



Kadri Plaks

**FLUORPOLÜMEERPINNETE
TEHNOLOOGILISTE OMADUSTE
UURIMINE JA KASUTAMINE
LÕPUTÖÖ**

Mehaanikateaduskond

Tehnomaterjalide ja turunduse eriala

Tallinn 2014

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. POLÜMEERID	7
1.1. Polümeeride saamine	8
1.2. Polümeeride omadused	8
1.2.1. Polümeeride füüsikalised omadused	9
1.3. Polümeeride klassifitseerimise alused	10
2. FLUORPOLÜMEERID.....	12
2.1. Fluorpolümeeride ajalooline areng	13
2.2. Fluorpolümeeride rakendusvaldkonnad omaduste järgi	13
2.3. Fluorpolümeeride lisa- ja abiained	14
2.4. Fluorpolümeer pinnakatted.....	15
2.5. Fluorpolümeer pinnakatete kasutusvaldkonnad	16
2.6. Enamkasutatavad fluorpolümeerid	16
3. TUNTUMAD FLUORPOLÜMEERID.....	18
3.1. Polütetrafluoretüleen ehk PTFE	18
3.1.1. Polütetrafluoretüleeni omadused	18
3.1.2. Keemiline püsivus.....	19
3.1.3. Kasutamise iseärasused	19
3.1.4. Polütetrafluoroetüleeni töötlemine.....	19
3.1.5. Rakendusvaldkonnad	20
3.1.6. Enamlevinud kaubamärgid	20
3.2. Perfluoropropüülvinüüleeter kopolümeer ehk PFA.....	20
3.2.1. Perfluoropropüülvinüüleeter kopolümeeri omadused.....	21
3.2.2. Rakendusvaldkonnad	21
3.2.3. Enamlevinud kaubamärgid	22
3.3. Kopolümeer eteenist ja tetrafluoroeteenist ehk ETFE	22
3.3.1. ETFE keemilised ja füüsikalised omadused	22
3.3.2. ETFE kasutusvaldkonnad	23
3.4. Kopolümeer tetrafluoroeteenist ja heksafluoropropreenist ehk FEP	23

3.4.1. FEP-i tähtsamad rakendusvaldkonnad	24
3.4.2. FEP-i tuntumad tootjad ja kaubamärgid.....	24
4. PINDED JA PINDEMATERJALID	25
4.1. Pinnete ja pindematerjalide iseloomustus	25
4.2. Fluorpolümeerpinded	26
5. PINDAMISE TEHNOLOOGIAD.....	28
5.1. Pindamistehnoloogia võimalused	28
5.2. Termopindamise etapid	28
5.3. Katsekehade ettevalmistamine	28
5.4. Pindekihtide pihustamine	29
5.4.1. Elektrostaatiline pindamine	30
5.4.2. Madalsurvepihustamine.....	31
5.5. Pinnete kvaliteedi hindamine	32
6. FLUORPOLÜMEERPINNETE UURINGUD	35
6.1. Pinnakõvaduse määramine	35
6.2. Materjalide kõvaduskatsete tulemused	36
6.3. Mikrolihvide valmistamine	38
6.4. Pinnete struktuurid.....	40
6.4.1. Lahustipõhised pinded.....	41
6.4.2. Pulbripõhised pinded.....	42
KOKKUVÕTE.....	44
SUMMARY	46
VIIDATUD ALLIKAD	48

SISSEJUHATUS

Seoses majanduse üldise elavnemisega on tekkinud tööstuses ja ehituses järjest suurem vajadus erinevate plastmaterjalide järele. Sellest tulenevalt on vaja ka rohkem infot nende materjalide kohta. Plastitööstus areneb kiiresti, mistõttu on traditsiooniliste materjalide nagu puit, klaas ja paljud metallid edukalt asendatud plastidega, mille kasutusala üha laieneb.

Paljud masinaosad, mida veel kümme aastat tagasi toodeti eranditult metallidest on nüüd asendatud kaasaegsete komposiit- ja plastmaterjalidega.

Seoses sellega on arendatud ja arendatakse ka tulevikus erinevate modifikatsioonide, omaduste ja rakendusvõimalustega uusi polümeermaterjale. Tänu eriomadustele on paljud polümeermaterjalid omadustelt võrdsed või paremad kui tavapärase konstruktsioonmaterjalid.

Polümeermaterjalide peamised eelised, võrreldes tavaliste metallidega on: kergus, kulumiskindlus, hea korrosioonikindlus ja polümeermaterjale on lihtsam töödelda kui metalle. Lisaks on veel polümeermaterjalide valiku argumentideks nende kõrge kemikaalikindlus, hea termiline stabiilsus ja suurepärased ümbertöötlemise tingimused.

Käesolev lõputöö annab lühiülevaate fluorpolümeermaterjalidest, fluorpolümeeride ajaloost, tähtsamatest omadustest ja tuntumate fluorpolümeerpinnete kasutusvaldkondadest. Veel vaadeldakse erinevaid pindeid ja pindamistehnoloogiaid, mida saab rakendada fluorpolümeeridega pindamisel.

Lõputöö teine osa käsitleb fluorpolümeerpinnete uuringuid, kus hinnatakse pinnete tehnoloogilisi omadusi. Uuringuteks valmistatakse vajaminevad katsekehad. Katsekehade alusmaterjaliks kasutatakse alumiiniumi ja terast, milledele kahe erineva pindamistehnoloogiaga pihustatakse pindekihid. Fluorpolümeerpinnetest kasutatakse pulbripõhiseid Whitford Plastics materjale Dykor 810 ja Dykor 830, mis pihustatakse aluspinnale elektrostaatiliselt pindamise teel. Elektrostaatiline pihustamine peaks andma ühtlasema ja tihedama pinde. Lahustipõhistest fluorpolümeeridest kasutatakse Whitford Plastics materjale Xylan 1052, mis on PTFE ja sisaldab MoS₂-d. Lahustipõhistest fluorpolümeeridest kasutatakse veel kahekomponentset Whitford Plastics materjale Xylan 8221/8224, kus ühele katsekehale pihustatakse enne fluorpolümeerpinde lisamist metallikihid Castoline Eutectic 29029 NiAl ja Castoline Eutectic Fe+Cr, selleks et saada parema kulumiskindlusega ja korrosioonikindlam pinne.

Töö mahukaim osa on Tallinna Tehnikakõrgkooli laborites läbi viidud uuringud, et selgitada välja nendel meetoditel saadud pinnete struktuur ja mikrokõvadus. Struktuuriuuringute tarbeks valmistati katsekehadele mikrolihvid, mida uuriti mikroskoobiga, et näha kuidas on mõjutanud pinne alusmaterjali ja kas pinne on piisavalt kõva ning tihe. Selleks vaadeldi pindes olevate pooride, sulamata osakeste olemasolu. Teine uuringu osa hõlmab Vickersi meetodil mikrokõvaduste saamist ja tulemuste võrdlust.

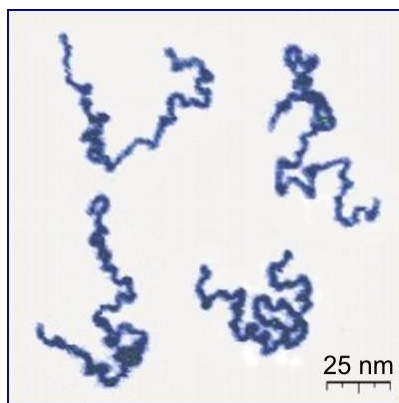
Lõputöö eesmärgiks on uurida fluorpolümeerpinnete tehnoloogilisi omadusi, kasutades uuringutes lahusti - ja pulberpindamist ning nende kasutamist.

1. POLÜMEERID

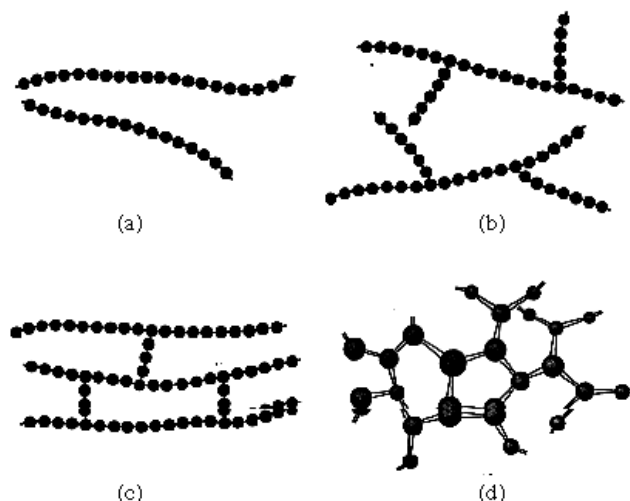
Polümeerid on kõrgmolekulaarsed ühendid, milles makromolekul on ehitatud madalmolekulaarsetest ühenditest – monomeeridest, mis on ühendatud kovalentsete sidemetega. [1] Polümeeridest saadakse plaste, kiude, elastomeere (kummisid), liime (adhesiive), pinnakattematerjale, komposiitmaterjale.

Kõrgmolekulaarsed ühendid võivad olla looduslikud, tehislikud või sünteetilised. Looduslikud kõrgmolekulaarsed ühendid on tekkinud organismide elutegevuse tagajärjel (näiteks valgud, tselluloos, tärklis, kautšuk jms). Tehislikud kõrgmolekulaarsed ühendid on ained, mis on saadud looduslike kõrgmolekulaarsete ühendite keemilisel töötlemisel (näiteks tselluloosi estrid). Sünteetilised kõrgmolekulaarsed ühendid on keemiliste reaktsioonide abil sünteesitud madalmolekulaarsetest ühenditest.

Polümeerideks loetakse ühendeid, mille ahelas on üle saja elementaarlüli ja mille molaarmass on üle tuhande ja võib küündida miljonitesse (mõõdetakse aatomühikutes). Liitunud monomeeride arvu näitab polümeratsiooni tähis n . Polümeer ei ole kunagi sirge, ta on ümbritsevate molekulide (õhk, vesi, lahustid) mõjutuste tõttu ebakorrapärase puntra sarnane (joonis 1). Polümeeride makromolekulid võivad olla ehituselt kas lineaarsed, harulised või ruumilised (joonis 2). [1;2;3]



Joonis 1. Lineaarse polümeeri ahel vaadatuna elektronmikroskoobi all. Pildil on polümeeriahela pikkus umbes 204 nm ning paksus 0,4 nm [3].



Joonis 2; Polümeeri makromolekuli ehitus; (a) lineaarne ahel, (b) hargnenud ahel, (c) ristseotud ahelad, (d) ristseotud makromolekul 3D vaates [4].

1.1. Polümeeride saamine

Kõrgmolekulaarseid ühendeid võib saada polümerisatsiooni ja polükondensatsiooni teel.

- Polümerisatsiooni käigus monomeerid ühinevad omavahel ja moodustavad polümeere, kusjuures igale monomeeri molekulile vastab üks elementaarlüli polümeeri molekulis. Protsess kulgeb ahelreaktsioonina. Niimoodi polümeeruvad alkeenid; selliste reaktsioonide tulemusena tekivad: polüeteen, polüpropeen, polüvinüülkloriid jne.
- Polükondensatsioon – kondensatsioonipolümeer moodustab ahelreaktsioonil, kusjuures igal reaktsioonil eraldub vee molekul, seega ei ole tema monomeer identne lähteaine molekuliga. Tuntuimad on: polüestrid, polüamiidid, polüpepiidid ja looduslikud polüsahhariidid. [2]

1.2. Polümeeride omadused

Võrreldes teiste anorgaaniliste või orgaaniliste materjalidega on polümeermaterjalid palju tundlikumad töötlemis- ja keskkonnatingimuste suhtes. Polümeermaterjalide hea vormitavus suhteliselt madalatel temperatuuridel ja head tugevusomadused arvestades materjali suhteliselt väikese massi kohta annavad materjalile eeliseid nii töötlemise kui ka eksploatatsiooni seisukohalt. See võimaldab polümeere kasutada mitmetes kõrgtehnoloogilistes valdkondades. Polümeeride õige kasutamine vajab nende eripärase struktuuri ja füüsikaliste omaduste mõistmist. [5]

Kõrgmolekulaarsete ainete omadused sõltuvad suurel määral makromolekulide kujust. Lineaarsete ja hargnenud ahelatega kõrgmolekulaarsed ained lahustuvad tavaliselt mõnes orgaanilises lahustis (sageli küll ainult kõrgendatud temperatuuril). Kuumutamisel muutuvad nad plastseks (voolavaks), jahtumisel tahkestuvad uuesti. Kuumutamise- ja jahutamise tsükleid on põhimõtteliselt võimalik

piiramatult korrata., ilma et materjali põhiomadused muutuksid (termoplastsed materjalid) . Enamikul polümerisatsiooni teel saadud kõrgmolekulaarsetest ainetest - polümeeridest - on kirjeldatud omadus. Osa polükondensatsiooni teel saadud kõrgmolekulaarseid aineid – polükondensaate –muutub esialgsel kuumutamisel plastseks (või on seda juba algul), kuid edasisel kuumutamisel tahkestub. Kord kõvenenud materjali ei ole seejuures enam võimalik plastseks muuta. Samuti ei lahustu ega tursu niisugused materjalid orgaanilistes lahustites (termoreaktiivsed materjalid). [4]

1.2.1. Polümeeride füüsikalised omadused

Polümeerid võivad olla ainult tahkes või vedelas agregaatolekus, esimesel juhul kas kristallilises faasis või amorfses olekus. Keemistemperatuur on kõrgem kui lagunemistemperatuur (enne lagunemist kui hakkab keema) .

Polümeeride füüsikalised omadused on määratud ahela geomeetriaga: lineaarsed polümeerid lahustuvad orgaanilistes lahustites ja kuumutamisel sulavad. Ruumilise struktuuriga polümeerid ei lahustu ega sula. Hargneva ahelaga polümeerid käituvad väga erinevalt – sõltuvalt kõrvalahelate hulgast. Mida vähem on kõrvalahelaid , seda rohkem on nad lineaarse ahelaga polümeeri omadustele sarnane.

Omadusi määrab molekulide vaheliste sidemete iseloom ja tugevus.

Intermolekulaarsed ehk siduvad jõud polümeerides jaotatakse :

1. Primaarsed keemilised sidemed (peamiselt kovalentsed) aatomite vahel, mis hoiavad molekule koos: O – O (nõrgimad, C – C (keskmised) ja C=O, kaksik- ja kolmiksidemed (tugevad)
2. Sekundaarsed (nõrgad) sidemed molekulide vahel, mis mõjutavad polümeeri kui materjali kohesioonitugevust, lahustuvust, viskoossust, pindpidevust, segunevust, sulamistemperatuuri, jäikust ja teisi omadusi, need on näiteks H- sidemed, van der Waalsi ehk dispersioonijõud jms, mis lagunevad kergesti polümeeride töötlemistemperatuuridel ja võimaldavad neid sisaldavate (kovalentselt ristsildamata) materjalide korduvat sulatöötlemist.

Intermolekulaarsete sidemete (siduvad jõud polümeeris) tähtsus ruumiliste polümeeride puhul on väike (ahel on sisemiselt tugev) . Lineaarse – ja hargnenud ahelaga polümeeride puhul on sidemed olulise tähtsusega ja muudavad oluliselt polümeeri omadusi.

Konsenveerimises kasutatavate polümeeride vananemise juures on oluline , et intermolekulaarsete sidemete tugevusega kasvab polümeeri mehhaaniline tugevus, elastsus, sulamistemperatuur, kuid väheneb polümeeri lahustuvus. [6]

1.3. Polümeeride klassifitseerimise alused

Polümeere saab liigitada erinevate kriteeriumite alusel, allpool on toodud vaid mõned tähtsamad.

- Päritolu

1. Looduslikud ehk biopolümeerid, sinna kuuluvad näiteks polüsahhariidid, loodulikumad vaigud, nukleiinhapped (DNA, RNA),
2. Modifitseeritud looduslikud polümeerid ehk tehispolümeerid- looduslike polümeeride keemilise töötlemise teel saadud polümeerid. Näited tsellofaan, pargitud nahk, vulkaniseeritud naturaalne kautšuk.
3. Sünteetilised polümeerid- neid looduses ei leia, moodustava laia ja mitmekesise isoleermaterjalide rühma.

- Kasutusala järgi

1. Kummid ja elastid (ehk elastomeerid)-

Kummi (rubber) on materjal, mida võib korduvalt venitada vähemalt kahekordse pikkuseni ja mis taastab jõust vabanemisel esialgse pikkuse. Kummi ja elastomeeri tõlgendus pole alati ühene. Kummi on põhimõtteliselt ristseotud elastomeer. Ajalooliselt aga nimetati kummideks just paljusid elastomeere. Kummit iseloomustavad väga madal klaasistumistemperatuur, venitamata olekus on polümeer amorfne.

Kasutatakse torude, tihendite ja muu sellise valmistamiseks. Täiteained: tahm, kriit, pehmendid: õlid, vulkaniseeritavad ained, stabilisaatorid, pigmendid ja muu selline.

Elastomeer on kummitaoline materjal, millel on piiratud venivus ja mis ei taasta jõust vabastamisel täielikult dimensioone. Elastomeeride tähtsamateks omadusteks loetakse: väga kõrge molaarmass, venitamata olekus täielik amorfus, väga pikk keerdunud lineaarne ahel, mida on kerge sirgeks tõmmata, madal klaasistumistemperatuur (kuni -100 kraadi).

2. Plastid (plastik), mis omakorda liigitatakse kompaktplastid, vahtplastid ja kiled, komposiidid.

Laiatarbeplastid on odavamad masstoodangu polümeerid (PE - polüetüleen, PP - polüpropüleen, PVC - polüvinüülkloriid), nad on sitked, tugevusomadused ei ole maksimaalsed aga see eest püsivad.

Konstruksioonplastid on tugevad ja sitked, valdavalt termoplastid. Kasutatakse vormitoodetena. Kilede ja pehmete õõnsate toodete saamiseks sobivad sitked polümeerid (PE - polüetüleen, PP - polüpropüleen, plastifitseeritud PVC - polüvinüülkloriid, PET - polüetüleentereftalaat, PA - polüamiid).

Vahtplastid on polümeeri ja gaasi komposiidid.

3. Kiudmoodustajad on polümeermaterjalid, mille pikkus ületab läbimõõdu vähemalt sada korda. Looduslikud kiud – puuvill, vill, siid, lina. Tehiskiud – tsellofaan, viskooskiud jms. Sünteetilised kiud: PET – polüetüleentereftalaat; PA – polüamiid; PAN – polüakrüülnitriil; PP – polüpropüleen, PUR – polüüretaan jne. Kiud saadakse vedela polümeeri surumisel läbi spetsiaalse aukudega plaadi ja kiud kedratakse pideva kiuna.

4. Kilemoodustajad on polümeerpinded ehk polümeerpulbrid ka liimid, lakid värvid, mis sadestatakse kuumale pinnale.

- Elemendilise koostise järgi

1. Orgaanilised
2. Anorgaanilised
3. Elementorgaanilised

- Ahela kuju järgi

1. Homoahel: süsiniku põhiahelas on ühte liiki aatomid.
2. Heteroahel: põhiahelas mitut liiki elemendi aatomid
3. Lineaarne ahel: ahel koosneb ainult ühest põhiahelast;
4. Hargnev ahel: makromolekulis on põhiahelaga seotud külghelad ;
5. Ruumiline ahel: makromolekulides ühendavad põhiahelad põiksidemed.

- Polümeeride jaotus koostisühikute arvu järgi

1. Homopolümeerid – ühe kindla monomeeri polümerisatsioonil saadud polümeerid.

Homopolümeer: - A- A- A- A- A-

2. Kopolümeerid – saadakse mitme erineva monomeeri polümeerimisel, mille ahelas paiknevad vaheldumisi erineva lülid sellises arvulises vahekorras nagu neid polümerisatsiooniks võeti.

Kopolümeer: -A-B-A-B-A-B-A-B-.....

Kuna kopolümeer on erinevate monomeeride segu, võimaldab see monomeeride valiku ja kopolümerisatsiooni protsessi suunamisega saada soovitud omadustega polümeer.

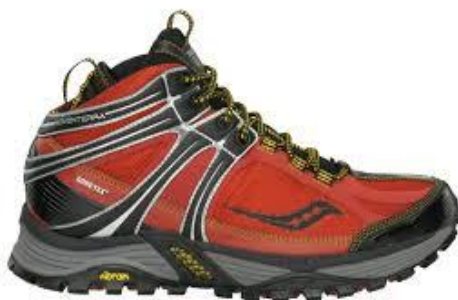
3. Oligomeer, vahel ka prepolümeer (kreeka keelest oligos – vähe), koosneb mõnedest korduvatest ühikutest (meeridest) ja tekib polümerisatsioonireaktsiooni vaheastmena. [6]

2. FLUORPOLÜMEERID

Fluoropolümeerid on teatud määral “super plastikud ” – kõrgtehnoloogilised materjalid unikaalse tugevuse ja vastupidavusega. Fluoropolümeer on fluorsüsinikul põhinev polümeer, milles on palju tugevaid süsinik-fluoriid sidemeid. Seda polümeeri iseloomustatakse suure vastupanuvõimega lahustitele, hapetele ja leelistele. Fluoropolümeerid ei ole tänu fluori suurele elektronegatiivsusele nii tundlikud van der Waals-i (dispersioonijõud) jõu suhtes kui süsivesinikud. See aitab kaasa nende nakkumatusel ja hõõrdumist vähendavatele omadustele. Dielektrilised omadused on suurepärased ja stabiilsed ka laias temperatuurivahemikus ja sagedusulatuses, kõik fluoropolümeerid on oma olemuselt mittepõlevad.

Fluoropolümeerid on tõusnud esile tänu nende unikaalsetele kõrgtehnoloogilistele omadustele, nagu näiteks hea keemiline vastupanu ja kuumakindlus ning suur korrosioonikindlus, isegi kõige ekstreemsemates keskkondades .

Fluoropolümeeride tuntuimad kasutusala on kindlasti mittekleepuvate pottide, pannide ja küpsetustarvikute valmistamisel, fluoropolümeere erinevate spordirõivaste ja iga päeva rõivaste tootmisel, suustajate ja teiste sportlaste kostüümid, mis on vastupidavad ja mugavad iga ilmaga. Üks tuntumaid ja tänapäeval meie kliimas enim kasutatav rõiva- ja jalanõude materjal on Gore-Tex. Gore-tex kangamaterjal koosneb õhukesest poorsest fluoropolümeeri membraaniuretaan kattest, mis on liimitud kangale, tavaliselt nailoni või polüestri.



Joonis 3. Gore-Tex materjalist jooksujalatsid [8]

Aga fluoropolümeeridel on ka kümneid muid suuri rakendusi tänapäeval. Fluoropolümeere kasutatakse palju näiteks lennunduses, erinevates telekommunikatsiooniseadmetes, elektroonikas, autotööstuses, reostus kaitses ja ka riigijulgeoleku seadmetes (tuletõrjajate kostüümid, militaar-seadmed). [7]

2.1. Fluoropolümeeride ajalooline areng

Fluoropolümeerid avastati läbi õnneliku juhuse aastal 1938 Dr. Roy Plunketti poolt, kes oli just alustanud töötamist DuPonti laboris fluoropolümeeridega mitteseotud ülesandega. Oma esimese tööülesandena uuris Plunkett külmutusaineid, mille tarbeks oli ta toonud ja säilitanud 0,453 kg tertafluoroetüleen (TEF) gaasi, mida ta hoidis väikestes anumates kuiva-jää temperatuuril. Kui doktor uuesti anumate juurde tuli ei väljunud sealt gaas, vaid hoopis valge pulber. Plunkett leidis, et see pulber on eriti kuumakindel, keemiliselt väga inertne ja uskumatult libe. Niimoodi sünteesiski Plunkett kogemata polütetrafluoroetüleen (PTFE), esimese fluoropolümeeri.

Dupont registreeris 1945. aastal PTFE ehk Tefloni oma kaubamärgiks ning esmalt hakati seda kasutama militaarrakendustes. Hiljem kasutati ära selle märkimisväärseid omadusi esimeste mittekleepuvate pottide, pannide ja küpsetustarvikute valmistamiseks. See võimaldas kokkadel valmistada südamele tervislikke einet vähesel või üldse ilma küpsetusõlideta, samuti tõi see revolutsiooni kokanduse valdkonda, kuna enam ei jäänud ükski küpsetis panni külge kinni.

Fluoropolümeeride kasutustehnoloogia, selleks, et parandada toodete efektiivsust, on sellest ajast saati järjest edasi arenenud ja PTFE koos teiste avastatud fluoropolümeeride derivaatidega on leidnud kasutust sadades erinevates valdkondades alates pooljuhtide valmistamisest kuni isegi NASA kosmosesüstiku kütuse transportimiseni. Tänapäeval on fluoropolümeeride tööstus ülemaailmne äri, kus maailmaturg toetub neile toodetele ning nende unikaalsetele omadustele. Mis puutub Plunkettisse, siis tema saavutust tunnustasid teadlased üle kogu maailma. [9]

2.2. Fluoropolümeeride rakendusvaldkonnad omaduste järgi

1.Korrosioonikindlus ja keemiline vastupidavus-

Korrosioonikindluse ja keemilise vastupidavuse tõttu sobivad fluoropolümeerid suurepäraselt kasutamiseks ekstreemsetes keskkondades nagu näiteks:

- Pooljuhtides
- Naftamaardlates
- Torudes, torustikes, ventiilides
- Tihedas vedelikus
- Keemiatööstustes

2.Elektriisolatsioon-

Kasutatakse madala dielektriku läbitavuse, madala hajumiseteguri, kõrge läbilöögi tugevuse tõttu elektriseadmetes nagu näiteks:

- Kaabli pesades

- Isoleertorudes
- Traatisolatsioonis

3.Määrdevõime-

Kasutatakse oma äärmiselt madala hõõrdeteguri tõttu näiteks:

- Lisandites
- Vormivabastamisõlides
- Hambaniidis
- Vahades ja rasvades

4.Mittekleepuvus-

Kasutatakse väga madala pinnaenergia tõttu näiteks:

- Köögi- ja küpsetustarvikutes
- Konveierlintide, tööriistade ja seadmete pinnakatted

2.3. Fluorpolümeeride lisa- ja abiained

Polümeermaterjal koosneb polümeerist ja lisakomponentidest, mida on keskmiselt 23 (0...90) %.

Fluorpolümeerides kasutatakse erinevaid segusid. Olenevalt vajadusest kasutatakse lisa- ja abiaineid, mis annavad pindele teatud omaduse.

Järgnevalt on väljatoodud erinevad polümeermaterjalide lisa- ja abiained.

- Täiteained (fillers) alandavad hinda, tõstavad dimensioonilist ja termilist stabiilsust ning tugevust.

Täiteained jagunevad kaheks:

1. peeneteralised täiteained – kriit, kaoliin, metallioksiidid, ränimuld, puidujahu, tahm ja teised, kummiosakesed, klaaskiud.
2. pikateralised täiteained – pikateralisi täiteaineid sealhulgas klaas-, süsinik-, aramiid- ja teisi kiude kasutatakse klaasplastide, paberplastide, autokummide ja teiste komposiitmaterjalide anisotroopseks armeerimiseks.

- Plastifikaatorid (plasticizers) neid lisatakse polümeeride voolavuse parandamiseks, klaasistumistemperatuuri alandamiseks, sitkemade ja külmakindlamate materjalide saamiseks. See on eelkõige PVC (polüvinüülkloriidi) probleem (80%). Plastifikaatorid on kõrge keemistemperatuuriga vedelikud ($M > 300$), mis segunevad polümeeriga, ei tohi lenduda, migreeruda ega kristalluda. Rohkem kasutatakse väliseid plastifikaatoreid. Tuntuim on dioktüülfataat, aga ka teised ftaalhape ja fosforhape estrid, õlid, vahad, rasvhapete estrid, oligomeerid, elastomeerid.

- Töötlemist soosivad lisandid (process aids) parandavad voolamisomadusi või vähendavad toodete kleepumist vormivate pindade külge.

Töötlemist soosivad lisandid jagunevad neljaks rühmaks:

- 1.välised määrdeained migreeruvad pinnale (rasvhapete soolad ja estrid, vahad, õlid), kuna neil on väike sobivus polümeeriga.
- 2.adhesiivid (release agents) on madala pinnaenergiaga silikoonid, fluoropolümeerid, vahad
3. sisemised määrdeained parandavad polümeeride voolamisomadusi; kasutatakse rasvhapete estreid, vahasid ja teisi.
- 4.nukleatsiooniagentide ülesandeks on takistada suurte kristallitide tekkimist.

• Stabilisaatorid neid lisatakse degratsiooni (polümeeri omaduste hävimist väliskeskkonna mõjul) vältimiseks. Siia kuuluvad antioksidandid, UV- ABSORBERID, Pb- soolad (PVC), fungitsiidid ja teised.

•Värvained (colorants) , neid on kahte liiki:

1. tavaliselt lahustumatud pigmendid (TiO₂, tahm) segatakse polümeeri massiga
2. lahustuvad orgaanilised värvid (dyes) lisatakse polümeeri läbipaistvaks värvimiseks

•Kõvendamis- ja sidusagendid (curling and coupling agents):

1. vulkanisaatorid (S), kõvendid prepolümeeride ristsidumiseks, katalüsaatorid ja initsiaatorid protsesside käivitamiseks
- 2.sidusagendid moodutavad kovalentseid sidemeid polümeeri ja täiteainetega, parandades adhesiooni (adhesioon ehk molekulaarjõududest (adhesioonijõududest) tulenev erinevatest materjalidest kehade pindade või erinevat tüüpi osakeste (molekulide või aatomite) üksteise külge kinnijäämine) . Kõige tähtsamad on silaanid, aga ka Ti – titaani ja Cr – kroomi metallorgaanilised ühendid.

2.4. Fluorpolümeer pinnakatted

Fluorpolümeer pinnakatted on segu kõrgefektiivsetest vaikudest ja fluorpolümeer määrdeainetest. Need ühekihilised õhukesed polümeerkiled pakuvad suurepärase korrosioonikindlust, keemilist vastupanu ning tugevust. Lisaks on neil ka märkimisväärsed kuumuse- ja ultraviolettkiirguse vastupanuomadused. Teised head omadused mis fluorpolümeerpinnakatetel on, on madal hõõrdeegur, madal kleepuvus ja märguvus, dielektrilisus ning hea vastupanu hõõrdekulumisele. Lähtuvalt eelnimetatud omadustest on fluorpolümeeridega kaetud detailidel pikem eluiga. Kuna polümeerkile osad kihistuvad küpsetamise ajal, siis suurem osa fluorpolümeeri omadustest, nagu madal hõõrdumine ja mitte kinnijäämine säilitatakse. Vaigud pakuvad haardumist ja vastupidamist kriimustustele ning neid kasutatakse, et võimaldada polümeeril seonduda selle osaga mida parasjagu kaetakse. [12]

2.5. Fluorpolümeer pinnakatete kasutusvaldkonnad

Fluorpolümeeridest valmistatud tooted on tänapäeva elus hädavajalikud. Need tooted päästavad elusid, kaitsevad keskkonda, nad võimaldavad arendada sidetehnoloogiat, et hoida meie maailma ühendatuna. Fluorpolümeer tooted teevad igapäevase elu lihtsamaks.

Mõned terved tööstusharud sõltuvad täielikult fluorpolümeeridest, näiteks pooljuhtide tööstus. Fluorpolümeerid on ainus materjal, mis suudab hoida ja transportida pooljuhtide tootmisprotsessides kasutatavaid kemikaale. Ilma fluorpolümeerideta ei suudeta toota elektroonikaseadmeid, millest inimkond sõltuvuses on – personaalarvutid ja mobiiltelefonid.

Fluorpolümeere kasutatakse madalat hõõrdetegurit nõudvate spetsiaalsete pinnakatete valmistamisel. Põhiliselt kaetakse nendega pealis- ja välispindu. Fluorpolümeerid on ilmselt tuntuimad nende kasutamise poolest küpsetusnõudes ja riietes, mida kasutavad suusatajad ja ekstreemsportlase, kuid ka igapäevaseks kasutuseks mõeldud ilmastikukindlad riided. Tüüpilised fluorpolümeeride rakendused on elektrilised/ elektroonilised kasutusviisid ning torude ja keemiliste protsesside seadmete valmistamine. Aga fluorpolümeeridel on ka kümneid muid suuri rakendusi tänapäevaelus. Fluorpolümeere kasutatakse palju näiteks lennunduses, erinevates telekommunikatsiooniseadmetes, elektroonikas, autotööstuses, reostuse kontrollis ja ka riigijulgeoleku seadmetes (tuletõrjujate kostüümid, militaarseadmed). [13]



Joonis 4. Fluorpolümeeriga kaetud kinnitusdetailid. Mutrid ja poldid, mida kasutatakse keemiatööstustes, on suurepärase vastupanuvõimega hapetele ja kemikaalidele ning väikese hõõrdeteguriga [14].

2.6. Enamkasutatavad fluorpolümeerid

Allpool on välja toodud enamkasutatavad fluorpolümeerid:

1. PTFE – polütetrafluoroetüleen
2. PVF – polüvinüülfluoriid
3. ECTFE – kopolümeer eteenist ja tetrafluoroeteenist
4. PCTFE – polüklorotrifluoroetüleen

5. PVDF – polüvinülideenfluoriid
6. FEP – fluoritud etüleen-propüleen, kopolümeer heksafluoropropüleenist ja tetrafluoroetüleenist
7. ETFE – polüetüleen-tetrafluoroetüleen
8. PFPE – perfluoropolüeteer
9. FPM/FKM – fluori sisaldav kummi ehk fluorkummi
10. PFA/MFA – perfluoropropüülvinüüleeter kopolümeer

3. TUNTUIMAD FLUORPOLÜMEERID

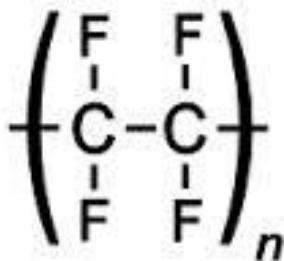
3.1. Polütetrafluoretüleen ehk PTFE

Tetrafluoretüleen esmakordselt avastati 1933 aastal. Seda aga hakati tootma 1947 aastal.

Polütetrafluoretüleen on tahke fluorsüsinik, see on suure molekulmassiga ühend, mis koosneb tervenisti fluorist ja süsinikust.

PTFE on tetrafluoreteeni polümeer $(-CF_2 - CF_2-)_n$. Ta on kohev pulber, mis kõrgetel temperatuuridel $(+360...380^{\circ}C)$ moodustab ühtlase valge massi. [15]

Polütetrafluoretüleeni ehk tefloni tähelepanuväärseimaks omaduseks on kõrge termopüsivus. PTFE polümeer kaotab oma kristalse struktuuri kõrgemal kui $327^{\circ}C$, kuid ka sellel temperatuuril surve all olles ei valgu ta veel laiali. Süsiniku ja fluori kovalentne side on äärmiselt tugev, mis annab materjalile hea stabiilsuse. PTFE on keemiliselt inertne ja väga heade antifriksioon – omadustega. Teatud omaduste parandamiseks kasutatakse abiaineid: klaaskiudu, pronkspulbrit ja grafiiti jt. [16]



Joonis 5. Polütetrafluoroetüleeni e. PTFE monomeeri struktuur [17].

3.1.1. Polütetrafluoretüleeni omadused

PTFE sulamistemperatuur on $+327^{\circ}C$ ja klaasistumistemperatuur $-120^{\circ}C$. Tema iseloomulik omadus on see, et ka kuumutamisel lagunemistemperatuurini $(+415^{\circ}C)$ ei lähe ta voolavasse olekusse (muutub ainult roomavaks), mistõttu teda ei saa töödelda valamise ja ekstrusiooni teel.

PTFE mehaanilised omadused sõltuvad töötemperatuurist. [15]

Polütetrafluoroetüleeni iseloomustavad omadused:

- erakordne keemiline püsivus;
- väike veeimavus (0,01 %);

- füsioloogiliselt täiesti ohutu;
- erakordselt sitke;
- väga head libisemisomadused (hõõrdetegur 0,1);
- täielik vananemise ja ilmastikukindlus;
- suur töötemperatuuri vahemik $-200...+260\text{ °C}$;
- täielikult tulekindel;
- sulamispunkt puudub, laguneb temperatuuril 427 °C ;
- väga head dielektrilised omadused;
- tihedus $2,18\text{ g/cm}^3$. [16]

3.1.2. Keemiline püsivus

Polütetrafluoroetüleen on kõigist teada olevatest materjalidest vastupidavam. Talle ei mõju oksüdeerijad, happed ega leelised. Temperatuuridel üle 327 °C tursub fluoroplast vedelates fluoritud süsivesinikes. Sulatatud leelismetallide toimel ta laguneb.

Fluoroplast märgub alles pärast pikaajalist (15...20 ööpäeva) hoidmist vees (mürgumisnurk 126 °). [15]

3.1.3. Kasutamise iseärasused

- piiratud kiirgustaluvus;
- raskesti liimitav väga madala pinnaenergia tõttu;
- võimalik söövitada, millega tekitatakse võimalus materjali liimida;
- kalduvus roomele;
- kallis materjal [16]

3.1.4. Polütetrafluoroetüleeni töötlemine

Et polütetrafluoroetüleen ei muutu voolavaks, siis ei saa teda valada. Esemeid on võimalik valmistada pressimise teel, kusjuures nii saadud toorikud töödeldakse hiljem mehaaniliselt. Pressitakse temperatuuril $+20...+25\text{ °C}$ rõhul $3000..3500\text{ N/cm}^2$, kusjuures rõhk peab suurenema aeglaselt ja ühtlaselt. Pressimine kestab 2...3 minutit. Pressitud tabletid asetatakse seejärel vormi ja nad kuumutatakse tavalisel rõhul temperatuurini $+360...+380\text{ °C}$, mille puhul materjal muutub roomavaks ja täidab vormi.[15]

PTFE on raskelt keevitav. Materjali töötlemiseks sobivad töötlemisviisid on järgmised – saagimine, puurimine, freesimine, hõõveldamine ja treimine. Materjali töötlemine kulutab treiterasid. Freesimisel tuleb ettevaatlik olla detaili paindumise suhtes. [16]

3.1.5. Rakendusvaldkonnad

Polütetrafluoroetüleen sobib kasutamiseks rakendustes, kus detailile langeb kõrge töötemperatuur. Korrosioonikindlad torude ja klappide katted, kuumakindlad tihendid, heade libisemisomadustega liugelaagrid, kõrgsageduskaablite isolatsioon.



Joonis 6. PTFE ehk tefloni kasutamine pannide kattekihina. [18]

3.1.6. Enamlevinud kaubamärgid

- Algoflon – Solvay Plastics;
- Etraflon - Etra ;
- Fluon – Asahi Glass Co. Ltd;
- Fluorosint - Quadrant Group ;
- Teflon - DuPont;
- Rulon - Saint-Gobain Performance Plastics;

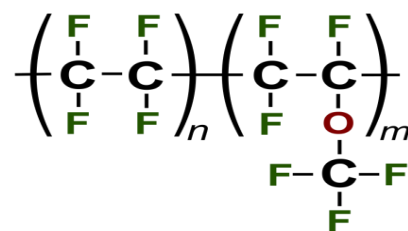
3.2. Perfluoropropüülvinüüleeter kopolümeer ehk PFA

PFA on fluoropolümeer, ta on kopolümeer tetrafluoroetüleenist ja perfluoroeetrist. Selle fluoropolümeeri omadused on sarnased polütetrafluoroetüleenile (PTFE). Põhiline erinevus on see, vedelal kujul on võimalik PFA-d vormida.

PFA on sulatavatest fluoroplastidest kõrgeima termopüsivusega, mille keemiline vastupanu on sarnane PTFE-le.

Antud plasti omadused saavad määravaks, kus on tegemist kõrgete temperatuuridega, kus PTFE mehhaanilised omadused ei vastanõutud tingimustele.

Perfluoropropüülvinüületrit eelistatakse kasutada kui on vaja toote pikemat eluiga agressiivses keskkonnas, kus esineb keemilist, termilist ja mehhaanilist koormust. PFA pakub väga kõrget sulamistemperatuuri, stabiilsust kõrgetel töötlemistemperatuuril, suurepärase pragunemiskindluse ja koormustaluvust. Lisaks omab PFA madalat hõõrdetegurit ja kümme korda suuremat väsimustugevust kui FEP (kopolümeer tetrafluoroeteenist ja heksafluoropropeenist). Sellel on ka suur vastupanuvõime roomavusele ja omadused säilivad töötemperatuuril 260 °C. PFA muud omadused väga PTFE moodi, kannatab enamvähem kõiki kemikaale, väga tulekindel, suurepärase elektriliste omadustega, väga libe. [1, 19, 20]



Joonis 7. PFA e. Perfluoropropüülvinüüleeter kopolümeeri monomeeri struktuur [19].

3.2.1. Perfluoropropüülvinüüleeter kopolümeeri omadused

PFA-d iseloomustavad omadused

- Peaaegu piiramatult vastupanuvõime kemikaalidele
- Lai töötemperatuur -190 °C kuni +260 °C
- Suurepärase kulumiskindluse
- Vastupidav UV -, β – ja γ- kiirtele
- Suurepärase vananemistabiilsuse
- Suur koormustaluvus
- Poolläbipaistev
- Suurepärase elektrilised omadused

3.2.2. Rakendusvaldkonnad

PFA ehk perfluoropropüülvinüüleeter kopolümeeri kasutatakse kõige enam elektriisolatsiooniks ning keemia- ja meditsiiniseadmete valmistamisel.



Joonis 8. PFA-st valmistatud toru, mida enamasti kasutatakse meditsiiniseadmetes [19].

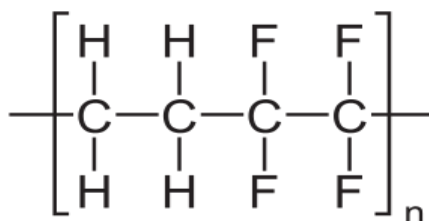
3.2.3. Enamlevinud kaubamärgid

- Daikin Neoflon®;
- Dupont Teflon®;
- Hoechst Hostaflon®;
- Ausimont Hyflon®.[20]

3.3. Kopolümeer eteenist ja tetrafluoroeteenist ehk ETFE

Kopolümeer eteenist ja tetrafluoroeteenist fluorsüsinikul põhinev polümeer, mida tuntakse rohkem lühendi ETFE-na. See fluoropolümeer loodi, et saada eriti korrosioonikindel ja laias temperatuurivahemikus vastupidav tugev plast.

See on fluorsüsinikul põhinev polümeer, mille molekulaarvalem on $[CF_2CF_2CH_2CH_2]_n$. Lisaks on ETFE-l kõrge sulamistemperatuur ja see ei erita põlemisel toksilisi gaase. [21]



Joonis 9. ETFE ehk kopolümeer eteenist ja tetrafluoroeteenist monomeeri struktuur [21].

3.3.1. ETFE keemilised ja füüsikalised omadused

ETFE on pool läbipaistev (läbikumav). Võrreldes klaasiga kaalub ETFE kile 1 % klaasi massist, annab edasi rohkem valgust ja paigaldus maksab 24-70 % vähem kui klaasil. ETFE on elastne ja see on võimeline kandma 400-kordset enda kaalu. Tänu mittenakkuvusele on materjal isepuhastuv. Teisest küljest on materjal väga tundlik teravate esemete torgetele, seetõttu kasutatakse seda

materjali enamjaolt ehitiste katuseplaatidena. Materjalil on võime venida kuni kolm korda enda pikkusest pikemaks ilma, et kaoks elastsus. ETFE-l on parem keemiline ja mehaaniline vastupidavus kui PTFE-l ning ta võib taluda keskmiselt kõrgemat temperatuuri pikka aega. Samas on ETFE-l ka vastupanuvõime suure energiaga radiatsioonidele. [21]

3.3.2. ETFE kasutusvaldkonnad

ETFE-d kasutatakse oma nõrga vastupanuvõime tõttu teravate esemete torgetele katusematerjalina.

- Suur ehitiste katusepaneelid näiteks Beijngi rahvusliku veekeskuse katusepaneelid.
- Elektrijuhtmete kattematerjalina lennukites ja kohtades, kus on juhtmetele rakendatud suur rõhk või on nõutud madalat leegi toksilisust (juhul kui juhtmed põlema lähevad).



Joonis 10. Beijngi rahvusvaheline veekeskus, mille katusepaneelid on tehtud ETFE-st. [22]

3.4. Kopolümeer tetrafluoroeteenist ja heksafluoropropreenist ehk FEP

FEP-i toodetakse tetrafluoroetüleenist ja heksafluoropropüleeni kopolümerisatsiooni protsessi abil. Ta on suhteliselt pehme termoplast. FEP-il on madalam tõmbetugevus, kulumiskindluse ja roomavus vastupanu kui teistel masinaehitus plastidel. Kuid teisalt on aga materjal keemiliselt inertne, omab madalat dielektrilist konstanti laial sagedusribal.

Molekulaarvalem on $[(CF_2CF_2)_n CF_2C(CF_3)F]_m$.

FEP-il on väga kõrge vastupanu koormusest tulenevatele pragudele. Materjal säilitab oma omadused ka peale 204 °C töötemperatuuril töötamist. Materjalil on fluorpolümeeridele iseloomulikud omadused nagu näiteks head dielektrilised omadused, madal hõõrdetegur ja kuumakindlus. FEP on hea läbipaistvusega, see tähendab et ta annab hästi edasi UV- kiirgust ja nähtvaid valguslainet. Lisaks on tal pikaajaline väliskeskkonnas, vastupidavus osoonile, päikesekiirgusele ja ilmastikule. FEP pakub kõigist termoplastidest madalaimatreaktiivsuseindeksit ja madalat valguspeegelduvust. [20, 23]

3.4.1. FEP-i tähtsamad rakendusvaldkonnad

Kopolümeeri tetrafluoroeteenist ja heksafluoropropeenist kasutatakse kõige enam :

- Päikesepatareide kattematerjalina
- Torude vooderdusmaterjalina keemiaseadmetes
- Juhtmete kattematerjalina lennukites
- Elektriisolaatorina [23]

3.4.2. FEP-i tuntumad tootjad ja kaubamärgid

- Hoechst – Hostaflon
- Du Pont - Teflon FEP
- Daikin Kogyo – Neoflon [20]

Tabelis 1 on välja toodud tuntumate fluoropolümeeride tähtsamad omadused.

Tabel 1.

Tuntumate fluoropolümeeride tähtsamad omadused[20]

Omadus	PTFE	FEP	PFA	ETFE
Füüsikalised omadused				
Tihedus (g/cm ³)	2,16	2,15	2,15	1,74
Veeimavus 24h (%)	<0,01	<0,01	<0,03	<0,03
Mehaanilised omadused				
Tõmbetugevus (MPa)	22	20	24	48
Tõmbepikenemine enne purunemist	300	325	300	430
Kõvadus (HB)	50	56	60	67
Paindetugevus	Ei purune	Ei purune	Ei purune	Ei purune
Hõõrdetegur (μ)				
Staatiline hõõrdetegur (μ)	0,12-0,15	0,12-0,20	0,2	0,24-0,50
Dünaamiline hõõrdetegur (μ)	0,05-0,10	0,08-0,3	Puudub	0,3-0,4
Termilised omadused				
Sulamistemperatuur (°C)	335	260	305	260
Max. kasutus temperatuur (°C)	260	204	260	180
Elektrilised omadused				
Dielektriline konstant	2,1	2,1	2,1	2,6

4. PINDED JA PINDEMATERJALID

4.1. Pinnete ja pindematerjalide iseloomustus

Igal materjalil on erinevad omadused, mis vastavalt töötingimustele võivad osutada nii positiivseteks kui negatiivseteks. Abrasiivkulumisele peavad kõige paremini vastu kõvad materjalid. Erosioon- ja löökkulumisel on tähtis sitkus. Lisaks mõjutavad toote kulumiskindlust materjali struktuur, omadused ja ekspulatsioonitingimused. Näiteks on teras suure sitkuse kuid suhteliselt väikese kõvadusega. Seevastu keraamika on suure kõvadusega, kuid madala sitkusega. Looduslikult pole olemas materjali, mis rahuldaks kõiki vastuolulisi nõudmisi. Lahendusena kasutatakse sitkemaid ja kulumiskindlamaid mitmekihilisi komposiitpindeid, kus pindel on mõlema materjali parimad omadused.

Pinne on materjali kiht või kihid, mis on kunstlikult tekitatud kaetavale pinnale. Pindeid liigitatakse vastavalt kasutatava materjali järgi metalseteks või mittemetalseteks, lakk- ja värvkateteks. Kõigil neil on spetsiifilised omadused ja pealekandmise tehnoloogiad. Pindeid on võimalik peale kanda pea igale materjalile paksusega mõnest makromeetrist kuni 15 millimeetrini.

Pinde väliskiht puutub kokku ümbritseva keskkonnaga. Pinde aluskiht, milleks on iga väliskihi all asetsev kiht, puutub kokku alusega. Aluseks võib olla kas kaetav pind ise või mitmekihilise katte puhul, alumine kattekiht.

Alus- ja pindematerjali vahel olev nake ehk pinde side, mis võib olla keemiline mehaaniline või nende kombinatsioon. Mitut kattekihti kasutades on võimalik saada parema nakketugevusega pinne. Nakke parandamiseks kasutatakse täiendavat termotöötlust või kiirendatakse osakeste liikumist.

Pindeid kantakse toodetele kaitseks, dekoratiivse ilme saamiseks ning eriomaduste andmiseks. Kaitset vajavad eelkõige korrosioonialdid materjalid. Kaitsvad pinded tõstavad tavaliselt ka toodete tugevust, kulumiskindlust ja vastupidavust agressiivsetes keskkondades töötamisel. Dekoratiivsed pinded parandavad toodete välisilmet ja täidavad ka teatud kaitsefunktsioone. Pinded võivad anda tootele ka eriomadusi: muuta elektri- ja soojajuhtivust, elektriisolatsiooni ja magnetilisi omadusi, valguse kiirgamise ja neeldumise võimet, keemilist püsivust, kulumiskindlust jm.

Pindeid iseloomustavad omadused:

- Termolöögi kindlus
- Termostabiilsus
- Soojusjuhtivus
- Kulumis-, erosiooni- ja korrosioonkindlus
- Fraktsiooni sitkus
- Adhesioon pinde ja alusmaterjali vahel
- Madal soojapaisumise tegur
- Roomekindlus, purunemise omadused

4.2. Fluorpolümeerpinded

Polümeerpindeid kasutatakse sageli kombinatsioonis keraamikam karbiitsete või metallpinnetega. Polümeersed pinded nagu TEFLON®, pakuvad kulumiskindlat pinda väga väikese hõõrdekoefitsendiga.

Pinnete rakendamise tulemusena saavutatakse järgmist:

- hea kulumiskindlus
- hea korrosioonikindlus
- hea kuumuskindlus ja kuumuspüsivus
- suurendatud oksüdatsioonikindlus
- suurendatud survetaluvus
- madal hõõrdetegur [24]

Lõputöös kasutatud pindematerjalid on tabelis 2.

Tabel 2.

Lõputöös kasutatud fluorpolümeer- ja metallipulbri pindamismaterjalid

Whitford Plastics Dykor 810	Pulber PFA
Whitford Plastics Dykor 830	Pulber PVDF
Whitford Plastics Xylan 8221	Lahustipõhine PTFE aluspindematerjal
Whitford Plastics Xylan 8224	Lahustipõhine PTFE põhipindematerjal
Whitford Plastics Xylan 1052	Lahustipõhine PTFE sisaldab MoS ₂
Castolin Eutectic 19400	Fe+Cr (metallipulber)
Castolin Eutectic 29029	NiAl (metallipulber)

5. PINDAMISE TEHNOLOOGIAD

5.1. Pindamistehnoloogia võimalused

- Taastada ja tugevdada detaile, mille tulemusena suureneb nende tööiga 2...3 korda
- Kanda pindeid praktiliselt kõigile materjalidele
- Tõsta detailide kulumiskindlust, suurendada kuumus- ja korrosioonikindlust
- Saada keraamilisi-, dekoratiiv- ja mitmekihilisi (komposiit)pindeid
- Saada pindeid paksusega mõnest mikromeetrist kuni 15 mm-ni. [25].

5.2. Termopindamise etapid

Fluorpolümeerpinnete kulumiskindluse tõstmiseks kasutatakse termopindamist, mis koosneb järgmistest etappidest:

- Detaili pinna ettevalmistus
- Aluskihi pihustamine
- Põhikihi pihustamine
- Pinde kuumutamine
- Pinde kvaliteedi kontroll
- Pinde lõpptöötlemine
- Pinde kvaliteedi kontroll

5.3. Katsekehade ettevalmistamine

Katsekehade ettevalmistust alustatakse aluspinna puhastamisega. Hoolikalt puhastatud pind omab suurt tähtsust, et hästi teostatud pindamine tagaks hea ja kvaliteetse katte. Selleks on kolm viisi – mehaaniline, keemiline ja termiline meetod. Sagedasti kasutatakse ka mitut viisi korraga.

Tugevdatavad ja taastatavad detailid defekteeritakse ja puhastatakse mustusest ja määrdeainetest. Selleks kasutatakse orgaanilisi lahusteid ja pesemisvahendeid. Ebaühtlaselt kulunud detailide pinnad töödeldakse ühtlaseks, et peale kantav pinne oleks ühtlase paksusega ja alusmetalliga hea nakkuvusega.

Käesolevas lõputöös kasutati laborikatsetel mehaanilist puhastamist liivapritsi ILB 120 (vt. joonist 10). Korralikult puhastatud pind tagab kvaliteetsema pinnakatte. Liivaprits eemaldab pinnalt rooste, värvi, tagi ja õli ning abrasiivjoaga töötlemisel muudetakse pinnad aktiivseks ning antakse detailile vajalik pinnakaredus. Liivaprits vajab töötamiseks pidevat 0,5 MPa suruõhujuga ning abrasiivjuga 100 – 150 µm suunatakse detaili pinnale 40 – 50 mm kauguselt. Abrasiivjoaga töötlemise ja pindamise vahe peaks olema maksimaalselt kaks tundi. Liivapritsi tehnilised andmed leiad tabelist 3.



Joonis 10. Tallinna Tehnikakõrgkooli pindamislaboris kasutatav liivaprits ILB 120.

Tabel 3.

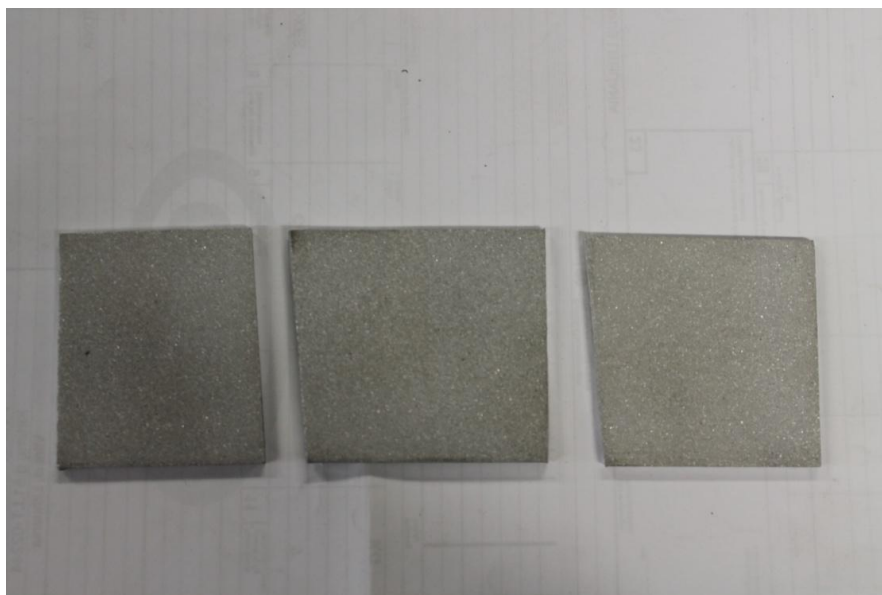
Liivaprits ILB 120 tehnilised andmed

Abrasiiv Al_2O_3	100-150 µm
Õhusurve	0,5 Mpa
Kaugus katsekehast puhastamisel	40-50 M

5.4. Pindekihtide pihustamine

Käesoleva lõputöö pindamine ja uuringud viidi läbi Tallinna Tehnikakõrgkooli pindamislaboris. Pindamisteks kasutati kolme erinevat seadet ja kahte fluorpolümeeri tüüpi, lahustipõhist ja pulbrilist. Lahustipõhistest fluorpolümeeridest kasutati Whitford Plastics Xylan 1052, PTFE mis sisaldab molübdeendisulfiiti (MoS_2), kahel detaili kaeti aluskiht Whitford Plastics Xylan 8221 ja põhikiht Whitford Plastics Xylan 8224, PTFE, ühele neist detailidest kanti pindekihi alla veel

gaasleekpihustusega üks kiht Castolin Eutectic 29029 nikkel-alumiinium ja üks kiht Castolin Eutectic 19400 kroomteras. Pulberfluorpolümeeridest kasutati Whitford Plastics Dykor 810, valge PFA, ja Whitford Plastics Dykor 830, punane PVDF. Lahustipõhiste fluorpolümeeride peale kandmine toimus madalsurvepihustusega ja pulbripõhiste fluorpolümeeride peale kandmine toimus elektrostaatilise seadmega euro-tec ultra-com 400. Joonisel 11 on pindamiseks liivapritsi ILB 120-ga ettevalmistatud detailid. Detailide mõõtmed ligikaudu 30x35mm, materjalideks alumiinium ja teras.



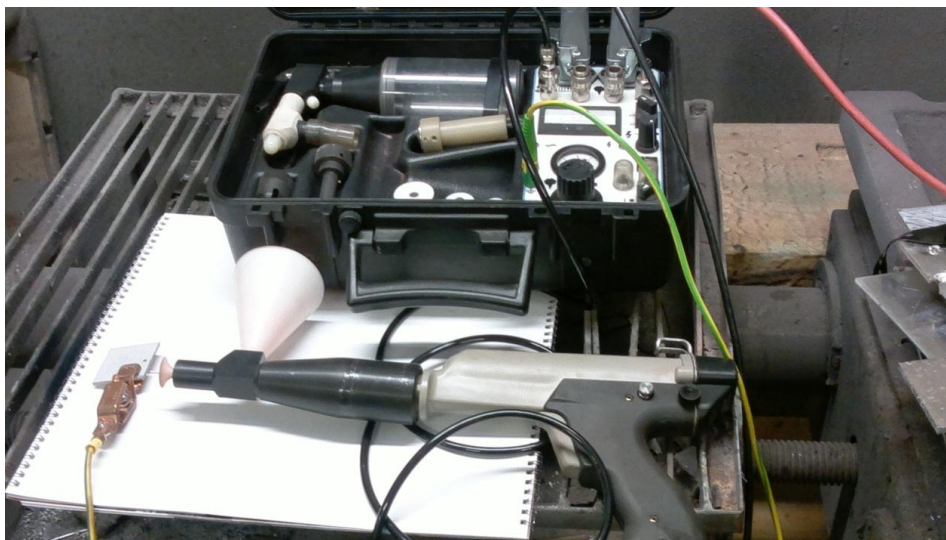
Joonis 11. Liivapritsiga ILB 120 puhastatud katsekehad

5.4.1. Elektrostaatiline pindamine

Elektrostaatilisel pulberpindamisel pihustatud pulbriosakesed laetakse elektriliselt, mistõttu nad tõmbuvad üksteisest ja jaotuvad düüsisist väljumisel ühtlaselt. Pihustatav pind laetakse vastasmärgiga laenguga või maandatakse, mille tagajärjel laetud pulbriosakesed tõmbuvad pinnale ja moodustavad ühtlase kihi. Selline pindamistehnoloogia on palju efektiivsem kui suruõhuga pindamine, sest tagab ühtlasema kihi ja suurendab katmise efektiivsust. Lisaks saavad raskesti ligipääsetavad kohad kergemini kaetud. Pulberpindamise korral kuumutatakse ahjus kaetud pinda ning pealekantud pulber sulab ja muutub tugevaks plastiks. [26]

Käesoleva lõputöö pulberpindamine toimus fluorpolümeeridega Whitford Plastics Dykor 810, valge PFA pulber, ja Whitford Plastics Dykor 830, punane PVDF pulber. Seadmega eurotec ultra-com 300 (vt. joonist 12). Liivapritsiga puhastatud katsekehad laeti vastasmärgiga laenguga ning alustati pindamist, pindamine toimus ühtlase kiirusega, et osakesed saaksid moodustada ühtlase kihi. Pärast pindekihi peale kandmist asetati katsekehad ahju, ahjutemperatuur Whitford Plastics Dykor 810

pinde puhul 379 - 380 °C ja ahjutemperatuur Whitford Plastics Dykor 830 pinde puhul 275 °C, et pulbrikiht sulaks tugevaks plastiks. Pidevalt jälgides kuumutati katsekehasid ahjus ligikaudu 20 minutit, see järel asetati katsekehad jahtuma.



Joonis 12. Elektrostaatilise pindamise seade Eurotec ultra-com 400

5.4.2. Madalsurvepihustamine

Madalsurvepihustamise tehnoloogiaga kantakse lahustipõhine fluorpolümeer katsekeha pinnale õhujoaga ning kuivatatakse ahjus või õhus. Antud tehnoloogia eeliseks on lihtsus.

Käesoleva lõputöö madalsurvepihustamise töökäik:

Puhastatud katsekehad asetati enne pindamist pooleks tunniks 225 °C ahju, et aurustuks kogu niiskus.

Kuivatatud katsekehad jahutati toatemperatuuril ning puhastati liivapritsi, seejärel alustati madalsurvepihustamist. Madalsurvepihustusseadmeks on tavaline värviprits. Esimesele katsekehale kanti peale esimene kiht Whitford Plastics Xylan 1052, seejärel lasti pindel kuivada. Kuni katsekeha temperatuur oli 30 °C. Seejärel kanti peale teine kiht, et pinne jääks ühtlane ja detail saaks kaetud. Pärast teise kihi peale kandmist asetati katsekeha ahju, ahju temperatuur 260 °C. Pidevalt jälgides kuumutati detaili ahjus 20-25 minutit.

Teise katsekeha pindamine toimus lahustipõhise PTFE pindematerjaliga, Whitford Plastics Xylan 8221 aluskiht ja Whitford Plastics Xylan 8224 kaks põhikihti. Katsekeha pihustamine toimus sarnaselt Whitford Plastics Xylan 1052-ga, kuid siin kanti esialgu aluskiht, pärast kuivamist pihustati põhikiht. Kui pinded olid peale kantud asetati katsekeha ahju, ahi ei olnud eelnevalt kuumutatud. Pinde ühtlaseks kuumutamiseks toimus järkjärgult katsekeha kuumutamine koos ahjuga temperatuurile 420 °C. Seejärel jälgiti katsekeha ja kuumutati ahjus temperatuuril 420 °C orineteeruvalt 15 - 20 minutit. Seejärel tõsteti katsekeha jahtuma.

Kolmanda katsekeha pindamine toimus samuti lahustipõhise PTFE pindematerjaliga, Whitford Plastics Xylan 8221 aluskiht ja Whitford Plastics Xylan 8224 kaks põhikihti, kuid enne pindekihi peale kandmist pihustati katsekehale metallipindekihid gaasleekpihustiga CastoDyn DS 8000 (vt. joonist 13). Esimeseks metallikihiks oli Castolin Eutectic 29029 NiAl ja teiseks metallikihiks oli Castolin Eutectic 19400 Fe+Cr. Peale katsekeha jahutamist temperatuurile 30 °C, kanti sarnaselt eelmises lõigus kirjeldatud meetodiga peale pindekihid ja toimus katsekeha kuumutamine.



Joonis 13. Gaasleekpihustus seade CastoDyn DS 8000

Tabelis 4 on välja toodud gaasleekpihustuse CastoDyn DS 8000 tehnilised andmed.

Tabel 4.

Gaasleekpihustuse CastoDyn DS 8000 tehnilised andmed: [27]

Tootlikkus	1- 8 kg/h
Hapnikurõhk	4,0 bar
Atsetüleenirõhk	0,7 bar
Suruõhurõhk	0 - 6 bar

5.5. Pinnete kvaliteedi hindamine

Juhul kui pindamisel osakeste liikumine ei ole ühtlane, siis pinnakihi tekivad tühimikud ehk poorid, mida nimetatakse pihustumustriks. Tekkinud pihustumustri järgi saab kindlaks teha kulgenud termopindamisprotsessi. Samuti on võimalik mõõta kihi paksust. Võttes arvesse kihi paksust, kulunud pindematerjali hulka ja pindamiseks kulunud aega, on võimalik arvutada pindamisprotsessi kasutegur.

Pinde kasuteguri definitsioon on antud standardiga EN ISO 17836, millega võrreldakse erinevaid pindeprotsesse ja pinde materjali.

Pindekihi kvaliteeti mõjutavad :

- Pindamisprotsessiga ladestatud pinnakihi kasutegur. Antud koefitsendiga võrreldakse aluspinnale sadestatud pinde ja pihustatud pinde kaalu. Selle protsessi omadus sõltub enamasti pihusti seadistusest, pinde materjali omadustest, pihustuskaugusest, pinna temperatuurist, pihustusnurgast.
- Pihustatava pindematerjali omadustest nagu komponendi suurus, kuju ning lisaks põleti pihustussuunast.

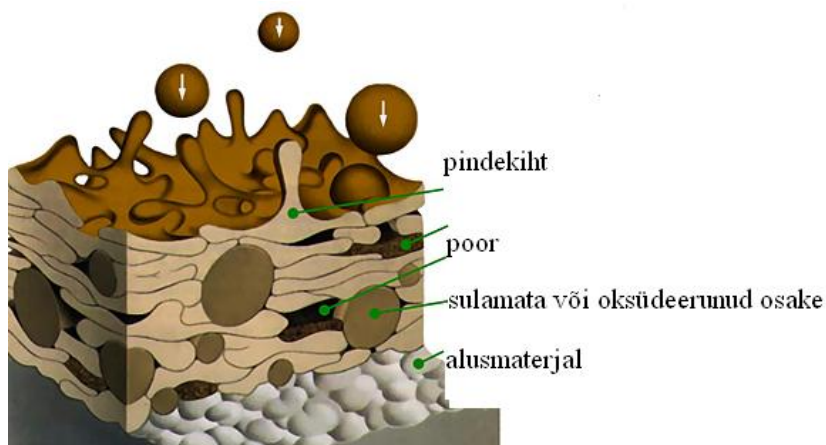
Pinde kvaliteedi iseloomustamiseks valmistatakse vastavad katsekehad ning määratakse pinde mikrostruktuur ja mirkokõvadus.

Pinnakihi iseloomustamiseks kasutatakse järgnevaid omadusi:

- Mikrostruktuur (poorsus, sulamata osakesed, oksüdatsiooni aste)
- Makrokõvadus (Rockwell C või B)
- Mikrokõvadus (Vickers või Knoop)
- Nakketugevus (adhesioon ja kohesioon)
- Korrosioonikindlus
- Kulumiskindlus
- Termotabiilsus
- Dielektriline läbitavus

Selleks et saada pinnakatetest paremat ülevaadet ja hinnata pinde kvaliteeti, tehakse katsekehast mikrolihv. Mikrolihvi abil hinnatakse pinde ristlõiget ning tekkinud defekte nagu pinde poorid, sulamata ja oksüdeerunud osakesed. Joonisel 14 on katsekeha ristlõige.

Üks suuremaid probleeme on pinde poorsus. Ideaalne pinde kiht peaks olema võimalikult tihe ja poorsus peaks jääma alla 20%. Mistahes meetodiga pealekantud pinded on poorsed. Sõltuvalt erinevatest pindepulbritest ja pihustusprotsessidest võib poorsus varieeruda. Pulberpinnete tihedusele (poorsusele) avaldab eelkõige mõju pindamisviis: mida suurem on pulbriosakeste kiirus pindamisel, seda tihedam tuleb pinne. Madal poorsus tähendab tavaliselt paremat kulumis- ja korrosioonikindlust. Poorid võivad anda ka positiivset efekti ja tõsta kulumiskindlust, kui pinne töötab hõõrdekulumise



Joonis 14. Katsekeha ristlõige [28].

tingimustes, sest poorides säilib õli. Abrasiivkulumine, korrosiooni, oksüdeerumise jm sellistes tingimustes töötavate pinnete poorsus on ebasoovitav. Samas tagatakse suurendatud poorsusega pinde madalam soojusjuhtivus ning rakendatakse soojusülekanne tõkestavatel pinnetel.

Sõltudes kulgenud protsessist ja antud parameetritest võib pindes esineda ka mittesulanud osakesi. Need osakesed ei sulanud millegi pärast täielikult ja nende esinemine nõrgestab pinde nakketugevust. [29]

6. FLUORPOLÜMEERPINNETE UURINGUD

Käesolevas lõputöös sooritati järgmised laboratoorsed katsed:

- Pinde mikrokõvaduse mõõtmine
- Katsekehade mikrolihvide uuringud
- Stuktuuri uuringud

6.1. Pinnakõvaduse määramine

Kuna pinnete kõvadust ei saa mõõta suurte koormustega kasutati mikrokõvadustestrit Innovatest 400. Vickersi meetod põhineb teemantpüramiidi sissesurumisel materjali. See meetod võimaldab määrata mis tahes metalli või sulami kõvadust ning sobib nii õhukese metalli kui ka pinnakihi kõvaduse määramiseks. Meetodi puuduseks on kõrgendatud nõuded pinna viimistlusele, sisuliselt on nõutud poleeritud pinda.

Vickersi kõvadustestri puhul surutakse pinda neljatahuline püramiid tahkudevahelise nurgaga 136° ja jõuga 9,8...980 N. Jälje diagonaal mõõdetakse optilise mikroskoobi abil. Jälje mõõtmise skeem Vickersi meetodil on toodud joonisel 15. Kõvaduse arvutamine Vickersi meetodi korral toimus järgmise valemi järgi:

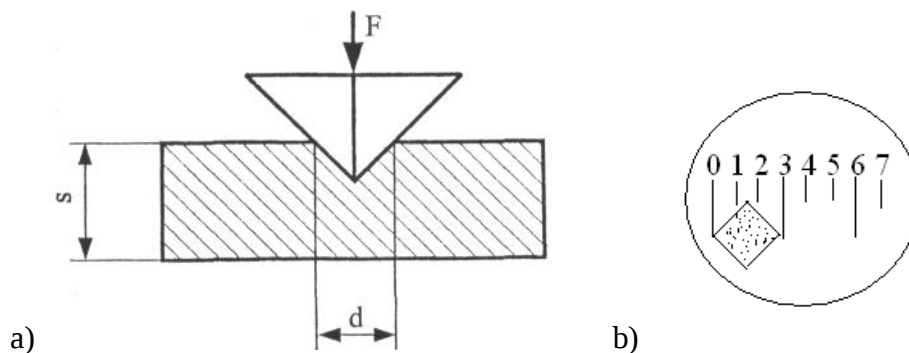
$$HV = \frac{F}{A} = \frac{2F}{d^2} \times \sin \frac{\alpha}{2} = 1,8544 \times \frac{F}{d^2},$$

kus F – jõud N,

S – jälje pindala mm^2

α – püramiidi tahkudevaheline nurk ($\alpha = 136^\circ$)

d – jälje diagonaal mm [30].



Joonis 15. Vickersi kõvaduse määramise skeem (a) ja jälje mõõtmine (b) [30]

Käesolevas lõputöös on tegemist õhukeste pinnetega ning kõvadust ei saa määrata nii suurte koormustega. Tuleb kasutada mikrokõvadustestrit. Mikrokõvadustestri Innovatest 400 korral saab kasutada koormusi 11 kuni 20 N.

6.2. Materjalide kõvaduskatsete tulemused

Katsekehasid oli erinevate pinnetega kokku viis ning igale katsekehale tehti kolm mõõtmist. Nelja katsekeha alusmaterjal oli alumiinium ning ühe katsekeha alusmaterjal oli teras. Pinnakatteks olid fluorpõlümeeerid, lahustipõhised - ja pulbripõhised fluorpõlümeeerid.

Katsekeha 1- kaetud Xylan 1052, mis on polütetrafloroetüleen molüdisulfiit, katsed sooritati koormusega 0,5 kg ja koormus kestvus oli 10 sekundit. Alusmaterjal teras S235JR, EN 10025 .

Katsekeha 2 – kaetud aluskiht Whitford Plastics Xylan 8221 ja põhikiht Whitford Plastics Xylan 8224. Katsed sooritati koormusega 0,3 kg ja koormus kestvus 10 sekundit. Katsekeha alusmaterjal EN AW 2024, EN 573 (AlCu4Mg1) alumiiniumisulam.

Katsekeha 3 – kaetud pulbrilise fluorpõlümeeeriga Whitford Plastics Dykor 830. Katsed sooritati koormusega 2,0 kg ja koormus kestvus 10 sekundit. Katsekeha alusmaterjal EN AW 2024, EN 573 (AlCu4Mg1) alumiiniumisulam.

Katsekeha 4 – kaetud pulbrilise fluorpõlümeeeriga Whitford Plastics Dykor 810. Katsed sooritati koormusega 1,0 kg ja koormus kestvus 10 sekundit. Katsekeha alusmaterjal EN AW 2024, EN 573 alumiiniumisulam.

Tabelis 7 on toodud välja fluorpõlümeeerpinnete mikrokõvadused.

Katsekeha 5 – kaetud aluskiht Xylan 8221 ja põhikiht 8224, mille aluskihi EN AW 2024, EN 573 (AlCu4Mg1) alla on veel pihustatud gaasleekpihustiga nikkel-alumiiniumi üks kiht ja kroom-terast üks kiht. Selle katsekeha mikrokõvaduse uurimiseks ei olnud võimalik kasutada Vickersi

mikrokõvadus testrit. Mikrokõvaduse määramiseks kasutati Brinelli meetodi, mis sooritati seadmel Wilson Wolpert WHU-330 (Joonis 16.).



Joonis 16. Kroomterasest pinde kõvaduse mõõtmiseks kasutatud seade Wilson Wolpert WHU-330

Tabel 5.

Kroomteras pinde kõvadus

	HB
a. Katse	117
b. Katse	116
c. Katse	114
Keskmine kõvadus	116

Tabel 6.

Fluorpolümeerpinde kõvadus

	HB
1. Katse	64
2. Katse	72
3. Katse	72
Keskmine kõvadus	69

Tabel 7.

Fluorpolümeeride mikrokõvadused

Materjal	Koostis	Katse 1	Katse 2	Katse 3	Keskmine kõvadus
Xylan 1052/MoS ₂	PTFE ja MoS ₂ lahustipõhine	494 HV 0,5	501 HV 0,5	520 HV 0,5	505 HV 0,5
Xylan 8221/8224	Kahe komponentne PTFE pinne lahustipõhine	116 HV 0,3	139 HV 0,3	143 HV 0,3	133 HV 0,3
Dykor 810	PFA pulberpinne	508 HV 1,0	623 HV 1,0	694 HV 1,0	608 HV 1,0
Dykor 830	PVDF pulberpinne	1346 HV 2,0	820 HV 2,0	813 HV 2,0	993 HV 2,0

Mikrokõvaduste tulemuste järgi on kõige suurema kõvadusega materjal pulberpinne Whitford Plastics Dykor 830. Pulbriliste pinnete kõvadus on suurem kuna neid paagutatakse kõrgematel temperatuuridel ning pinde ja alusmaterjali vahel tekib tugevam nake. Pulbriliste materjalide kõvaduse määramiseks tuli võtta suuremad koormused, selleks, et tekiks jälg. Lahustipõhiste pinnete kõvaduse määramiseks võeti väiksemad koormused, kuna pinne oli pehmem. Liiga suur koormus tekitas pindesse suure jälje, mida ei saanud mikroskoobi all vaadelda ega ka mõõta. Väikseima kõvadusega pinne on kahekomponentne Whitford Plastics Xylan 8221/8224.

6.3. Mikrolihvide valmistamine

Katsekehade mikrolihvide valmistamiseks lõigati neist vajaliku suurusega ribad, mida tehti abrasiivlõikekettaga, firma Buehler Delta abrasiivmet/ abrasive cutter (vt joonis 17.). Katsekeha kinnitati töölauale ning lõigati välja ribad mõõtmetega 5x8 mm.

Mikrolihviks sobiva katsekeha saamiseks kasutati kuumvormipressi Buehler Simplimet 1000 (vt. Joonis 18.). Katsekehadest valmistatud ribad asetati vormi 40 mm sügavusele ning puistati peale fenoolvaigu pulbrit (phenolic resin powder). Vormi kuumutati ühe minuti jooksul temperatuuril 150 °C ja rakendati rõhku 290 bar, jahutuse kestvus oli 3 minutit.



Joonis 17. Abrasiivlõike seade, Buehler Delta abrasiivmet/ abrasive cutter



Joonis 18. Kuumvormipress Buehler SimpliMet 1000

Lõpliku mikrolihvi saamiseks kasutati lihvimis- ja poleerimisseadet (Buhler Beta grinder – polisher) (vt. Joonis 19). Katsekehad paigutati pressitud hoidikusse, mis omakorda kinnitati masina padruni külge. Hoidik suruti vastu alusplaati, millele oli kinnitatud liivapaber. Mikrolihvide tegemiseks kasutati nelja eri fraktsiooniga liivapaberit (180; 400; 1200; 4000), aegajalt niisutati töötamise ajal liivapaberit veega. Viimane poleerimine tehti viltkettal, mida töötamise ajal niisutati vee ja räbustilahusega (abrasiiviga). Lihvimisel rakendati koormust 40 N, viimasel poleerimisel viltkettal vähendati koormust 20 N-ile. Iga kettaga lihvimise/poleerimise kestvus oli 2 minutit ning ketaste pöörlemine teineteise suhtes oli vastassuunaline, see annab parema ja kiirema tulemuse. Kui kõigi viie kettaga oli poleerimine teostatud oli võimalik nende pinnete struktuure mikroskoobi all vaadelda. Joonisel 20 on lihvitud ja poleeritud katsekehad.



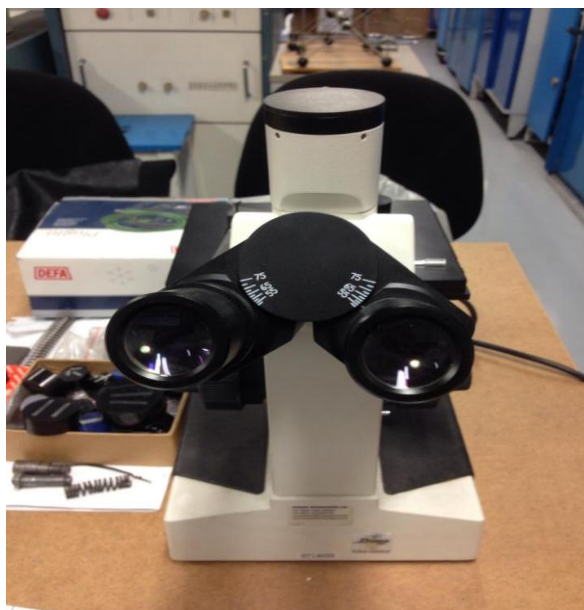
Joonis 19. Lihvimis- ja poleerimismasin, Buehler Beta grinder -polisher



Joonis 20. Lihvitud ja poleeritud katsekehad

6.4. Pinnete struktuurid

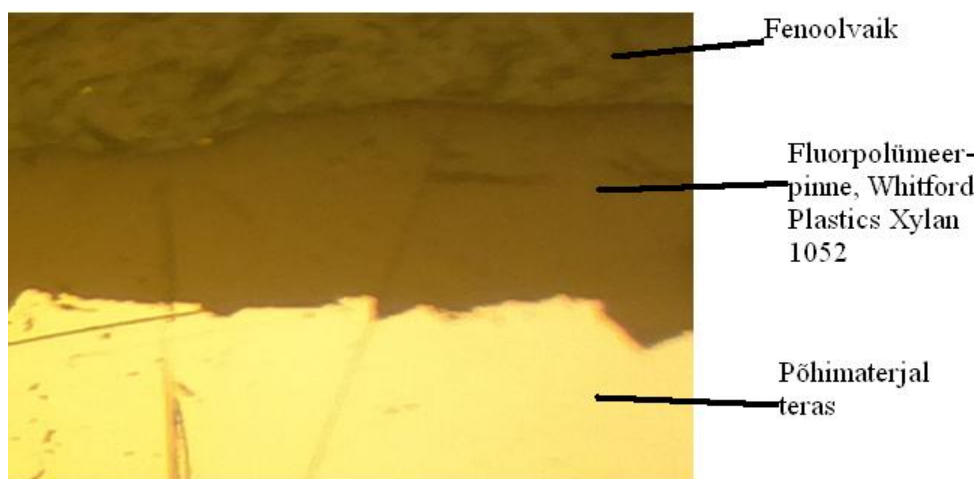
Pinnete struktuuriuuringuteks valmistati punktis 6.3 toodud kirjelduse järgi katsekehad, mida uuriti mikroskoobiga. Mikroskoobi Brunel Microscopes LTD-ga (vt. joonist 21.) vaadeldi struktuure suurendusega 100. Pinnete alusmaterjalideks oli neli alumiinium- ja üks terasplaat, joonistel 22 ja 23 on lahustipõhised pinded (Whitford Plastics Xylan 8221, Xylan 8224 ja Xylan 1052) ja joonistel 24. ja 25 on pulberpinded (Whitford Plastics Dykor 810 ja Dykor 830).



Joonis 21. Katsekehade struktuuri uuringuteks kasutati mikroskoopi Brunel Microscopes LTD

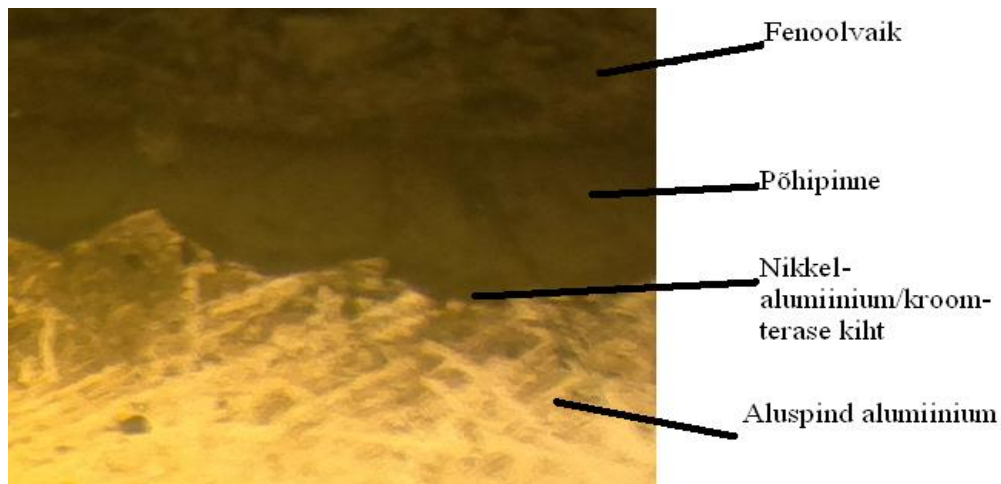
6.4.1. Lahustipõhised pinded

Terasest ja alumiiniumist katsekehad kaeti firma Whitford poolt toodetud Xylan lahustipõhiste fluorpolümeermaterjaliga. Pindamiseks kasutati madalsurvepihusust.



Joonis 22. Fluorpolümeerpinne, Whitford Plastics Xylan 1052/ MoS_2 (suurendus 100 x).

Joonisel on näha põhimaterjal teras S235JR, mille peal on fluorpolümeerpinne, Whitford Plastics Xylan 1052/ MoS_2 ja katsekeha valmistamiseks kasutatud fenoolvaik. Pindes ei esine poore ning pinne suhteliselt tihe. Pooride vähesus määrab ka pinde kõvaduse. Sellest võib järeldada, materjalil on hea kulumiskindlus ja kemikaalikindlus. See fluorpolümeerpinne on väga hea vastupanuvõimega rõhule. Whitford Plastics Xylan 1052/ MoS_2 pinnakatet kasutatakse laagrite, klapi vedurude, rõngas tihendite katmiseks.

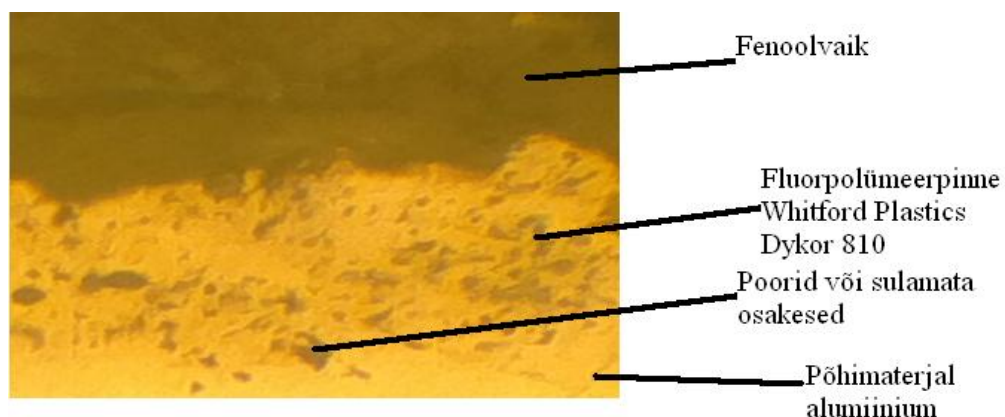


Joonis 23. Kahekomponentne fluorpolümeerpinne, Whitford Plastics Xylan 8221/8224, mille pinde alla on pihustatud kroomterase metallikiht (suurendus 100 x).

Joonisel 23 on kahekomponentne fluorpolümeerpinne Whitford Plastics Xylan 8221/8224, mis on pinnatud madalsurvepihustamisega. Fluorpolümeerpinde kihi all on gaasileekpihustusega pihustatud ka kroomterase metallipinne. Eutectic 29029 nikkel-alumiinium ja Eutectic 19400 kroom-teras. On näha kahte pindekihti metallipinne ja fluorpolümeerpinne. Metallipinne annab materjalile suurema kõvaduse ja kulumiskindluses. Fluorpolümeerpinne ei kulu põhimaterjali alumiiniumini vaid seiskub metallipinde juures. Kuumakindluse ja mittekleepuvuse omaduste poolest kasutatakse seda fluorpolümeerpinnet küpsetustarvikute, pottide ja pannide katmiseks.

6.4.2. Pulbripõhised pinded

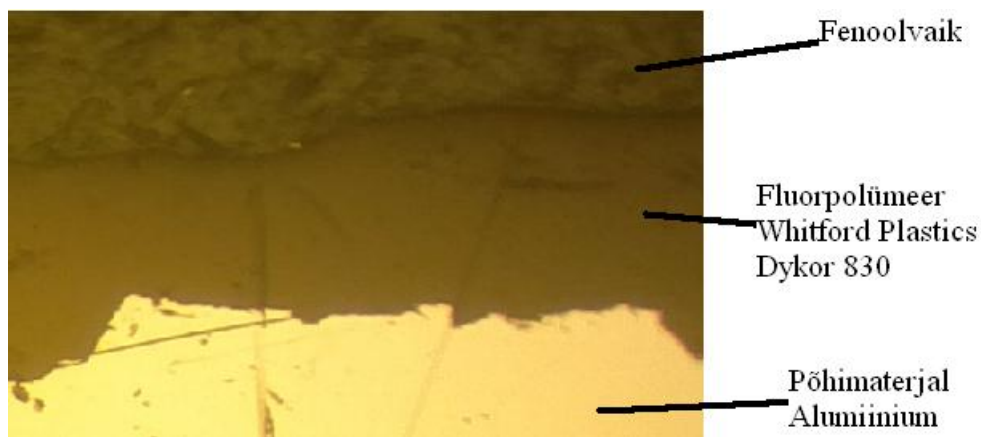
Alumiiniumist katsekehad kaeti firma Whitford poolt toodetud Dykor pulbriliste fluorpolümeerpinnetega. Pindamiseks kasutati elektrostaatilist pihustamist.



Joonis 24. Fluorpolümeerpinne, Whitford Plastics Dykor 810 (suurendus 100 x)

Joonisel 24 on elektrostaatiliselt pindamisel saadud pulbriline fluorpolümeerpinne, Whitford Plastics Dykor 810, alumiiniumist katsekehale. Pinde sees on mustad täpid, mis viitavad osaliselt sulanud pulbrile. Mõnikord annavad poorid hea soojusisolatsiooni ja dielektrilise läbitavuse. Whitford

Plastics Dykor 810 pindega kaetakse detaile, millele on vaja head korrosiooni- ja kemikaalikindlust. Kasutatakse näiteks keemilise töötlemise seadmete detailide katteks ja toiduainetetööstuses.



Joonis 25. Fluorpolümeerpinn, Whitford Plastics Dykor 830 (suurendus 100 x)
Joonisel 25 on elektrostaatiliselt pihustatud pulbrilise fluorpolümeermaterjali Whitford Plastics Dykor 830, pinne. Pindel on mustad täpid ja jooned need võivad olla poorid või saaste. Poorid muudavad pinde tihedust ja kulumiskindlust väiksemaks, kuid suurendavad soojusisolatsiooni ja kemikaalikindlust. Kasutatakse keemiatööstus seadmetes.

KOKKUVÕTE

Seoses tööstuse ja tootmise pideva arenemisega on tänapäeva seadmetes palju detaile, mis peavad töötama ekstreemsetes tingimustes. See seab materjalidele kõrgeid nõudmisi. Materjalidel peavad olema kõrgtehnoloogilised omadused, kuid ükski materjal pole samaaegselt kõrgete mehaaniliste ja füüsikaliste omadustega, sellepärast tuleb vajalike omadustega materjali saamiseks kasutada pindamist. Pindekihi pihustamine annab alusmaterjalile vajalikud omadused. Erinevate pindmaterjallidega saavutakse näiteks tugevaid ja korrosioonikindlaid materjale. Samuti on võimalik pindamisega taastada detaile ja anda neile uus elu ja väljanägemine.

Käesolev lõputöös on ülevaade fluorpolümeeridest, nende ajaloost ja välja on toodud tuntumad fluorpolümeerid ning nende omadused.

Lõputöö eesmärgiks on võrrelda lahustipõhiste ja pulbriliste fluorpolümeerpinnete tehnoloogilisi omadusi ja kasutust saadud labori tulemuste põhjal.

Käesolevas lõputöös uuriti kolme erineva pindamistehnoloogiaga saadud tehnikas enamkasutatavaid fluorpolümeerpindeid. Katsekehade põhimaterjaliks kasutati alumiiniumi ja terast. Lahustipõhiste fluorpolümeerpindematerjalide peale kandmiseks kasutati madalsurvepihustust värvipritsiga. Pulbrilised fluorpolümeerpindematerjalid kanti peale elektrostaatilise pihustusega seadme eurotec ultra-com 300-ga ja metallikihtide pindamiseks kasutati gaasleekpihustust seadmega CastoDyn DS 8000. Saadud katsekehadel uuriti pinnakõvadust ja struktuuri. Pindematerjalidest kasutati lahustipõhiseid Whitford Plastics toodetud Xylan 1052, kahekomponentne Xylan 8221/8224. Ühe katsekeha, mille pindematerjaliks kasutati Xylan 8221/8224, valmistamisel pihustati fluorpolümeerpindekihtide alla Castolin Eutectic 29029 NiAl ja Castolin Eutectic 19400 Fe+Cr metallipindematerjale. Elektrostaatilise pihustusega kanti katsekehadele pulbrilised fluorpolümeerpindematerjalid Whitford Plastics toodetud Dykor 810 ja Dykor 830.

Pindamistehnoloogia valikust sõltub pinde struktuur ja kõvadus. Pulbriliste fluorpolümeeride nakkuvus alusmaterjaliga on parem kui lahustipõhistel fluorpolümeermaterjalidel. Kuna elektorostaatiline pindamine katab põhimaterjali ühtlasemalt, saadakse kõvadus ja struktuur parem kui madalsurvepihustusega. Parema kõvaduse on tingitud ka sellest, et elektrostaatilise pihustuse käigus saadud pindeid tuleb kuumutada kõrgematel temperatuuridel. Kuumutamisel sulavad

pulbriosakesed ühtlasemalt ja ristsildavad ennast tugevamalt põhimaterjali osakestega. Ka tehtud uuringud andsid sama tulemuse. Pulbripõhised fluorpolümeerpinded olid kõvemad ning struktuurilt tihedamad kui lahustipõhised fluorpolümeerpinded.

SUMMARY

With the constant development of the industry and the production, the modern equipment contains details that need to operate in extreme conditions. This sets high standards for materials. Materials must have high technical characteristics. However, not a single material has high mechanical and physical properties at the same time. This is why coating is used for getting material with necessary characteristics. Coating provides the base material with necessary characteristics. For example different strong and corrosion resistant materials are obtained with coating. With coating it is also possible to restore details and to give them new life and appearance.

This thesis gives an overview of fluoropolymers and their history. Also well-known fluoropolymers and their characteristics are outlined.

Goal of this thesis is to compare solvent-based and powder fluoropolymer coatings technological characteristics and their use according to laboratory test results.

In this thesis the three different coating techniques for most frequently used fluoropolymers are examined. Basic materials for test specimens were aluminium and steel. Low-pressure spraying with paint sprays were used for solvent-based fluoropolymer coating. Powder fluoropolymer material coating was carried on with electrostatic spraying equipment (eurotec ultra-com 300) and flame thermal spraying device (CastoDyn DS8000) was used for metal layer coatings. Hardness and structure of test specimen was examined. Solvent-based Xylan 1052 and double component Xylan 8221/8224 from Whitford Plastics were used for coating. One specimen was sprayed with metal layer materials Castolin Eutectic 29029 NiAl and Castolin Eutectic 19400 Fe+Cr before it being coated with Xylan 8221/8224. Electrostatic spraying was used for coating specimen with powder fluoropolymer materials Dykor 810 and Dykor 830 (Whitford Plastics).

Coating structure and hardness depends from coating technology being used. Powder fluoropolymers have better adhesion with base material than solvent-based fluoropolymers. A improved hardness and structure is obtained because electrostatic coating covers the base material more evenly than low-pressure spraying. Improved hardness is also due the fact that the electrostatic coating has to be heated at an elevated temperature. Powder melts more evenly when heated and it cross-links itself strongly with base material particles. Studies confirmed this result.

Powder based fluoropolymers were harder and had firmer structure than the solvent based fluoropolymer coatings.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] P. Kulu, Rene-Ben Nava, Tehnoplastid, insenerimaterjalid IV, Tallinn 1999, p. 104
- [2] P. Christjanson, Polümeerteaduse alused, Tallinna Tehnikaülikool, Polümeermaterjalide instituut, teine trükk 2003, p. 120
- [3],,www.wikipedia.org,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polymers> [Kasutatud 25. Märts, 2014.].
- [4],,www.intechopen.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.intechopen.com/books/nanocomposites-new-trends-and-developments/polymer-clay-nanocomposites-concepts-researches-applications-and-trends-for-the-future> [Kasutatud 25. Märts, 2014.].
- [5],,www.e-ope.ee,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.e-ope.ee/_download/euni_repository/file/400/Ptk_1.pdf [Kasutatud 25. Märts, 2014.].
- [6],,www.kanut.ee,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kanut.ee/loengud/loeng07.pdf> [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [7],,www.fluoropolymer-facts.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.fluoropolymer-facts.com/About/index.cfm?navItemNumber=4032> [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [8],,www.runblogrun.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.runblogrun.com/2012/02/saucony-unveils-next-generation-trail-collection-with-gore-tex-brand-technologies-release-note-by-la.html> [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [9],,www.fluoropolymer-facts.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.fluoropolymer-facts.com/about/content.cfm?ItemNumber=4136&navItemNumber=4036> [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [12],,www.metcoat.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.metcoat.com/fluoropolymer-coatings.htm> [Kasutatud 10. Aprill, 2014.].
- [13],,www.fluoropolymer-facts.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.fluoropolymer-facts.com/Benefits/index.cfm?navItemNumber=4033> [Kasutatud 10. Aprill, 2014.].
- [14],,www.blinexfiltercoat.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.blinexfiltercoat.com/fluoropolymer-ptfe-coated-fasteners.html> [Kasutatud 10. Aprill, 2014.].

- [15] E. Piiraja, Plastmassid, Tallinn, Valgus, 1975
- [16] Tallinna Tehnikakõrgkool, Enimkasutatavad tehnoplastid ja nende turustamine Eestis, Mehaanikateaduskond, p. 65
- [17],,en.wikipedia.org,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluoroethylene> [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [18],,www.wisegeek.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.wisegeek.com/what-are-the-risks-of-using-teflon-pans.htm> [Kasutatud 10. Aprill, 2014.].
- [19],,en.wikipedia.org,” [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Perfluoroalkoxy_alkane [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [20],,www.boedeker.com,” [Võrgumaterjal]. Available: http://www.boedeker.com/feppfa_p.htm [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [21],,en.wikipedia.org,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/ETFE>, [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [22],,www.tidningenglas.se,” [Võrgumaterjal]. Available: http://tidningenglas.se/~100514/tidningenglas.se/public_html/?page_id=274, [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [23],,en.wikipedia.org,” [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Fluorinated_ethylene_propylene, [Kasutatud 3. Aprill, 2014.].
- [24],,www.otter-ag.ee,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.otter-ag.ee/files/Microsoft%20Word%20-%20Thermal%20Spray%20Processes.pdf> [Kasutatud 10. Aprill, 2014.].
- [25],,www.tktk.ee,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tktk.ee/ettevotjale/teenused/mehaanikateaduskonna-teenused/> [Kasutatud 10. Aprill, 2014.].
- [26],,et.wikipedia.org,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://et.wikipedia.org/wiki/Aerosoolv%C3%A4rvimine>, [Kasutatud 10. Aprill, 2014.].
- [27],,www.castolin.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.castolin.com/product/castodyn-ds-8000-kits> [Kasutatud 17. mai, 2014.].
- [28],,www.fst.nl,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.fst.nl/about-thermal-spray-process> [Kasutatud 15. mai, 2014.].
- [29],,www.otter-ag.ee,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.otter-ag.ee/files/Microsoft%20Word%20-%20Thermal%20Spray%20Processes.pdf> [Kasutatud 15. mai, 2014.].

[30],,www.ttu.ee,”

[Võrgumaterjal].

Available:

http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika_instituut/MTM0010/Labori_kodut66de_juhend_2010.pdf