

Kimmo Keltamäki

Kulumisalttiiden kohteiden eri pinnoitusmenetelmiä

Kirjallisuusselvitys



Kulumisalttiiden kohteiden eri pinnoitusmenetelmiä

Kimmo Keltamäki

Kulumisalttiiden kohteiden eri pinnoitusmenetelmiä

Kirjallisuusselvitys

Sarja B. Raportit ja selvitykset 2/2013

© Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-5897-53-1 (nid.)

ISSN 1799-2834 (painettu)

ISBN 978-952-5897-54-8 (pdf)

ISSN 1799-831X (verkkajulkaisu)

ISSN-L 1799-2834

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja

Sarja B. Raportit ja selvitykset 2/2013

Rahoittajat: Rautaruukki Oyj

Kirjoittaja: Kimmo Keltamäki

Kannen kuva: Shutterstock, KROMKRATHOG

Taitto: Pia Kuha

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu

PL 505

94101 Kemi

Puh. 010 353 50

www.tokem.fi/julkaisut

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulukonserni LUC on yliopiston ja kahden ammattikorkeakoulun strateginen yhteenliittymä. Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

www.luc.fi

Sisällys

1	JOHDANTO	7
2	KULUMINEN	9
2.1	Adhesiivinen kuluminen	10
2.2	Abrasiivinen kuluminen	11
2.3	Väsytuskuluminen	12
2.4	Tribokemiallinen kuluminen	13
2.5	Iskut	13
3	PINNOITUSMENETELMÄT	15
3.1	Hitsauspinnoitus	15
3.1.1	Kovahitsaus	15
3.1.2	Laserpinnoitus	18
3.2	Terminen ruiskutus.	22
3.2.1	Suurnopeusliekkiruiskutus HVOF (High Velocity Oxy-Fuel)	23
3.2.2	APS-ilmanpaineinen plasmaruiskutus	24
3.2.3	Vakuumi-, alipaine- ja normaalipaineplasmaruiskutus (VPS, LPPS ja LVPS)	24
3.2.3	Kaariruiskutus ARC	25
3.2.4	Jauhe- ja lankaliekkiruiskutus	26
3.2.5	Detonaatoruiskutus	27
4	YHTEENVETO	29
5	LÄHTEET	31

1 Johdanto

Tässä kirjallisuusselvityksessä perehdytään tutkimaan terästen eri pinnoitusmenetelmiä kulumisalttiisiin kohteisiin. Pinnoitusmenetelmiä on käytössä lukuisia erilaisia. Tässä selvityksessä perehdytään pääosin kahteen eniten käytössä olevaan pinnoitusmenetelmään; hitsauskovapinnoitukseen ja termiseen ruiskutukseen. Näillä menetelmillä tehdään suurin osa kovapinnoituksista, joita käytetään kulumiskestävyyttä tarvittavissa kohteissa.

Aluksi tarkastellaan yleisimpiä ja käytännön kannalta tärkeimpiä kulumismekanismia, niiden ilmenemismuotoja ja syntyyn vaikuttavia asioita. Jälkipuoliskolla perehdytään tarkemmin näiden kulumismekanismien estämiseen suunniteltujen kovapinnoitteiden ominaisuuksia ja toteutusmuotoja.

2 Kuluminen

Kuluminen on seurausta toisiaan vastaan liikkuvien pintojen keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Se ilmenee materiaalihävionä kappaleen/kappaleitten pinnalta. Kuluminen yksiselitteistä ja yksinkertaista fysikaalista ja matemaattista määrittämistä ei ole vielä pystytty tekemään ja siksi se onkin jatkuvan tutkimustyön kohteena. Kulumistapahtumaan vaikuttavia parametreja on niin useita, että niiden yhtäaikainen hallinta on vaikeata. Myös mikroskooppimittakaavassa kulumispartikkelin synnyn ja toisaalta makroskooppisen kulumisen takuuvarma selittäminen kussakin kulumistapauksessa on vielä lähes kokonaan empiirisen tiedon varassa. Teoreettisten kulumislakien paikansäilytyksestä ja soveltuvuudesta käydäänkin tieteellisellä tasolla vilkasta kädenväntöä. /1/

Kuluminen mielletään useimmiten vain haitalliseksi ilmiöksi. On kuitenkin tapauksia, joissa hallittu kuluminen edesauttaa konstruktion toimintaa, mm. liukulaakerien ja hammaspyörien sisäänajokuluminen on väistämätöntä ja joskus myös toivottua, näin luodaan paremmat toimintaolosuhteet. Lisäksi kuluttavaa ominaisuutta voidaan käyttää hyväksi esim. kipinätyöstössä. Määritelmän mukaan kuluminen on kuitenkin materiaalihukkaa. Kaikenlaisen materiaalihukan vähentäminen ja peräti poistaminen on kansantaloudellisestikin merkittävää. /1, 2/

Kulumista on yritetty luokitella moninkin eri perustein. Normaalisissa koneenrakennuksissa puhutaan yleensä kuoppautumisesta, naarmuuntumisesta, väsymiskulumisesta, kitkakulumisesta, jne. aina riippuen siitä, mitä pintavauriota tai fysikaalista tapahtumaa halutaan korostaa. Kulumisen jakaminen kahteen päätyyppiin on seuraava:

1. luokittelu kulumista aiheuttavan suhteellisen liikkeen pohjalta sekä
2. luokittelu kulumismekanismien pohjalta

Kun luokittelemme kulumisen suhteellisen liikkeen pohjalta, ovat kulumista aiheuttavat liiketyypit erotettavissa kuuteen erityyppiseen tapaukseen:

- liukuminen
- vierintä
- iskukuormitus

- värähtely
- nestevirtaus
- nestevirtaus, jossa kiinteitä partikkeleita.

Toisaalta kulumismekanismien perusteella kuluminen jaotellaan:

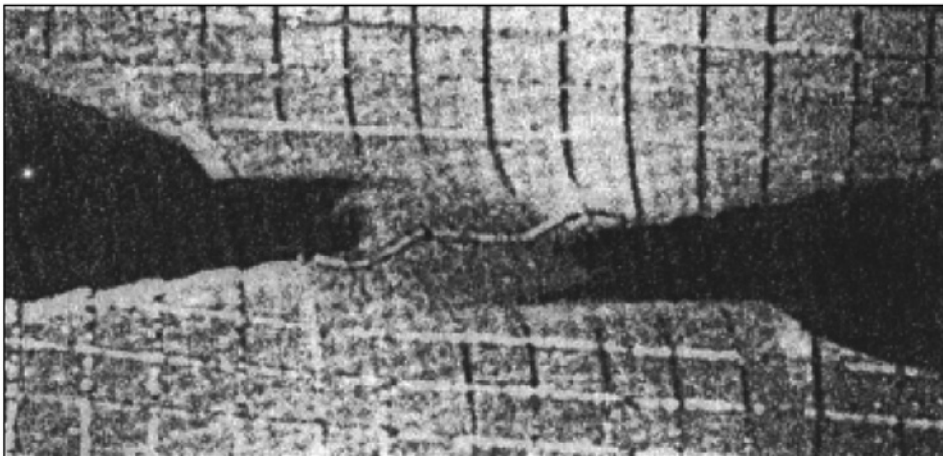
- adheesio
- abraasio
- pinnan väsyminen
- tribokemiallinen kuluminen

Tässä tarkastelussa perehdytään hieman syvällisemmin kulumismekanismien mukaisen luokittelun tapauksiin. /1, 2/

2.1 ADHESIIVINEN KULUMINEN

Adhesiivista kulumista syntyy kitkan adhesiivisten liitosten leikkautumisena, kuva 1. Adhesiivisen liitoksen repeessä kulumisnopeus riippuu siitä, mistä kohtaa liitos repeää. Jos liitos repeää alkuperäisten pintojen rajapinnasta, ei kulumispartikkeleita synny. Kun liitos repeää muualta, siirtyy materiaalia pinnalta toiselle ja lopulta muodostuu myös irtonaisia kulumispartikkeleita. Adhesiivinen kulumispartikkeli syntyy periaatteessa seuraavan neljän vaiheen tuloksena:

1. paikallisissa mikrokontaktikohdissa normaali- ja tangentiaalijännitys aiheuttavat deformaatiota,
2. mikrokontaktikohtien tasoittuminen ja kosketusalan kasvaminen,
3. adhesiivisen liitoksen syntyminen koskettavien makropintojen välille ja
4. liitoksen irtoaminen aiheuttaen kulumispartikkelin. /1/



Kuva 1. Adhesiivinen kuluminen. /2/

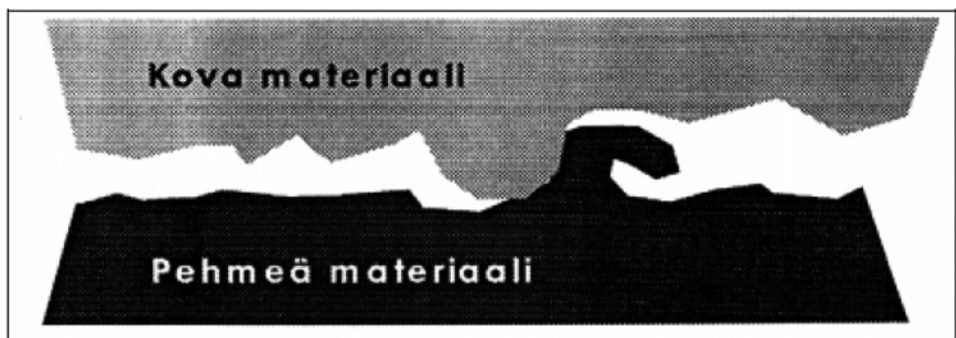
Usein adhesiivista liitosta kutsutaan mm. saksankielisessä kirjallisuudessa kylmähitsautumiseksi. ”Hitsautumiseen” vaikuttavat pintojen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, mahdollinen voitelu (vrt. oksidikalvot kuivassa kosketuksessa) ja kuormitus. Lisäksi adhesiivisesta kulumisesta käytetään suomenkielen kirjallisuudessa rinnakkaisnimitystä tartuntakuluminen. /1, 2/

Esimerkkinä adhesiivinen, eli tartuntakuluminen on toisiaan vasten pyörivien tai laahaavien metallikappaleiden kulumista, esim. akseli laakeripintoja vasten, ketjun rengas rullaa vasten, ketjupyörät, terästehtaan valssit. Niukkaseosteiset martensiittiset teräkset ovat sopivia kulumisen ehkäisyyn. Austeniittiset teräkset ja koboltti-seokset ovat myös hyviä kulumisenkestoltaan. Kobolttiseoksia käytetään korkeissa lämpötiloissa ja hapettavissa olosuhteissa. Saman kovuuksisten pintojen kosketus suurentaa kulumista, joten eri kovuuksien käyttäminen on suositeltavaa. /4/

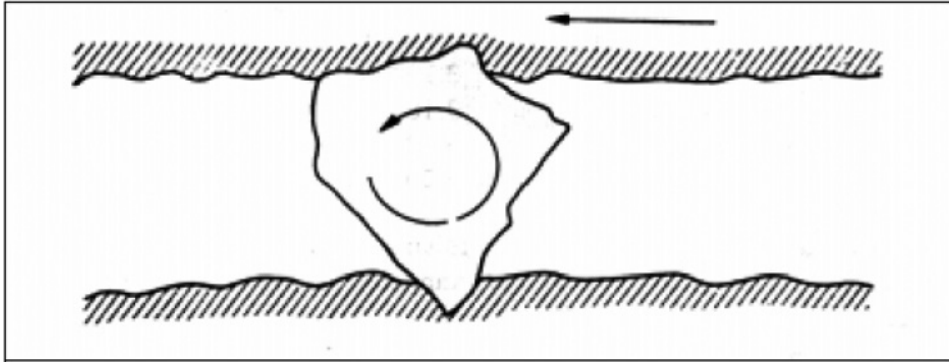
2.2 ABRASIIVINEN KULUMINEN

Kovemman pinnan liukuessa pehmeämpää vasten uurtavat kovan pinnan pinnan- karheuden huiput normaalivoiman vaikutuksesta pehmeämpää pintaa. Tällöin on kyse kahden kappaleen abrasiivisesta kulumisesta (Kuva 2). Suomalaisessa kirjallisuudessa abrasiivisesta kulumisesta käytetään myös nimitystä hiontakuluminen /2/. Kun kahden toisiaan vasten liukuvien pintojen välissä on molempia pintoja kovempaa materiaalia, joka uurtaa molempia pintoja, puhutaan kolmen kappaleen abrasiivisesta kulumisesta (3-body-wear) (Kuva 3). Usein käytännössä abrasiivinen kuluminen alkaa kahden kappaleen kulumisena kehittyen kolmen kappaleen abrasiiviseksi kulumiseksi, kun pintojen välissä olevat kulumispartikkelit (irronneet jommastakummasta pinnasta) ovat esim. muokkauslujittumisen syystä kovettuneet. Samalla tavalla myös adhesiivinen kuluminen ja tribokemiallinen kuluminen voivat kehittyä kolmen kappaleen abrasiiviseksi kulumismekanismiksi. /1/

Iskukulutuksen puuttuessa voidaan käyttää suhteellisen hauraita erilaisia kromi- rautaseoksia ja karbideja sisältäviä seoksia abraasiokulumisen ehkäisyyn. /4/



Kuva 2. Kahden kappaleen abraasio. /2/



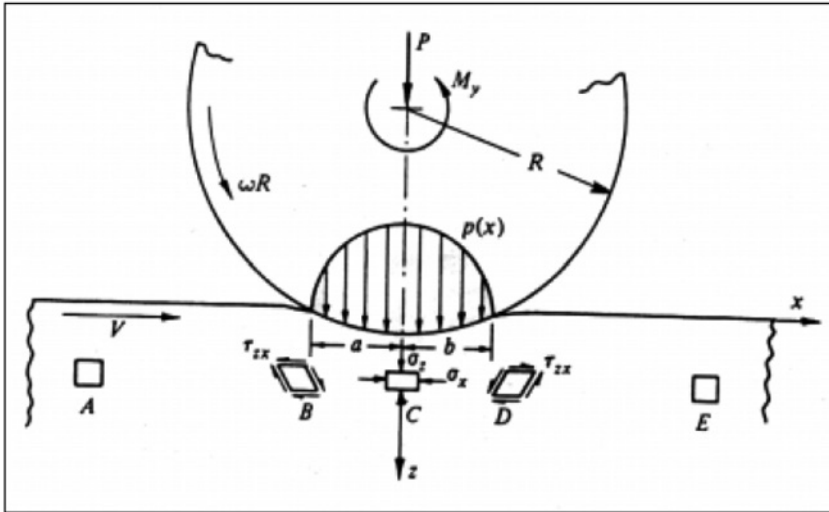
Kuva 3. Kolmen kappaleen abraasio. /2/

Hiovan abraasiokulumisen (abraasio + paine) tyyppistä kulumista esiintyy, kun pieniä ja kovia hankaavia partikkeleita puristetaan kahden metallin väliin ja murskaataan jauhamalla. Tyypillisiä kohteita ovat myllyt, rullamurskaimet, sekoituslavat ja kaavinterät. Sopivia teräksiä ovat mangaaniteräkset, martensiittiset teräkset ja karbideja sisältävät seokset. Karbidiseokset sisältävät yleensä pieniä, tasaisesti jakautuneita titaanikarbideita. /4/

2.3 VÄSYMISKULUMINEN

Suunnittelijan eräs tärkeimpiä suunnittelukriteerejä on komponentin väsymiskestävyyden määrittäminen ja arviointi. Kulumisen arvioinnissa on voidaan käyttää samaa ajatusta, on osattava huomioida väsymisrasituksen aiheuttama kuluminen. /1/

Pintojen väsymiskuluminen on mahdollista ilman pintojen fyysistä kosketusta toisiinsa. Väsymiskuluminen vaatii tykyttävää tai vaihtuvansuuruista ja suuntaista pitkäaikaista mekaanista räsitystä. Pintaa kuormitettaessa materiaalin pinnassa vaikuttaa maksimipuristusjännitys ja hieman pinnan alapuolella maksimileikkausjännitys (Kuva 4). Kun kappaleen pinnankarheuden uloke deformoituu plastisesti tarpeeksi monta kertaa peräkkäin, pinnan alle muodostuu toistuvien kuormitusten ja dislokaatioliikkeiden seurauksena säröjä (Kuva 5). Särö etenee jokaisella kuormanvaihtoluvulla aikaansaaden lopulta kulumispartikkelin irtoamisen. Mikäli kuluminen ei ole selvästi abrasiivista eikä adhesiivista, on useimmiten kyseessä pintakerroksen väsyminen. /1, 2/



Kuva 4.
Väsymis-
kulumisessa
vaikuttavat
voimat. /2/

Tyypillinen väsymiskulumisjälki on nähtävissä loppuun käytetyissä kuula- ja rulla-laakereissa, raskaasti kuormitetuissa hammaspyörissä, rullaohjaimissa, valssin teloissa, sekä muissa suuren Hertzin pintapaineen mukaisissa sovelluksissa.

2.4 TRIBOKEMIAALLINEN KULUMINEN

Metallien pinnalla on normaalisti oksidikerros. Se pienentää kulumisnopeutta ja kitkaa. Oksidifilmin käyttäytymistä voidaan tarkastella lähtien siitä, että pinnankarheuden ulokkeiden joutuessa kosketukseen vastinpinnan kanssa, vapautuu jokaisessa kosketuksessa lämpöä. Oksidikerros kasvaa kosketusenergian kasvun myötä ja tietty kerroksen paksuus aiheuttaa seuraavassa kosketuksessa kerroksen irtoamisen ulokkeista ja näin ollen saa aikaan kulumispartikkelin muodostumisen. /1/

2.5 ISKUT

Materiaalin pinta voi menettää muotonsa tai murtua paikallisesti iskujen tai suuren paineen voimasta. Tätä tapahtuu erityisesti murskauksessa, jossa on samanaikaisesti myös kulutuskestävyyttä vaativaa hienojen partikkeleiden välistä abraasiota. Mangaaniteräksillä on paras iskunkestävyys, koska ne muokkauslujittuvat. Tämän ansiosta kappaleen ohut pintakerros tulee kovaksi, mutta sisäosa pysyy sitkeänä (austeniittisena). Martensiittiset teräkset kestävät myös kohtuullisen hyvin iskuja. Tyypillisiä käyttökohteita ovat esim. murskaimien osat ja iskuvasarat. /4/

3 Pinnoitusmenetelmät

Pinnoitusmenetelmiä löytyy lukemattomia määriä ja kaikkia menetelmiä ei käydä läpi tässä kirjallisuusselvityksessä. Tämän työn tarkoituksena on kartoittaa teräksen pinnoittamiseen käytössä olevia pinnoitteita, niiden ominaisuuksia, sekä kaupallista saatavuutta. Teräksen pinnoitusmenetelmät voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan, hitsauspinnoitus ja terminen ruiskutus. Seuraavassa esitellään tarkemmin kyseisten pinnoitusmenetelmien faktoja.

3.1 HITSAUSPINNOITUS

3.1.1 Kovahitsaus

Kovahitsauksella suojataan kappaleita erilaisia kulumismuotoja vastaan, jotta ne säilyttäisivät halutut ominaisuudet. Kovahitsausta käytetään pääasiallisesti kuluneiden osien kunnostukseen ja käyttöiän pidentämiseen, mutta se on käyttökelpoinen menetelmä myös uusien osien valmistuksessa. Osa voidaan valmistaa halvemmasta materiaalista ja pinnoittaa se haluttujen pintaominaisuuksien aikaansaamiseksi. Kovahitsausta voidaan suorittaa lähes kaikilla hitsausmenetelmillä. Suuri kovuus ei ole aina hyvän kulutuskestävyyden mitta, koska hitsiaineen mikrorakenne voi olla erilainen eri hitsiaineseoksissa. Monet seokset voivat olla yhtä kovia, mutta kulutuskestävyydet vaihtelevat huomattavasti. Parhaan kovahitsausseoksen löytämiseksi tulee tuntea osan käyttöolosuhteet. Seuraavia tietoja tarvitaan kovahitsausseoksen valinnassa:

- kulumistyyppi
- perusaineen materiaali
- hitsausmenetelmä
- pinnan viimeistelyn (koneistuksen) vaatimukset

Yleisimmät kovahitsauksessa käytetyt hitsausmenetelmät ovat puikkohitsaus, täytelankahitsaus ja jauhekaarihitsaus. Puikkohitsauksen etuna on suuri valikoima lisäaineita, edullinen hinta toteuttaa, sekä liikuteltavissa oleva ja ulkotiloissa käytettävä kalusto. Täytelankahitsauksessa etuna on melko laaja valikoima hitsauslankoja, suuri hitsiaineentuottokyky ja tuottavuus. Lisäksi täytelankahitsaus ei tarvitse suojakaasua,

jos käytetään itsesuojaavia lankoja, sekä hitsaus on menetelmänä helposti mekanisoidussa, jolloin toistettavuus ja parametrien seuranta helpottuu. Jauhekaarihitsauksessa on suuri hitsiaineentuottokyky, ei näkyvää valokaarta, ei hitsaussavuja, korkealaatu ja ei roiskeita, sekä täysin mekanisoitua hitsausta. /4/

Tarvittava viimeistelytapa, esim. koneistus tai hionta, tulee huomioida ennen lisäaineen valintaa, sillä lisäainevalikoima on suuri, pehmeistä ja hyvin koneistettavista aina erittäin koviin ja ei-koneistettaviin hitsiaineisiin. Monet korkeaseosteisista kovahitsiaineista halkeilevat jäähtyessään. Pieniä kutistumishalkeamia syntyy hitsin läpi. Tällainen halkeilu voi olla myös hyvä asia, koska se laukaisee jännityksiä ja estää hitsipalon irtoamista kappaleesta. Seuraavat seikat on hyvä ottaa huomioon lisäainetta valittaessa: Onko hitsin koneistaminen tarpeen vai riittääkö hiominen? Sallitaanko jäähtymishalkeilu?

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että alle 40 HRC kovuuksia voidaan koneistaa. Yli 40 HRC kovuuksia voidaan koneistaa erikoistyökaluilla, kuten keraamisilla teräpaloilla. Jäähtymishalkeilu ei usein heikennä kovahitsin ominaisuuksia, eikä aiheuta lohkeilua eikä hilseilyä. Jos kappale joutuu kovien iskujen tai taivutuksen alaiseksi, estää bufferikerros halkeamien etenemisen perusaineeseen. Halkeilutaipumus kasvaa hittäessä pienillä virroilla ja suurilla kuljetusnopeuksilla. /4/

Kovahitsauslisäaineet voidaan jakaa ryhmiin niiden seostyyppin ja kulumiskestävyyden mukaan. Seostyyppinä ovat rautapohjaiset ja ei-rautapohjaiset.

Rautapohjaisia ovat martensiittiset, austeniittiset ja runsaskarbidiset seokset. Rautapohjaisten seosten hitsiaineiden eri mikrorakenteilla on erilaisia ominaisuuksia. Martensiittisiä seoksia käytetään sekä välikerroksessa, että pinnoitteena. Niillä on hyvä tartuntakulumisen-, iskun- ja hankauksenkestävyys. Austeniittisillä seoksilla on erinomainen iskunkestävyys, hyvä välikerrosseos ja korroosionkestävyys, sekä kohtalainen hankauksenkestävyys. Runsaskarbidisilla seoksilla on erinomainen hankauksenkestävyys, hyvä lämmönkestävyys, kohtalainen korroosionkestävyys, sekä huono iskunkestävyys.

Ei-rautapohjaisia ovat koboltti- ja nikkelpohjaiset seokset. Koboltti- ja nikkelpohjaiset seokset kestävät useimpia kulumistyyppinä, mutta korkeasta hinnasta johtuen ovat käyttökelpoisia vain, kun käyttö on taloudellisesti perusteltavissa. Esim. korkean lämpötilan sovellutuksissa runsaskarbidiset ja rautapohjaiset seokset omaavat huonon kestävyden, joten nikkelseos on edullisempi valinta.

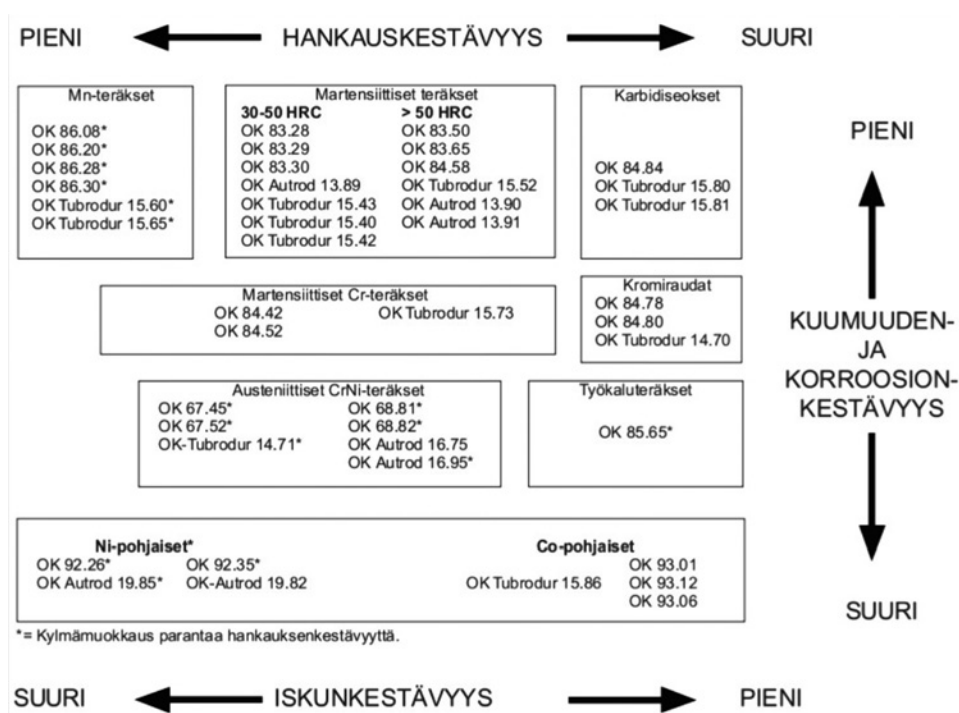
Esabin kovahitsauksen ohjeistuksessa on taulukon 1 mukainen jaottelu, joka helpottaa kovahitsauslisäaineen valintaa. /4/

Taulukko 1. Materiaalien ryhmittely ominaisuuksien ja kulumistyyppin mukaan. /4/

Kulumistyyppi	Seostyyppi	Tuote	DIN 8555
Metalli metallia vasten	Niukkaseosteinen, niukkahiilinen, välikerros seos	OK 83.27	E1-UM-350
		OK 83.28	E1-UM-300
		OK 83.29	E1-UM-300
		OK 83.30	E1-UM-300
		OK Tubrodur 15.39	MF1-GF-300P
		OK Tubrodur 15.40*	MF1-GF-350P
		OK Tubrodur 15.41	MF1-GF-300P
		OK Tubrodur 15.42*	
		OK Tubrodur 15.43	
		OK Autrod 13.89	MSG2-GZ-350-P
Metalli metallia vasten + korroosio	13% kromia martensiittinen	OK 84.42	E5-UM-45-R
		OK 84.52	E6-UM-55-R
		OK Tubrodur 15.73*	MF5-GF-45-RTZ
		OK Autrod 13.91	MSG6-GZC-60G
Iskut	14% mangaania	OK 86.08	E7-UM-200-KP
		OK 86.20	E7-UM-200-KP
		OK 86.28	E7-UM-200-KP
		OK 86.30	E7-UM-200-KP
		OK Tubrodur 15.60	
		OK Tubrodur 15.65*	MF8-GF-200-GKPR
Abraasio + paine	Monimutk. karbideita	OK 84.84	
		OK Tubrodur 15.80	MF10-GF-60-GP
Hienojen partikkelien abraasio	Kromikarbideita	OK 84.78	E10-UM-60GZ
		OK 84.80	
		OK Tubrodur 14.70	MF10-GF-55-GPTZ
		OK Tubrodur 15.81	
Abraasio + iskut	Niukkaseosteinen, runsashiilinen, martensiittinen	OK 83.50	E6-UM-55-G
		OK 83.65	E4-UM-60-GZ
		OK Tubrodur 15.50	
		OK Tubrodur 15.52*	
	10% kromia runsashiilinen martensiittinen	OK 84.58	E6-UM-55-G
Kuumuus, hapettuminen, korroosio	Työkaluteräs	OK 85.58	E3-UM-50-ST
		OK 85.65	E4-UM-60-ST
		OK 92.35	E23-200-CKT
		OK Tubrodur 15.84	MF3-50-ST
	Koboltiseokset	OK 93.01	E20-55-CTZ
		OK 93.06	E20-40-CTZ
		OK 93.07	E20-300-CTZ
		OK 93.12	E20-50-CTZ
		OK Tubrodur 15.86	MF20-GF-40-CTZ

*= Myös jauhekaarhitsukseen

Taulukko 2. Kovahitsauslisäaineiden ominaisuusvertailua. /4/

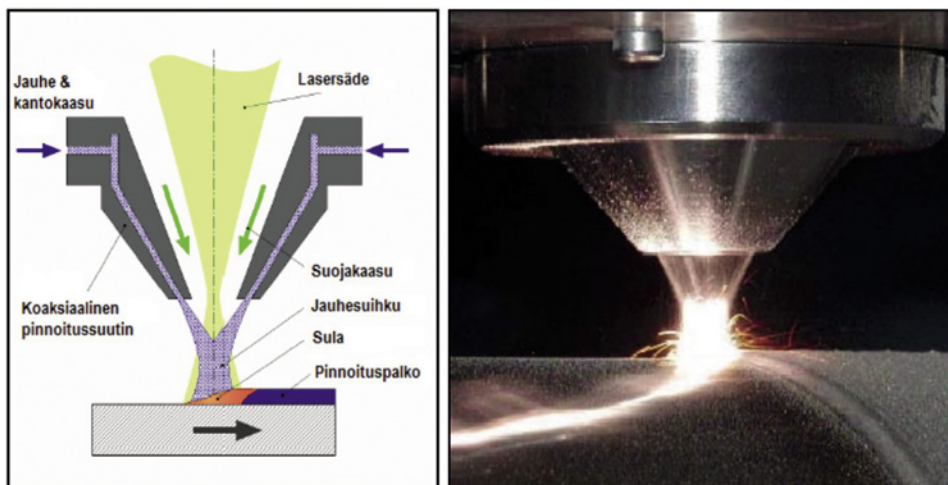


3.1.2 Laserpinnoitus

Laserpinnoitus on pinnoitushitsausmenetelmä, jossa lämpö tuodaan työkappaleelle lasersäteiden muodossa. Laser sulattaa lisäaineen ja perusainetta siten, että lisäaineen muodostaman pinnoitteen ja perusaineen väliin syntyy sulaliitos. Lisäaine tuodaan prosessiin yleensä jauhemaisena, joskin lankaakin voidaan käyttää. /3/

Laserpinnoituksen suurimpia etuja ovat:

- tiivis huokoseton rakenne, joka ei päästä liuoksia lävitseen.
- hieno mikrorakenne nopean jäähtymisen ansiosta, jonka takia korroosio- ja kulumiskestävyys ovat erinomaisia.
- metallurginen liitos perusaineeseen, joka takaa erinomaisen kiinnipysyvyyden.
- pieni seostuma, joka tekee pinnoitteesta erinomaisen jo ensimmäisellä pinnoitekerroksella
- pieni lämmöntuonti, joka antaa mahdollisuuden pienten ja ohuiden kappaleiden pinnoitukseen
- monipuolinen lisäainevalikoima jauheita ja lankoja sekä mahdollisuus metallimatriisikomposiittien valmistamiseen. /3/



Kuva 5. Koaksiaalisen jauhepinnoituksen periaate- ja prosessikuva. /3/

Laserpinnoitusta rajoittavia tekijöitä ovat:

- suuret investointikulut lasereiden kalleuden ja korkean mekanisointiasteen takia
- pieni pinnoituksen tuotto
- prosessin optimoinnin vaikeus ja suuren asiantuntemuksen tarve automaation, lasertekniikan ja metallurgian alueilta
- lasersäteen turvallisuusriskit ja suojaustarve. /3/

Teollisia pinnoitusmenetelmiä on käytössä erittäin suuri määrä. Laserpinnoitus sijoituu pinnoituspaksuuden puolesta paksuihin pinnoitteisiin, joskin laserilla voidaan valmistaa myös suhteellisen ohuita pinnoitteita. Taulukossa 3 on joitain metalleille sopivia pinnoitusmenetelmiä vertailtuna. /3/

Taulukko 3. Pinnoitusmenetelmien vertailutaulukko (MCC=metallimatriisikomposiitti) /3/

Ominaisuus (tyypillisiä arvoja)	Laserpinnoitus	Pinnoitushitsaus	Plasmahitsaus (PTA)	HVOF-ruiskutus	Plasmaruiskutus	CVD / PVD
Pinnoitusvahvuus	0,1...5 mm	yli 1 mm	1...5 mm	50 µm...2 mm	50 µm ...2 mm	0,05...10 µm
Kiinnittyminen perusaineeseen	suuri	suuri	suuri	keskinkertainen	keskinkertainen	keskinkertainen
Seostuminen	pieni	suuri	keskinkertainen	ei	ei	ei
Pinnoite materiaalit	metallit, MMC	metallit, MMC	metallit, MMC	metallit, keraamit, kovametallit	metallit, keraamit	metallit, keraamit
Hinta	korkea	matala	keskinkertainen	keskinkertainen	keskinkertainen	korkea

Seuraavissa taulukoissa 4-6 on esitetty kovahitsauksenkin yhteydessä mainittuja rauta-, koboltti- ja nikkelpohjaisia seoksia kova- ja laserhitsaukseen.

Kovapinnoitteisiin laskettavat teräkset ovat lähinnä erilaisia työkaluteräksiä tai martensiittisiä ruostumattomia teräksiä. Työkaluteräkset muodostavat usein sulasta karbideja, jotka parantavat kulumisenkestävyyttä. Teräksiä käytetään sekä adhesiivisen, että abrasiivisen kulumisen torjuntaan. Työkaluteräksiä käytetään usein yleiskovapinnoitteina, kun kulumisen on suhteellisen mietoa. Paljon hiiltä ja esim. vanadiinia sisältävät työkaluteräkset muodostavat jähmettyessään karbideja, jolloin varsinkin abrasiivisen kulumisen kesto voi olla hyvä. Myös runsashiilisten kromirautojen käyttö on mahdollista. Metall-metalli kulumisessa teräkset ovat usein heikohkoja varsinkin jos vastinpari on myös terästä. Tästä poikkeuksen tekevät nimenomaan adhesiivista kulumista vastaan kehitetyt seokset kuten Norem. Nämä ovat usein tarkoitettu stelliittien korvaajiksi ydinvoimaloissa, joissa kobolttin käyttöä on pyritty vähentämään. /3/

Taulukko 4. Rautapohjaisia kovamateriaaleja laserpinnoitukseen. /3/

Kauppanimi	Analyysi	Ominaisuuksia	Käyttökohteet
AISI M2	Fe-0,78C-4Cr-5Mo-1,9V-6W	Kova ja sitkeä peruskovapinnoite. Ei korrodoiviin olosuhteisiin. n. 700 HV	Työkalut, muotit, terät, metallimatriisikomposiittien matriisi
AISI M4	Fe-1,3C-4,5Cr-5Mo-4,2V-6W	Kovapinnoite, johon muodostuu karbideja kulumiskestävyyden parantamiseksi.	Työkalut ja muotit
AISI H13	Fe-0,35C-5Cr-1,5Mo-1V	Kuumatyöteräs lämpötiloihin 600-700°C saakka.	Alumiini-, sinkki- ja magnesiumvalumuotit Muovimuotit
WR 6	Fe-2,9C-5,25Cr-11,5V-1,3Mo	Materiaali muodostaa sulasta noin 30% vanadiinikarbideja. Abraasion torjuntaan. n. 700 HV	
AISI 410	Fe-0,15C-12,5Cr	Peruskovapinnoite kun tarvitaan kohtalaista korroosionkestoa. Käyttö <650°C. n. 550 HV.	Terät
AISI 431	Fe-0,2C-16Cr-2Ni	Hieman seostetumpi ja sitkeämpi yleiskovapinnoite kun tarvitaan korroosionkestoa. Käyttö <650°C. n. 500 HV.	Työkalut, terät, ydinvoimalaitosten osat.
Norem 02 Tristelle EB5183		Stelliittipinnoitteiden korvaajia ydinvoimaloihin tai kun kobolttia ei muuten haluta käyttää. n. 550 HV.	Ydinvoimalaitosten venttiilit, karat jne.

Deloro-yhtiön Stelliitti on yleistynyt käyttönimeksi kaikille kobolttipohjaisille kovapinnoitteille. Stelliitit ovat erinomaisia materiaaleja, kun komponentissa esiintyy adhesiivista kulumista. Abrasiivinen kestävyys sen sijaan on heikko. Stelliittejä on suhteellisen monen tyyppisiä, mutta pääasiassa ne eroavat toisistaan kovuuden suhteen. Lisäksi jotkut stelliittilaadut on kehitetty erityisesti kuumakovuutta varten ja joissakin on mukana juoksuteaineita (stelliitti F). Uusimpia Stelliittilaatuja ovat paljon molybdeenä sisältävät 700-sarjan stelliitit. Korkeanlämpötilan metalli-metalli kulumiseen on kehitetty Tribaloy-seoksia, joiden kovuus perustuu Mo-Si-metallien väliseen lavesin faasiin. Tribaloyt ovat kuitenkin hyvin hauraita materiaaleja, joten niiden valmistus säröttömänä on vaikeaa. /3/

Taulukko 5. Kobolttipohjaisia kovamateriaaleja laserpinnoitukseen. /3/

Kauppanimi	Analyysi	Ominaisuuksia	Käyttökohteet
Stelliitti 21	Co-0,25C-27Cr-5,5Mo-2,8Ni	Yleiskovapinnoite adhesiiviseen kulumiseen. Erinomainen korroosionkesto. Kovuus n. 400 HV.	Koneosien kulutuspinnat, tiivistepinnat
Stelliitti 6	Co-1,2C-28Cr-4,5W	Yleiskovapinnoite vaativiin ympäristöihin. Voidaan koneistaa. Kovuus n. 500 HV.	Moottorin venttiilit, kuljetus ruuvit
Stelliitti 706	Co-1,2C-29Cr-5Mo	Perinteisten stelliittien W on korvattu Mo:lla – parempi korroosion ja kulumisenkesto. Kovuus noin 500 HV.	Kuten St. 6
Stelliitti 12	Co-1,6C-29,5Cr-8,5W	Paras kuumakovuus stelliiteistä. Voidaan koneistaa. Kovuus n. 550 HV.	Laakeripinnat, terät
Stelliitti 712	Co-1,6C-29Cr-8,5Mo	Perinteisten stelliittien W on korvattu Mo:lla – parempi korroosion ja kulumisenkesto. Kovuus n. 550 HV.	Kuten St. 12
Stelliitti 1	Co-2,5C-31Cr-13W	Korkea abraasion ja korroosion kesto. Kovuus säilyy < 760°C. Ei yleensä koneistettavissa. Kov. n. 700 HV.	Kulutuspalat, kuljetusruuvien harjat
Tribaloy T-400	Co-0,08C-8,5Cr-29Mo	Kovuus perustuu Mo-Si Lavesin Faasiin. Hyvä korkean lämpötilan kesto, käytetään kuten Stelliitti 12 ja 1. Kovuus n. 700 HV.	
Tribaloy T-800	Co-0,08C-18Cr-28Mo	Korkean lämpötilan kulumisen, korroosion ja oksidoitumisen kesto. Kovuus n. 700 HV.	Kaasuturbiinien osat.

Kulutuspinnoihin tarkoitettuja nikkelseoksia ovat varsinkin Ni-Cr-B-Si-seokset. Näitä seoksia on eri kovuuksia esim. 40, 50 ja 60 HRc laadut. Ne ovat liukkaita pienen kitkakertoimen omaavia seoksia ja alhaisen sulamispisteen takia helppoja valmistaa. Niitä käytetään usein yleiskovapinnoitteina korroosionkestoa vaativissa kohteissa. /3/

Taulukko 6. Nikkelipohjaisia kovamateriaaleja laserpinnoitukseen. /3/

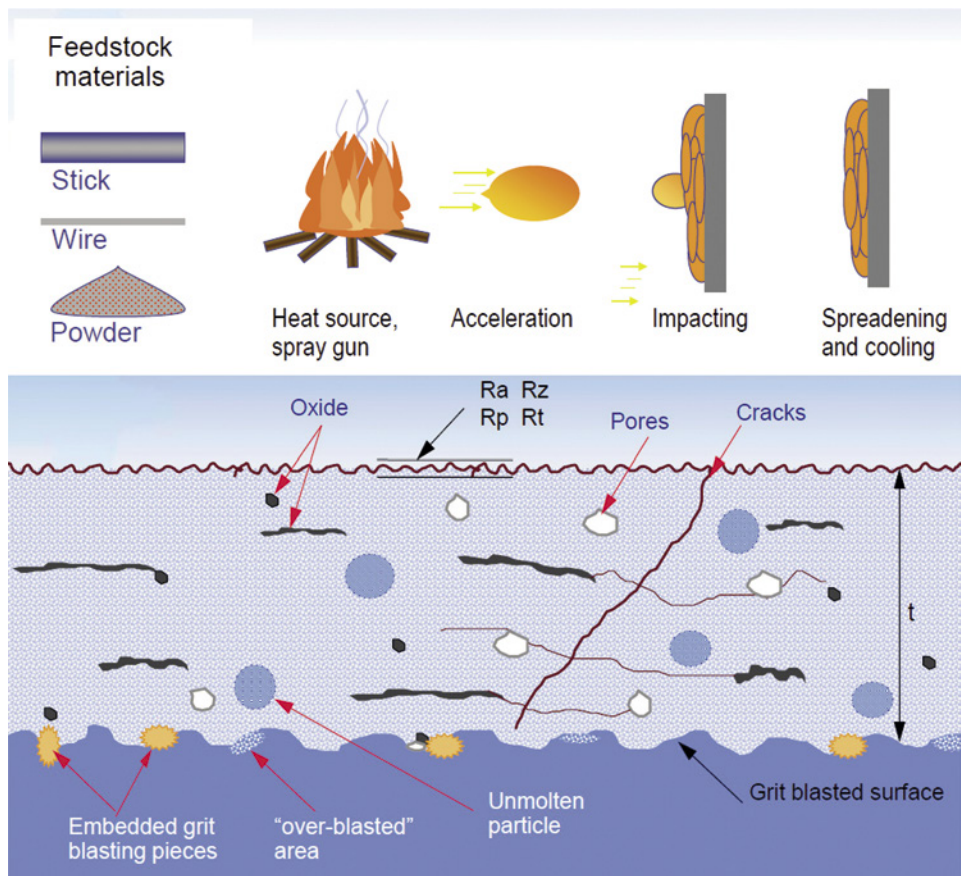
Kauppanimi	Analyysi	Ominaisuuksia	Käyttökohteet
NiCrBSi 40	Ni-0,3C-2,5Fe-7,5Cr-3,5Si-1,7B	Kohtuullinen korroosionkesto, alhainen kitkakerroin, kovuus noin 400 HV.	
NiCrBSi 50	Ni-0,45C-3Fe-11Cr-4Si-2,3B	Kohtuullinen korroosionkesto, alhainen kitkakerroin, kovuus noin 500 HV.	
NiCrBSi 60	Ni-0,7C-4Fe-15Cr-4,4Si-3,1B	Kohtuullinen korroosionkesto, alhainen kitkakerroin, kovuus noin 600 HV.	
SX 707	Ni-51Cr-3Mo-1Si	Erinomainen korroosion, kuumakorroosion ja oksidoitumisen kesto, kovuus noin 400 HV	mustalipeä, jätteenkäsittely, venttiilien ja pumppujen osat
SX 717	Ni-53,5Cr-2,5Mo-0,5B-1Si	Erinomainen korroosion, kuumakorroosion ja oksidoitumisen kesto, kovuus noin 465 HV	mustalipeä, jätteenkäsittely, venttiilien ja pumppujen osat
SX 737	Ni-56,5Cr-2,5Mo-0,5B-1Si	Erinomainen korroosion, kuumakorroosion ja oksidoitumisen kesto, kovuus noin 550 HV	mustalipeä, jätteenkäsittely, venttiilien ja pumppujen osat
Tribaloy T-700	Ni-0,08C-15,5Cr-32,5Mo	Kova, korroosion kestävä pinnoite, käyttö 900°C saakka. Esilämmitys vähintään 500°C	ydinvoimalaitosten venttiilien reunat

3.2 TERMINEN RUISKUTUS

Termisessä ruiskutuksessa pinnoitemateriaali tuodaan työkappaleen pintaan ruiskuttamalla sulia materiaalipisaroita (Kuva 6). Pinnoitepisarat jäähmettyvät alustansa päälle muodostaen yhtenäisen pinnoitekalvon, jonka paksuus on 50-1000 μ m. Pisaroitten koko vaihtelee muutamasta mikrometristä noin sataan mikrometriin. Kappaleesta pinnoitetaan yleensä pieniä alueita. Yhtenäinen pinnoite saadaan aikaan liikuttamalla pinnoitesuihkua useita kertoja (3-10 kertaa) pinnoitettavan alueen ylitse.

Pinnoittaminen tapahtuu ilma-atmosfäärissä ja työkappaleen lämpötila ylittää harvoin 250°C. Termiselle ruiskutukselle on luonteenomaista, että lähes kaikkia sulavia materiaaleja voidaan pinnoittaa. Pinnoittamiseen käytetään keraameja, muoveja ja metalliseoksia. Myös pinnoitteiden sekarakenteet ovat mahdollisia, näissä rakenteissa keraamia ja metallia yhdistetään toisiinsa. /5/

Pinnoittamiselle on ominaista, että pinnoite ja perusmateriaali ei sekoitu keskenään, vaan liitos tapahtuu yleensä mekaanisella lukkiutumisella. Pinnoitteen mekaa-



Kuva 6. Termisen ruiskutuksen periaatekuva ja pinnoitteen ominaisuuksia. /6/

nisesta lukkiutumista johtuu pinnoitteen ja perusmateriaalin suhteellisen alhainen sidos toisiinsa. Pinnoitteen ja pohjamateriaalin välinen lujuus on noin 50 MPa, mikä on hyvin alhainen verrattuna hitsattuun tai juotettuun liitokseen, jonka lujuus on perusmateriaalin luokkaa >300 MPa. Kuitenkin useissa sovelluksissa pinnoitteen ja pohjamateriaalin välinen lujuus riittää koneistukseen ja käytön rasituksiin.

Terminen ruiskuttaminen tapahtuu yleensä metallin päälle, mutta myös muovia voidaan pinnoittaa metallilla. Keskeisiä termisiä ruiskutusmenetelmiä ovat suurnopeusliekkiruiskutus HVOF, ilmanpainainen plasmaruiskutus APS, vakuumplasma tai kontrolloitu atmosfääriruiskutus VPS, kaairuiskutus ARC, liekki-, lanka- ja jauheruiskutus sekä detonaatoruiskutus. Kuvassa 7 on esitetty kaavio eri pinnoitusmenetelmistä. /5/



Kuva 7. Kaavioesitys termisen ruiskutuksen menetelmistä. /5/

3.2.1 Suurnopeusliekkiruiskutus HVOF (High Velocity Oxy-Fuel)

HVOF-pinnoitusmenetelmä hyödyntää rakettimoottoritekniikkaa, jossa paineistettussa kammiossa poltetaan hapen ja polttoaineen seosta. Polttoaineena käytetään kerosiinia, vetyä, propaania ja asetyleeniä. Polttokammioista suurella (1500 m/s) nopeudella virtaava kuuma (2500 °C) kaasu sulattaa ja kiihdyttää siihen syötetyt jauhepartikkelit suureen nopeuteen. Sulassa tilassa olevat partikkelit iskeytyvät työkappaleen pinnalle 500 m/s nopeudella saaden aikaan tiiviin ja oksidittoman pinnoitteen. HVOF-pinnoitteille on ominaista pieni huokoisuus, lähes oksidittomuus ja hyvin alustassa kiinni oleva rakenne. Pieni huokoisuus ja oksiditon pinnoite saavutetaan partikkelien alhaisen lämpötilan ja suuren työkappaleeseen iskeytymisnopeuden ansiosta. Pinnoitteissa tapahtuvat kemialliset muutokset ovat vähäisiä alhaisen pinnoituslämpötilan ja lyhyen viipymäajan ansiosta. HVOF-ruiskutuksen etuja ovat:

- Erinomaisesti pintaan kiinnittyneitä pinnoitteita
- Metallipinnoitteissa alhainen hapettuminen
- Tiivis huokoseton rakenne
- Voidaan valmistaa paksuja pinnoitteita (>1,0mm)
- Pinnoitteen kovuutta voidaan säädellä ruiskutusparametreilla
- Pinnoitteen koostumus lähellä alkuperäistä pinnoitemateriaalia

- Pinnoituksessa saavutetaan alhainen pinnankarheus
- Viimeistelyyn pintaan (hionta) saadaan alhainen pinnankarheus
- Pinnoitus voidaan automatisoida. /5/

Tyypillisiä sovelluskohteita ovat vanhojen kuluneiden osien kunnostus, abraasio ja eroosion esto, liukukuluminen esto, frettingin, gallingin ja adhesiivisen kulumisen esto, korroosion esto, hapettumisen ja sulffidoitumisen esto. /5/

3.2.2 APS-ilmanpaineinen plasmaruiskutus

Ilmanpaineinen plasmapinnoitus on termisistä ruiskutusmenetelmistä monipuolisin. Plasmaruiskutuksella voidaan sulattaa kaikki tunnetut materiaalit: muovit, metallit ja keraamit. Plasmaruiskutuksessa käytetään lähtöaineena jauhemaisia pinnoitteita, kuten liekki-, HVOF- ja VPS ruiskutusmenetelmissäkin. Plasmaruiskutusmenetelmä perustuu kaasun kuumentamiseen volframisen katodin ja kuparisen putkimaisen anodin välillä. Plasmapistoolissa sytytetään kaasun avulla sähköä johtava valokaari anodin ja katodin välille. Kaasu kuumenee valokaareissa yli 12000°C:n lämpötilaan. Putkimaiseen anodiin syötetään jatkuvasti uutta kylmää kaasua, joka kuumenee. Tästä syntyy kuuma plasmaliekki, johon jauhemainen pinnoite syötetään. Kuumassa nopeasti virtaavassa liekissä (kaasun nopeus 1500-200 m/s) jauhe sulaa ja saa liike-energian. Sulapartikkelit iskeytyvät pinnoitettavan kappaleen pinnalle jähmettyen 0,1-1,0 mm paksuksi pinnoitteeksi. Pinnoituspistooli liikkuu 50-100mm päässä pinnoitettavasta kappaleesta. Pinnoituksen aikana kappale pysyy yleensä alle 200°C:n lämpöisenä, kuten muissakin termisissä ruiskutusmenetelmissä. Plasmaliekkin ulkopuolelta sekoittuva ilma jäähdyyttää tehokkaasti pinnoitettavaa kappaletta ja liekkiä ja estää usein kappaleen liiallisen kuumenemisen. Toisaalta plasmaliekkiin sekoittuva ilma hapettaa metallisia pinnoitteita. /5/

Plasmapinnoittamisen etuja ja ominaisuuksia ovat:

- Erittäin monipuolinen pinnoitteiden materiaalivalikoima
- Pinnoittaminen voidaan tehdä lähes kaikilla materiaaleilla
- Suuri pinnoitusnopeus
- Pinnoittaminen voidaan automatisoida. /5/

Sovelluskohteita ovat komponenttien uudelleen kunnostus, vanhojen kuluneiden osien kunnostus, abraasion ja eroosion esto, liukukuluminen esto, frettingin, gallingin ja adhesiivisen kulumisen esto, kavitaatioeroosion esto, korroosion esto, välysten säätö, hapettumisen ja sulffidoitumisen esto, termiset ja sähköeristyspinnoitteet. /5/

3.2.3 Vakuumi-, alipaine- ja normaalipaineplasmaruiskutus (VPS, LPPS ja LVPS)

Vakuumi- eli alipaineplasmaruiskutuksessa pinnoittaminen tapahtuu suljetussa kammiossa, jossa ympäröivän kaasun koostumus on säädelty. Kammiossa oleva kaasu on hapetonta, jolloin metallisten pinnoitteiden hapettumista ei tapahdu. Plasma-

pistoolin pinnoitejauhetta kuumentavana kaasuna käytetään yleensä argonia tai heliumia ja vetyä, joista muodostuu pinnoituskammioon pinnoitettavaa kappaletta ja pinnoitejauhetta suojaava kaasuympäristö. Pinnoitus tapahtuu kammiossa robotin tai manipulaattorin avulla. Pinnoitusparametrit, pistoolin liikeradat ja plasmateho säädetään kammion ulkopuolelta. Pinnoituskammion paine voi olla jopa niin alhainen kuin 50 mbar tai kammiota voidaan käyttää korotetussa paineessa (4bar). Pinnoitekammion atmosfäärin tarkoituksena on suojella pinnoitetta ja/tai pinnoitettavaa kappaletta hapettumiselta. Pinnoitteen hapettuminen on kiivasta johtuen korkeasta pinnoitepartikkeleiden lämpötilasta $>1500^{\circ}\text{C}$. Samoin on pinnoitettavan kappaleen hapettuminen voimakasta johtuen kappaleen korkeasta lämpötilasta $>700^{\circ}\text{C}$.

Vakuumiplasmapinnoituksessa pinnoitettava kappale kuumennetaan korkeaan lämpötilaan. Korkea työkappaleen lämpötila edesauttaa korkealaatuisen pinnoitteen syntymistä. Kuumen alustan päälle ruiskutettu VPS-pinnoite muodostuu tiiviiksi ja hyvin alustaan kiinnittyneeksi pinnoitteeksi, koska työkappaleen lämpötila varmistaa metallurgisen sidoksen muodostumisen pinnoitteen ja työkappaleen välille. VPS-vakuumiplasmaruiskutusta käytetään pääsääntöisesti kaasuturbiinien siipien pinnoitukseen. Pinnoittaminen on kallista ja sitä sovelletaan harvemmin perinteisiin voimalaitoskomponentteihin. /5/

Kontrolloidun ruiskutusatmosfäärin etuja ovat:

- Pinnoitteilla ja pohjamateriaalilla luja metallurginen sidos
- Tiivis pinnoite
- Oksideista vapaa pinnoite
- Menetelmällä ei aiheuteta pinnoitteen tai kappaleen kontaminaatiota
- Pinnoitteen ominaisuudet tasalaatuisia
- Voidaan valmistaa erittäin paksuja pinnoitteita
- Pinnoituksessa alhainen melutaso
- Suuri pinnoitustehokkuus
- Pinnoitusprosessi on automatisoitu ja hyvin toistettavissa
- Ympäristöystävällinen prosessi. /5/

Tyypillisiä sovelluskohteita ovat oksidivapaat ja kuumakorrosiopinnoitteet, lääketieteelliset pinnoitteen, korkealuokkaiset heijastavat pinnoitteet, pinnoitteet kovaa kemiallista rasitusta vastaan, kuituvahvisteiset komposiittipinnoitteet. /5/

3.2.3 Kaariruiskutus ARC

Kaariruiskutus tehdään sulattamalla kahta johtavaa metallilankaa (1,6-3,2mm) valokaarella (20-40V, 20-2000A). Toisensa kohtaavat metallilangat sulavat ja sula metalli atomisoidaan kaasupurkauksella. Pieniksi pisaroiksi pirstoutunut sula metalli suihkutaan työkappaleen pintaan, jossa pisarat jähmettyvät ja kertyvät pinnoitteeksi. Atomisointikaasuna käytetään yleensä ilmaa, mutta haluttaessa oksidittomia pinnoitteita käytetään argonia ja typpeä. Pinnoite on plasma- ja HVOF-pinnoitetta karkeampaa.

Kaariruiskun erona HVOF-, plasma- ja VPS pinnoitteisiin on lankamainen metallinen lähtöaine. Keraameja ja kovia karbideja ei voida ruiskuttaa kaariruiskulla. Kaariruiskun etuna voidaan pitää erittäin suurta pinnoitustehokkuutta, joka 20 kg/h sekä pientä lämmöntuontia työkappaleeseen. Pinnoitemateriaalin saatavuutta rajoittaa mahdollisuus valmistaa sähköä johtavia taipuisia ruiskutuslankoja. Kaariruiskutuksella voidaan pinnoittaa jopa muoveja alhaisen lämmöntuonnin ansiosta. /5/

Kaariruiskutuksen ominaisuuksia ja etuja ovat:

- Tarvittavat verstaatilat vaatimattomat
- Lähes kaikkia materiaaleja voidaan pinnoittaa, myös muoveja ja metalleja
- Pinnoitukseen riittää paineilma ja sähköverkko
- Materiaalin vaihto on helppoa, koska se on lankamaista
- Pinnoitusmenetelmä on luotettava ja toimii lähes kaikissa olosuhteissa
- Helppo käyttää, ei kriittinen ruiskutusparametreille
- Suuria pinta-aloja voidaan pinnoittaa nopeasti
- Hyvä tartunta alustaan. /5/

Tyypillisiä sovelluskohteita yleensä ovat ilmastollinen ja korkealämpötilakorroosio, komponenttien uudelleen kunnostus ja täyttö, tartuntakerrokset keraamipinnoitteille, sähköisesti johtavat ja juotettavat pinnoitteet. /5/

3.2.4 Jauhe- ja lankaliekkiruiskutus

Lankaliekkiruiskutus on vanhin termisen ruiskutuksen menetelmä. Se on yhä käytökelpoinen iästään huolimatta. Pinnoitteiden ominaisuudet eivät ole yhtä hyviä kuin järeimmissä HVOF-, plasma- ja VPS-pinnoitteissa. Pinnoitusmenetelmän käyttökelpoisuutta puolustaa helppokäyttöisyys ja halpa hankintahinta verrattuna muihin ruiskutusmenetelmiin. Menetelmä sopii pieniin tuotantoyksiköihin. Liekkiruiskutus tapahtuu polttamalla happea, asetyleeniä tai vetyä polttimessa, johon syötetään pinnoitettava materiaali. Pinnoitettava materiaali sulaa ja sinkoutuu palokaasun avulla pinnoitettavalle kappaleelle. Koska liekki palaa avoimessa ilmassa eikä suljetussa rakettimootorin kaltaisessa kammiossa, kuumentavan kaasun nopeus on alhaisempi. Tästä seuraa, etteivät sulapisarot sinkoudu yhtä suurella voimalla pinnoitettavan kappaleen pintaan. Tuloksena on hyvin sulanut, mutta hieman huokoinen pinnoite. Jauheliiekkiruiskutukseen pätevät samat piirteet kuin lankaliekkiruiskutukseen, mutta pinnoitevalikoimaa täydentävät keraamiset materiaalit ja karbidit, joita ei voi valmistaa langasta. Liekkiruiskutuksen etuja ovat:

- Edullinen käyttää ja hankkia
- Yksinkertainen ja luotettava
- Helppokäyttöinen
- Pinnoitus voidaan automatisoida
- Pinnoituslaitteisto on helposti siirrettävissä. /5/

3.2.5 Detonaatoruiskutus

Detonaatoruiskutuksessa pinnoittaminen tapahtuu vesijäähdytetyssä 1,0-0,25 mm pitkässä putkessa, jossa happi ja palokaasu räjäytetään pinnoitejauheen kanssa. Palokaasu saavuttaa räjäytyksessä noin 4000°C:n lämpötilan. Räjäytyksessä pinnoitejauhe kuumenee sulamispisteeseen ja saavuttaa detonaatioputkessa suuren nopeuden, n. 800 m/s. Detonaatioprosessi tapahtuu pulssimaisesti 3-50 kertaa sekunnissa. Pinnoitejauheen suuren nopeuden ansiosta pinnoite muodostuu erittäin tiiviiksi ja hyvälaatuisiksi. Menetelmällä voidaan pinnoittaa lähes kaikkia materiaaleja muutamia keraameja lukuun ottamatta. Huolimatta detonaatiopinnoitteiden hyvästä laadusta, menetelmän leviämistä on estänyt Unioncabiden yksinoikeus pinnoiteprosessiin. Tällöin HVOF-pinnoitus on vallannut detonaatoruiskutuksen alaa. Detonaatoruiskutus on HVOF-pinnoituksen tapaan parhaimmillaan wolframkarbidien pinnoituksessa. /5/

4 Yhteenveto

Tämän kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan todeta, että pinnoitusmenetelmien ja pinnoitteiden laadun, sekä kestävyuden pistäminen paremmuusjärjestykseen on mahdotonta. Huomioon otettavia asioita on todella pitkä luettelo mm. kulumistyyppi, perusaineen materiaali, hitsaus/pinnoitusmenetelmä, pinnan viimeistelyn tarve, yms.

Sopivimman pinnoitusmenetelmän ja kulumiskestävän pinnoitteen valinta lähtee liikkeelle siitä, että tehdään kartoitus millainen kulumiskohde on ja erityisesti millainen kulumismekanismi kohteessa voimakkaimmin vallitsee. Tästä lähtökohdasta voidaan aloittaa kartoittamaan mikä pinnoite sopisi mahdollisesti parhaiten kyseiseen kohteeseen ja millä pinnoitusmenetelmällä se olisi taloudellisesti järkevintä toteuttaa. Tähän onkin sitten laaja valikoima vaihtoehtoja tarjolla, joihin emme tämän tarkemmin lähde perehtymään...

Lähteet

- /1/ KIVIOJA, S. & KIVIVUORI, S. & SALONEN, P., *Tribologia – Kitka, kuluminen ja voitelu*, Hakapaino Oy, Helsinki 2007, ISBN 978-951-672-355-9.
- /2/ PARIKKA R. & LEHTONEN J., *Kulumismekanismit ja niiden merkitys vierintälaakereiden eliniälle*, Raportti BVAL73-001074, VTT valmistustekniikka, Espoo 29.11.2000.
- /3/ NURMINEN JANNE, *Laserpinnoitus -opas*, LASPINPRO -projekti 2005, KETEK, TTY.
- /4/ OY ESAB, *Korjaushitsauskäsikirja pdf*, Osa 3 kovahitsaus, Helsinki
- /5/ KUNNOSSAPITOKOULU, *Kunnossapito -lehden erikoisliite*, lehti 3, 2002.
- /6/ VUORISTO PETRI, *Hitsaustekniikkapäivät*, 19.4.2012.

Kirjallisuusselvityksessä perehdytään tutkimaan terästen eri pinnoitusmenetelmiä kulumisalttiisiin kohteisiin. Pinnoitusmenetelmiä on käytössä lukuisia erilaisia. Selvityksessä perehdytään pääosin kahteen eniten käytössä olevaan pinnoitusmenetelmään; hitsauskovapinnoitukseen ja termiseen ruiskutukseen. Näillä menetelmillä tehdään suurin osa kovapinnoituksista, joita käytetään kulumiskestävyttä tarvittavissa kohteissa.

Aluksi tarkastellaan yleisimpiä ja käytännön kannalta tärkeimpiä kulumismekanismeja, niiden ilmenemismuotoja ja syntyyn vaikuttavia asioita. Jälkipuoliskolla perehdytään tarkemmin näiden kulumismekanismien estämiseen suunniteltujen kovapinnoitteiden ominaisuuksia ja toteutusmuotoja.