
UUDENTYYPPIINEN LIUKURENGASTIIVISTE

Erkki Sallinen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Erkki Sallinen			
Työn nimi Uudentyyppinen liukurengastiiviste			
Päiväys	9.5.2011	Sivumäärä/Liitteet	35
Ohjaaja(t) Lehtori Mika Mäkinen ja Kunnossapitopäällikkö Jukka Korhonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Yara Suomi Oy Siilinjärven tehtaat			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda uudenlainen sovellus liukurengastiivisteiden rinnalle sekä saada arvokasta tietoa uudesta tiivistemateriaalista. Opinnäytetyössä haluttiin kokeilla nanoteknologian soveltuvuutta liukurengastiivistykseen. Tavoitteena oli tiivisteipintojen kuivakäyntikestävyyden parantaminen yksitoimisessa liukurengastiivisteessä.</p> <p>Keraamisten tiivisterenkaiden tilalle suunniteltiin haponkestävät kappaleet, jotka timanttipinnoitettiin laserablaatiomenetelmällä. Perusaineen materiaaliksi valittiin Avestan 654 SMO. Tässä tutkimuksessa haluttiin ratkaista tiivisteiden kuivakäyntitilanne, jota keraaminen tiivisterengas ei aina kestä. Tämän selvityksen avulla pyrittiin soveltamaan nanoteknologiaa liukurengastiivisteiden pinnoittemateriaaliin. Opinnäytetyössä tutkittiin amorfista timanttipinnoitetta ja pinnoittamista hyvinkin tarkasti.</p> <p>Varsinaisena koeajoympäristönä oli fosforihappotuotannossa toimiva prosessipumppu, jonka tiivisteessä testattiin timanttipinnoitteen kestävyttä prosessiympäristössä. Pinnoitteen kestävyys ei ollut odotetun kaltainen, mutta hyvää tutkimusaineistoa saatiin runsaasti.</p>			
Avainsanat Liukurengastiiviste, laserpinnoite, timanttipinnoite			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Erkki Sallinen			
Title of Thesis Testing the Suitability of Nanotechnology for a New Type of Slide Ring Seal			
Date	9 May 2011	Pages/Appendices	35
Supervisor(s) Mr. Mika Mäkinen, Lecturer and Mr. Jukka Korhonen, Maintenance Manager			
Project/Partners Yara Suomi Oy Siilinjärven tehtaat			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to bring a new kind of application to slip-ring seals and to gain valuable information on the new sealing material by testing the suitability of nanotechnology for slide ring sealing. Another aim was to improve the dry-run sustainability of seal surfaces in a single acting slide ring seal.</p> <p>Since ceramic seal rings do not always hold, they were replaced by stainless steel pieces coated with the laser ablation method. Avesta 654 SMO was chosen as the basic material of the substance. Amorphous diamond was also studied very accurately. In order to test the diamond surface in a real process environment, the process pump in use in the phosphoric acid production was chosen as a test environment.</p> <p>As result, the coating resistance was not as expected. However, the received research material can be utilized in later studies.</p>			
Keywords slide ring seal, laser coating, diamond coating			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	YHTEISTYÖKUMPPANIT	7
2.1	Yara Oy	7
2.2	Picodeon Ltd Oy	8
2.3	Savonia ammattikorkeakoulu	8
3	TUTKIMUSLAITTEET JA -MENETELMÄT	10
3.1	Atomivoimamikroskopia.....	10
3.2	Ball on disk tribometri	11
3.3	Kovuusmittauslaite.....	12
4	PINNOITUS.....	14
4.1	Pinnoitettava materiaali	14
4.2	Pinnoitusmenetelmä	16
4.3	Pinnoittaminen.....	16
4.3	Kulutustestaus	18
5	MATERIAALITUTKIMUS	21
5.1	AFM -tutkimus	21
5.2	Kovuusmittaus	23
6	KOEAJO.....	24
6.1	Koeajolaitteisto	29
6.2	Koeajo	30
7	TULOSTEN ARVIOINTI	32
8	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	

1. JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Yara Suomi Oy:lle. Työssä suunniteltiin ja valmistettiin materiaaliltaan uudentyypinen liukurengastiiviste. Liukurengastiivisten kuivakäytikestävyuden parantamiseen suuntaavassa tutkimustyössä tutkittiin tiivistepintojen pinnoittamista uudella pinnoitusmenetelmällä.

Tutkimus oli tarpeellinen, koska prosessipumppujen rikkoutumisen yhteydessä oli ilmennyt, että yksitoimisen liukurengastiivisten keraaminen tiivistepinta rikkoontuu usein juuri kuivakäynnin seurauksena. Tiivistevauriot ovat yksi suurimmista prosessipumppujen kunnossapitokustannusten aiheuttajista. Tiivistevaurioiden aiheuttamat ylimääräiset seisokit aiheuttavat suuria tuotannonmenetyksiä kemianteollisuudessa.

Opinnäytetyössä selvitettiin uudentyypisen tiivistemateriaalin toimivuutta oikeassa prosessiympäristössä. Keraamisten tiivisterenkaiden tilalle suunniteltiin haponkestävät kappaleet, jotka timanttipinnoitettiin laserablaatio menetelmällä. Perusaineen materiaaliksi valittiin Avestan 654 SMO. Tässä tutkimustyössä haluttiin ratkaista tiivisten kuivakäyntitilanne mitä keraaminen tiivisterengas ei aina kestä.

Tutkimusta varten koeajolaitteeksi valittiin fosforihappotehtaan väkevöintilaitoksen syöttöhappopumppu. Se on keskipakopumppu, jossa oli yksitoiminen liukurengastiiviste. Liukurengastiivisteitä on olemassa sekä yksi- että kaksitoimisia.

Opinnäytetyössä tutkimukset kohdistettiin yhteen tiivisteeseen, joka koeajettiin yhdessä keskipakopumpussa.

2. YHTEISTYÖKUMPPANIT

2.1 Yara Oy

Yara on ainoa lannoiteyhtiö, joka toimii kaikkialla maailmassa ja sillä on vahva asema teollisuustuotteiden erityismarkkinoilla. Yara on maailman suurin kivennäislannoitteiden toimittaja, jolla on myyntiä yli 120 maahan. Yhtiöllä on toimipaikkoja yli 50 maassa ja liikevaihto oli 7,7 miljardia euroa vuonna 2009.

Henkilöstöä Yaralla on noin 7 600. Yhtiön pääkonttori on Oslossa, Norjassa ja yhtiön pääjohtaja on Jørgen Haslestad. Yara on perustettu vuonna 1905, nimellä Norsk Hydro.

[1]

Yara Suomi Oy on Yara International ASA:n tytäryhtiö, joka tarjoaa viljelijöille ja metsänomistajille kattavan lannoitevalikoiman. Yhtiö tarjoaa typpikemikaaleja ja teknisiä nitraatteja eri teollisuuden aloille sekä ympäristön suojeluun käytettäviä tuotteita.

Yaralla on Suomessa neljä tuotantolaitosta: Uudessakaupungissa, Harjavallassa, Kokkolassa ja Siilinjärvellä. Siilinjärvellä toimii myös Länsi-Euroopan ainoa fosfaattikaivos. Vihdissä sijaitsee Yara Suomen Kotkaniemen tutkimusasema, jolla on tehty tutkimus- ja kehitystyötä vuodesta 1961. Yara työllistää Suomessa lähes 900 henkilöä valmistuksen, tuotekehityksen, myynnin ja markkinoinnin parissa. Tästä osoituksena Yaran säkkeihin on merkitty kotimaista tuotantoa kuvaava avainlipputunnus. Suomessa Yara on toiminut vuodesta 2008 Yaran ostettua Kemira GrowHow'n.

Siilinjärven tehtaiden tuotanto käynnistyi vuonna 1969. Yara Oy:n henkilöstömäärä Siilinjärvellä on noin 350, lisäksi yhteistyökumppanit työllistävät noin 150 henkilöä toimipaikalla.

[1]

Yaran Siilinjärven tehtaiden päätuoteryhmät ovat lannoitteet ja fosforihapot. Fosforihappo menee jatkojalostukseen lannoiteteollisuuteen sekä eläinrehuteollisuuteen koti- ja ulkomaille. Lannoitteita käytetään pääosin kotimaan peltoviljelyssä. Lisäksi tuotteita ovat esim. ammoniakkivesi ja tekninen typpiliuos. Siilinjärven toimipaikalla valmistetaan yli puolet fosforihappojen ja lannoitteiden valmistamiseen tarvittavista materiaaleista, joita ovat rikkihappo, typpihappo ja apatiitti. Apatiitti louhitaan omasta

avolouhoksesta. Tärkeimmät asiakkaat tulevat elintarviketeollisuudesta ja maataloudesta.

Siilinjärven Yaralla prosessilaitteiden mekaaninen kunnossapito tehdään osittain omana työnä. Mekaaniseen kunnossapitoon kuuluva n. 20 henkilön prosessilaittehuoltotiimi huolehtii prosessilaitteiden ennakkohuollosta, kunnonvalvonnasta, koneasennuksista, erikoismateriaalien hitsauksista, keskeisten varaosien valmistuksesta ja niiden varastoinnista. Kunnossapito huolehtii myös laitekehityksestä ja ennakoidusta kunnossapidosta. Prosessilaittehuoltotiimin lisäksi mekaanisen kunnossapidon henkilöitä työskentelee eri tuotantolaitoksilla n. 20 henkeä tehtaiden päivittäisen kunnossapidon parissa.

[2]

2.2 Picodeon Ltd Oy

Picodeon Ltd Oy on nanoteknisiin pinnoiteratkaisuihin erikoistunut yritys. Yhtiön toimiala on tekniikan tutkimus ja kehittäminen. Picodeonin patentoitu Coldab-ohutkalvoteknologia mahdollistaa entistä tehokkaampia aurinkokenno-, polttokenno- ja akkuratkaisuja. Coldab-teknologia mahdollistaa myös lämmölle herkkien materiaalien pinnoittamisen. Valmistusteknologia on energiatehokas ja sen avulla voidaan myös tehokkaasti hyödyntää niukkoja tai/ja kalliita raaka-aineita.

Picodeon on pohjoismainen yhtiö, jonka pääkonttori on Helsingissä. Picodeonilla on myyntikonttori Malmössä Ruotsissa. Yhtiön toimitusjohtaja on Jukka Häyrynen. Picodeonin edustaja Kuopiossa on biomateriaalitekniikan professori Reijo Lappalainen. Kuopiossa Picodeonin pinnoituslaboratorio sijaitsee Mikroteknialla. Tämän opinnäytetyön laboratoriotöissä oli mukana Picodeon Ltd Oy:n insinööri Mika Kauppinen.

[3]

2.3 Savonia-ammattikorkeakoulu

Savonia-ammattikorkeakoulu on yksi Suomen suurimmista ja monipuolisimmista ammattikorkeakouluista. Koulutusta on mahdollista saada kuudella eri koulutuslallalla ja opiskelijoita Savonia-ammattikorkeakoulussa on noin 7 000. Mikrosensorilaboratorio sijaitsee yritysten keskellä Kuopion Savilahden kampusalueella (Tecnopolis tower, Q-osa), ja se on osa Centek Labs -yhteiskäyttölaboratoriota, johon kuuluvat Honeywell Oy, Kuopion yliopisto, Savonia-amk, Kuopio Innovation Oy ja VTT Kuo-

pio. Savonia-ammattikorkeakoulu on myös osa PROMIS-keskusta (Pharmaceutical Process Measurement and Simulation Centre), jonka muita toimijoita ovat Kuopion yliopisto, VTT Kuopio ja Joensuun yliopisto.

[4]

3. TUTKIMUSLAITTEET JA -MENETELMÄT

3.1 Atomivoimamikroskopia (AFM)

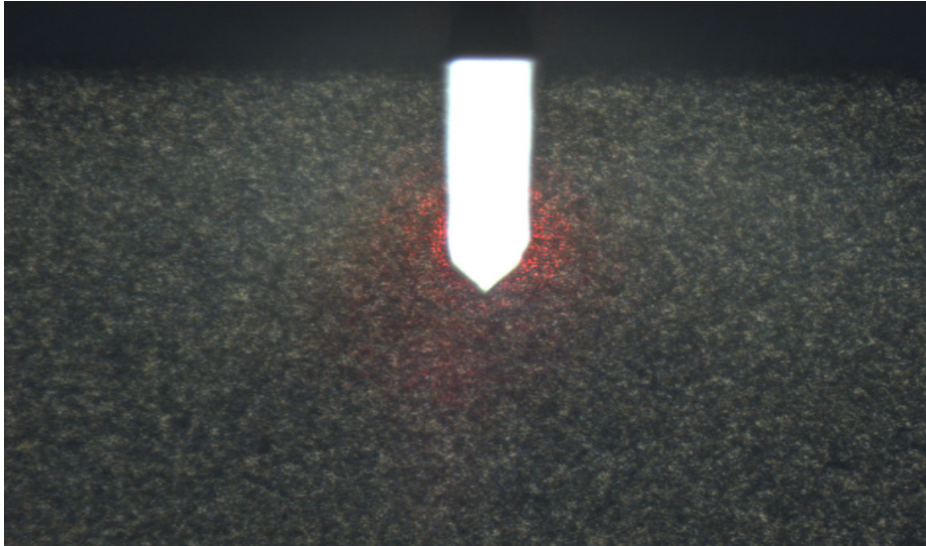
Park Systems PSIA XE-100 atomivoimamikroskoopilla, AFM (atomic force microscope), on mahdollista mittauskohteen pinnanmuotojen 3D-kuvantaminen jopa atomitason tarkkuudella. Mittauksessa erittäin pientä neulamaista mittakärkeä kuljetetaan näytteen pintaa pitkin. Yleensä mittakärki ei kosketa tutkittavaan pintaan (non contact mode). On myös mahdollista mitata kosteille biologisille näytteille, kuten soluille ja bakteereille. Näytettä ei tarvitse yleensä esikäsitellä eikä mittausta tehdä tyhjiössä. Tarkkuus on nykytekniikoista paras, mutta on huomioitava, että kuvantamisalue on kerrallaan 50 x 50 mikrometriä. Kuvantamisen lisäksi laitteistolla voidaan tutkia myös pintojen mekaanisia ominaisuuksia (nanoindentaatio) ja sähkönjohtavuutta. AFM:llä voidaan myös liikuttaa nanopartikkeleja ja tehdä mikrorakenteiden työstämiseen liittyvää litografiaa.

Järjestelmä on ollut käytössä Savoniassa vuodesta 2005 lähtien. Esimerkiksi piin päälle työstettyjen rakenteiden lisäksi voidaan tutkia mm. luun mikrorakennetta, solua biofilmejä sekä rakennusmateriaaleja vaurioittavia homeita ja sieniä.

Näytteen maksimi koko on 20 x 100 x 100 mm ja paino 500 g. Z-suunnan resoluutio on 0,05 nm (tai 0,01 nm, low voltage mode) ja XY-tason resoluutio riippuu mittakärjen pään säteestä, joka on yleensä 5 - 20 nm.

Atomivoimamikroskopiassa (non-contact mode) hyödynnetään mittakärjen ja näytteen pinta-atomien välistä van der Waals -vetovoimaa. Non-contact-kuvauksessa pintaa tunnusteleva mittakärki ei kosketa näytteen pintaa. Kärjen skannausliike muodostetaan pietsosähköisellä elementillä. 3D-kuvan lisäksi saadaan tietoa pinnan korkeusvaihteluista, voidaan tutkia pinnoitteiden sähkönjohtavuutta ja tehdä mittakärjen avulla mekaanista koestusta tai naarmutusta. Kuvassa 1 on AMF:n valokuva timanttipinnoitetun kappaleen pinnalta, ja kuvassa näkyy myös laitteen mittakärki. Atomivoimamikroskoopin avulla saadaan määritettyä pinnoitteissa esiintyvät korkeuserot ja pinnankarheus (Ra) alle 0,05 nanometrin tarkkuudella. Laite toimii siis profilometrina.

[4]



KUVA 1. AFM:n valokuva pinnoitteen pinnalta. Kuva Ari Halvari

3.2 Ball on disk -tribometri

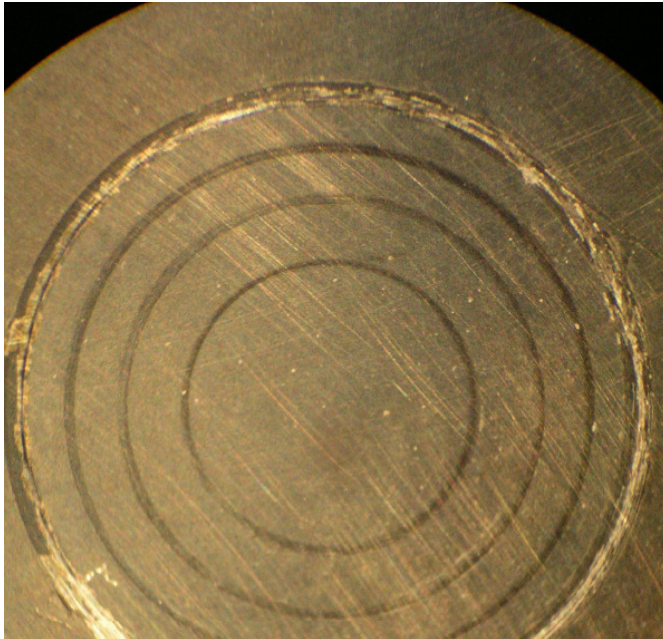
Kuopion yliopiston fysiikan laitoksen Ball on disk -kuormituskoeajolaitteistolla, tribometrillä, tutkittiin pinnoitteen kemiallista ja mekaanista kestävyyttä. Kyseessä on karkeakulutuslaitteisto, jossa tarvitaan kahta näytekappaletta. Tappi- tai pallovastinpintaa painetaan tietyllä kuormalla vasten näytekiekkoa, joka on pyörimisliikkeessä. Testattava kappale kiinnitetään pyörivään alustaan. Koestukseen käytetään timanttipinnoitettua painoa, jonka kohdistussädettä alustalla voidaan muuttaa. Kappaleen pintaan kohdistuva vakiovoima voidaan määrittää erikseen. Kulumistulokset raportoidaan erikseen tapin ja kiekon tai pallon ja kiekon tilavuuden muutoksena. Kulustestauksen voi suorittaa Kuopion yliopiston fysiikan laitoksella tai Savonia-ammattikorkeakoululla Opistotien kampuksella. Tuloksina saadaan myös käytetyn voiman ja aiheutetun kitkanvoiman vertailuarvot. Mikrometrillä säädetään poikkeutusympyrä, varren lisäpainoilla puristusvoima, moottorinsäätimellä kehänopeus ja varren anturilla mitataan poikkeutusvoimaa.

Testaus on mahdollista tehdä standarditestinä SFS-EN 438 -2 (Resistance to surface wear). Mutta koska haluttiin testata pinnoitteen kiinnipysyvyyttä tällä kokeella, ei toimittu standardin mukaisesti.

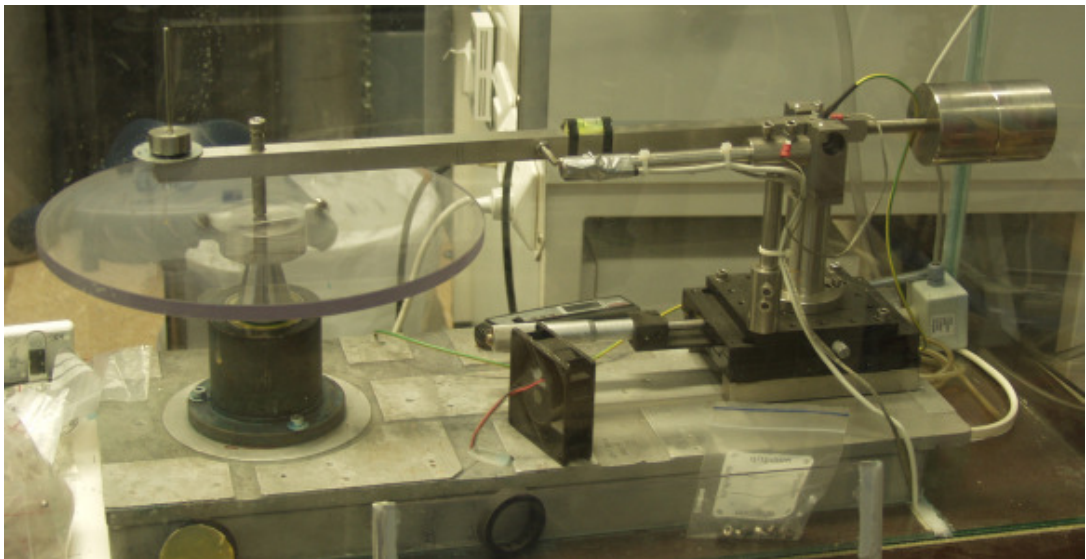
[10]

Käytimme tätä koetta varten valmistettuja ja pinnoitettuja teräskiekkokoja sekä pallopäistä tappia. Pinnoitettua teräskiekkokoja oli liotettu 60 prosenttisessa fosforihapossa 14 vuorokautta, ennen kuin aloitimme kuormituskokeen. Itse kokeen kuluessa li-

säsimme painoja niin kauan kunnes pinnoite meni puhki, minkä voi havaita kuvasta 2. Pinnoitteen rikkoontuessa oli lisäpainoa 147 g. Kuormituskoetehtiin siten, että pinnoitettua kiekkoa pyöritettiin fosforihappoa sisältävässä maljassa.



KUVA 2. Valokuva kulutustestauksessa olleesta koekappaleesta, jonka uloin kehä on pinnoitteen puhki ajokokeen jälki. Kuva Erkki Sallinen



KUVA 3. Kulutustestauksessa käytettävä laitteisto. Kuva Hannu Korhonen

3.3 Kovuusmittauslaite Matsuzawa MMT -X7

Kovuusmittaus suoritetaan Vickersin käyttäen menetelmää, jossa mittakärjen muoto on neliöpohjainen pyramidi. Kovuusmittari painaa automaattisesti valittua kuormaa käyttäen jättää mittakärjellä kappaleeseen painauman, minkä jälkeen painauman

halkaisijat mitataan laitteen mikroskoopin avulla tai näytöltä Picsara-ohjelman avulla. Molemmissa tapauksissa mittalaite laskee automaattisesti kuormituksen ja painaman pinta-alan lukuarvojen suhteen kovuudeksi.

Lisäksi Picsara-ohjelman avulla pystytään ottamaan materiaalista mikroskooppikuvia ja tekemään standardin mukainen mittausraportti, johon voi liittää myös kuvia.

Kovuus kuvaa materiaalin kykyä vastustaa siihen tunkeutuvaa esinettä, naarmuuntumista, kulumista tai leikkautumista. Materiaalin kovuuden määrittämisessä mikrokovuudella ei tarkoiteta materiaalin pientä kovuutta, vaan mikrokovuus kuvaa mittaus-
tapaa, jossa painetaan mikrokokoinen painauma pienellä, useimmiten alle 2 kg:n kuormalla.

[4]

Mikrokovuus mitataan standardin SFS-EN ISO 4516 mukaan. Mikrokovuusmittaus sopii pienen painauman ansiosta esimerkiksi pinnoitteiden kovuuden määrittämiseen, koska niiden materiaalipaksuus on pieni.

[11]



KUVA 4. Kovuusmittauksessa käytettävä laitteisto. Kuva Savonia-amk

4. PINNOITUS

Pinnoitteeksi valittiin nanotimanttipinnoite. Timanttipinnoitteet valmistetaan laboratoriossa kehitetyllä plasmapinnoituslaitteistolla törmäyttämällä hiili-ioneja pulsseissa sopivalla energialla näytteeseen, jolloin näytteen pintaan kerrostuva hiili muodostaa timanttisidoksia. Hiili-ionit synnytetään grafiittikatodista, jossa voimakkaan sähköpurkauksen avulla syntyy hiiliplasmaa, joka ohjataan näytteelle. Timanttipinnoitteella on samoja ominaisuuksia kuin luonnontimantilla: se on esimerkiksi äärimmäisen kovaa ja kemiallisesti reagoimatonta. Timanttipinnoite on amorfista, mikä tarkoittaa, että pinnoitteessa hiiliatomit eivät ole järjestäytyneet säännölliseen kidehiltaan vaan ovat ilman järjestystä.

[6]

Termi nanoteknologia viittaa äärimmäisten pienten rakenteiden tuottamiseen, tutkimukseen ja käyttöön. Sana nano tulee kreikan kielestä ja tarkoittaa kääpiöitä. Yksi nm (nanometri) on millimetrin miljoonasosa eli noin kymmenestuhannesosa ihmisen hiuksen paksuudesta.

Nanometri mittayksikkönä on yksittäisten atomien ja pienten molekyylien tasolla. Yhden nanometrin matkalle mahtuu noin 4 - 6 atomia. Nanomittasuhteissa olevat partikkelit, niin kutsutut nanopartikkelit tai polymeerit (pienempiä kuin 100 nm), ovat tämän teknologian rakennuspalikoita. Kyky käyttää materiaaleja tällä atomien tasolla ja tämän tason ainutlaatuisen ilmiöiden käyttö tarjoavat suunnattomia mahdollisuuksia lähes kaikilla alueilla, esimerkiksi energia- ja säilöntäteknologiassa, tietotekniikassa, lääketieteessä ja farmasiassa. Atomien tasolla rajat kemian, biologian ja fysiikan välillä hälvänevät. Nanoteknologia onkin poikkitieteellistä teknologiaa, jossa tutkimusalueitten rajoja ei liiemmin ole.

[8]

4.1 Pinnoitettava materiaali

Avesta 654 SMO on erittäin hyvin korroosiota kestävä superausteniittinen ruostumaton teräs. Patentoitu teräs ei kuulu amerikkalaisen eikä eurooppalaisen valuterässtandardin piiriin. Teräs on osoittautunut hyväksi pumppumateriaaliksi vaativissa korrosio-olosuhteissa, kuten perusmetallin syövyttävissä liuoksissa.

Ominaisuudet johtuvat runsaasta seostuksesta. Pääseosaineiden pitoisuudet ovat tasolla; ~ 24 % Cr, ~ 22 % Ni, ~ 7,3 % Mo ja ~ 0,5 % N. Avesta 654 SMO:n kemiallinen koostumus on esitetty taulukossa 1.

Valetut runsaasti seostetut teräkset eroavat analyysiltään jonkin verran vastaavista muokatuista teräksistä. CF-8M ja CG-8M vastaavat muokattuja laatuja AISI 316 ja 317. Matalahiiliset laadut ovat vastaavasti CF-3M ja CG-3M sekä muokatuissa teräksissä AISI 316L ja 317L. Edellä mainituissa valuteräksissä on tavallisesti deltaferriittiä n.10 - 20 %. Kun ferriitin määrä teräksissä kasvaa, päädytään austeniittis-ferriittisiin teräksiin. Deltaferriitin muodostuminen on esitetty kuvassa 5.

[7]

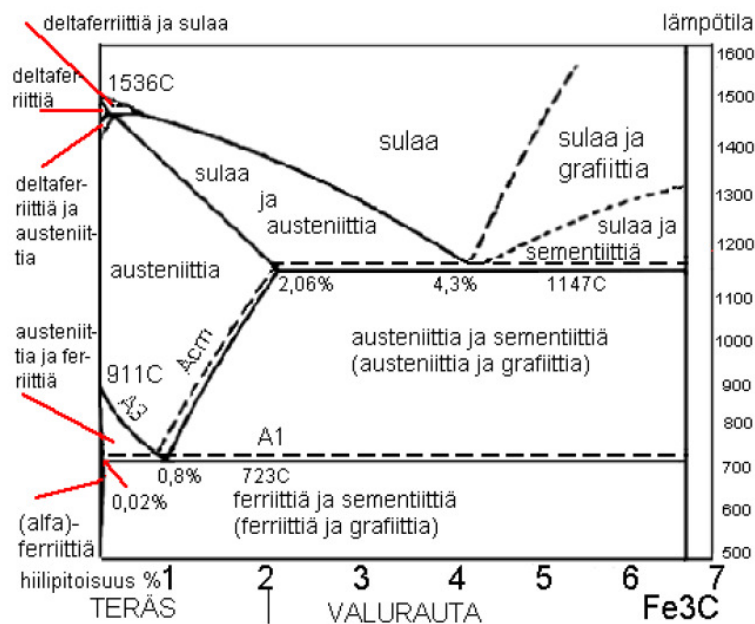
TAULUKKO 1. Avesta 654 SMO kemiallinen koostumus

Table 1: Chemical composition and mechanical properties of Avesta 654 SMO

Typical composition, %							Mechanical properties 25°C			
C _{max}	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	N	min. values, MPa		A ₅ , %	
							R _{p0.2}	R _{p1.0}	R _m	
0.02	2-4	24	22	7.3	0.5	0.5	430	470	750	40

Table 2: Chemical composition of the test material

Test material		Chemical composition, %											
Alloy	UNS No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe	N	Cu	Other
316	S31600	.017	.43	1.60	.031	.001	17.2	12.6	2.60	Bal	-	-	
254 SMO®	S31254	.019	.38	.42	.021	.001	20.0	18.2	6.04	Bal	.199	.72	
SAF 2507™	S32750	.014	.20	.39	.012	.001	24.9	7.0	3.77	Bal	.284	-	
654 SMO™	-	.017	.29	2.0	.021	.001	24.3	22.0	7.30	Bal	.452	.43	
625	N06625	.013	.15	.10	.006	.002	22.1	Bal	9.39	n.a.	-	-	Ti, Nb
C-276	N10276	.006	.02	.21	.005	.004	15.9	Bal	16.5	7.6	-	-	W



KUVA 5. Rauta-hiili tasapainopiirros, jossa näkyy deltaferriitin muodostuminen

4.2 Pinnoitusmenetelmä

PVD-pinnoitus – Physical Vapor Deposition -mahdollistaa esineen pinnoittamisen hyvin ohuella kerroksella. Esineen perusominaisuudet säilyvät ennallaan, mutta sen pintaominaisuudet noudattavat pinnoitteen ominaisuuksia. PVD-järjestelmä perustuu kohde-esineen pommittamiseen suurenergisillä pinnoitehiukkasilla. Plasmaksi kuumennettu pinnoiteaine ohjataan tyhjiössä kohde-esineen pinnalle.

Menetelmän hyviä puolia ovat kohde-esineen pysyminen suhteellisen matalassa lämpötilassa ja se, ettei prosessissa synny haitallisia kemikaaleja tai muutakaan jätettä. Koska pinnoitus tapahtuu käytännössä atomi kerrallaan, on lopputulos hyvin tasainen ja noudattaa alkuperäisiä pinnanmuotoja. Tällä menetelmällä pinnoite pysyy kohde-esineessä vain, jos pinnoitettava pinta on puhdistettu huolellisesti. Puhdistus suoritetaan yleensä samassa tyhjiökammiossa sputteroimalla eli pommittamalla esineen pinta ionisuihkulla, joka irrottaa pinnasta ohuen kerroksen. Lopulliseksi pinnoitekerroksen paksuudeksi tulee yleensä vain muutamia mikrometrejä.



KUVA 6. Valokuva on pinnoitetusta tiivisterenkaasta. Kuva Erkki Sallinen

4.3 Pinnoittaminen

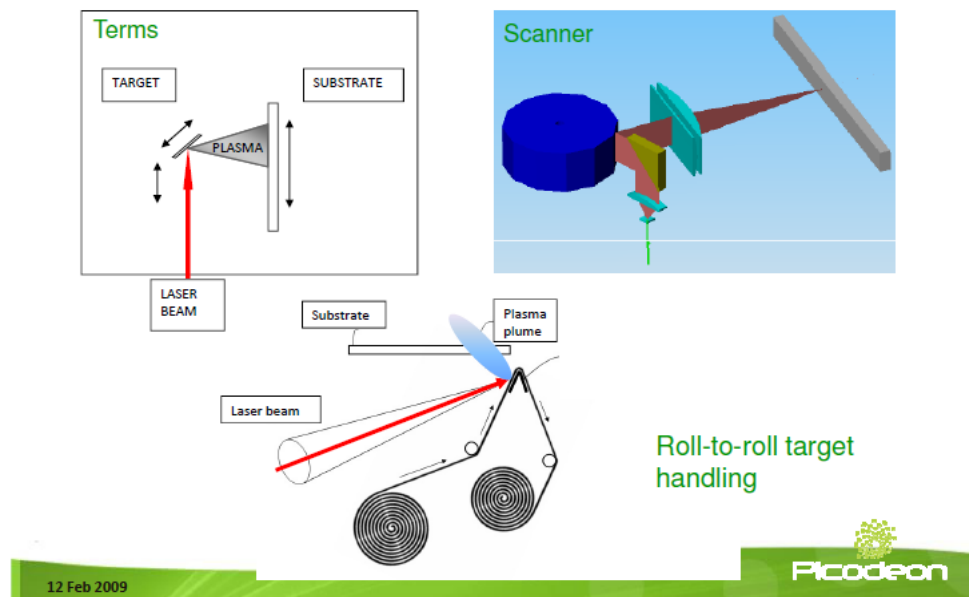
Tiivistepinnan perusmateriaaliksi valittiin materiaalin ominaisuuksien perusteella Avestan 654 SMO ja pinnoitus tehtiin sen pinnalle. Pinnoite on amorfinen timanttipinnoite, joka on ylivoimainen pinnoitemateriaali. Sen käytön ainoa rajoitus on n.600 °C lämpötilassa alkava grafitoituminen ja oksidoituminen.

Ennen varsinaisten tiivistepintojen pinnoittamista, laboratoriokokeita varten teetettiin pallopäinen sauva ja 2 kpl halkaisijaltaan 30 mm:n kiekkoa. Varsinaiset tiivisterenkaat pinnoitettiin vasta kun koekappaleet oli onnistuneesti pinnoitettu ja kulutustestauksin todettu, että pinnoite pysyy kiinni perusaineessa. Pinnoitteen paksuudeksi arvioitiin tulevan 1 µm, n. 240 nm kerrospaksuuksilla, mutta tiivisterenkaissa timanttipinnoite oli vain n. 0,4 µm paksu. Sekä koekappaleissa että tiivisterenkaissa perusaineen pinnalaatuun ja karheuteen kiinnitettiin erityisesti huomiota. Liukupintojen tasomaisuus yli 95 % saavutettiin läppäämällä.

Pinnoituslaitteisto, jota tässä työssä käytettiin, on pikosekuntipulssilaser. Se on Pico-deonin kehittämä tyhjiökammio-pinnoituslaite, jossa pulssitetulla lasersäteellä pommitetaan grafiittilevyä, josta plasma irtoaa ja lentää pinnoitettavan kappaleen pinnalle, törmäten siihen suurella nopeudella. Kammio-pinnoituslaitteiston periaate on esitetty kuvassa 7. Pinnoitus kammion tyhjiö on 1×10^{-7} mbar ja pikosekunti on sekunnin tuhannesmiljardisosa (10^{-12} :s)

[3]

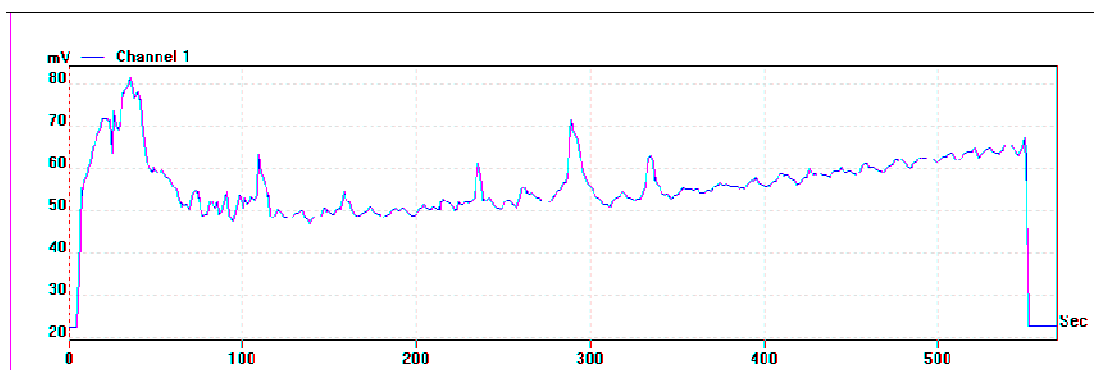
Rough lay-out and terms



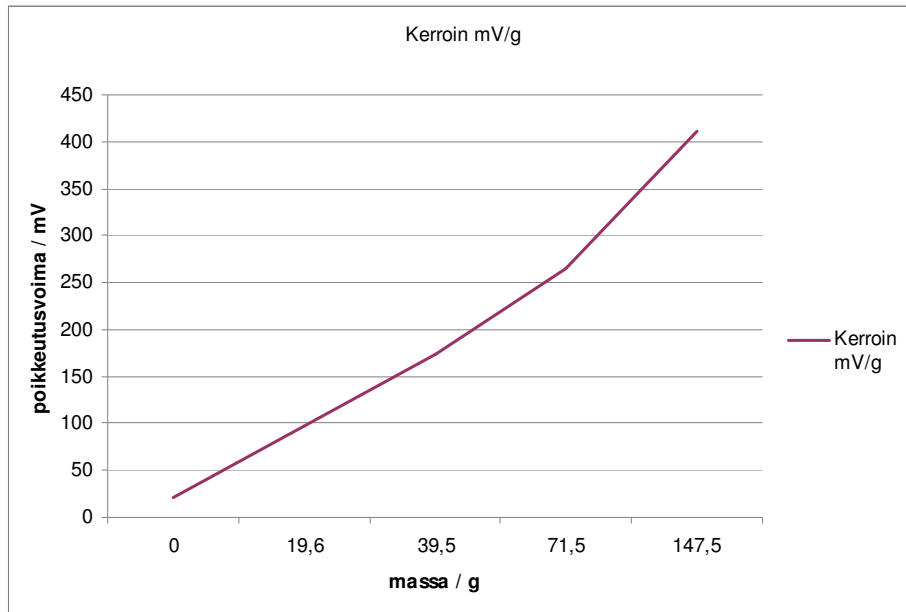
KUVA 7. Periaatekuva Picodeonin kammio-pinnoituslaitteistosta [3]

4.4 Kulutustestaus

Kitkakertoimen määrittäminen tehtiin Ball On Disk (POD) -laitteiston avulla. Lisäpainon ja poikkeutusvoiman arvoista saatiin laskettua kerroin, jota tarvittiin laskettaessa kitkakerrointa. Laitteisto mittaa poikkeutusvoiman millivolteina. Mitatun poikkeutusvoiman ja massan avulla lasketut arvot näkyvät taulukossa 2. Apukerroin muodostui mitatun- ja lähtöarvon erotuksesta jaettuna lisäpainon massalla. Tämä esitetään kuvassa 9.



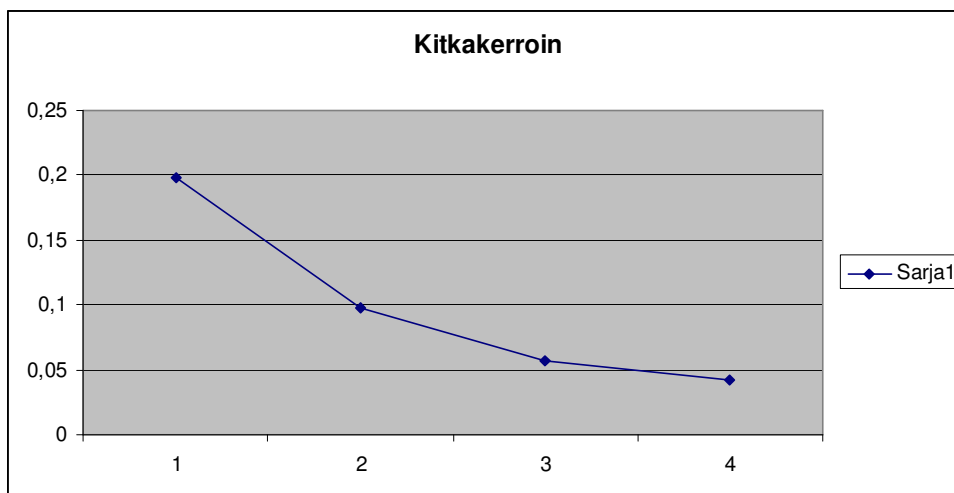
KUVA 8. Ball On Disk (POD) – laitteisto mittaa poikkeutusvoiman millivolteina



KUVA 9. Kulmakerroin

TAULUKKO 2. Kuormituskoe

massa / g	mitattu voima / mV	apukerroin / mV/g	t / C°	RH (%)
0	21,5		21,6	45
19,6	97,5	3,877551	21,6	45
39,5	173,5	3,848101	21,6	45
71,5	264,5	3,398601	21,6	45
147,5	411,5	2,644068	21,6	45



KUVA 10. Kitkakerroin

TAULUKKO 3. Kitkakertoimen määrittäminen

mitattu voima / mV	kerroin K	massa / g	kitkakerroin
31,4	2,553158	19,6	0,1978342
37,5	4,157895	39,5	0,0974203
66	13,09362	59,1	0,0575059
115	27,39857	81,3	0,0419752

$$\text{kerroin } K = \frac{\text{mitattu}(mV) - \text{lähtölukema}(mV)}{\text{massa}(g)}$$

$$\mu = \frac{\text{mitattu}(mV) - \text{lähtölukema}(mV)}{\text{kerroin}(mV / g)} \Rightarrow \frac{\text{mitattu}(mV) - \text{lähtölukema}(mV)}{\text{kerroin}(mV / g) \times \text{massa}(g)}$$

Kaavalla saadaan laskettua kitkakerroin kulutustestauslaitteella mitattujen arvojen avulla. Lasketut kitkakertoimen arvot löytyvät taulukosta 3.

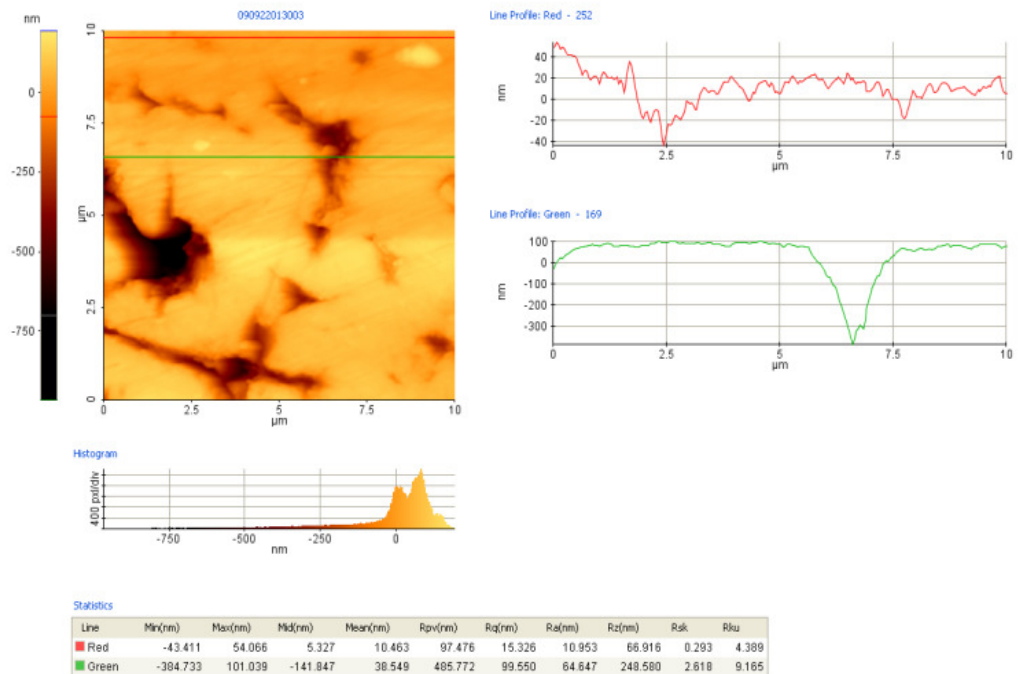
5. MATERIAALITUTKIMUS

5.1 AFM tutkimus

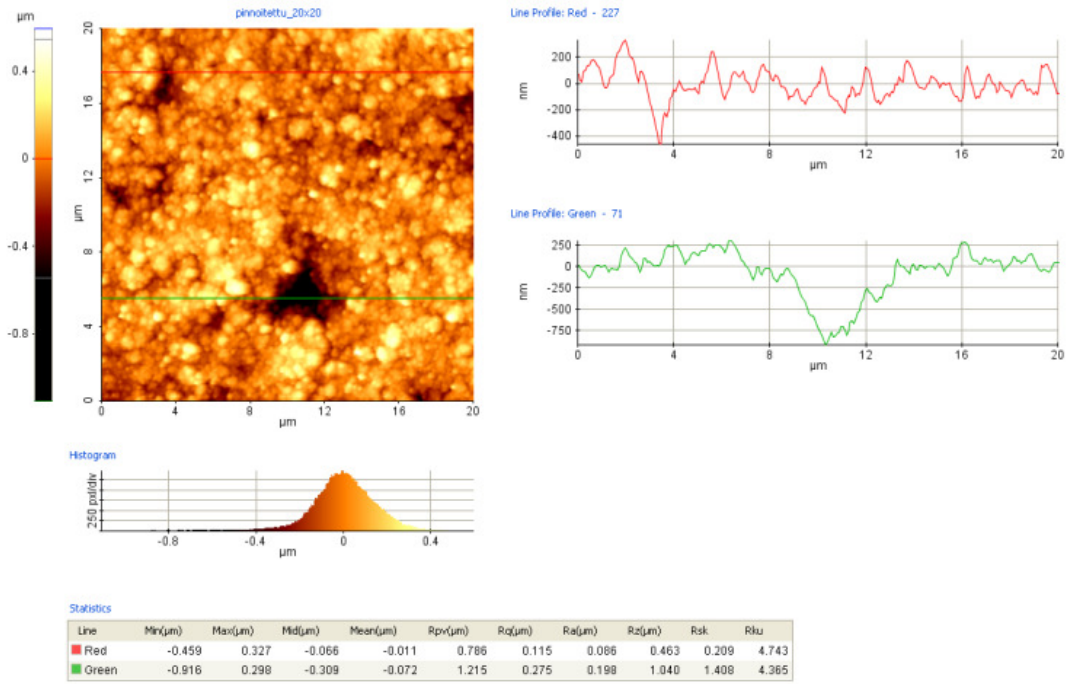
Atomivoimamikroskoopilla tutkittiin pinnan laatua perusaineesta ja pinnoitteesta. Vertailun vuoksi otettiin mukaan keraaminen tiiviste, jonka pinnanlaatu näkyy kuvassa 13.

Kuvatut alueet ovat hyvin pieniä, vain 10 ja 20 μm . Kuvista 11 ja 12 käy ilmi, ettei pinnoite juurikaan paranna pinnanlaatua. Kuopat näkyvät selkeästi.

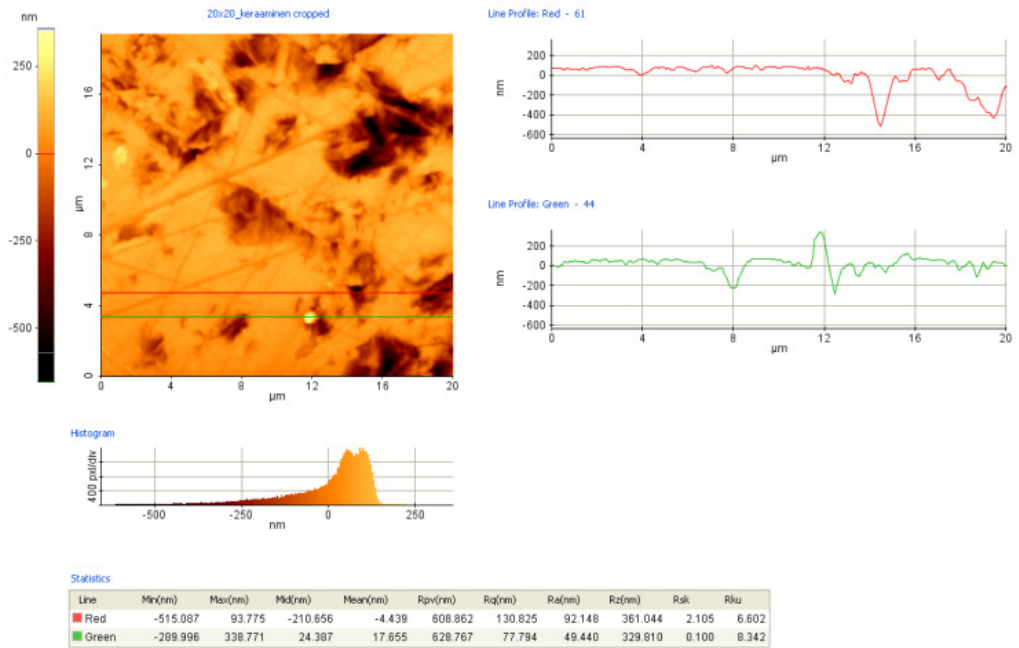
Pinnoitetun kappaleen kuvan rakeet ovat alle 1 nm kokoisia.



KUVA 11. AFM-kuva perusaineen pinnalta



KUVA 12. AFM- kuva pinnoitteen pinnalta



KUVA 13. AFM- kuva keraamisen tiivisteiden pinnalta

5.2 Kovuusmittaus

Pinnoitetun koekappaleen pinnalta mitattiin kovuus viidestä eri kohdasta Savonia-amk:n mikrokovuusmittauslaitteella. Vickersin kovuus on koevoiman ja painuman pinta-alan lukuarvojen suhde. Laskentakaava on esitetty kuvassa 14. Painuman oletetaan olevan neliöpohjaisen säännöllisen pyramidin muotoinen ja sen kärkikulma on sama kuin paininkärjellä.

Tunnus / Lyhenne	Käsite
α	Paininkärjen vastakaisten sivutahkojen välinen kulma (136°)
F	Koevoima Newtonina (N)
d	Lävistäjien d_1 ja d_2 aritmeettinen keskiarvo (ks. kuva 1)
HV	Vickersin kovuus = Vakio $\times \frac{\text{Koevoima}}{\text{Painuman pinta-ala}} = 0,102 \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2}$
HUOM. Vakio = 0,102 = 1/9,806 65, missä 9,80665 muunnoskerroin yksiköstä kgf yksikköön N.	

KUVA 14. Vickersin kovuus

[12]

Standardissa SFS-EN ISO 6507 metallien Vickersin kovuuskokeen suoritusperiaate määritetään seuraavasti: Neliöpohjainen säännöllinen timanttipyramidi, jonka vastakaisten sivutahkojen välinen kulma on määrätty, painetaan koekappaleeseen ja koevoiman F poistamisen jälkeen mitataan koekappaleen pintaan jääneen painuman lävistäjät. Standardissa SFS-EN ISO 6507 määritetään koevoimaksi $F \geq 49,03$ N ja painuman lävistäjäksi 0,020 -1,400 mm.

[12]

Mitattujen kovuusarvojen perusteella laskettiin keskiarvo. Viiden mittauksen tulokset on koottu taulukkoon 4. Mittausten keskiarvo oli 1593,5 HV.

TAULUKKO 4. Vickersin kovuusarvot koekappaleen pinnalta

No:	HV - kovuus
1.	615,2
2.	835,3
3.	3093,1
4.	1652,7
5.	1771,3

6. KOEAJO

Keskipakopumppu

Prosessiteollisuuden pumppauksista tehdään n. 80 % keskipakopumpuilla. Keskipakopumpun suuri käyttöaste eri nesteiden pumppauksessa perustuu laajaan soveltavuuteen. Keskipakopumppuja käytetään pumppaamaan nesteitä, joilla on alhainen viskositeetti. Niitä voidaan kuitenkin käyttää myös kohteissa, joissa siirretään suuren kiintoainepitoisuuden omaavia nesteitä. Juoksupyörätyyppi valitaan pumpattavien nesteiden perusteella.

Tyypillisesti keskipakopumpussa neste syötetään pumpun imuaukkoon, joka on yleensä juoksupyörän keskellä. Juoksupyörän pyörivän liikkeen vaikutuksesta pumpattava neste sinkoutuu säteensuuntaisesti ulospäin. Keskipakopumput ovat dynaamisia pumppuja, jotka lisäävät siirrettävään nesteeseen liike-energiaa nopeasti pyörivien siipipyörien avulla. Nesteiden liike-energia kasvaa, kun se kulkee avointen kanavien läpi ja nesteen korkea virtausnopeus aiheuttaa paineen nousun sen tullessa ulos pumpusta.

Prosessiteollisuudessa pumpataan muun muassa nesteitä, jotka ovat korroosiota aiheuttavia, myrkyllisiä tai molempia. Näiden nesteiden ominaisuuksien aiheuttamat vaatimukset erottavat ne yleisistä pumppaustapahtumista, ja niillä on suuri vaikutus käytettävän rakennemateriaalin ja rakenteen sisäisen mekaniikan sekä tiivistetyypin valintaan.

Mekaaninen liukurengastiiviste

Liukurengastiivistettä käytetään pumppujen lisäksi muun muassa kompressoreissa ja sekoittimissa, tavallisesti 10 - 200 mm:n akselin halkaisijoilla. Tiivistin soveltuu lämpötila-alueelle -40... +120 °C, ja normaalisti maksimipaine on 10 bar. Sallittu kehänopeus, 10 - 20 m/s määräytyy käytetyn materiaalin ja vallitsevan lämpötilan funktiona. Erikoisjärjestelyjen sekä huolellisen rakenteen ja materiaalivalintojen avulla voidaan tiivistys toteuttaa onnistuneesti myös huomattavasti vaikeammassakin olosuhteissa.

Tavallisesti akselin mukana pyörivä, jousikuormitteinen liukurengas muodostaa tiivistävän pinnan tukeutuessaan staattiseen vastarenkaaseen. Renkaat liukuvat toisiinsa nähden ja sileiden pintojen väliin jää nestekalvo. Ensisijaisen tärkeää on, että pintojen

väläinen pieni etäisyys pysyy oikeanlaisena, jotta nestekalvon avulla saadaan aikaan haluttu liiketiivistys.

[5]

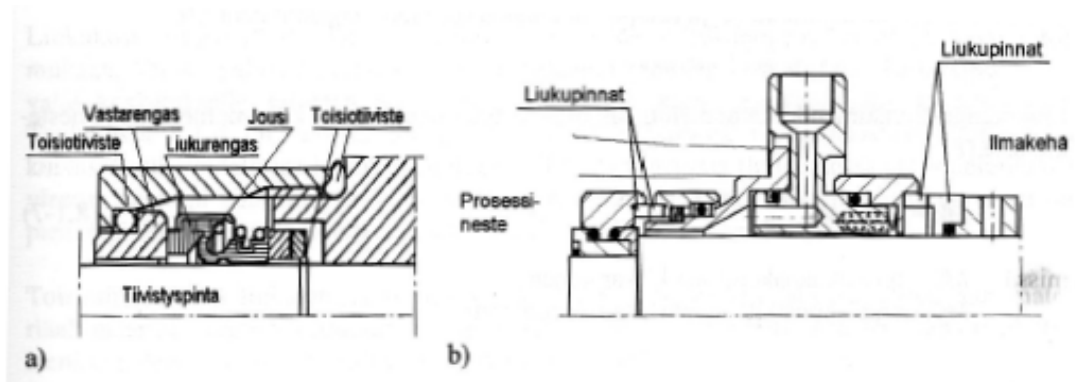
Standardissa SFS-EN 12756 määritellään mekaanisten tiivisteiden periaatteelliset mitat, merkinnät ja materiaalitunnukset. Liukurengastiivisteiden toimintaperiaatteena yksitoimisessa tiivisteessä on yksi liukupintapari ja kaksitoimisessa on toinen liukupintapari ilmakehän ja toinen prosessinesteen puolella. Kaksitoimisessa tiivisteessä sulkuunesteenä käytetään yleensä vettä.

Yksitoimisista liukurengasta käytetään yleisimmin nesteelle, jonka lämpötila pysyy alle nesteen kiehumispisteen.

[13]

Liukupoksi kestää erinomaisesti pumpattavan nesteen painevaihteluja. Se ei kuluta akselia eikä liukupintoihin kohdistu juoksupyörän aiheuttamia iskuja. Jousikuormittainen tiivistepinta on suunniteltu siten, että esimerkiksi akselin pieni suuntavirhe ei rasi- ta tiivistettä tai aiheuta ennen aikaista kulumista. Liukurengastiiviste on dynaaminen tiiviste, jonka pitää aina vähän vuotaa fyysisten ja teknisten syiden takia. Mekaanisen tiivisteiden rakenne, valmistustoleranssit, käyttöolosuhteet, koneen käyntitapa jne. vaikuttavat suuresti tiivisteiden vuodon määrään. Punostiivisteeseen verrattuna liukurengastiiviste vuotaa vähän.

[5]



KUVA 15. Yksitoimisen (a) ja kaksitoimisen (b) liukurengastiivisteiden toimintaperiaatteet

[5]

Liukurengastiivistimen liukupintoja kuormittava voima eli tiivistysvoima F_t voidaan laskea lausekkeesta: $F_t = F_j - F_a + F_p$

jossa

F_j = jousivoima

F_a = liukukosketuksessa vallitsevan paineen aiheuttama aukaiseva voima

F_p = prosessi- tai sulkunesteen paineen aiheuttama sulkeva voima.

Liukupintojen kuormitus riippuu tiivistimen hydraulisesta tasapainosuhteesta. Hydraulinen tasapainosuhte (k) määritellään lausekkeella:

$$k = A_h / A_1$$

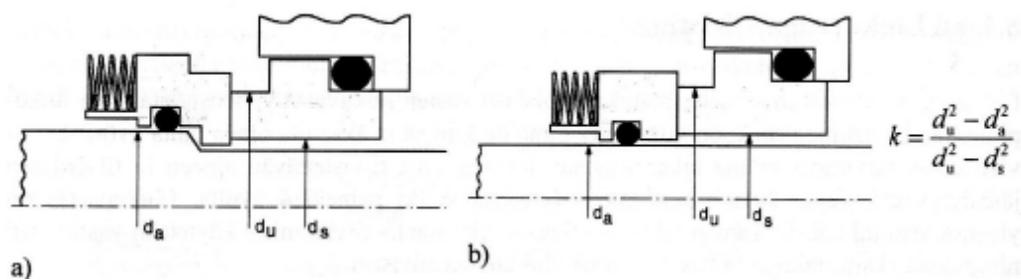
jossa

A_h = tehollinen pinta-ala, johon prosessi- tai sulkunesteen paine kohdistuu

A_1 = liukukosketuksen pinta-ala.

Tasapainotetun tiivistimen k-arvo on pienempi kuin 1 ja tasapainottamattoman suurempi kuin 1. Pienemmällä k-arvolla tiivistysvoima on pienempi ja lämmön kehittyminen vähäisempää. Tällöin liukupinnat pyrkivät helpommin aukeamaan. Suurella k-arvolla on vaarana liukupintojen ylikuormittuminen ja ylikuumeneminen. Tasapainottamaton rakenne on yleisempi, koska tällöin akselissa ei tarvita olaketta, vaan se voi olla suora.

[5]



KUVA 16. Tasapainotettu (a) ja tasapainottamaton (b) liukurengastiivistin

[5]

TAULUKKO 5. Liukurengastiivisteiden liukuparien tyypillisiä kitkakertoimia kuivassa ja voidelluissa liukukosketuksissa

[5]

Liukupari	Kuivakitkakerroin
Metalli/PTFE	0,1
Volframikarbidi/hiili	0,1...0,15
Piikarbidi/hiili	0,1...0,15
Stelliitti/hiili	0,1...0,25
Volframikarbidi/volframikarbidi	0,2
Piikarbidi/Piikarbidi	0,25
Volframikarbidi /piikarbidi	0,2

Voiteluaine	Kitkakerroin
Vesi	0,1
Kevyt hiilivety $v < 2$ cSt	0,02...0,10
Öljy $v = 2...50$ cSt	0,03...0,14
Öljy $v > 50$ cSt	0,04...0,18

Suuremmat kitkakertoimen arvot saavutetaan korkealla liukukosketuksen pintapaineen arvolla.

Liukurengastiivistimen vuoto on yleensä niin pieni, ettei sitä havaitse silmämääräisesti. Tyypillinen vuoto on 0,1 – 10 ml tunnissa. Yleensä vuoto haihtuu ympäröivään ilmaan.

Liukukosketuksen PV-tekijän (liukupinnan pintapaine x liukunopeus) merkitys kasvaa sen mukaan, kuinka paljon liukukosketuksessa tapahtuu pintojen kosketuksia. Tästä syystä kuivalle kosketukselle sallitaan alhaisempia PV-arvoja kuin nestevoidellulle kosketukselle. Tasapainotetussa tiivistimessä voitelutilanne on yleensä parempi kuin tasapainottamattomassa rakenteessa, koska liukupintojen kuormitus on pienempi.

TAULUKKO 6. Liukurengastiivisteiden tyypillisiä PV-arvoja

[5]

Liukupari	PV (MPa/m/s) kuivakosketuksessa	PV (MPa/m/s) vesivoidellussa kosketuksessa	
		tasapainottamaton	tasapainotettu
Piikarbidi/hiili	13,7	9	63
Piikarbidi/piikarbidi	15	5	30
Piikarbidi/volframikarbidi	2,5	4,5	26
Volframikarbidi/hiili	11	7	42
Hiili/ruostumaton teräs	1	0,5	Ei suositella
Stelliitti/hiili	3,6	2,5	8,5

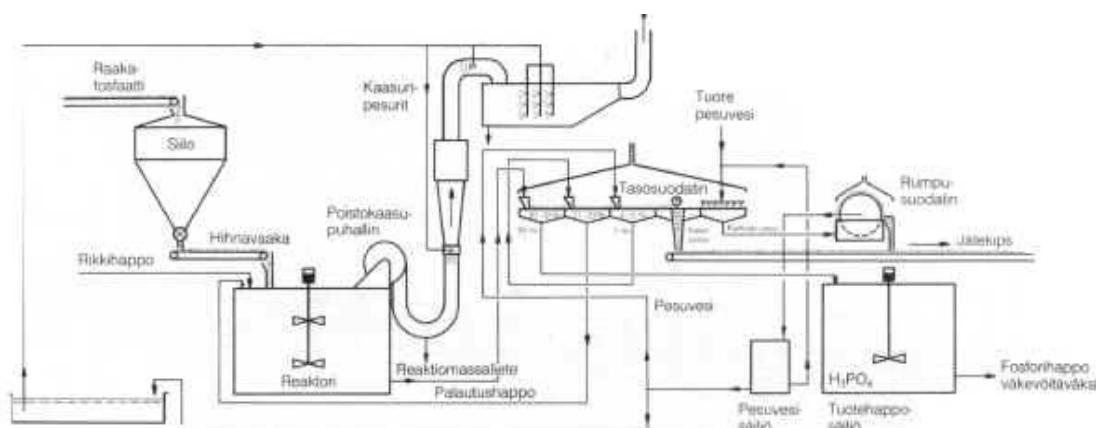
Fosforihappo, H_3PO_4 :

Fosforihappoa, H_3PO_4 , eli ortofosforihappoa valmistetaan difosforipentoksidista ja vedestä. Samasta anhydridistä muodostuu myös metafosforihappoa, HPO_3 . Fosforihappo kiteytyy lasinkirkkaina rombisina neulasina, jotka ovat hyvin helposti vetistyviä (sulamispiste $42\text{ }^\circ\text{C}$). Fosforihappoa on näin ollen hyvin vaikea säilyttää kiteisenä, ja sen vuoksi se tavallisesti onkin vesiliukoista, siirappimaista nestettä. Puhdas happo on vedenkirkasta. Tekninen happo on vihertävää tai ruskehtavaa käytettävän raakafosfaatin mukaisesti. Fosforihappo on keskivahva kolmenarvoinen happo, joka muodostaa kolmenlaisia suoloja, fosfaatteja. Tunnetuin fosfaatti on kalsiumfosfaatti, $Ca_3(PO_4)_2$.

Suomessa fosforihappoa valmistaa Yara Oy:n Siilinjärven tehtaat. Apatiitti, joka koostuu pääasiassa kalsiumfosfaatista, 93 prosenttinen rikkihappo ja prosessista saatava palautushappo johdetaan reaktoriin. Nopean ja mahdollisimman täydellisen reaktiotuloksen turvaamiseksi reaktorissa on tehokas sekoitus. Laimean fosforihapon väkevöinti tapahtuu pakkokiertoalipainehaihduttimessa. Happo lämmitetään lämmönvaihtimessa, jonka läpi se pumpataan haihduttimeen. Alipainehaihduttimessa happo kiehuu ja samalla väkevöityy. Tuotehapon väkevyyttä säädetään laimean hapon syötöllä. Alipaine

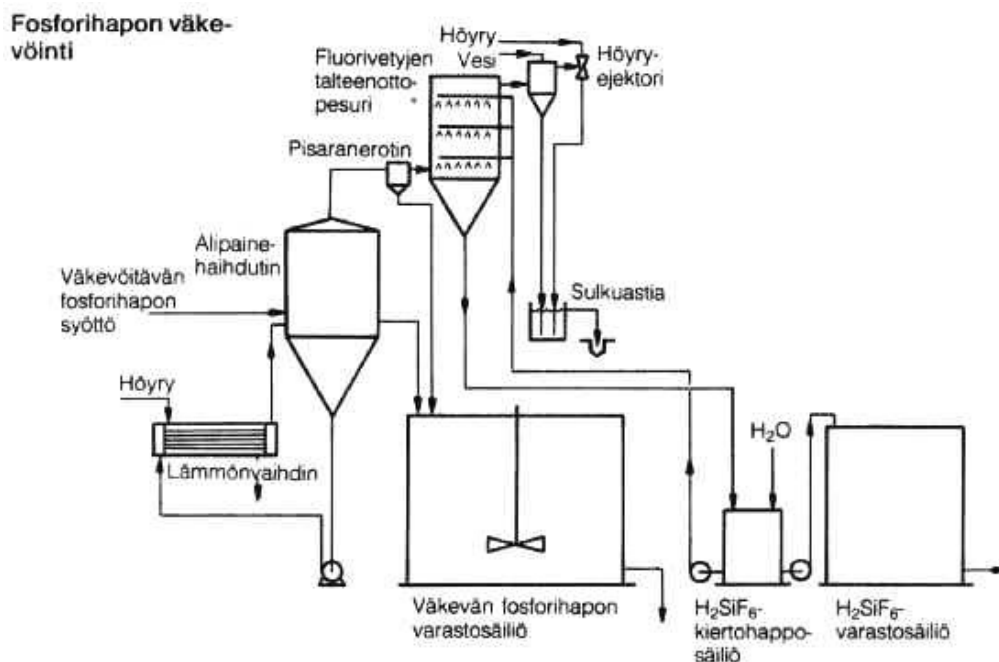
haihduttimeen saadaan tyhjäpumpun avulla. Väkevöinnissä fosforihaposta vapautuvat fluoripitoiset kaasut pestään kaasunpesurilla.

[9]



KUVA 17. Periaatekuva fosforihapon valmistuksesta

[9]



KUVA 18. Periaatekuva fosforihapon väkevöintiprosessista [9]

6.1 Koeajolaitteisto

Tutkimuksessa pyrittiin keräämään tietoa timanttipinnoituksen kestävydestä liukurengastiivisteessä. Ennen koeajoa tutkittiin pinnoitemateriaalista kitka-, kulumis- ja voiteluominaisuudet. Pinnoitteen kiinnipysyminen perusaineessa koestettiin erillisillä koekappaleilla.

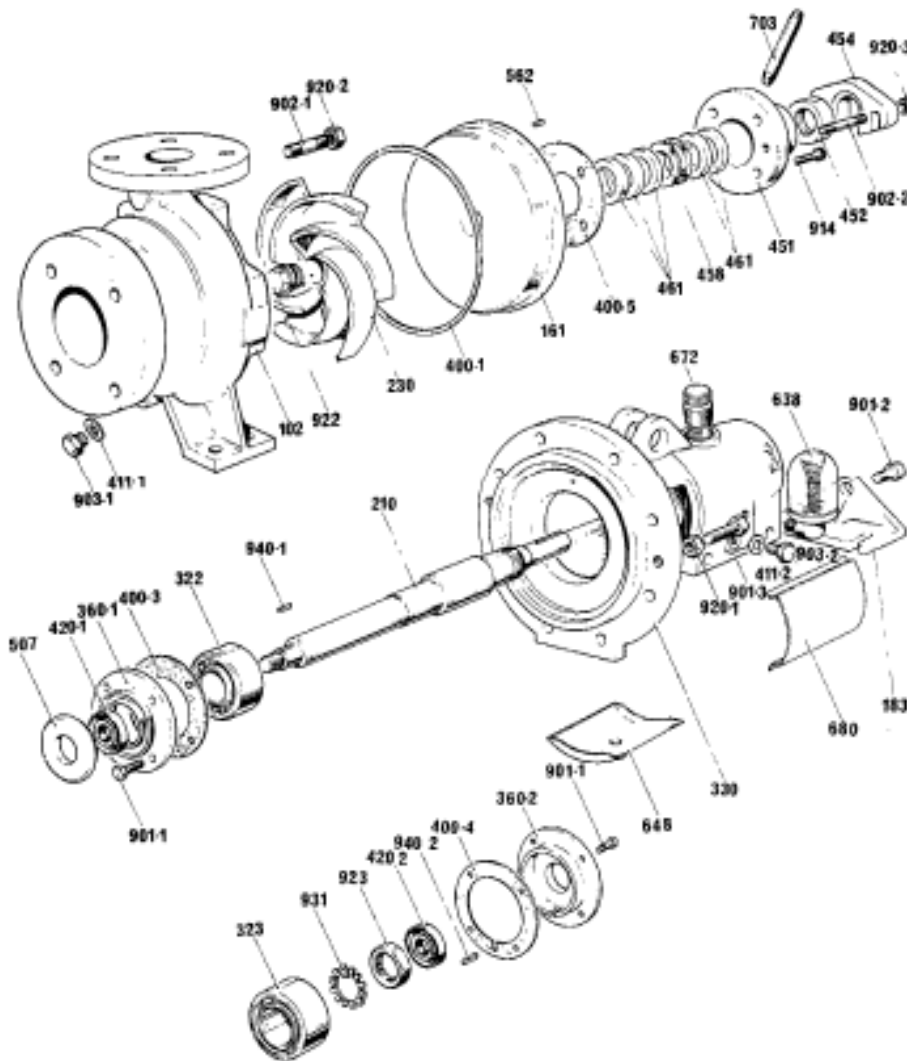
Pinnoitetun tiivisteiden koeajaminen prosessilaitteessa tehtiin siten, että purettiin erään tiivistevalmistajan yksitoimisesta liukurengastiivisteestä tiivistepinnat irti ja niiden tilalle asennettiin pinnoitetut koekappaleet liimaamalla kiinni. Tiiviste asennettiin koeajolaitteena toimivaan prosessipumppuun (Labour E00 104 -65 -25), joka oli fosforihappotehtaan väkevöinnin syöttöhappopumppu.

Pumpattava neste oli 60 % fosforihappo. Hapon lämpötila oli 85 °C, tiheys 1,7 kg/l. Pumpun nostokorkeus 12 m ja tilavuusvirta 6,0 l/s. Hapon sisältämä kiintoainepitoisuus oli 1 %. Pumpun pyörimisnopeus oli 1500 r/min eli 25 r/s. Kehänopeus tiivisteiden pyörivässä renkaassa oli 4,6 m/s. Tässä kyseisessä laitteessa oli aikaisemmin käytetty punosnauhatiivistystä ja sen jälkeen mekaanisena tiivisteinä John Crane T10R.

Edellä mainitun liukurengastiivisteiden tiivistepintojen materiaalina oli ollut 99.5 % alumiinioksidi tai keraaminen sintrattu piikarbidi.

Tarkoituksena oli koeajaa tutkimuksen kohteena oleva timanttipinnoitettu tiiviste prosessipumppuun asennettuna sellaisissa olosuhteissa, joissa pumppu normaalistikin toimii. Tulokset olisivat tällöin sovellettavissa suoraan prosessiolosuhteisiin. Pumppu johon koetiviste asennettiin, on sijoitettu ulkotiloihin tehdasrakennuksen ulkopuolella. Laitteella on hyvin monipuoliset ja vaativat olosuhteet, niin ulkoiset sää- kuin sisäiset korroosio-olosuhteet.

[2]



KUVA 19. Labour E00 104 -65 -25 tyyppinen prosessipumppu

[2]

6.2 Tiivisteiden koeajaminen

Kunnostettuun pumppuun asennettiin koetiiviste konekorjaamolla. Pumppu asennettiin paikalleen fosforihappotehtaan pesuseisokissa 7.2.2010. Pumppu käynnistettiin normaalisti pesuseisokin jälkeen, jolloin haponväkevyyden ja kiintoainepitoisuus eivät vastanneet normaalia ajotilannetta. Erityiskohtelun välttämiseksi vain käyttöpuolen asiantuntija oli tietoinen meneillään olevasta tiivisteiden koeajosta.

Tiivisteiden lämpötilan tarkkailussa apuna käytettiin laserosoittimella varustettua lämpömittaria, jolla mittaus voitiin tehdä vähän kauempaa. Lämpötilaa tarkkailtiin alussa parin tunninvälein, mutta koska lämpötila pysyi melko tasaisena, tarkkailukierros tehtiin myöhemmin kerran päivässä. Tarkkailussa oli myös käyntiääni, joka oli hiukan erilainen tiivistevalmistajan tiivisteiden käyntiääneen verrattuna.

Noin viikon kuluttua jouduttiin kiristämään takalevyn ja tiivisteiden välinen laippa. Siinä yhteydessä tiivisteiden pintoja päästiin tarkastelemaan ainoan kerran, silloin todettiin kaiken olevan kunnossa. Koeajon aikana mekaanisen tiivisteiden vuoto ulospäin oli vähäistä. Pumppu vaihdettiin kuitenkin runsaan tiivisteiden vuodon vuoksi suunnitellusti pesuseisokissa 4.3.2010. Pumpun purkamisen yhteydessä tiiviste tarkastettiin ja huomattiin, että liukupinnat olivat tuhoutuneet pinnoitteen rikkoontumisen seurauksena.

Tiivisteiden rikkoontumiseen liittyvä pumpun vaihto maksoi 2039 €, kustannukset pumpun varastoon kunnostamisesta oli 2260 € ja tiivisteiden kunnostus tuli maksamaan 1283 €. Suurimmat kustannukset ovat kuitenkin tuotannon menetyksistä johtuvia.

Fosforihappotehtaan väkevöinnin syöttöhappopumpun tiiviste rikkoontuu keskimäärin kaksi kertaa vuodessa. Koetiivisteiden pinnoitus, materiaali- ja muut liittyvät tutkimukset tulivat maksamaan 5260 €.

Pesuseisokki

Fosforihappotehtaan pesuseisokissa tarkoituksena on liuottaa kuumalla kiertovedellä kiteytyneet suolat tasosuodattimesta ja siihen liittyvistä putkistoista sekä lietelinjoista. Pesu suoritetaan lämpötilaltaan 75 - 85 °C kiertovedellä. Pesu suoritetaan yleensä kerran viikossa tiistaisin ja ajo suoritetaan pääsääntöisesti sekvenssillä. Pesun onnistumisella on suuri vaikutus suodatuksen toimintaan ja koko laitoksen tuotantoon. Linjaston kokonaispesuaika on n. 8 tuntia.

[2]

7. TULOSTEN ARVIOINTI

Aloituskokouksessa arvioitiin pinnoitteen paksuudeksi 1 μm , mutta tiivisterenkaissa timanttipinnoite oli vain noin puolet siitä. Koekappaleiksi testauksia varten valmistettiin kaksi pyöreää kiekkoa, joilla koepinnoitukset ja kulutustestaukset suoritettiin. Koekappaleilla tehty kulutustestaus oli sinänsä mielenkiintoinen ja antoi uskottavia tuloksia esim. kitkakertoimen määrittämisestä. Perusainetta ja pinnoitetta tutkittiin tarkemmin atomivoimamikroskoopilla Savonia amk:n mikrosensorilaboratoriossa.

Pinnoitettu liukurengastiiviste koeajettiin osana prosessia fosforihappotehtaan väkivöintilaitoksen syöttöhappopumpussa. Tiivisteiden kestävyys ei ollut odotetun kaltainen, sillä kuluminen oli arvioitua voimakkaampaa. Koeajon kuluessa tiivisteiden vuoto ulospäin lisääntyi sen verran, että pumpun vaihto tuli ajankohtaiseksi. Pinnoite näytti alussa kestävänsä hyvin, mutta noin 1 kk:n jälkeen kierrätyspumppu jouduttiin vaihtamaan. Silloin huomattiin pinnoitteen menneen rikki ja perusaineen kuluneen voimakkaasti. Rikkoontumisen syynä voisivat olla liian sileäksi hiotut pinnat, joiden välissä voiteluaine ei pysynyt. Tällöin hankaavan kulutuksen vuoksi pinnat kuluivat puhki. Tiivisteiden lämpötila ei kuitenkaan noussut, koska tasomaisuuden huonontuessa liukukosketukseen oli syntynyt hydrodynaaminen voitelutilanne. Ulospäin tämä näkyi lisääntyneenä tiivistevuotona.



KUVA 20. Tiivisterenkaat koeajon alkaessa. Kuva Erkki Sallinen



KUVA 21. Tiivisterenkaat koeajon päättyessä. Kuva Erkki Sallinen

8. YHTEENVETO

Timanttipinnoitus on ympäristöä säästävä tyhjiöpinnoitusmenetelmä. Pinnoitus tapahtuu matalassa lämpötilassa, joten se soveltuu erilaisille pinnoitettaville materiaaleille, metallien lisäksi esimerkiksi muoveille ja keraameille. Timanttipinnoitteet luokitellaan ohutkalvopinnoitteiksi, joiden paksuudet ovat mikrometrejä tai nanometrejä. Pinnoitteen soveltuvuutta jatkuvasti hankauksessa oleviin kappaleisiin suositellaan matalan kitkan ja hyvän kulutuskestävyyden ansiosta. Amorfisen timanttipinnoitteen kovuus pitäisi olla n. 4000 HV, mutta tässä työssä pinnoitteenkovuudessa päästiin keskimäärin vain n. 1600 HV:n.

Tutkimusta ryhdyttiin tekemään, koska akselitiivisteiden rikkoontuminen prosessipumpeissa aiheuttaa kunnossapito- ja etenkin suuria tuotantokustannuksia. Kemianteollisuudessa tiivisteiden kuivakäynti on ongelma prosessilaitteen käynnistystilanteissa. Tiivistepintojen kovalla materiaalilla haluttiin poistaa ongelma. Mutta timanttipinnoitteen kestävyys ei vastannut odotuksia.

Tutkimusta voitaisiin jatkaa siten, että toinen osa tiivisteestä olisi pehmeämpää materiaalia. Toinen vaihtoehto olisi tehdä tiivisteiden liukupintoihin voitelutaskuja, jonkunlaisia uria tai muita kuvioita. Ehkä niiden avulla olisi mahdollista saada tuotteesta voiteluainetta liukupintojen väliin, mutta voiteluaine täytyisi myös pystyä palauttamaan takaisin tuotteeseen. Koeajokin olisi tehtävä paremmissa olosuhteissa siten, että voitaisiin saada tuloksia, joista näkyy, mihin suuntaan ollaan menossa.

LÄHTEET

1. Yara Suomi Oy. Yrityksen www sivu [viitattu 28.3.2011]
Saataavissa: <http://www.yara.fi>
2. Yara toimintakuvaukset. [viitattu 28.3.2011] Ei yleisesti saatavilla
3. Picodeon Ltd Oy. Yrityksen www sivu [viitattu 28.3.2011]
Saataavissa: <http://www.picodeon.com>
4. Savonia amk. Informaatiotekniikan kehitysyksikkö www sivu [viitattu 28.3.2011]
Saataavissa: <http://www.savonia.fi/tk>
5. Airila M., Ekman K., Hautala P., Kivioja S., Kleimola M., Martikka H., Miettinen J., Niemi E., Ranta A., Rinkinen J., Salonen P., Verho A., Vilenius M., Välimaa V. ja WSOY, 2003. Koneenosien suunnittelu. Porvoo. WS Bookwell Oy.
6. Kiuru Mirjami, 2004. Experimental studies on diamond-like carbon and novel diamond-like carbon - polymer -hybrid coatings. [viitattu 28.3.2011], saataavissa: ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/fysik/vk/kiuru/
7. Avesta Sandvik AB, yrityksen www sivu [viitattu 28.3.2011]
Saataavissa: <http://www.avestapolarit.com/>
8. Nanoteknologia 2007, www sivu [viitattu 28.3.2011]
Saataavissa: <http://fi.percenta.com/nanoteknologia.php>
9. Fosforihapon valmistus, www sivu [viitattu 28.3.2011]
Saataavissa: <http://prosessiteknikka.kpedu.fi/.../Fosforihappo.html>
10. SFS-EN 438 -2
11. SFS-EN ISO 4516
12. SFS-EN ISO 6507
13. SFS-EN 12756