

Tiina Tamminen

PINNOITTEEN VALINTA SAOSTUMISEN ESTÄMISEKSI

Opinnäytetyö
Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka


Kesäkuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 04.06.2012		
Tekijä(t) Tiina Tamminen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka		
Nimeke Pinnoitteen valinta saostumisen estämiseksi			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on löytää pinnoitemateriaali ja pinnoitusmenetelmä, jolla pysyttäisiin estämään orgaanisen saostuman muodostuminen materiaalin pinnalle. Saostumaongelma esiintyy sellunpesuprosessissa, jossa orgaaninen aine pääsee saostumaan teräsmateriaalin pintaan. Tämän ongelman poistamiseksi Andritz Oy haluaa kartoituksen mahdollisista sovelluksista, jolla saostumat saataisiin estettyä.</p> <p>Pinnoitusmateriaalin valinnassa on käytetty materiaalin valintaprosessia. Prosessissa materiaalille haetaan vaatimusprofiili, joka sen tulee täyttää. Vaatimusprofiilin avulla luodaan ominaisuusprofiili, jonka avulla voidaan valita materiaali. Materiaalin valinnan avulla löydettiin mahdollisiksi pinnoitemateriaaleiksi TiO₂ ja SiO₂.</p> <p>Pinnoitemenetelmän valintaan vaikuttavat materiaalin vaatimusmäärittely sekä pinnoitusmenetelmän soveltuminen kyseessä olevalle tuotteelle. Sopivia pinnoitemenetelmiä esitellään tässä työssä neljä kappaletta. ALD-menetelmä ja sooligeelipinnoitus ovat näistä neljästä soveltuvimmat menetelmät.</p> <p>Työn tuloksena löydettiin kaksi mahdollista pinnoitusmateriaalia sekä pinnoitusmenetelmää. Näiden toimivuutta ja soveltuvuutta kyseessä olevaan sovellukseen tulee kuitenkin tutkia käytännössä.</p>			
Asiasanat (avainsanat) saostuminen, pinnoitus, pinnoitteet, titaanioksidi, piioksidi			
Sivumäärä 32	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli suomi</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> </table>	Kieli suomi	URN
Kieli suomi	URN		
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Tapio Lepistö	Opinnäytetyön toimeksiantaja Andritz Oy		

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 04.06.2012	
Author(s) Tiina Tamminen		Degree programme and option Materials and Surface Treatment	
Name of the bachelor's thesis Choosing a coating to prevent coagulation			
Abstract <p>Purpose to this bachelor thesis was to find a coating material and a coating technology to prevent coagulation on material surface. During the pulp washing process organic materials coagulate to the surface of steel material. To prevent this coagulation Andritz Oy wants to have a study to find out solutions which can solve this problem.</p> <p>To find an applicable material to prevent coagulation, material selection process is need to be done. Material selection process starts with defining a requirement profile. In this profile are listed every requirements the material has to full fill. Requirements are found from conditions the material is exposed to. These requirements can now be converted to properties that the material has to have to fill requirements. Properties are the key to find the wanted material. In this thesis by using material selection TiO₂ and SiO₂ was found to be best fitting materials.</p> <p>To choose a fitting coating method for material, the material's requirement profile is needed. Also it is needed to know which method is suitable for the coated application. In this thesis there is introduced four different coating technologies which are usable in this application.</p> <p>As a result of this study two possibly suitable coatings and coating technologies were found. These coatings and technologies are needed to be tested thoroughly to see if those really are suitable.</p>			
Subject headings, (keywords) material, coat, coating, titanium oxide, silicon oxide			
Pages 32	Language finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Tapio Lepistö		Bachelor's thesis assigned by Andritz Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TUTKIMUSONGELMA	2
3	PINNOITTEEN VALINTA.....	5
3.1	Pinnoitteen valintaprosessi	6
3.2	Vaatimusmäärittely	7
3.3	Ominaisuusmäärittely	9
3.4	Materiaalin valinta	12
3.4.1	Titaanioksidi TiO ₂	13
3.4.2	Nanosilikaatit	15
3.4.3	Muita materiaaleja	16
3.5	Pinnoitusmenetelmän valinta.....	17
3.5.1	Fysikaalinen kaasufaasipinnoitus PVD (Physical vapour deposition).....	21
3.5.2	Kemiallinen kaasufaasipinnoitus CVD (Chemical vapour deposition).....	23
3.5.3	Atomikerroskasvatus ALD (Atomic layer deposition).....	24
3.5.4	Sooligeelipinnoitus (Solgelcoating).....	27
4	PINNOITEVALMISTAJAT	28
4.1	Sooligeelivalmistajat.....	28
4.2	ALD-valmistajat	28
5	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	32
	LIITE/LIITTEET	
	1 Monisivuinen liite	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa ja löytää pinnoite, jolla saataisiin estettyä sellunpesuprosessissa tapahtuvaa saostumista. Työn tilaajana on Andritz Oy:n Lappeenrannan toimisto.

Tarkoituksena on löytää pinnoite tai pintakäsittely, jolla voidaan estää sellunpesuprosessissa käytettyjen reikälevyjen likaantuminen. Prosessissa ongelmana ovat reikälevyt, joihin pesun aikana pääsee saostumaan erilaisia orgaanisia aineita. Saostumien takia reikälevyt tukkeutuvat ja aiheuttavat pesuprosessin tehokkuuden laskua ja keskeytyksiä. Tukkeutuneiden reikälevyjen tilalle on vaihdettava uudet puhtaat levyt. Tämä aiheuttaa prosessissa ylimääräisiä seisakkeja ja laskevat kustannustehokkuutta.

Ratkaisua tähän ongelmaan olen lähtenyt etsimään materiaalin valinnan kautta. Oikeanlaisen pinnoitemateriaalin löytämiseen on kehittynyt valintaprosessi, jonka kautta pystytään määrittämään haluttu materiaali. Materiaalin valintaprosessi koostuu neljästä eri vaiheesta, joiden avulla pystytään valitsemaan oikeanlainen materiaali. Ensimmäiseksi tuotteelle asetetaan vaatimukset, joita sen tulee täyttää. Vaatimukset tulevat yleensä tuotteen käyttökohteesta ja halutuista ominaisuuksista. Vaatimusten kautta voidaan tutkia ominaisuuksiltaan sopivia materiaaleja. Vaatimusprofiilin aikaansaamisen jälkeen voidaan vaatimuksista määrittää materiaalille vaaditut ominaisuudet. Ominaisuusprofiilin täyttävä materiaali valitaan pinnoitemateriaaliksi. Pinnoitusmenetelmän valintaan ohjaa materiaali ja pinnoitettava sovellus.

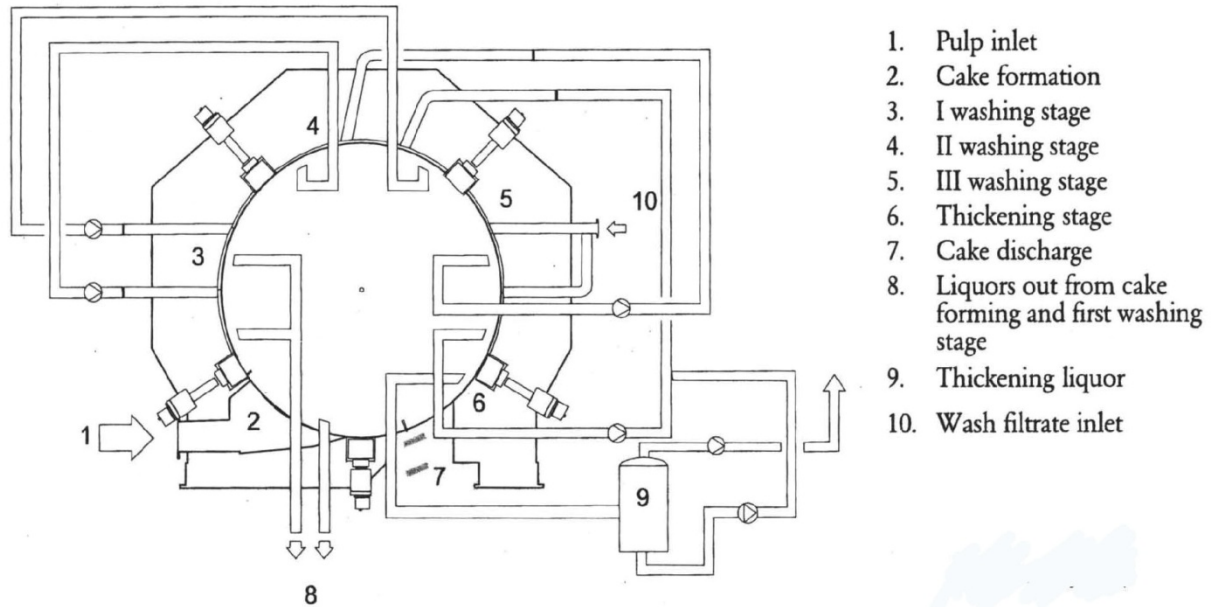
Tämän materiaali valintaprosessin avulla olen määrittänyt sopivat pinnoitusmateriaalit ja pinnoitusmenetelmät. Työn lopussa on listattu Suomessa toimivia pinnoitusyrityksiä. Yritykset on valittu niiden käyttämien pinnoitusmenetelmien mukaan. Listalla on yrityksiä, jotka pystyvät toimittamaan haluttuja pinnoitetta tässä työssä valituilla pinnoitusmenetelmillä.

2 TUTKIMUSONGELMA

Sellun valmistusprosessissa sellumassan keittämisen jälkeen keittokemikaalit poistetaan massasta pesemällä. Pesutoimintoja on eri puolilla sellutehdasta. Ensimmäinen pesu tapahtuu keittämöllä, jotta saadaan pysäytettyä keittokemikaalien ja sellukuitujen kesken tapahtuvat keittoreaktiot. Pesussa on tarkoituksena ottaa talteen mahdollisimman tehokkaasti ja väkevänä mustalipeä ja keittoliemi. Samalla minimoidaan keittokemikaalien kulkeutuminen ulos prosessista esimerkiksi paperitehtaalle. Pesuprosessit jaetaan kahteen vaiheeseen: ruskeaan ja valkaisupesuuun. Ruskeassa pesussa massa on keiton jälkeisessä muodossa ruskeana ja siitä poistetaan keiton aikana sellumassasta liuenneet orgaaniset ja epäorgaaniset aineet kuten saippua- ja pihka-aineet. Valkaisupesussa massa on valkaistu. Valkeassa pesussa sellumassasta poistetaan valkaisureaktiossa muodostuneet orgaaniset ja epäorgaaniset reaktio- ja sivuaineet. Pesun tarkoituksena on vähentää massasta valkaisukemikaalien määrää. Sellumassan pesu tapahtuu erilaisten pesurilaitteistojen avulla. Sellunpesuun käytetyimpiä pesureita ovat keitinpesuri, imusuodin, painesuodin, pesupuristin, atmosfäärinen diffusööri, paine diffusööri. [1, s.1-9]

Painesuotimet ovat yleistyneet pesureina sellutehtaissa. Näissä pesureissa käytetään painetta poistamaan sellumassasta liuokset. Nykyaikaiset painesuotimet Compaction Baffle Filter (CBF) sekä Drum Displacer (DD) ovat yleisimpiä pesureita. Tässä työssä kehitettävät reikälevyt sijaitsevat DD-pesurissa. [1, s.24–28]

DD-pesurissa pesu voidaan suorittaa monivaiheisena. Pesuvaiheita voi olla 1-4. Pesurissa on pyörivä rumpu. Rumpu on jaettu pituussuuntaisiin lokeroihin. Lokeroissa on reikälevyt, joiden avulla neste erotetaan kuitumassasta. Pyörivässä rumpulokeroissa massasta muodostuu reikälevyn pinnalle niin sanottu massakakku. Massassa oleva neste läpäisee reikälevyn ja massa jää reikälevyn pinnalle. [1,s.24–28] Kuvassa 1 on esitelty DD-painesuodin.



KUVA 1. DD-painesuodin [1, s.27]

DD-painesuotimissa käytetään suodatuspintana reikälevyjä. Reikälevyt ovat mekaanisesti porattuja ja niiden reikäkoko vaihtelee 0,8...1,5mm välillä. Reiät ovat yleisimmin suoria, kaksoissynterimäisiä tai kartiomaisia reikiä. Avoin pinta-ala rei'issä on yleensä 15-30%. Levyjen reikäväli on noin 1,5-3mm.

Suodinprosessissa reikälevyihin kiinnittyy epäorgaanisia partikkeleita, jotka aiheuttavat tukkeumia reikälevyihin. Tukkeumat aiheuttavat pesutehokkuuden vähenemistä. Levyt menevät myös usein täysin tukkoon, jolloin koko levy on vaihdettava. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä käyttökatkoja ja materiaalikustannuksia. Kuvassa 2 näkyy täysin tukkeutunut reikälevy. [2]



KUVA 2. Saostuman tukkima reikälevyn osa

Reikälevyihin saostuvat epäorgaaniset aineet kulkeutuvat pesuprosessiin puuaineksen mukana. Suljettuihin prosessivesiin rikastuu maa-alkalimetalleja. Tällaisia alkaleja ovat muun muassa kalsium ja magnesium. Pesuprosessin eri vaiheissa olosuhteiden muuttuessa kalsium saostuu kalsiumoksalaatiksi sekä kalsiumkarbonaatiksi. Magnesiumista saostuu magnesiumhydroksidia. Prosessivesissä ilmenee myös saostuneita natrium- ja bariumyhdisteitä, kuten natriumkarbonaatti ja bariumsulfaatti. Koska yhdisteet esiintyvät prosesseissa ylikylläisinä, pienikin muutos prosessin olosuhteissa voi käynnistää saostumisreaktion. [3]

Reikälevyjä halutaan kehittää materiaaliratkaisujen avulla niin, että saostuminen saataisiin estettyä.

3 PINNOITTEEN VALINTA

Pinnoittaminen on jonkin materiaalin päällystämistä toisella materiaalilla. Sillä haetaan materiaaleille erilaisia lisäominaisuuksia, joita itse materiaalissa ei ole. Ensimmäisiä pinnoitteita ovat olleet erilaiset savesta ja punamullasta tehdyt maalinkaltaiset aineet. Niillä on haettu joko suojaavaa kerrosta esimerkiksi rakennusten ulkopintoihin tai koristeellista näkökulmaa käyttöastioihin, kuten saviruukkuihin. Ajan kuluessa on tullut tarve kehittää pinnoitteita erilaisiin käyttösovelluksiin. Teknologian ja materiaalitietoisuuden kehitysten mukana pinnoitteet ja pinnoitusmenetelmät ovat kehittyneet. Nykyään erilaisia pinnoitusmahdollisuuksia on laajalti ja niitä käytetään lähes jokaisessa päivittäin käytössä olevassa tuotteessa. Tällaisia ovat esimerkiksi paistinpannut, koriste-esineet, kattorakenteet, katulamput ja elektroniikka, kuten puhelimet ja tietokoneet. Nämäkin sovellukset ovat pinnoitettu, jotta ne toimisivat paremmin niissä olosuhteissa ja käyttötarkoituksissa, joihin ne on tarkoitettu.

Suurin syy pinnoittamiseen on kuluminen. Jokainen materiaali kuluu sitä käytettäessä, käyttötarkoituksesta ja olosuhteista huolimatta. Mitä huonommat olosuhteet ja raskeampi käyttö, sitä nopeampaa kuluminen on. Kuluminen vaikuttaa tuotteiden käyttöikänsä ja kustannuksiin, joita syntyy korjauksista ja materiaalin uusimisesta, siksi materiaaleja halutaan suojata erilaisilla pinnoitteilla. Kulumiskestävyys ei ole ainoa ominaisuus, jota pinnoittamisella haetaan. Seuraavassa listassa on yleisimmät pinnoituksella haetut ominaisuudet. [4, s.20-24]

Materiaalipinnoituksella haettuja ominaisuuksia:

- fysikaaliset ominaisuudet
- ulkonäkö
- kovuus
- korroosionkestävyys
- kulumiskestävyys
- taloudellisuus
- hygieenisuus
- voiteluominaisuudet
- tilapäinen suojauskyky
- tarttuvuus

3.1 Pinnoitteen valintaprosessi

Materiaalin valinta aloitetaan vaatimusmäärittelyn avulla. Tuotteelle haetaan ne vaatimukset, jotka sen tulee täyttää. Vaatimusten avulla saadaan koottua ominaisuudet, jotka materiaalissa tulee olla. Ominaisuuksien avulla voidaan määrittää, mitkä ovat sopivia materiaaleja. Materiaalien nimeämisen jälkeen voidaan vielä etsiä pinnoitustapa, joka sopii sekä materiaalille että pinnoitettavalle sovellukselle. Kaaviossa 1. esitetään tässä työssä käytetty menetelmä, jolla etsitään sopivaa pinnoitetta kyseessä olevaan ongelmaan. [4, s. 248–260]

3.2 Vaatimusmäärittely

Olosuhteet ja käyttötarkoitus luovat tuotteelle vaatimukset. Kun halutaan ulkoilmassa kestävä ja ruostumaton tuote, on sen vaatimuksena kestää ulkoilmassa vallitsevat olosuhteet. Olosuhteet ovat yleensä rajoittavin tekijä materiaalin valinnassa. Olosuhdevaatimusten lisäksi tuotteelle asetetaan yleensä muitakin vaatimuksia. Halutaan kiiltävä- tai mattapinta tai karhea liukumaton pinta. Vaatimusmäärittely on tärkeä osa materiaalin valintaa. Vaatimusmäärittely on syytä tehdä huolellisesti ja tarkastella tarkkaan kaikkia materiaaliin vaikuttavia olosuhteita ja vaatimuksia. [7, s.248–252]



KAAVIO 1. Pinnoitteen valintakaavio [7, s.248-252]

Reikälevylle asettaa vaatimuksia pesurissa vallitsevat olosuhteet. Vaatimuksena on myös, ettei reikälevyn pinnalle synny saostumaa. Tarkat mitat ja ei-halutut mittamuutokset ovat myös vaatimus materiaalille. Näiden tekijöiden avulla voidaan rakentaa materiaalille vaatimusprofiili.

Koska DD-pesurissa vallitsee hyvin vaihtelevat olosuhteet, on kartoitettava nämä olosuhteet ja niiden aiheuttamat vaatimukset tarkasti. Olosuhteet pesurissa ovat erittäin korroosiolle altistavat. Pesurissa materiaali altistuu erittäin happamille ja erittäin emäksisille liuksille. Happoliuokset ovat tunnetuimpia korroosiota aiheuttavia yhdisteitä. Emäkset aiheuttavat myös materiaalin korroosiota. Myös vaihtelevat lämpötilat altistavat korroosiolle. Tuotteen vaatimuksena onkin korroosionkestävyys. Etenkin sen tulee kestää laajaa pH-arvojen vaihtelua. Reikälevy ei saa syöpyä happojen tai emästen vaikutuksesta. Se ei myöskään saa olla herkkä lämpötilan muutoksille. [7, s. 1-8] Taulukossa 1. on kuvattu sellunpesun olosuhteita.

TAULUKKO 1. Sellunpesuvaiheet ja olosuhteet [7, s1.8]

pesuvaihe	yhdiste	pH-arvo	prosessilämpötila °C
Ruskeapesu	OH ⁻ hydroksidi	10-13	75-100
	HS ₃ vetysulfidi		
	Na ₂ CO ₃ natriumkarbonaatti		
Valkaisupesu	H ₂ SO ₄ rikkihappo	2,5-3,5	80-100
	HCl vetykloridi		
	Orgaanisia happoja		
	Synteettisiä happoja		
	ClO ₂ kloriitti		55-90
	Cl ₂ kloori		
	H ₂ O ₂ vetyperoksidi	9-12	70-90

Pesun aikana reikälevyt ja sellumassa ovat kosketuksissa toisiinsa. Massan kuitumaisista ja tämän takia abrasiivista. Siksi materiaalin vaatimuksena on kulumisenkestävyys. Kulumista aiheutuu myös pesujen välissä tapahtuvasta lokeroitten pesusta. Materiaali ei saa olla herkkä irtoamaan hankaavassa kulutuksessa.

Saostumien tarttuminen reikälevyihin halutaan estää. Saostumat koostuvat epäorgaanisista aineista, kaliumoksalaaatista ja bariumsulfaatista. Koska varsinaista saostuman syntymekanismia ei tunneta hyvin, on vaatimusta vaikea määrittää tarkemmin. Vaatimuksena voidaan pitää likaantumaton pintaa, joka hylkii epäorgaanisia ja orgaanisia aineita.

Reikälevyissä olevien reikien toleranssirajat ovat hyvin pienet. Mittamuutoksia ei saisi pinnoitteen valinnan takia syntyä. Siksi vaatimuksena on mahdollisimman ohut pinnoite. Mahdollisimman ohuen pinnoitteen aikaansaamiseen vaikuttavat pinnoitusmenetelmän valinta. [1, s. 24–28; 2; 5; s. 1-8]

Reikälevyn vaatimusprofiili:

- korroosionkestävä
- kulutuksenkestävä
 - abrasiivinen kuitumassa
 - suihkupesä
- likaantumaton pinta
 - saostuman esto
 - epä- ja orgaaninen aine ei kiinnity
- paksuusluokka
 - tiukat toleranssit
 - 0,05mm

3.3 Ominaisuusmäärittely

Pinnoitemateriaalin valintaa rajaavat kaikki edellä mainitut vaatimukset. Vaatimusten avulla määritetään materiaalin ominaisuudet. Ominaisuusprofiilin avulla voidaan rajata materiaalit, jotka sopivat määrättyyn käyttökohteeseen. [8, s.248–260]

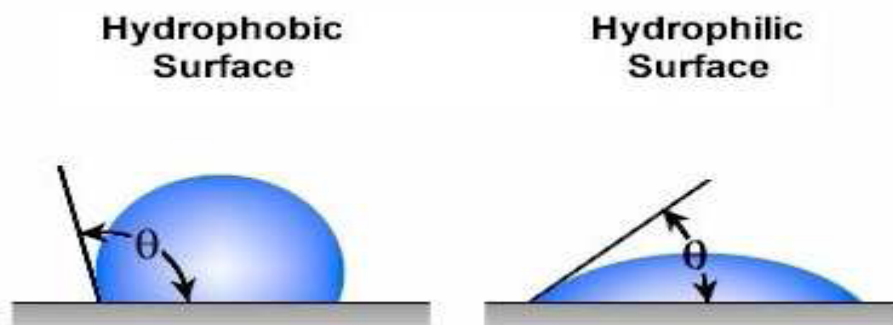
Materiaalin korroosiokestävyys perustuu materiaalin kykyyn vastustaa eri tekijöiden aiheuttamia muutoksia itsessään. Korroosiomekanismeja on useita ja ne johtuvat eri olosuhteiden summasta. DD-pesurin reikälevyihin kohdistuva pääasiallinen korroosiomekanismi on happojen aiheuttama syöpyminen. Lämpötilan vaihtelut ja kosteus aiheuttavat myös korroosiota. [9, s.17–33; 9, s.13-15]

Olosuhteiden johdosta pinnoitteen ominaisuutena tulee olla hyvä korroosionkestävyys. Pinniotteen tulee kestää pH-vaihteluita pH-asteikolla 2,5–13. Lämpötila vaihtelee sel-lunpesun aikana 55–100°.

Kulutuksenkestävä materiaali on yleensä kova. Pehmeät materiaalit lähtevät helposti abrasiivisessa kulutuksessa irtoamaan. Pinnoitteen tulee muodostaa vahva sidos perusmateriaalin kanssa. Sidoksen syntyyn ja vahvuuteen vaikuttaa myös pinnoitusmenetelmän valinta. Jotta valittu materiaali olisi kulutuksen kestävä, on sen oltava ominaisuudeltaan kova ja muodostaa vahva sidos perusmateriaalin kanssa. [8,s.27]

Jotta pinnoite kestää hyvin abrasiivista kulutusta, jota sellumassa aiheuttaa reikälevyn pintaan, tulee pinnoitteen kovuus olla Vickersin kovuusasteikolla yli 650 HV. Tämän kovuusarvon on todettu olevan hyvä kulumiskestävyuden kannalta. [6, s.12]

Materiaalin likaantumisen ja likaantumattomuus johtuu monesta eri tekijästä. Ilmiöihin vaikuttavia tekijöitä ovat materiaalin pintajännitys, pinnankarheus ja kontaktikulma. Materiaalin pintajännityksen ja siinä tapahtuvien olosuhteista johtuvien muutoksien on todettu joko lisäävän tai vähentävän lian tarttumista pinnalle. Suuri pinnankarheus lisää lian tarttumista pintaan. Mitä karheampi pinta on, helpompi likapartikkelin on tarttua siihen. Kontaktikulmalla kuvataan nesteen levittäytymiskykyä pinnalle. Mitä pienempi kontaktikulma on, sitä helpommin neste levittyy pinnalle. Suuren kontaktikulman omaavilla pinnoilla neste jää pinnalle pisaraksi, eikä levitä pinnalle lainkaan. Tällaisia pintoja kutsutaan hydrofiiliseksi ja hydrofobiseksi. Hydrofobinen pinta hylkii nestettä kun taas hydrofiilinen pinta imee nestettä. Kuvassa 3. on esitetty kontaktikulman vaikutus vesipisaran muotoon pinnalla.



KUVA 3. Vesipisara hydrofobisella ja hydrofiilisella pinnalla [10, s.6]

Hydrofobinen pinta pysyy likaantumattomana, koska liuoksessa olevat partikkelit eivät pääse levittäytymään pinnalle vaan liukuvat liuoksen mukana pois pinnalta.

Hydrofiilisen pinnan likaantumattomuus taas johtuu päin vastaisesta mekanismista. Vesi levittäytyy tasaisesti pinnan päälle, jolloin lika partikkelit eivät pääse kosketuksiin ilman ja pinnan kanssa. Lika partikkelit pystytään huuhtomaan pois vedellä.

Likaantumattomissa pinnoissa fotokatalyyttiset aineet ovat nousseet suosituiksi. Fotokatalyyttiset materiaalit pilkkovat pinnallaan olevia partikkeleita UV-valon avulla. UV-valon avulla pinnalla olevat partikkelit irtoavat ja ne voidaan huuhtoa pois.

Valittaessa likaantumaton materiaalia on sen ominaisuuksista löydyttävä edellä mainittuja tekijöitä. Materiaalia, jolta löytyisi kaikki likaantumista estävät ominaisuudet ei ole. Materiaalia valitessa täytyykin käydä läpi ne materiaalit, joilta löytyy jokin edellä mainituista ominaisuuksista.

Pinnoitteen ominaisuusprofiili:

- korroosionkestävyys
 - happo- ja emäsluokset
 - pH-vaihtelut 2,5-13
 - lämpötilavaihtelut
 - T= 55-100°C
 - kosteat olosuhteet
- kulumiskestävyys
 - kovuus
 - >650 HV
 - muodostaa lujan sidoksen perusmateriaalin kanssa
- likaantumisen esto
 - fotokatalyyttinen

3.4 Materiaalin valinta

Vaatus- ja ominaisuusprofiileita hyväksi käyttäen, voidaan löytää materiaalit, jotka täyttävät profiilien vaatimukset. Koska kaikkia vaatimuksia täyttäviä materiaaleja ei aina löydy, otetaan huomioon mahdollisimman lähellä vaatimusmäärittelyä olevat materiaalit. Jos materiaalin valinta on kokeellinen ja siinä etsitään mahdollisia vaihtoehtoja, voidaan materiaaleja valita vaikka ne eivät täyttäisi suurinta osaa vaatimuksista. Tällöin on päätettävä mitä ominaisuutta halutaan korostaa.

Materiaalin valinta tehdään yleensä valintataulukoiden avulla. Valintataulukoita on erilaisia. Tässä materiaalin valinta prosessissa on käytetty niin kutsuttua totuustaulukkoa materiaalin valinnan apuna. Taulukossa 2. on tehty ominaisuuksiin perustuen totuustaulukko materiaalin valitsemiseksi.

TAULUKKO 2. Totuustaulukko

	Titaanioksidi	Piioksidi	Alumiinioksidi
kestävyys:			
-hapot	+	++	++
-emäkset	+	++	++
-vesi	+	+	++
-kulutus	++	++	++
kovuus	++	+	-
fotokatalyyttinen	++	-	--
yhteensä	+++	++	+

Merkkiselitykset:

-- erittäin huono

- huono

+ hyvä

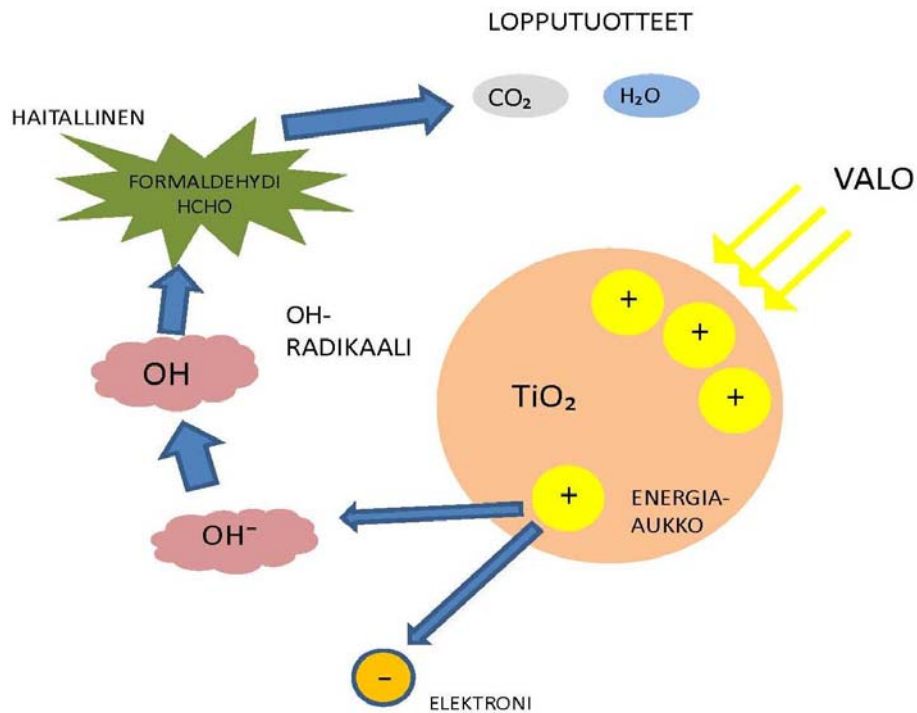
++ erittäin hyvä

3.4.1 Titaanioksidi TiO_2

Titaanioksidi, TiO_2 on laajalti eri sovelluksissa käytetty fotokatalyyttinen yhdiste. Titaanioksidi on myrkytön, jolla on hyvät optiset ja sähköiset ominaisuudet. Monipuolisuutensa, halvan hintansa ja kemiallisen pysyvyytensä ansiosta se on laajimmin käytetty fotokatalyytti. Titaanioksidia käytetään muun muassa kosmetiikassa, muoveissa, maaleissa ja ruuissa. Inertiytensä ansiosta sitä käytetään myös paljon lääkeaineiden täyteaineena. Koska titaanioksidi on fotokatalyyttinen, sitä käytetään myös puhdistustarkoituksessa erilaisissa sovelluksissa puhdistettaessa ilmaa, vettä ja erilaisia pintoja. Fotokatalyyysin avulla titaanioksidi hajottaa syöpäsoluja, bakteereja, viruksia ja levää UV-valon vaikutuksesta. [10, s.17-22]

Titaanioksidipinnoitteessa tapahtuvaa fotokatalyyttistä reaktiota voidaan verrata perusteiltaan kasvien lehdissä tapahtuvaan fotosynteesiin. Fotosynteesissä auringon UV-säteily absorboituu lehden lehtivihreään. Fotokatalyyysissä säteily absorboituu titaanioksidin.

UV-säteily saa titaanioksidin virittymään, jolloin atomirakenteen valenssivyöltä siirtyy elektroni johtuvuusvyölle. Tällöin valenssivyölle syntyy positiivisesti varautunut energia-aukko. Virittyneet elektronit ja energia-aukot siirtyvät titaanioksidin pintakerrokseen. Näin ollen titaanioksidin pinnassa tapahtuu varauksensiirtoreaktioita, joihin osallistuu hydroksyyli-ryhmä OH, vesi H_2O sekä happi O_2 . Energia-aukko hapettaa OH-ryhmän tai vesimolekyylin, jolloin syntyy hydroksyyli-radikaali. Syntyneet radikaalit hajottavat orgaanista ainesta hiilidioksidiksi ja vedeksi. Kuvassa 4. on kuvattu fotokatalyyttinen reaktio.



KUVA 4. Fotokatalyyttinen reaktio titaanioksidipinnoitteessa [10,s.23]

Vedessä olevista orgaanisista epäpuhtauksista pystytään suurin osa hajottamaan ja mineralisoimaan UV-valosta virittyneessä titaanidioksidin fotokatalyyttisessä pinnassa. Näihin kuuluvat muun muassa alkaanit, alkyylihalidit, alifaattiset alkoholit, karboksyylihapot, alkeenit, polymeerit, värit ja niin edelleen. Vaikka ainoastaan UV-valo ja happi ovat pakollisia reaktioille, niin monilla eri tekijöillä, kuten valon intensiteetillä, pH:lla, ioneilla ja fotokatalyyteillä on oma vaikutuksensa mineralisatioreaktion tehokkuuteen. [10, s.23; 9]

Titaanioksidi pinnoitusta voidaan tehdä ALD- sekä sooligeelimenetelmillä. Pinnoitteen ominaisuudet eroavat hieman pinnoitusmenetelmästä riippuen. Siksi suosittelen testaamaan molemmilla tavoilla aikaansaattua pinnoitetta ja vertaamaan niiden toiminnallisia ominaisuuksia.

Esimerkiksi Tekes hankkeissaan on päätyntyt tutkimaan eniten juuri TiO_2 pinnoitteita ja niiden käyttökohteita. Tutkimuksissa on saatu hyviä tuloksia likaantumisen estämiseksi. UV-valon avulla pinta on saatu puhdistettua mahdollisista epäpuhtauksista ja pysymään puhtaana. Tekesin teettämässä Shinepro-projektissa tutkittiin TiO_2 -pinnoitteen soveltumista paperin valmistusprosessiin kosteissa olosuhteissa. Tämän projektin tuloksena todettiin, että pinnoite toimii, kunhan pinta saadaan altistettua UV-säteilylle. [15, s.24-37]

Näiden tulosten valossa TiO_2 -pinnoite olisi yksi mahdollinen ratkaisu tässä työssä esiteltyyn ongelmaan. Pinnoitteen valinta ratkaisuksi tarkoittaisi, että DD-pesuriin täytyisi asentaa jonkinlainen UV-laitteisto. Fotokatalyyttinen reaktio tarvitsee happea reaktion syntymiseksi. Pesurissa vallitsee kuitenkin ilmattomat olosuhteet. UV-laitteiston lisäksi tulisi pesuriin syöttää happea ainakin silloin, kun UV-valot ovat toiminnassa. En tiedä onko tämä mahdollista. TiO_2 -pinnoite kuitenkin olisi kirjallisuustutkimuksen perusteella paras pinnoitevaihtoehto.

3.4.2 Nanosilikaatit

Silikaatti on nimitys yhdisteelle, joka koostuu piistä Si, hapesta O_2 , yhdestä tai useammasta metallista. Silikaatteja käytetään pinnoitteena korroosiosuojauksessa, kulumisen estoon sekä itsepuhdistuvissa pinnoissa. Yleisin käytetty silikaattipinnoite on SiO_2 eli piidioksidi.

Silikaattipinnoitteita valmistetaan sooligeelimenetelmällä. Lisäämällä sooliin erilaisia partikkeleja pystytään vaikuttamaan pinnoitteen optisiin ja sähköisiin ominaisuuksiin. Silikaatteja voidaan käyttää lähes kaikkien metallien pinnoittamiseen.

SiO_2 -pinnoitteen puhtaana pisyvyys perustuu pinnan hydrofobiaan, jolloin pinnalle osunut vesipisara ei jää pintaan. Hydrofobisuus perustuu pinnoitteen ja aineen väliin kontaktikulmaan. Kun tämä kontaktikulma on suuri, ei aine jää pinnoitteen pintaan vaan pinnoite niin sanotusti hylkii ainetta. [13, s.28-29]

SiO₂-pinnoite ei ole yhtä paljon tutkittu ja käytetty pinnoite likaantumisen estämiseen kuin aikaisemmin esitelty titaanioksidi, TiO₂. Piioksidi-pinnoitteen soveltuminen DD-pesurin saostumisongelmaan on kuitenkin tutkimisen arvoinen. Tämä pinnoite saattaisi olla vaihtoehto, varsinkin jos toimivaa UV-laitteistoa ei pystytä asentamaan TiO₂-pinnoitteen toimivuuden edellyttämiseksi.

3.4.3 Muita materiaaleja

Muita mahdollisia pinnoitteita löytyy paljon erilaisia. Niissä kuitenkin on määrävänä tekijänä jokin ongelma, joka pienentää niiden käytettävyyttä. Toisaalta uusia pinnoitteita voisi sanoa keksittävän joka päivä, eikä tällöin kaikkia pinnoitteita ole pystytty tai ehditty tutkia tarpeeksi perusteellisesti. Osa alla esitellyistä pinnoitteet ovat fotokatalyyttisiä yhdisteitä. Fotokatalyysin on todettu olevan kaikkien tehokkain tapa estää ja poistaa mahdollisia epäpuhtauksia pinnoilta.

Alumiinioksidi AlO₂ on yleinen pinnoite. Eniten tätä pinnoitetta käytetään alumiinin ollessa pohjamateriaalina, anodisoimalla pohjamateriaali. Tällöin alumiinin pintaan syntyy oksidi kerros, joka toimii pinnoitteena. Alumiinioksidia käytetään myös pinnoitteena muille pohjamateriaaleille. Reikälevyn pinnoitukseen alumiinioksidi materiaalina olisi huono valinta, sen ominaisuuksien takia. Fotokatalyyttisuuden puuttuminen on materiaalin pois rajaava ominaisuus.

Kadmiumsulfidi, CdS sekä kadmiumselenidi CdSe sitovat UV-valoa tehokkaasti. Koska näillä yhdisteillä on pienempi energia-aukko kuin titaanioksidilla, ne absorboivat valoa titaanioksidia tehokkaammin. Näissä materiaaleissa auringon valo kuitenkin aiheuttaa korroosiota, jolloin ne menettävät fotokatalyyttisen aktiivisuutensa nopeasti.

Muita fotokatalyyttisiä pinnoitteita ovat erilaiset oksidit. Sinkkioksidi, ZnO, strontiumtitanaatti, SrTiO₃ sekä tinaoksidi SnO ovat esimerkkejä fotokatalyyttisistä oksidipinnoitteista. Sinkkioksidin on todettu olevan epästabiili ja muodostavan pinnalleen sinkkihydroksidia, Zn(OH)₂. Hydroksidin muodostuminen saa fotokatalyyttiset ominaisuudet katoamaan pinnoitteesta. Myös tinadioksidilla, wolframitrioksidilla sekä vanadiinipentoksidilla on todettu olevan fotokatalyyttisiä ominaisuuksia. Näitä pinnoitteita on kuitenkin tutkittu vähän, eikä niiden käyttäytymistä tunneta yhtä hyvin kuin muiden fotokatalyyttisten pinnoitteiden.

Nämä mainitut pinnoitteet eivät ole vielä saaneet osakseen tarpeeksi vahvaa tutkimusta tai käyttöä juuri likaantumisen eston suhteen. [13. s.30] Näin ollen en näe aiheellisena valita näistä pinnoitteista mitään testattavaksi.

3.5 Pinnoitusmenetelmän valinta

Erilaisia pinnoitusmenetelmiä on olemassa todella paljon. Ne voidaan jaotella kolmeen ryhmään pinnoitteiden mukaan. Ensimmäinen ryhmä on metalliset pinnoitteet. Tähän ryhmään kuuluu pinnoitteet, joissa pinnoitusmateriaalina käytetään metallia. Sinkki on esimerkki yleisesti käytetystä metallisesta pinnoitusmateriaalista. Toiseen ryhmään kuuluvat epäorgaaniset ei-metalliset pinnoitteet. Emalointi eli lasitus on yksi tähän ryhmään kuuluvista pinnoitteista. Kolmas ryhmä on orgaaniset pinnoitteet. Tähän ryhmään kuuluvat erilaiset maalit ja lakat.[4, s. 4-5]

Metalliset pinnoitteet

- sähkösaostus
- kemialliset menetelmät
- termiset menetelmät
- mekaaniset menetelmät
- kaasufaasipinnoitusmenetelmät

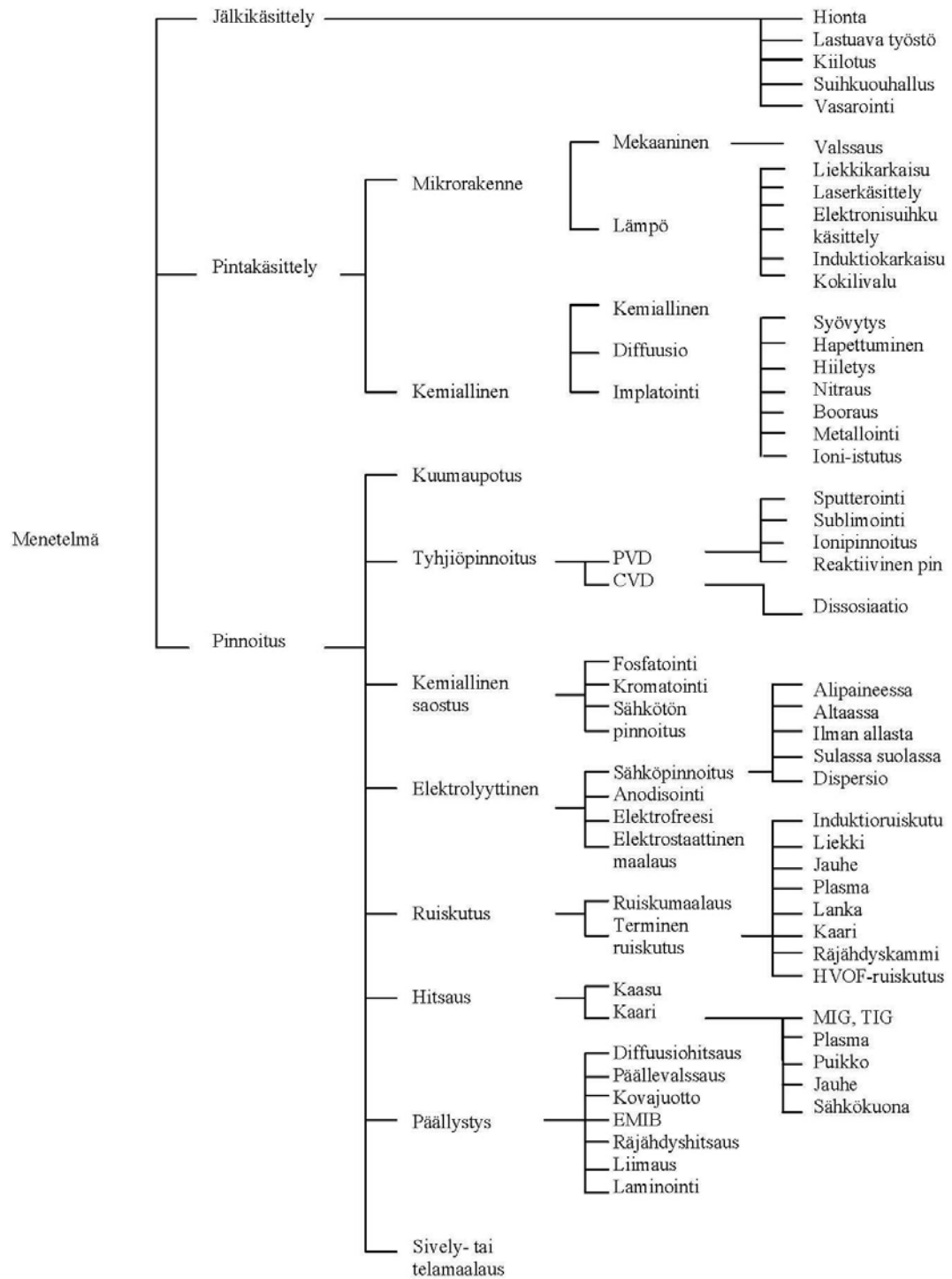
Epäorgaaniset ei-metalliset pinnoitteet

- anodisointi
- kromatointi
- fosfatoiointi
- emalointi
- terminen ruiskutus
- kaasufaasipinnoitusmenetelmät

Orgaaniset pinnoitteet

- maalaus
- lakkaus
- muovitus
- kumitus

Pinnoitteen aikaansaamiseksi on siis kehitetty monenlaisia tapoja. Tutuimpia ja jopa kotikäytössä olevia pinnoitusmenetelmiä ovat pensselimaalaus ja kastouputus. Näillä tekniikoilla esimerkiksi maalataan talon seiniä ja koristellaan kipsi- ja keramiikkaesineitä. Tällaisten pinnoitusmenetelmien rinnalla on myös hyvin pitkälle kehittyneitä, jopa aineiden atomitasolle asti meneviä menetelmiä. Kaaviossa 2. on esitetty yleisimmät ja tunnetuimmat pinnoitusmenetelmät [4, s.30].



KAAVIO 2. Pinnoitusmenetelmät [17, s.30]

Pinnoitusmenetelmät voidaan jakaa myös pinnoitepaksuuden mukaan. Taulukossa 2. on jaettu pinnoitusmenetelmät paksuusluokan mukaan. Taulukon avulla voidaan tehdä pinnoitusmenetelmän valinta, jos rajaavana tekijänä on juuri pinnoitepaksuus.

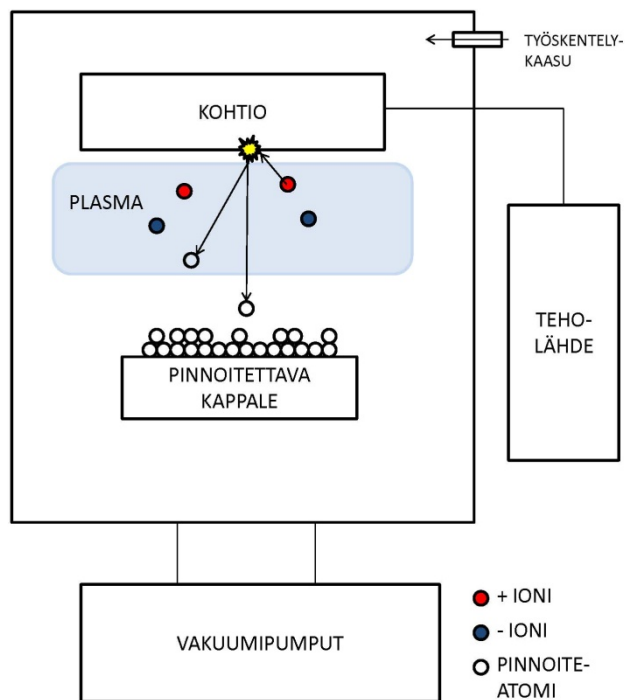
TAULUKKO 2. Pinnoitusmenetelmät ja niiden pinnoitepaksuudet [4, s.31]

metalliset pinnoitteet	kaasufaasi-pinnoitus		kiilto-kromaus	sähkösaostus sähkö-tinaus		kuuma sinki-tys	metalli ruisku-tus	valssaus-pinoitus								
epäorgaaniset pinnoitteet		ohut kroma-tointi	mus-taus	paksukro-matointi	anodisointi			e-ma-lointi	tulen-kestä-vät pin-noit-teet							
orgaaniset pinnoitteet					tartun-tapoh-ja maa-laus	ohut lak-kaus	maala-us	muovitus		ku-mi-tus						
	0,05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100	0.2	0.5	1	2	5
	← μm										X	mm →				

Seuraavissa luvuissa esittelen eri pinnoitusmenetelmiä, jotka mielestäni ovat soveltuvia. Esiteltävät pinnoitusmenetelmät olen valinnut materiaalien ja ominaisuusvaatimusten mukaisesti. Suurimpina rajoittavina tekijöinä olen pitänyt pinnoituspaksuutta. Vähemmän huomiota olen kiinnittänyt esimerkiksi, onko tällä hetkellä mahdollista valmistaa kyseistä pinnoitetta niin isolle alueelle kuin reikälevyt ovat. Esimerkiksi kaasufaasipinnoituksessa tällä hetkellä pinnoitteen valmistukseen käytetyt alipainekammiot ovat verrattain pieniä, eikä suurten kappaleiden pinnoitus ole ainakaan vielä mahdollista. Työssä halutaan tuoda esille nimenomaan ne pinnoitusmahdollisuudet, joilla voidaan aikaan saada haluttu pinnoite.

3.5.1 Fysikaalinen kaasufaasipinnoitus PVD (Physical vapour deposition)

Fysikaalinen kaasufaasipinnoitus (PVD) on pinnoitusmenetelmä, joka perustuu tyhjiössä tapahtuvaan pinnoitemateriaalin höyrystymiseen atomitasolla. Käytännössä höyrystyminen tapahtuu pommittamalla raaka-aineena eli ”targettina” olevaa pinnoitemateriaalia korkeaenergisellä säteellä, ioneilla tai elektroneilla. Pommituksessa pinnoitemateriaalista irtoavat atomit kulkeutuvat pinnoitettavan materiaalin eli perusaineen pintaan muodostaen pinnoitteen. Kuvassa 5. on esitetty kuinka PVD-menetelmiin kuuluva sputterointi-prosessi toimii[16, s.130.]. [16,s.128-132; 17, s.16-18]



KUVA 5. Sputterointi-prosessi [16, s.130]

PVD on siis yleisnimitys monelle pinnoitusmenetelmälle, joita ovat [17, s.17]:

- magnetronisputterointi
- plasmasputterointi (sputtering)
- valokaaren avulla tapahtuva höyrystys (vacuum arc)
- pulssimainen laserpinnoitus (pulsed laser ablation)
- ioniavusteinen pinnoitus (ion assisted deposition)

PVD menetelmillä voidaan pinnoiteaineena käyttää lähes mitä tahansa epäorgaanista ja joitakin orgaanisia aineita.

Metallit ovat yleisin perusmateriaali, joita PVD menetelmillä pinnoitetaan. Joissakin tapauksissa myös lasia, keraameja ja muoveja voidaan pinnoittaa. PVD-menetelmällä voidaan tehdä erilaisia metallisia ja keraamisia yhdistepinnoitteita. Alusmateriaaleja ei tarvitse lämpökäsitellä ennen pinnoitusta lainkaan tai vain vähän, mikä antaa mahdollisuudet erilaisten pohja- ja pinnoitemateriaalien käytölle. [4, s. 128–132; 18]

Kerrospaksuudet PVD menetelmällä pinnoitettaessa vaihtelevat 0,1 μm ja 50 μm välillä. Pinnoitepaksuus riippuu käytetystä menetelmästä, pinnoiteaineesta sekä prosessin parametreista. PVD-menetelmällä geometrialtaan monimutkaisten kappaleiden pinnoitus on haastavaa. Pinnoiteatomit eivät kulkeudu helposti niin sanotusti kulmaan taakse, jolloin monimutkaisiin tuotteisiin on vaikea saada tasainen pinnoite. PVD-laitteet ovatkin nykyisin varustettu kappaleen liikutusmekanismeilla, jotta pinnoite muodostuisi tasaisesti koko kappaleen pinnalle. [17, s.16–18]

PVD-pinnoiteita käytetään yleisesti kulutuksen ja kovuuden lisäämiseksi perusmateriaaliin. Yleisimpiä käyttökohteita ovat pikaterästyökalut, muovaustyökalut ja laitteiden kulutusosat. Muita käyttökohteita ovat lämpö- ja sähkötekniset sovellukset, dekoratiiviset ja optiset pinnoitteet. [16, s.131–132]

PVD-menetelmän haittapuolia ovat ainakin vielä tällä hetkellä pinnoituskammioiden pienuus. Tämän johdosta suurien kappaleiden pinnoitus on mahdotonta. Tyhjiöpump-paustekniikka rajoittaa kammioiden kokoa.

3.5.2 Kemiallinen kaasufaasipinnoitus CVD (Chemical vapour deposition)

CVD-menetelmä on hyvin samankaltainen pinnoitusmenetelmä kuin PVD-menetelmä. Nämä kaksi menetelmää erottaa toisistaan se, että kemiallisessa kaasufaasipinnoituksessa pinnoitemateriaalin lähtöaine voi olla kiinteän targetin sijasta neste tai jauhe. Kuten PVD on CVD yleisnimitys monelle eri pinnoitemenetelmälle, joita ovat [16,s.18]:

- Normaalin ilmanpaineen CVD (APCVD)
- Matalan paineen CVD (LPCVD)
- Metalliorgaani CVD (MOCVD)
- Plasmaavusteinen/paranneltu CVD (PACVD/PECVD)
- Laser CVD (LCVD)
- Fotokemiallinen CVD (PCVD)

CVD-menetelmässä kaasumaisessa muodossa oleva pinnoitemateriaali kulkeutuu lämmitetyn perusmateriaalin pintaan muodostaen pinnoitteen. Perusmateriaali esilämmitetään lämpötilaan 800–1000 °C. Tämä luo rajoituksia perusmateriaalin käyttöön. Lämpökäsittely voi aiheuttaa haitallisia mikrorakenteen muutoksia sekä mittamuutoksia perusmateriaaliin. Teräkset kestävät hyvin lämpökäsittelyä ja se jopa parantaa niiden ominaisuuksia. Teräkset ovatkin yleisimpiä CVD-menetelmillä pinnoitettuja materiaaleja. [16, s.125; 17, s. 20.]

Lämpökäsittelyn tuomia haittavaikutuksia on pyritty estämään luomalla uusia CVD-menetelmiä. Esimerkiksi PECVD-menetelmässä energia perusmateriaaliin tuodaan lämmön sijasta sähköenergialla. Tällä menetelmällä voidaan pinnoittaa esimerkiksi muoveja, joiden sulamislämpötilat ovat alhaisia. [17,s.18]

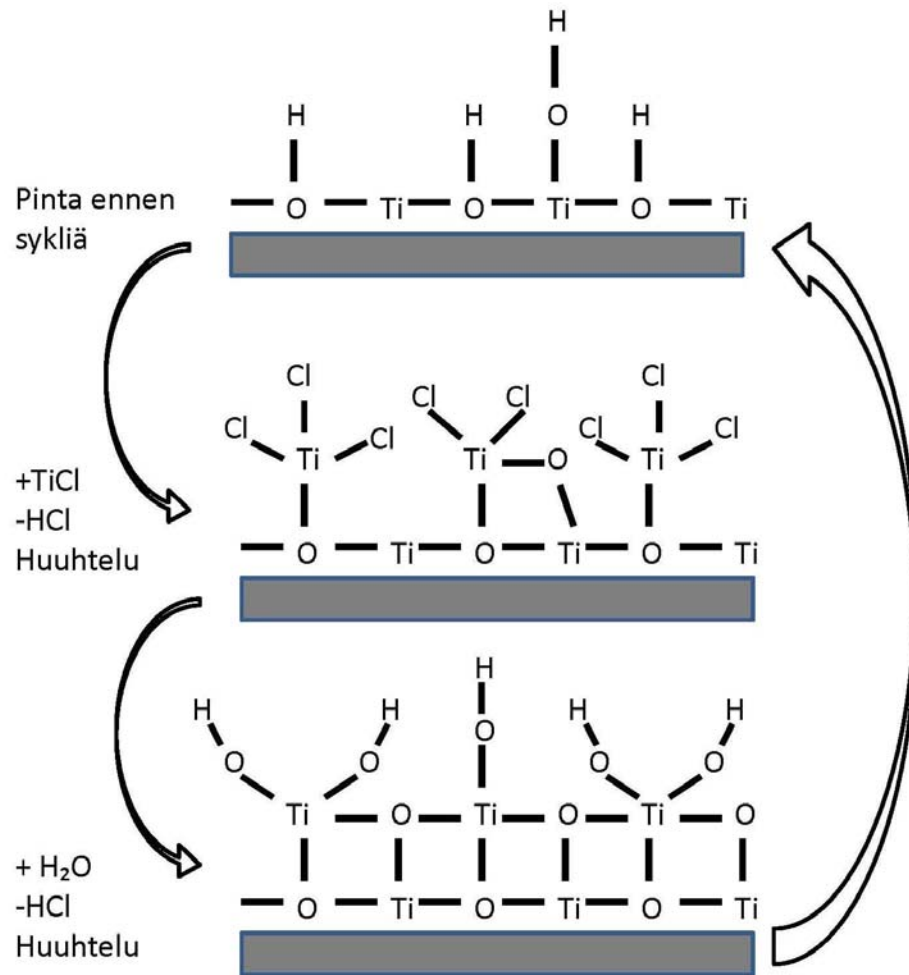
CVD-menetelmillä saadaan aikaan hyvin tiiviitä ja hienorakeisia pinnoitteita. Pinnoituspaksuudet ovat samaa luokkaa kuin PVD-pinnoitteilla eli 0,1-10 μm välillä [3, s.125]. Koska CVD-menetelmässä pinnoitemateriaali on kaasumaisessa muodossa, monimutkaisetkin kappaleet saadaan pinnoitettua tasaisesti. Kaasu leviää kammiossa tasaisesti joka paikkaan, jolloin myös pinnoite muodostuu tasaisesti koko kappaleen päälle.

CVD-pinnoitteiden yleisimpiä käyttökohteita ovat erilaiset konepajatyökalujen terät. Yleisimpiä pinnoitemateriaaleja ovat erilaiset titaaniseokset, niiden kovuuden ja kulumuskestävyyden takia. [16,s.19]

CVD-menetelmän käyttörajoitukset ovat samankaltaisia kuin PVD-menetelmässä. Pinnoituskammioiden kokoa rajoittaa uuni jossa perusmateriaali lämmitetään. Näin ollen suurten kappaleiden pinnoitus ei onnistu.

3.5.3 Atomikerroskasvatus ALD (Atomic layer deposition)

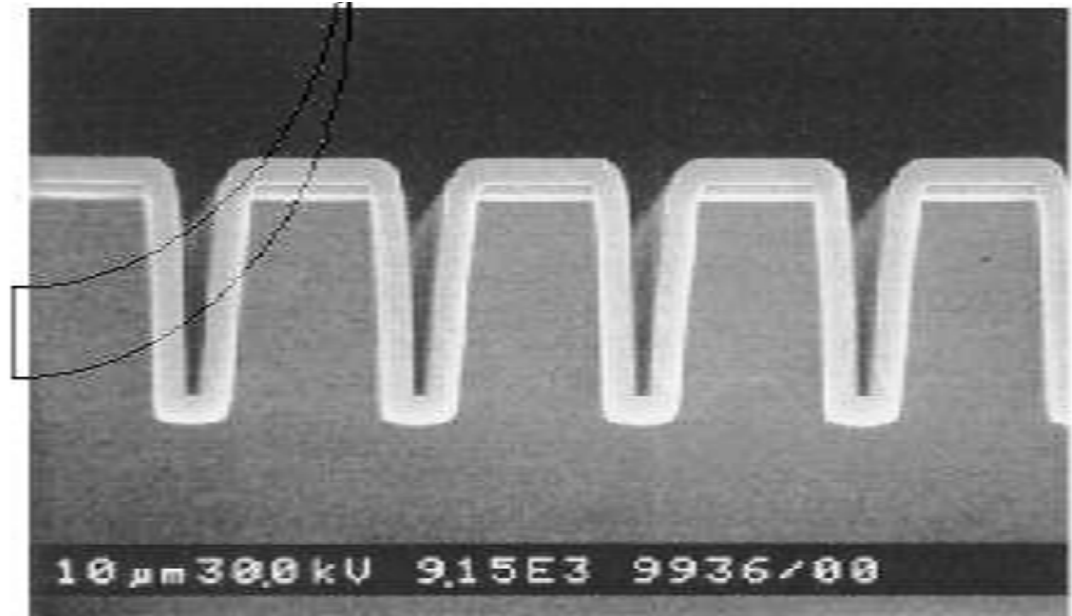
Suomessa 1970-luvulla kehitetty atomikerroskasvatus eli ALD-menetelmä on CVD-menetelmästä kehitetty pinnoitusmenetelmä. ALD-menetelmässä pinnoitemateriaali on molekyyleinä kaasumaisessa muodossa ja kaasua syötetään pinnoituskammioon syklimäisesti. Toimintaperiaate on siis sama kuin CVD-menetelmissä. ALD-pinnoituksessa pinnoitemateriaali reagoi perusmateriaalin pinnan kanssa ja muodostaa pinnoitteen atomikerros kerrallaan. Pinnoitteen paksuutta voidaan kontrolloida helposti ja saadaan aikaan juuri halutun paksuinen pinnoitekerros. [19] Kuvassa 6 nähdään ALD-menetelmällä titaanikloridista ja vedestä kasvatettavan titaanioksidin TiO_2 -pinnoitteen syntymekanismi [19].



KUVA 6. ALD-menetelmän sykliperiaate [19]

500 °C:eseen lämmitettyyn reaktiotilaan tuodaan inertissa kantajakaasuvirtauksessa lähtöaineet. Kantajakaasuna käytetään yleisimmin typpikaasua, N₂. Ensimmäisessä ALD-syklin vaiheessa pinnoitettavan kappaleen pinnalle tuodaan titaanitetrakloridikaasua, TiCl₄. Kaasu reagoi pinnan OH-ryhmien kanssa kunnes kaikki reaktiopaikat ovat täytetty. Ylimääräinen lähtöaine huuhdellaan pois kantajakaasun avulla ennen seuraavaa reaktiovaihetta. Tällä vältetään kaasufaasireaktioiden syntyminen. Huuhtelu jättää pinnalle erilaisia O-Ti-Cl_x-ryhmiä. Seuraavassa vaiheessa pinnalle johdetaan vesihöyryä, H₂O. Vesihöyry reagoi kiivaasti pinnan Ti-Cl-sidosten kanssa ja muodostaa niiden kanssa Ti-O-(OH) pinnan. Näin yksi sykli on kasvattanut alle atomikerroksen paksuisen titaanioksidi-pinnan, TiO₂. Sykliä määrää kontrolloimalla saadaan aikaan halutun paksuisen pinnoitekerros. [14, s.21; 3; 17]

Koska ALD-menetelmässä pinnoiteaine on kaasumaisessa muodossa, voidaan monimutkaisiakin kappaleita pinnoittaa onnistuneesti. Kuvassa 7. näkyy kuinka piikiekon uraan kasvatettu pinnoitekerros on saman paksuinen uran harjalla kuin pohjallakin[18].

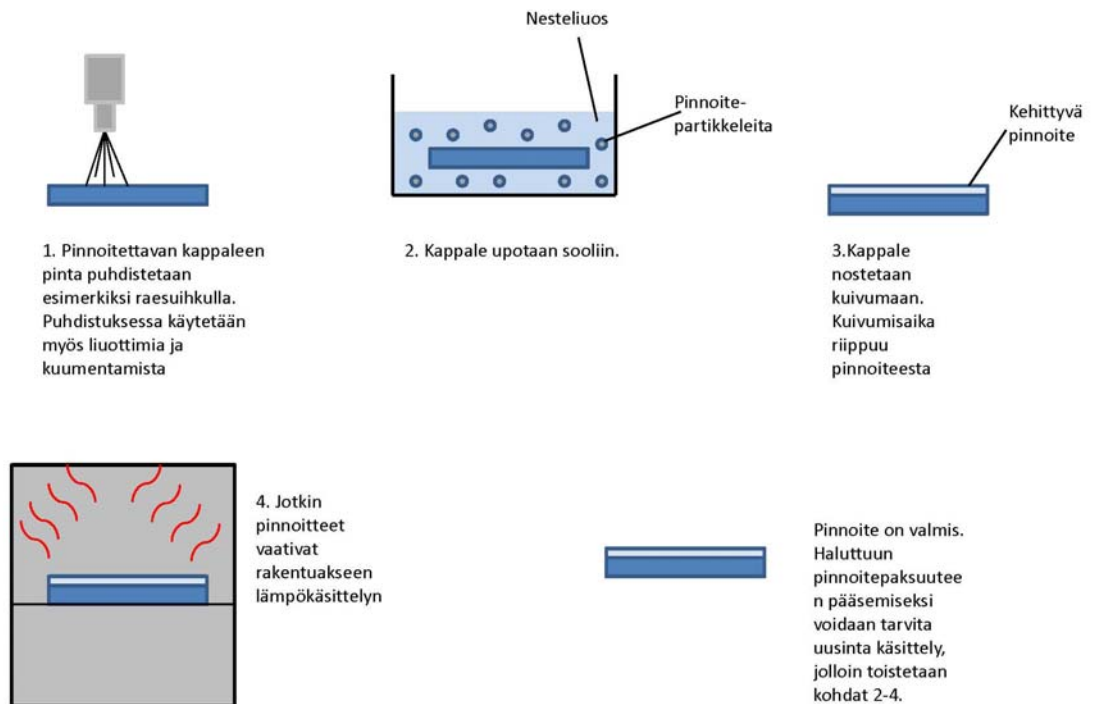


KUVA 7. Pyyhkäiselektronimikroskooppikuva ALD-menetelmällä pinnoitetusta piikiekosta [18]

Myös ALD-menetelmän ongelmana kuten muissa tyhjiöpinnoitusmenetelmissä, on kammioden pienuus. Uusia tapoja saada aikaan pinnoite suurillekin kappaleille tutkitaan koko ajan. Rullaustekniikka on uusin pinnoitetekniikka ALD-menetelmän sisällä. Se mahdollistaa pitkien rullattavien kappaleiden pinnoituksen. Kehityksen mennessä eteenpäin luultavasti keksitään tekniikka, jolla kammiokokoa saadaan kasvatettua niin, että isojenkin pintojen pinnoitus onnistuu tulevaisuudessa.

3.5.4 Sooligeelipinnoitus (Solgelcoating)

Sooligeelipinnoituksessa kiinteitä partikkeleja sekoitetaan liuokseen. Liuoksesta muodostuu vesimäinen sooli. Soolia levitetään pinnoitettavan kappaleen päälle joko ruiskuttamalla, sivelemällä, linkoamalla tai upottamalla kappale sooliin. Menetelmällä voidaan pinnoittaa isoja ja vaikeitakin geometrioita erilaisten soolin levitystapojen ansioista. Levitetyssä soolissa hajaantuneet pienet pinnoitepartikkelit kasvavat suuremmiksi ja sooli alkaa jähmettyä ja muuttuu geelimäiseksi. Tämän jälkeen tapahtuu vanhenemisvaihe, jossa geelissä olevien partikkelien rakenne ja ominaisuudet muuttuvat. Kiinteä pinnoite syntyy, kun kuivumisvaiheessa liuoksesta haihdutetaan liuottimena olleet vesi tai alkoholi. Jotkin pinnoitteet vielä lämpökäsitellään tiiviiden ja paremman laadun aikaansaamiseksi. [10,s.10-21; 5] Kuvassa 8. esitellään sooligeelipinnoituksen periaate.



KUVA 8. Sooligeelipinnoituksen periaate

Sooligeelipinnoittamisen ongelmina ovat esimerkiksi kemiallisten reaktioiden hallinta valmistusvaiheessa. Esimerkiksi sivelytekniikalla levitettävässä pinnoituksessa soolin kuivumisreaktio alkaa välittömästi. Tästä johtuen pinnoitteesta tulee helposti epätasainen ja paksuudet vaihtelee. Koska sooliliuos on yleensä kirkasta, aina ei voida varmistua, onko liuos levinnyt kappaleen koko pinnalle, jolloin vaarana ovat pinnoittamattomat alueet. [10 s.13-20]

4 PINNOITEVALMISTAJAT

Tässä kappaleessa on listattu kaupallisia toimijoita, jotka kykenisivät toimittamaan edellä valittuja pinnoitteita niin ALD- kuin sooligeelimenetelmillä toteutettuna. Toimijat on jaettu pinnoitusmenetelmien mukaan kahteen ryhmään.

4.1 Sooligeelivalmistajat

Millidyne Oy valmistaa sooligeelipinnoitteita. Yritys on ollut mukana Tekesin ”Liikaantumattomat pinnat”-hankkeessa. Yritys käyttää Avalon-kauppanimellä varustettuja sooligeelipinnoitteita. Heiltä löytyy monenlaisia pinnoiteratkaisuja. [20]

Varicoats Oy on Sipoossa toimiva pinnoitusyritys. Sen tuotemerkkinä on VariSol-ohutkalvopinnoitteet. Pinnoitteiden ominaisuudet ovat yhteensopivia tässä työssä haluttujen ominaisuuksien kanssa. [21]

4.2 ALD-valmistajat

Beneq Oy on suomalainen ALD-pinnoitusta tarjoava yritys. Yritykseltä löytyy erilaisia ALD-pinnoituslaitteita. Heidän suurin pinnoituskammio on 1200x1200 mm. Tätä pinnoituslaitetta, jossa on näinkin suuri kammio, käytetään pinnoittamaan ainoastaan aurinkokennoteknologiaa varten. [22]

Picosun Oy on myös suomalainen ALD-pinnoitteiden valmistaja. Yrityksellä ei ole suurikammioista ALD-koneistoa. [23]

5 YHTEENVETO

Materiaalin valinnan avulla saatiin määritettyä mahdollisia pinnoitemateriaaleja, jotka sopisivat reikälevyjien pinnoitukseen. Titaanioksidi ja piioksidi ovat tutkimuksen mukaan käyttökelpoisimmat pinnoitteet reikälevyjien saostumisen estämiseksi. Näiden pinnoitteiden toimivuus DD-pesurin olosuhteissa tulee testata.

Pinnoitemenetelmän valinnassa pinnoitepaksuus loi suurimman vaatimuksen menetelmän valintaan. Valitut pinnoitemenetelmät ovat Atomic layer deposition ALD, sekä sooligeeli-pinnoitus. Molemmat valitut pinnoitusmenetelmät ovat soveltuvia valittujen pinnoitteiden aikaansaamiseksi.

Molempien pinnoitteiden tekemistä valituilla pinnoitusmenetelmillä on syytä myös testata. On myös tutkittava kummalla pinnoitusmenetelmällä tehty pinnoite on ominaisuuksiltaan parempi.

Lopullisen pinnoitteen valinnassa on otettava huomioon myös se, että titaanioksidin fotokatalyyttinen ominaisuus tulee esiin vain UV-valon ja hapen avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että jos titaanioksidi päätetään valita pinnoitemateriaaliksi, tulee pesurissa tehdä muutoksia. UV-valon lisääminen ja hapen syöttäminen pesuriin saattavat olla mahdottomia toteuttaa. Tällöin titaanioksidin ominaisuudet eivät välttämättä estä saostumisen syntymistä reikälevyn pintaan.

Piioksidi toimii hydrofiilisuutensa ansiosta likaantumattomana pinnoitteena. Jos pesuriin ei voida tehdä titaanioksidi-pinnoitteen fotokatalyyysiä varten muutoksia, voi piioksidi olla toimivampi vaihtoehto pinnoitteeksi.

Toimeksiantajan näkökulmasta voidaan katsoa työn tavoitteiden onnistuneen melko hyvin. Tarkoituksena oli saada aikaan kartoitus mahdollisista pinnoitteista ja pinnoitusmenetelmistä, joilla voitaisiin estää reikälevyihin kertyvä saostuma. Lopulliseen ongelman poistamiseen eli reikälevyjen saostumisen eliminointiin tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimusta ja testausta.

LÄHTEET

- [1] Päivi Rousu, Kemiallisten massojen valmistus, kurssimateriaali, kuitu- ja partikkelitekniikan laitos, 2005
- [2] Petri Tarjavuori, Keskustelu, Mikkeli, 28.9.2011
- [3] Tuoja Mielonen, Kemialliset saostumat TCF-valkaisussa, 1997
- [4] Pirjo Tunturi, Pekka Tunturi, Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt, Tampere, Metalliteollisuuden Keskusliitto MET, 3/1999
- [5] Andritz, Drum Displacer Washer, Construction Materials, Presentation, 1.11.2006
- [6] Tarmo Nummi, Timo Tapaninen, Markku Valtonen, Tapio Väisänen, Vaikeasti koneistettavien materiaalien lastuava työstö, Teknillisen korkeakoulun Konepajatekniikan laboratorion julkaisu, Espoo 1998
- [7] Kaarlo Koivisto, Esko Laitinen, Matti Niinimäki, Tuomo Tiainen, Pentti Tiilikka, Juho Tuomikoski, Konetekniikan materiaalioppi, Helsinki, Oy Edita Ab, 1999
- [8] Tapani Latvala, Sakkakirjasto, korroosiokokeet, opinnäyte, Tampere, Tampereen ammattikorkeakoulu, 1/2011
- [9] Sirpa Ujanen, Nokipigmentin käyttö korroosion estossa, opinnäyte, Pori, Satakunnan ammattikorkeakoulu, 9/2008
- [10] Tero Kärkkäinen, Itsepuhdistuvat pinnat opinnäytetyö, Kokkola, Keskipohjanmaan ammattikorkeakoulu, 6/2010
- [11] VTT, Puhtaat, ympäristöystävälliset tuotteet, PUHTEET, VTT, 12/2008
- [12] Ville Turkia, Lujitemuovilaminaattien ohutpinnoitteet, diplomityö, Espoo, Aaltoyliopiston teknillinen korkeakoulu, 15.2.2010
- [13] Juha Kauppinen, Uudet pinnoitusteknologiat – sovelluksia prosessilaitteisiin, Mikkeli, Tulevaisuuden prosessimasiinafoorumi, 10.12.2008
- [14] Mikko Ritala, Uudet materiaalit halki, poikki ja pinoon studia generalia luento, Helsinki, 13.10.2011
- [15] Tekes, Teknologia keskus, PINTA, Likaantumattomat pinnat 2002-2006, Helsinki, Tekes, 9/2006
- [16] VTT, Hybridipinnoitteilla lisäarvoa metallituotteille VTT tiedotteita 2517, Helsinki, VTT, 12/2009
- [17] Abonano, Puhtaana pysyviä pinnoitteita nanomateriaaleilla [Luettu: 13.1.2011] Saatavissa: <http://www.abonano.com/content/menetelm%C3%A4n-tekniset-perusteet>

[18] Theory of PVD Coatings [Luettu: 12.12.2011] Saatavissa: <http://www.pvd-coatings.co.uk/theory/>

[19] Marko Vehkamäki, Atomikerroskasvatus ohutkalvojen valmistuksessa, Helsinki, Helsingin Yliopisto, 3/2003

[20] Marko Vehkamäki, Atomic Layer Deposition of Multicomponent Oxide Materials, Helsinki, Helsingin Yliopisto, 21.12.2007

[21] Millidyne Oy [Luettu 25.1.2012] Saatavissa: <http://www.millidyne.fi/>

[22] Varicoats Oy, [Luettu 25.1.2012] Saatavissa: <http://www.varicoats.com/suomeksi.aspx>

[23] Beneg Oy [Luettu 25.1.2010] Saatavissa: <http://www.beneq.com/>

[24] Picosun Oy [Luettu 25.1.2010] Saatavissa: <http://www.picosun.com/>

LIITE 1(1).
Monisivuinen liite

Titaanioksidi TiO ₂		
tiheys	3970-4050	kg/m ³
hinta	17,37-26,05	€/kg
kovuus	933-1029	HV
ylin käyttölämpötila	1570-1640	C°
alin käyttölämpötila	-273	C°
kestävyys:		
vesi	erittäin hyvä	
merivesi	erittäin hyvä	
orgaaniset johteet	erittäin hyvä	
vahvat hapot	hyvä	
vahvat emäkset	kohtalainen	
heikot hapot	erittäin hyvä	
heikot emäkset	erittäin hyvä	
UV	erittäin hyvä	
kulutus	erittäin hyvä	

Piioksidi SiO ₂		
tiheys	2180-2220	kg/m ³
hinta	4,34-7,24	€/kg
kovuus	450-950	HV
ylin käyttölämpötila	897-1400	C°
alin käyttölämpötila	-273	C°
kestävyys:		
vesi	erittäin hyvä	
merivesi	erittäin hyvä	
orgaaniset johteet	erittäin hyvä	
vahvat hapot	erittäin hyvä	
vahvat emäkset	hyvä	
heikot hapot	erittäin hyvä	
heikot emäkset	erittäin hyvä	
UV	erittäin hyvä	
kulutus	hyvä	

LIITE 1(2).
Monisivuinen liite

Alumiinioksidi AlO ₂		
tiheys	3340-3470	kg/m ³
hinta	1,158-1.737	€/kg
kovuus	1000-1500	HV
ylin käyttölämpötila	1758-1841	C°
alin käyttölämpötila	-273	C°
kestävyys:		
vesi	erittäin hyvä	
merivesi	erittäin hyvä	
orgaaniset johteet	erittäin hyvä	
vahvat hapot	erittäin hyvä	
vahvat emäkset	erittäin hyvä	
heikot hapot	erittäin hyvä	
heikot emäkset	erittäin hyvä	
UV	erittäin hyvä	
kulutus	erittäin hyvä	

Lähde: Ces EduPack 2005 materiaalin valinta ohjelma