekki-, kaari-, plasma- tai suurnopeusliekkiruiskutusta. Espinnoite sulatetaan vielä laserin avulla, jotta pinnoite tiivistyisi ja homogenisoituisi. (Beijer Oy, 2018) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ionix Oy, 24)

Laserpinnoitus tarjoaa useita etuja verrattuna muihin perinteisiin menetelmiin. Taulukossa 1 vertaillaan erilaisia pinnoitusmenetelmiä. Laserpinnoitusprosessi mahdollistaa metallurgisen liitoksen muodostumisen työkappaleen ja pinnoitteen välille, mikä varmistaa pinnoitteen pysyvyyden. Hyvä pysyvyys saavutetaan matalalla ja tarkasti hallitulla lämmöntonulla, jonka avulla seostuminen pysyy vähäisinä. Vähäinen lämmöntonni myös rajoittaa kappaleen lämpölaajenemista ja muodonmuutoksia. (Beijer Oy, 2018) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ionix Oy, 24)

Taulukko 1. Laserpinnoituksen vertailu muihin menetelmiin (Beijer Oy, 2018) (Kokkola LCC Oy, 2024)

	HVOF	PTA	Laserpinnoitus
Lämmönlähde	Neste- tai kaasuliekki	Sähkökaari	Laseri
Pinnoitteen paksuus	0,05 - 1mm	0.5 – 5mm	0.3 – 3mm
Tyypillinen nopeus	≤ 5 kg/h	≤ 10 kg/h	≤ 5kg/h
Seostuminen	0	5-15%	≤ 5%
Liitostyyppi	Mekaaninen	Metallurginen	Metallurginen
Tartuntalujuus	≤ 80 MPa	≤ 800 MPa	≤ 800 MPa
Lämmöntuonti kappaleeseen	Vähäinen/kohtalainen	Korkea	Vähäinen
Huokoisuus	≤ 1%	< 0.1%	< 0.1%

#### 4.2 Laserpinnoituksen edut ja rajoitukset

Laserpinnoituksen etuja muihin menetelmiin vertailtiin taulukossa 1. Kuitenkin tarkemmin tutkiessa laserpinnoituksen tuomia etuja pinnoitusprosessiin, saadaan aikaan seuraavan lainen lista.

Edut:

- Vähäinen sekoittumisaste 2-8 %
- Helposti automatisoitava prosessi
- Vähäiset muodonmuutokset
- Lämmön vaikutus alue kapea
- Kiinnittyminen perusaineeseen hyvä
- soveltuva tarkkuus- ja korjauspinnoituksessa
- Pinnoitemateriaalit ovat tiiviitä
- Laaja valikoima materiaaleja
- Pystyy pinnoittamaan kappaleiden sisäpintoja
- Hieno mikrorakenne
- Toistettavuus
- Pinnoitepaksuus 0,1–3 mm
- Pinnoitepalon leveys 0,3-40 mm. (Ionix Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Kokkola LCC Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Laserpinnoituksen haasteina ja heikkouksina voidaan pitää korkeita investointikustannuksia. Laserpinnoituslaitteisto on termisiin ruiskutus laitteisiin verrattuna huomattavasti kalliimpi. Lisäksi pinnoitus nopeutta vertaillaessa muihin perinteisiin menetelmiin, ei laserilla saavuteta suuria eroja. Seuraavaksi vielä listattuna rajoituksia ja miinuksia.

Rajoitukset ja miinukset:

- Työstöparametrien asettaminen vaatii perehtymistä aiheeseen
- Laitteiden korkeat hinnat
- Vähäinen alihankkijoiden määrä
- Termisen ruiskutuksen menetelmiin verrattuna vähäinen tehokkuus.(Ionix Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Kokkola LCC Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

#### 4.3 Laserpinnoitusprosessille asetetut parametrit

Laserpinnoituksessa saavutettavaan pinnanlaatuun vaikuttavat käytetyt prosessiparametrit ja materiaali-parametrit. (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

##### 4.3.1 Prosessiparametrit

Laserpinnoituksen prosessiparametreihin voidaan luokitella kuuluviksi laserpinnoitusjärjestelmä, joka koostuu eri osista: työstöoptiikasta, laserlähteestä, lisäaineen syöttöjärjestelmästä, työkappaleen paikannusjärjestelmästä ja kappaleenkäsittelylaitteistosta. Prosessiparametreihin kuuluvat seuraavat: (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ion, 2005)

Laserparametrit:

- Laserin aallonpituus (nm)
- tehotiheys ( $W/cm^2$ )
- polarisaatio
- säteen vaikutus alue ja muoto
- tehojakauma

Prosessiparametrit:

- Teho (kW)
- Suojakaasu ja sen virtaus (l/min), paine (bar)
- Limityksen suuruus (%/mm)

**Jauheensyöttö:**

- Jauheensyöttö menetelmä
- Jauheensyötön kohdistus
- Jauheensyötön määrä (g/min)
- Suuttimen kulma (°)
- Suuttimen etäisyys (mm)
- Kantokaasu ja sen virtaus (l/min), paine (bar). (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ion, 2005)

Pinnoituksessa käytettävän laserin aallonpituudella on suuri merkitys, ja siksi yleisimmin käytössä ovat kiekko-, kuitu- ja diodilaserit. Nämä laserit toimivat noin 1000 nm aallonpituudella, mikä edistää lasersäteen absorboitumista metalleihin moninkertaisesti paremmin hiilidioksidilaserin 10600 nm säteeseen verrattuna. Lisätietoa lasereiden toimivuudesta löytyy työhön tehdystä esiselvityksestä. (Ionix Oy, 2024) (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Yleisesti laserpinnoituksessa käytetään työstöpäässä erikoisoptiikkaa, koska niiden avulla on mahdollista säädellä lasersäteen voimakkuutta ja sen jakautumista työkappaleen pintaan. Tällä on suurin merkitys, etenkin pinnoittaessa laajoja alueita, ja siksi pinnoituksessa käytetäänkin hitsausta suurempia säteen spot-aluetta, jolloin saavutetaan suurempi tuottavuus. Lisää tietoa käytetyistä erikoisoptiikoista voi etsiä netistä ja optiikoita valmistavista yrityksistä. Nykyään jauheensyöttömäärät ovat 4-120 g/min välillä, ja jos käytössä on esimerkiksi 6 kW diodilaser niin jauhetta voidaan syöttää tuolloin 110 g/min. (Ionix Oy, 2024) (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Laserpinnoituksessa pinnoituspalkoja limitetään, jotta liitoksesta muodostuu tiivis ja yhtenäinen pinnoitteen pinnalta rajapinnalle asti. Limityksen suuruudella voidaan vaikuttaa suuresti pinnoitteen paksuuteen, prosessin nopeuteen, pinnanlaatuun ja myös jälkityöstön määrään. Tyypillisesti ja yleisimmin pinnoitepalkoja limitetään 50-60%, jolloin saavutetaan tasapaino pinnoitusprosessissa, edellä mainittujen ehtojen saavuttamiseksi. Esimerkiksi jos käytössä on diodilaser ja jauhetta syötetään "off-axis-menetelmällä" luoden 20 mm leveitä palkoja, ja palkoja limitetään 5 mm, tuolloin limitys on 25%. Tällöin syntyy liitoskohdan ja pinnoitteen korkeimman kohdan väliin korkeusero, joka on 200-300 µm riippuen lisäaineesta. Korkeuseroa voidaan pienentää suurentamalla palkojen limitystä. (Ionix Oy, 2024) (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Laserpinnoituksessa käytetään suojakaasuna yleensä tyyppiä, argonia tai heliumia. Suojakaasun tehtävänä on suojella kuumaa kappaletta ja pinnoitusmateriaalia hapettumiselta sekä ilman epäpuhtauksilta. Suojakaasulla halutaan joissain tapauksissa vaikuttaa pinnoitteen ominaisuuksiin. (Ionix Oy, 2024) (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

#### 4.3.2 Materiaaliparametrit

Materiaaliparametreilla on suuri vaikutus pinnoitusprosessin suorituskykyyn. Laserpinnoituksen materiaaliparametreihin luokitellaan kuuluvaksi perusaineen ja lisäaineen ominaisuudet. Materiaaliparametreihin kuuluvia parametrejä ovat seuraavat: (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Perusaine:

- Pinnankarheus
- Työkappaleen lämpötila
- Työkappaleen suuruus
- Koostumus
- Absorptiokerroin
- Lämmönjohtavuus
- Sulamispiste
- Diffuusio kerroin

Lisäaine:

- Partikkelien suuruus
- Partikkelien muoto
- Absorptiokerroin
- Sulamispiste
- Tiheys. (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ion, 2005)

Laserpinnoitus on suhteellisen joustava vähäisille perusaineen vaihteluille, mutta kuitenkin tiettyjä asioita on otettava huomioon. Etenkin materiaalien vaihtelevat absorptiokertoimet tulee huomioida; esimerkiksi alumiini ja kupari heijastavat säteestä enemmän takaisin teräksiin verrattaessa. Hyvän lopputuloksen saamiseksi kannattaa pinnoitusmateriaalin sulamislämpötilan olla matalampi kuin pinnoitettavan kappaleen, jolloin säröjen muodostumisen mahdollisuus on vähäisempi. Kuitenkin prosessissa voi syntyä säröjä ja huokosia, koska pinnoitteen ja perusaineen sekoittuminen voi aiheuttaa metallurgisia muutoksia. (Ionix Oy, 2024) (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Lukkari;Kyröläinen;& Kauppi, Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2A, Metallit ja niiden hitsattavuus, 2019)

Yleisimmät pinnoituskohteet ovat rakenneteräkset, jolle halutaan paremmat pintaominaisuudet. Kuitenkin pinnoitemateriaalin tulee kestää raudan vähäinen seostuminen. Suuren, yli 1% hiilipitoisuuden omaavat työkaluteräkset, aiheuttavat taipumusta huokosiin pinnoitteisiin. Myös perusaineen halkeilulle on mahdollisuutta mutta harvinaista. Ihanteellisia perusaineita on austeniittiset ruostumattomat teräkset, esimerkiksi AISI 304, suuren lämpölaajenemiskertoimen ansiosta, koska tämän avulla pinnoitteeseen syntyy puristusjännitystila. (Ionix Oy, 2024) (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Lukkari;Kyröläinen;& Kauppi, Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2A, Metallit ja niiden hitsattavuus, 2019)

Haasteita kohdataan pinnoittaessa valurautoja, sillä niiden korkean hiilipitoisuus lisää huokoisuuden lisääntymistä pinnoitteeseen, ja hauras valurauta on altis halkeilulle. Valuraudan seosaineet voivat pinnoitteeseen seostuessaan aiheuttaa kuumahalkeamia. Sitkeytensä ansiosta, pallografiittivalurauta kestää paremmin pinnoituksesta syntyviä jännityksiä kuin suomugrafiitti. Pinnoitusmateriaalit ovat vähäiset valurautoille, mutta lisäämällä nikkeliä kerroksen on mahdollista käyttää perinteisiä pinnoitusmateriaaleja. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Lukkari;Kyröläinen;& Kauppi, Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2A, Metallit ja niiden hitsattavuus, 2019)

Alumiinin pinnoituksen haasteena on alhainen sulamispiste, jonka vuoksi lisäaineen sekoittuminen perusaineeseen on suurta suurissa lämpötiloissa. Kuitenkin seostamalla alumiineja on mahdollista parantaa sen kulutuskestävyyttä. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Lukkari;Kyröläinen;& Kauppi, Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2A, Metallit ja niiden hitsattavuus, 2019) (Beijer Oy, 2018)

#### 4.4 Pinnoitteet

Laserpinnoitusmateriaalien laaja kirjasto koostuu pääsääntöisesti metalleista, mutta se sisältää myös joitakin keraameja ja komposiittipinnoitteita. Pinnoitusmateriaalit ovat pääsääntöisesti jauheenmuodossa, koska sen etuina on helppo tuominen pinnoitusprosessiin ja mahdollistaa eri jauheiden sekoittamisen keskenään. Lisäksi jauheen käyttö on vähäisempää verrattuna langan käyttöön. (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ion, 2005)

Pinnoitusjauheen esisekoitusta tehdään tarpeen vaatiessa, esimerkiksi metallimatriisikomposiittien pinnoituksessa. Keskeistä on, että valittu pinnoitemateriaali ja perusaine muodostavat sulaliitokset. Välipinnoitetta käyttämällä on mahdollista ehkäistä rajapinnoille hauraiden faasien syntyminen sekä tarkoituksena vähentää jäännösjännityksiä, jotka johtuvat perusaineen ja pinnoitteen välisistä erilaisista lämpölaajenemiskertoimista. (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ion, 2005)

Yleisimpiä pinnoitemateriaaleja ovat muun muassa kobolttipohjaiset (kuten stelliitit), nikkelseoksista (NiCr, Inconel, NiCrBSi), rautaseoksista (SS304, SS316, FeCrW), molybdeenipohjaiset, sekä erilaiset kovametalli- ja komposiittiseokset (WC/TiC/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/SiC + NiCrBSi) ja keraamiset (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> + 8Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Ion, 2005)

##### 4.4.1 Kobolttipohjaiset kovapinnoitelisäaineet

Kobolttipohjaiset kovapinnoiteseokset ovat yksi suosituimmista ja yleisimmin käytetyistä pinnoitemateriaaleista. Ne soveltuvat käytettäväksi kappaleisiin, jotka altistuvat abrasiiviselle kulutukselle, korkeisiin ja mataliin lämpötiloihin, eroosiolle ja kemialliselle rasitukselle kuten syövyttävillä aineilla. Siksi tyypillisiä sovelluskohteita ovat esimerkiksi työkalut, venttiilit, telat, akselit ja erilaiset ruuvikujettimet. Nämä kovapinnoitusaineet voidaan luokitella seosainepitoisuuksien perusteella kolmeen luokkaan. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Kobolttipohjaisten kovapinnoitelisäaineiden luokitukset:

- Liuoslujitetut seokset (Stelliitti 21, Ultimet),
- Karbidiseokset (Stelliitti 1, 6, 12, 20, 700-sarja),
- Metallien väliset yhdisteet, Laves'n faasit (Tribaloy T -400, T -800, T -900). (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)



Liuoslujitetut seokset kromilla, molybdeenillä tai volframilla ovat pehmeitä ja sitkeämpiä verrattuna karbidityyppisiin seoksiin tai metallien välisiin yhdisteisiin. Näitä ei yleensä käytetä vaikeissa kulumisolosuhteissa, vaan pääasiallinen käyttökohde on voidellut liukupinnat. Seosten korroosionkesto perustuu molybdeeniin ja kromiin, mutta myös lisäksi alhaiseen hiilipitoisuuteen (0,05-0,25%), minkä vuoksi kromi ei pääse syntymään kromikarbidiyhdistettä, vaan pysyy matriisissa. Näille seoksille on tyypillistä, että ne muokkauslujittuvat voimakkaasti työstön seurauksena, mikä parantaa pinnoitteen kykyä sietää venymistä säröilemättä. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Karbidiseosten hiilipitoisuus on 1-3%:n paikkeilla. Näissä seoksissa volframi, kromi ja hiili muodostavat hyvin kulutusta kestäviä mutta hauraita karbideja kobolttimatriisiin. Nikkeliä lisäämällä voidaan parantaa seoksen sitkeyttä. Syntyneiden karbidien määrä vaikuttaa seoksen kovuuteen, mutta korroosionkestävyys heikentyy samalla kuin kulumiskestävyys kasvaa. Tämä johtuu siitä, että kromi sitoutuu karbideihin. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Kobolttipohjaiset matalahiilliset Tribaloy-seokset omaavat korkean kovuuden ja hyvän kulumiskeston, etenkin metalli vasten metallia tilanteissa. Näiden kovuus ja kulumiskesto perustuu metallien välisiin yhdisteisiin, Lavesin faaseihin (CoMoSi). Laves-faaseja sisältävät seokset pitävät kovuutensa suurissa lämpötiloissa, jopa 800 asteessa, johtuen faasien stabiliteetista. Korkean kromi- ja molybdeenipitoisuuden vuoksi, niillä on hyvä korroosionkesto useissa ympäristöissä. Näiden seosten suurimpana ongelmana laserpinnoituksessa on, että niillä taipumuksena halkeilla. Siksi laserpinnoituksessa suositellaan käytettäväksi T -900, koska sen halkeiluerkkyyttä on vähennetty 16% nikkelseostuksella. Hauraampia laatuja pinnoittaessa on suositeltavaa esilämmittää kappale noin 500 asteeseen välttääkseen haurasmurtumiset. Taulukossa 2 on esitetty erilaisia kobolttipohjaisia kovapinnoitemateriaaleja. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Taulukko 2. Kobolttipohjaiset kovapinnoiteseokset (Ion, 2005) (Kennametal, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Keltämäki, 2013) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005)

Lisäaineen nimi	Kovuus	Ominaisuudet
Stelliitti 21	27-40 HRC 290-430 HV	Yleiskovapinnoite mikä kestää adhesiivisen kulumisen. Erinomainen korroosionkesto.
Stelliitti 6	36-45 HRC 380-490 HV	Yleispinnoite, kestää kemiallisen ja mekaanisen kulumisen.
Stelliitti 12	45-51 HRC 435-590 HV	Keskinkertainen stelliitti 6 ja 1 välissä ominaisuuksiltaan.
Stelliitti 1	50-58 HRC 550-720 HV	Erittäin korkea kulutuksen ja korroosion kestävyys.
Stelliitti 4	45-49 HRC	Kestää kulumista stelliitti 6 paremmin. Kestää hyvin korkeita lämpötiloja. Erittäin alhainen kitkakerroin
Tribaloy T -400	51-58 HRC	Hyväkorkean lämpötilankesto. käytetään samoissa kohteissa stelliitti 12 ja 1 kanssa
Tribaloy T -800	54-62 HRC	Kestää korkeissa lämpötiloissa kulumisen ja korroosion sekä oksidoitumisen kesto.

#### 4.4.2 Nikkelipohjaiset kovapinnoitelisäaineet

Nikkelipohjaisilla kovapinnoitelisäaineilla saadaan aikaan hyvä korroosionkestävyys korkeissa lämpötiloissa, mutta ne kestävät huonommin adheesiivista kulutusta verraten kobolttipohjaisiin pinnoitteisiin. Kuitenkin nikkeliä käytetään siitä huolimatta kobolttipohjaisille vaihtoehtoisena pinnoitteena koska kobolttipohjaiset pinnoitteet voivat olla terveydelle haitallisia höyryjä hitsattaessa. Nikkelipohjaisten kovapinnoitelisäaineiden ominaisuudet, kuten kovuus ja kulumiskesto, perustuvat silisideihin, borideihin ja karbideihin. Taulukossa 3 on esitelty laserpinnoituksessa käytettyjä nikkelpohjaisia kovapinnoitelisäaineita. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Taulukko 3. Nikkelipohjaisia kovapinnoitelisäaineita (Ion, 2005) (Kennametal, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Keltamäki, 2013) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005)

Lisäaineen nimi	Ominaisuudet
NiCrBSi 40	Matala kitkakerroin ja kestää korroosiota kohtalaisesti. Kovuus n. 400 HV
NiCrBSi 60	Matala kitkakerroin ja kestää korroosiota kohtalaisesti. Kovuus n. 600 HV
Tribaloy T -700	Korroosiota kestävä ja kova. Käyttölämpötila < 900°C. Esilämmitettävä vähintään 500 °C

#### 4.4.3 Nikkelipohjaisia superseoksia

Nikkelipohjaisia superseoksia käytetään, kun tavoitteena on suojata kappaletta korkean lämpötilan hapettumiselta, kuumakorroosiolta tai märkäkorroosiolta. Nikkelipohjaisissa superseoksissa yleensä käytetään alumiinia, kromia, molybdeeniä, piitä, booria, hafniumia ja yttriumia. Tiiviillä alumiini- ja kromikerroksilla tavoitellaan korkean lämpötilan hapettumiskestävyyttä. Oksidikerroksien tarttuvuutta pintaan pinnoitteeseen lisätään hafniumilla ja yttriumilla. Molybdeeniä lisäämällä parannetaan nikkelikromiseoksen kestävyttä rako- ja pistekorroosiota vastaan. Laserpinnoituksessa nikkelpohjaisia superseoksia yleensä käytetään kaasuturbiiniin siivissä, ruuvikuljettimissa ja voimaloiden kattilaputkissa. Taulukossa 4 on esitelty laserpinnoituksessa käytettyjä nikkelpohjaisia superseoksia. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Taulukko 4. Nikkelipohjaisia superseoksia (Ion, 2005) (Kennametal, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Keltämäki, 2013) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005)

Lisäaineen nimi	Ominaisuudet
Inconel 625	Soveltuu korkeisiin käyttölämpötiloihin, suojaten hyvin korroosiolta ja kulumiselta. Kovuus 25 HRC max
Alloy 59	Erinomainen paikallisen korroosion suojana. Hapettavien, pelkistävien ja aggressiivisten liuosten kesto
Hastelloy C-276	Kestää erinomaisesti hapettavia ja pelkistäviä liuoksia. Erittäin hyvä korroosionkestoltaan

#### 4.4.4 Rautapohjaiset kovapinnoitelisäaineet

Rautapohjaisilla kovapinnoitelisäaineilla halutaan nikkelipohjaisten tapaan korvata kobolttipohjaiset kovapinnoiteseokset halvemmalla vaihtoehdolla. Rautapohjaisilla kovapinnoitelisäaineilla lisätään kappaleiden kulutuskestävyyttä adhesiivista ja abrasiivista kulumista vastaan ja samalla saaden lisä-ten kovuutta. Rautapohjaisilla lisäaineilla on mahdollista saavuttaa samantasoinen kulumisenkesto kuin joillakin kobolttipohjaisilla lisäaineilla, mutta niiden korroosionkesto on alhaisempi. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Pinnoitemateriaaleina on käytössä työkaluteräksiä ja ruostumattomia teräksiä. Markkinoilla on myös rautapohjaisia pinnoitteita, joihin on seostuksella haettu korroosion- ja abrasiivisen kulutuksen kes-toa. Yleensä seokset sisältävät enemmän kromia korroosionkeston parantamiseksi. Taulukossa 5 on esitelty rautapohjaisia kovapinnoitteita. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Taulukko 5. Rautapohjaiset kovapinnoitelisäaineet (Ion, 2005) (Kennametal, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005) (Keltamäki, 2013) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005)

Lisäaineen nimi	Ominaisuudet
AISI M2	Kova ja sitkeä peruspinoite. Ei sovellu korroosio alttiisiin ympäristöihin
AISI M4	Kovapinoite, Kulutuskesto perustuu karbidien muodostumiseen
AISI 410	Peruskovapinoite, kohtalaisella korroosion suojalla Käyttölämpötila < 650°C

#### 4.4.5 Metallimatriisikomposiitit

Kun kovapinnoitelisäaineiden kulumisenkestoa ja kovuutta halutaan lisätä, voidaan ominaisuuksia parantaa lisäämällä kovia karbideja metallimatriisiin. Matriisiin lisätään karbideja, kuten WC, TiC, SiC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Karbidien määrän kasvaessa pinnoitteen kyky kestää kulumista paranee. Yleensä laserpinnoitteissa karbidien määrä on 10-60%. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Tärkeintä valmistaessa komposiittipinnoitteita on estää karbidien liukeneminen metallimatriisiin. Tätä voidaan ehkäistä siten, että matriisin sulamispiste on alhaisempi kuin karbidien. Lisäksi prosessiparametreilla ja karbidien partikkelien koolla on merkitystä, karbidit ovat enemmän suuria kuin pieniä. Jos karbidit pääsevät liukenemaan, matriisi haurastuu ja menettää sitkeytensä. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

Metallimatriisina toimivat rauta-, nikkeli- ja kobolttiseokset, joihin lisätään piitä ja booria laskemaan niiden sulamispistettä ja parantamaan seoksen juoksevuuutta sulassa olomuodossa. Alhainen prosessilämpötila laserpinnoituksessa auttaa karbidien rakenteen säilymisessä. Suuren karbidipitoisuuden omaavat pinnoitteet altistuvat helpommin säröilylle. (Ion, 2005) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

## 5 MUITA PINNOITUS MENETELMIÄ

Vaihtoehtoisia pinnoitemenetelmiä työssä tutkitulle laserpinnoitukselle.

### 5.1 Laserseostus

Periaatteeltaan laserseostusprosessi on samanlainen kuin laserpinnoitus, mutta tämän prosessin ero verrattuna laserpinnoitukseen nähden on, että lisäaineen ja perusaineen seostuminen on suurempaa. Lisäaineena prosessissa voidaan käyttää laserpinnoitelisäainetyyppien lisäksi kaasuja. Esimerkiksi tässä prosessissa, titaanin pintaominaisuuksien parantamiseksi puhalletaan tyypeä laserin luomaan sulaan, jolloin muodostuu kappaleen pinnoitteeseen kovia titaaninitridejä, mikä parantamaan merkittävästi kulutuksenkestoa. (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

### 5.2 Laserpintakarkaisu

Laserpintakarkaisumenetelmässä saadaan aikaan kova ja kulutusta kestävä pintakerros suurimmalle osalle teräksistä ja valuraudoista. Prosessissa kappaleen pinta lämmitetään nopeasti laserilla, materiaalin austeniittiselle alueelle, mikä jähmettyy nopeasti lämmön johtuessa ympäröivään materiaaliin. Jähmettyessään nopeasti kappaleen pinta muuttuu martensiittiseksi, eli pinta karkenee.

Laserpintakarkaisulla saavutetaan kappaleeseen 0,3-2,0 mm:n karkaisusyvyys, sulattamatta käsiteltävän kappaleen pintaa ja käyttämättä sammutusväliaineita. Saavutettavaa syvyyttä voidaan kasvat-  
taa lisäämällä prosessiparametrejä ja kappaleen esilämmityksellä, mutta tämä alentaa saatavaa ko-  
vuutta. (Ionix Oy, 2024) (Kujanpää;Salminen;& Vihinen, 2005)

### 5.3 Terminen ruiskutus

Terminen ruiskutus on perinteinen ja yleisesti teollisuudessa käytetty pinnoitusmenetelmä. Menetelmiä vertaillaan taulukossa 6. Prosessissa pinnoitelisäaine sulatetaan kokonaan tai osittain sulaan tilaan ja ruiskutetaan kappaleen pinnalle pisaroina kaasuvirtausta hyödyntäen. Lopullinen pinnoite muodostuu useista päällekkäisistä ruiskutuksista, jolloin pisarat muodostavat kappaleen pintaan lamellimaisen pinnoitteen, mikä on paksuudeltaan 0,1-1 mm.

Termisessä ruiskutuksessa käytettävien materiaalien kirja on laaja, koska prosessissa voidaan käyttää kaikkia materiaaleja, jotka muodostavat stabiiliin sulan tilan kuumentuessa. Poikkeuksena materiaaleihin on kylmäruiskutus. (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)

Taulukko 6. Termisen ruiskutus menetelmien vertailua (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015)  
(Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)

	Lämpötila (° C)	Partikkelino- peus (m/s)	Tartuntalu- juus (MPa)	Oksidimäärä (%)	Huokoisuus (%)	Ruiskutusno- peus (kg/h)	Tyypillinen pin- noitepaksuus (mm)
Liekkiruiskutus	3000	40	8	10-15	10-15	2-6	0,1-15
Kaariruiskutus	4000	100	12	10-20	10	10-25	0,1-50
HVOF (Suurno- peusliekki)	3000	800	>70	1-5	1-2	2-8	0,1-2
HVAF	2000	900	>70	1-2	<0,5	6-12	0,05-2
Plasmaruiskutus	12000	200 – 400	10.. >70	1-3	1-5	2-10	0,1-1
Kylmäruiskutus	<500	550 - 1200	20.. >70	0	<0,5	6-8	0,1-2

### 5.3.1 Liekkiruiskutus

Liekkiruiskutuksessa lisäaine tuodaan lankana tai jauheena, joka sulatetaan hapen ja polttokaasun seoksen luomalla liekillä. Polttokaasut ovat yleensä asetyleeniä, mutta käytetään myös propaania ja vetyä. Lankaruiskutusmenetelmässä lankaa syötetään liekkiin sulattaen sen. Sulanut metalli ohjataan kappaleeseen paineilman avulla metallimaisena sumuna. Jauheruiskutusmenetelmä on saman kaltainen, mutta langan sijaan liekkiin syötettävä materiaali on jauheenmuodossa. (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)

### 5.3.2 Valokaariruiskutus

Valokaariruiskutus on tehokkaampi menetelmä verrattuna liekkiruiskutukseen. Valokaariruiskutusmenetelmässä käytetyt lisäainelangat kytketään positiiviseen ja negatiiviseen sähkövaraukseen, ja kun lankoja tuodaan kohti toisiaan, niiden välillä palaa valokaari sulattaen lisäaineen. Sulanut lisäaine puhalletaan liekkiruiskutuksen tapaan paineilman avulla kappaleeseen. Menetelmä vaatii sen, että käytetyt lisäaineet johtavat sähköä. (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)



### 5.3.3 Plasmaruiskutus

Plasmaruiskutuksessa lisäaine sulatetaan ionisoituneella kaasulla eli plasmalla. Sulaessaan lisäaine saa liike-energiansa plasman kaasuvirtauksesta, kuljettaen sulatetun lisäaineen kappaleeseen. Prosessi sopii plasman korkean liekin lämpötilan ansiosta materiaaleille, joilla on korkea sulamispiste. Käytetyt lisäaineet ovat lähes aine jauheena. (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)

### 5.3.4 Detonaatoruiskutus

Detonaatoruiskutuksessa lisäaine sulatetaan räjähdysten avulla saaden samalla tarvittavan liike-energian. Detonaatoruiskutuksen räjähdys luodaan hapella ja palokaasulla. Prosessi soveltuu erityisesti kovametallipinnoitteiden valmistukseen, mutta käytetään myös oksidikeraamipinnoitteissa. (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)

### 5.3.5 Suurnopeusliekkiruiskutus

Suurnopeusliekkiruiskutus tunnetaan myös HVOF-ruiskutusmenetelmänä (High Velocity Oxy-Fuel). Prosessissa lisäainepartikkeleja ruiskutetaan suurella nopeudella kappaleen pinnalle. Suuren nopeuden ansiosta pinnoitteesta tulee tiivis ja hyvin kiinnipysyvä. Toiminta periaatteeltaan HVOF-ruiskutusmenetelmässä happea ja polttoaasua, kuten nestekaasua tai vaikka propaania, syötetään ruiskun korkeapaine palokammioon, jossa syntyy palamisreaktiona suurnopea kaasuliekki. Liekin nopeus voi olla jopa 2000 m/s ja lämpötila on noin 2700 astetta. Suurnopeaan liekkiin syötetään samalla lisäainetta kantokaasun avulla. (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)

### 5.3.6 Kylmäruiskutus

Kylmäruiskutusprosessin lämpötila on muita termisen ruiskutuksen menetelmien lämpötiloja alhaisempi (alle 500°C), mutta partikkelinopeudet ovat korkeita, välillä 550–1200 m/s. Kylmäruiskutuksessa ei käytetä liekkiä tai valokaarta, vaan lisäaine levitetään pinnoitusalueelle esilämmitetyn kaasun avulla. Lisäainepartikkelien törmätessä perusaineeseen, ne muokkautuvat ja kiinnittyvät toisiinsa. Prosessissa lämpötila on alle lisäaineen sulamispisteen, jolloin hapettumista ja faasimuutoksia ei tapahdu. (Varis;Vuoristo;& TTY, 2015) (Vuoristo;Tuominen;& Nurminen, 2005) (Virtasen koneistamo Oy, 2024) (Beijer Oy, 2018)

## 6 TUOTEKEHITYS

Kappale poistettu yrityssalaisuuksien turvaamiseksi

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaan tiivistetty mutta kattava tietopaketti laserpinnoituksesta ja sen mahdollisuuksista. Lisäksi saatiin vastaukset osittain toimeksi antajan haluamiin kysymyksiin. Kaikkien vastausten saamiseksi olisi täytynyt valmistaa testikappaleet ja tutkia niitä tarkemmin.

Työssä selvitettyjen tietojen pohjalta, komponentit ovat teoreettisesti valmistettavissa ja toimeksiantajayritys voi tehdä jatkotarkastelua mahdollisille testikappaleille. Näiden avulla yritys voisi tehdä päätöksen siitä haluavatko lähteä jatkossa tekemään pinnoitusta tutkitulla laserpinnoitusprosessilla. Lisäksi työssä selvitettyjen tietojen avulla toimeksiantajayritys voi myös tarkastella voiko laserpinnoitusta soveltaa muihin yrityksen tuottamiin komponentteihin.

## LÄHTEET

Työssä on käytetty seuraavasti tekoälyä:

ChatGPT 2024. OpenAI. GPT-3.5 ja GPT-4. Käytetty kielentarkistukseen, huhtikuu 2024.  
<https://chat.openai.com>

Apricon Oy. (2024). *Metallien laserpinnointus (LMD)*. (Apricon) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta  
<https://www.apricon.fi/tuotteet/trumpf-laser/3d-tulostus/laserpinnointus/>

Beijer Oy. (5. 11. 2018). *Thermal spray equipment and consumables*. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta  
Metallisation : <https://beijers.fi/wp-content/uploads/2021/03/Metallisation-Laser-MET-CLAD-L-laitteistospesifikaatio.pdf>

Beijer Oy. (2021). Pintakäsittely terminen ruiskutus. Vantaa. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta  
[https://beijers.fi/wp-content/uploads/2021/03/terminen\\_ruiskutus\\_-\\_yleisesite.pdf](https://beijers.fi/wp-content/uploads/2021/03/terminen_ruiskutus_-_yleisesite.pdf)

Beijer Oy. (2024). *Plasma, HVOF ja laserpinnointus*. (Beijers) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta  
<https://beijers.fi/tuotevalikoima/pintakäsittely/terminen-ruiskutus/plasma-hvof-ja-laser-pinnointus/>

Finder. (28. 4. 2024). *Esittely*. Haettu 28. 4. 2024 osoitteesta Veisto Oy:  
<https://www.finder.fi/Puunty%C3%B6st%C3%B6koneet+ja+sahakoneet/Veisto+Oy/M%C3%A4ntyharju/yhteystiedot/183947>

Ion, J. C. (2005). *Laser processing of engineering materials principles, procedure and industrial application*. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann. Haettu 26. 4. 2024

Ionix Oy. (2024). *Laserpintakarkaisu*. (Ionix) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta  
<https://www.ionix.fi/teknologiat/lasertyosto/laserpintakarkaisu/>

Ionix Oy. (24). *Laserpinnointus*. (Ionix) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta  
<https://www.ionix.fi/teknologiat/lasertyosto/laserpinnointus/>

Keltamäki, K. (2013). *Kulumisalttiiden kohteiden eri pinnoitusmenetelmät*. Kemi: Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56015/keltamaki%20B%202%202013.pdf?sequence=1>

Kennametal. (2024). *Alloys*. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <https://www.stellite.com/us/en/alloys.html>

Kokkokla LCC Oy. (2012). *Ylivoimaiset pinnoitteet laserilla*. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta Esite:  
<https://lcc.fi/wp-content/uploads/lcc-esite2012.pdf>

Kokkola LCC Oy. (2006). *Lasepinnotteella lisää kilpailukykyä*. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta Artikkel:  
[https://lcc.fi/wp-content/uploads/laserpinnotteella\\_lisaa\\_kilpailukyky.pdf](https://lcc.fi/wp-content/uploads/laserpinnotteella_lisaa_kilpailukyky.pdf)

Kokkola LCC Oy. (2024). *Laserpinnointus*. (LCC) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <https://lcc.fi/laserpinnointus/>

Kokkola LCC Oy. (2024). *Teräksen pinnoitus ja pintakäsittely laserilla*. (LCC) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <https://lcc.fi/teraksen-pinnoitus/>

Korpisalo, V.-M. (5. 4. 2024). Myyntipäällikkö. *Puhelinhaastattelu*. Kuopio. Haettu 26. 4. 2024

Korpisalo, V.-M. (26. 4. 2024). Myyntipäällikkö. *Yritysesittely Kokkola LCC Oy, Teams palaveri*. Kuopio. Haettu 26. 4. 2024

Kujanpää, V.;Salminen, A.;& Vihinen, J. (2005). *Lasertyöstö*. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy. Haettu 26. 4. 2024

Lukkari, J.;Kyröläinen, A.;& Kauppi, T. (2019). *Hitsauksen materiaalioppi. Osa 1, Metallioopin perusteet, terästen luokittelu ja valmistus, rakenneterästen käyttäytyminen hitsauksessa, murtuminen ja korroosio*. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. Haettu 26. 4. 2024

Lukkari, J.;Kyröläinen, A.;& Kauppi, T. (2019). *Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2A, Metallit ja niiden hitsattavuus*. Helsinki : Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. Haettu 26. 4. 2024

Lukkari, J.;Kyröläinen, A.;& Kauppi, T. (2019). *Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2B, Metallit ja niiden hitsattavuus*. Helsinki : Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. Haettu 26. 4. 2024

Savonia-ammattikorkeakoulu. (2024). *Tutustu Savoniaan*. Haettu 28. 4. 2024 osoitteesta <https://www.savonia.fi/tutustu-savoniaan/>

SFS-EN 22768-1. (20. 9. 1993). Yleistoleranssit. Osa 1: Ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssit. *SFS standardi, 2. painos*. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/2/9477.html.stx#>

SFS-EN ISO13920. (22. 6. 2023). Hitsaus. Hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit. Pituus- ja kulmamitat. Muoto ja sijainti. *SFS standardi, 2. painos*. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Noudettu osoitteesta <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1283905.html.stx#>

Uddeholms AB. (2024). *Pinnoitus*. (Uddeholms ) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <https://www.uddeholm.com/finland/fi/palvelut/pinnoitus/>

Valtanen, E. (2022). *Tekniikan taulukkokirja* (23. painos p.). Jyväskylä: Genesis-kirjat Oy. Haettu 26. 4. 2024

Varis, T.;Vuoristo, P.;& TTY. (2015). *Teräsrakenteiden ruiskutus – menetelmät, pinnoitteet ja teolliset sovellukset*. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta [https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/226/160cb63/TRY\\_Terminen\\_ruiskutus\\_2015\\_06.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/226/160cb63/TRY_Terminen_ruiskutus_2015_06.pdf)

Veisto Oy. (2024). *Yritys*. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <https://hewsaw.com/fi/yritys>

Virtasen Koneistamo Oy. (2024). *HVOF / HVOF-Hybrid*. (Virtasen Koneistamo) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <http://www.virtasenkoneistamo.fi/terminen-ruiskutus/>

Virtasen koneistamo Oy. (2024). *Teräsrakenteiden ruiskutus*. (Virtasen koneistamo) Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta <http://www.virtasenkoneistamo.fi/terminen-ruiskutus/>

Vuoristo, P.;& Vihinen, J. (2002). High-Performance laser coating for manufacturing and maintenance of industrial components and equipment. *Maintenance Research in Finland*. Tampere: Tampere University of Technology and LaserCo KETEK. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta

[https://www.researchgate.net/publication/265540234\\_Maintenance\\_Research\\_in\\_Finland\\_High-Performance\\_Laser\\_Coatings\\_for\\_Manufacturing\\_and\\_Maintenance\\_of\\_Industrial\\_Components\\_and\\_Equipment](https://www.researchgate.net/publication/265540234_Maintenance_Research_in_Finland_High-Performance_Laser_Coatings_for_Manufacturing_and_Maintenance_of_Industrial_Components_and_Equipment)

Vuoristo, P.;Tuominen, J.;& Nurminen, J. (2. 5. 2005). *Laser coating and thermal spraying - process basics and coating properties*. Haettu 26. 4. 2024 osoitteesta Kokkola LCC Oy: [https://lcc.fi/wp-content/uploads/process\\_basics\\_and\\_coating\\_properties.pdf](https://lcc.fi/wp-content/uploads/process_basics_and_coating_properties.pdf)