

# MATERJALIDE JA MATERJALITEHNOLOOGIAALASTEST UURINGUTEST TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO LIS

Priit Kulu

Tallinna Tehnikaülikooli materjalitehnika instituut

Uued materjalid ja materjalide kõrgtehnoloogiad on üks neljast prioriteetsest teadusvaldkonnast, milledeks materjaliteaduse kõrval on infotehnoloogia, bio- ja geenitehnoloogia ning keskkonnatehnoloogia. Seda ka Tallinna Tehnikaülikoolis, kus materjalialaste uuringutega tegeldakse mitmes instituudis ja keskuses (materjaliteaduse instituut, materjalitehnika instituut, polümeerimaterjalide instituut, materjaliuuringute keskus). Teadus- ja arendustöö materjaliteaduse valdkonnas TTÜ-s on saanud kõrge hinde 2002. a läbi viidud teaduse evalveerimisel ning teadustöö tulemused on leidnud tee ka praktikasse.

Läbi aastate on uute materjalide ja materjalitehnoloogiaalaste uuringute põhiliseks läbiviijaks mehaanikateaduskonnas olnud materjalitehnika instituut. Teadus- ja arendustegevuse osakaal instituudi tegevuses moodustab ca 70% (rahalisest mahust). Selle tööga on hõivatud 11 teadurit, 7 õppejõudu ning arvukalt magistrante ja doktorante.

## ALUS- JA RAKENDUSUURINGUD

### UURIMISVALDKONNAD JA UURIMISGRUPID (GRUPIJUHI D):

- ✓ pinded ja pinnatehnoloogia (Priit Kulu);
- ✓ materjalide desintegraatortehnoloogia (Dmitri Goljandin);
- ✓ materjalide ja toodete katsetamine (Riho Päärsoo);
- ✓ kulumis- ja korrosioonikindlad pulbermaterjalid (Jakob Kübarsepp, Jüri Pirso);
- ✓ kulumiskindlate materjalide triboloogia (Irina Hussainova);
- ✓ materjalide liitetehnoloogiad (Andres Laansoo).

### PINDED JA PINNATEHNOLOOGIA

Pinded, õhukesed mikromeetrilised ja paksud (kuni mõni mm) on leidmas üha laialdasemat kasutust nii uute toodete (tööriistad, masinaosad) tugevdamisel kui ka kulunud detailide jms taastamisel. Enam kui

viisteist aastat on tegeldud kulumiskindlate pinnetega, eelkõige uute pindematerjalide ja neist pinnete saamisega, pulberpinnete kulumisega ning pinnete valikuga seotud küsimustega.

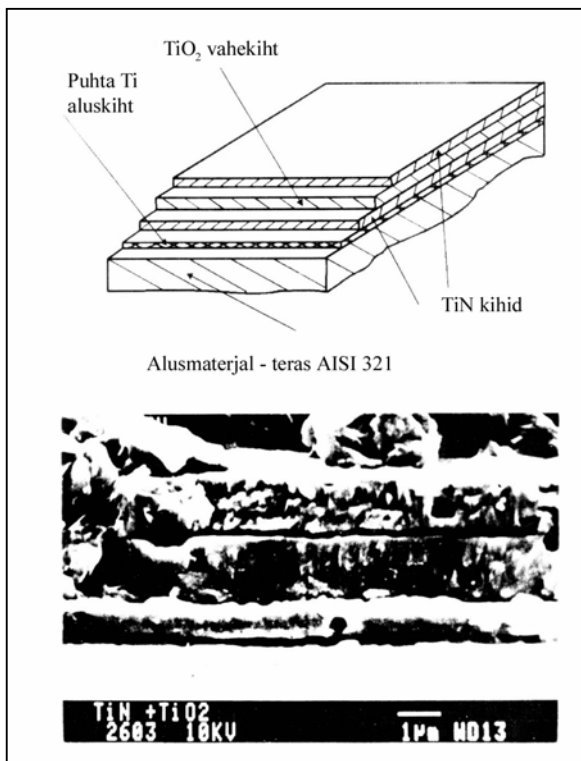
Töö uute pindematerjalide ja neist pinnete loomisel on toimunud põhiliselt kahes suunas:

- mitmekihiliste ja struktuursete õhukeste (kuni 10 µm) füüsikalise aurustussadestuse (PVD) teel saadud titaannitriidsete (TiN) pinnete tehnoloogia ja omaduste uurimine;
- kulumiskindlate kiirleekpihustus- (*high velocity oxy-fuel* – *HVOF*) ja pihustussulatuskomposiitpinnete saamise tehnoloogia ja omaduste uurimine.

Esimesel uurimissuunal on uurimisobjektiks õhukesed PVD-pinded. Pinnete korrosioonikindluse tõstmiseks on mindud defektivabade homogeensete monopinnete ja mitmekihiliste kombineeritud pinnete (titaan-titaanoksiid-titaannitriid) suunas. Eriomadustega pinnete loomisel on aga orienteeritud sammasstruktuuriga sadestuspinnete ja duplekspinnete kasutamisele (joonis 1).

Teisel uurimissuunal on põhitähelepanu pühendatud järgmistele küsimustele:

seniste kulumiskindlate pinnete korrosioonikindluse tõstmiseks sideainena puhaste metallide pulbrite (Co, Ni) asemel legeersulamite ülipeente pulbrite kasutamine. Tööd viiakse läbi Põhjamaade (Norra, Rootsi, Soome ja Eesti) ühisprojekti tingnimetusega NOVCOAT raames. TTÜ materjalitehnika instituudi osa projektis seisneb desintegraatortehnoloogia abil alla 3–5 µm osise suurusega pulbrite saamises, nende omaduste (osiseline koostis, eripind, morfoloogia jt) uurimises ning volframkarbiidmetall-süsteemi aglomereeritud komposiitpulbrite saamises pihustamise-kuivatamise-paagutamise teel. Viimane viiakse läbi Fraunhoferis (FhG);



Joonis 1.

Mitmekihiline titaani baasil eriomadustega pinne.

jäätmekõvasulami korduvkasutus: kasutatud kõvasulamist kõvasulampulbri saamine desintegraatorjahvatamise teel, pulbri omaduste uurimine, pulbrist aglomeratsiooni teel pihustuspulbrite ning neist kiirleekpihustuspinnete saamine;

töök abrasiierversiooni tingimustes pinnete struktuuri optimiseerimine ja pinnete valiku põhimõtted. Töök keerukates löökerosiooni tingimustes on välja pakutud nn topeltarmeeritud struktuur (*double-cemented structure*), selle realiseerimise teed, pinnete valiku tribotehnilised, struktuursed ja kvalitatiivsed (kõvadus-sitkus) parameetrid ning vastavad valikudiagrammid.

Väljundiks tööstuses pinnete uurimisvaldkonnas on paberimasinate võllide taastamine ja tugevdamine kulumiskindlate pinnetega AS-le Kohila Paber, õhkjahuti bimetalsete torulaudade tehnoloogia AS-le

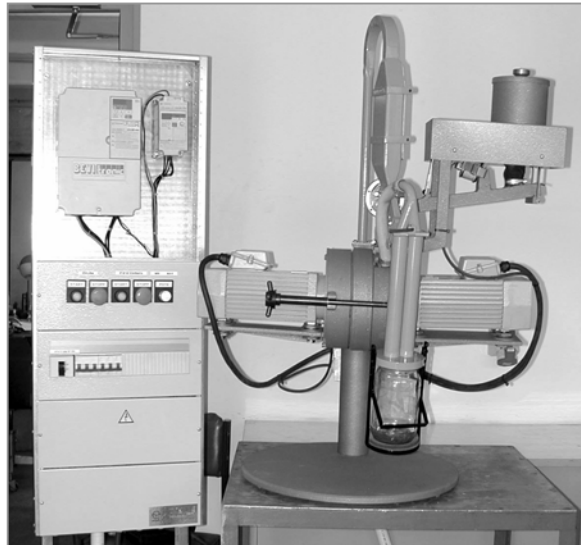
Tallinna Masinatehas, tehnoloogilise aparatuuri kaitsmine barjäärpinnetega AS-le Silmet jpt.

## DESINTEGRAATORID JA DESINTEGRAATORTEHNOLOOGIA

Antud uurimisvaldkonnas on jätkatud töid kahel suunal:

- desintegraatorite edasiarendus, jahvatusseadmete ja jahvatusprodukti klassifitseerimise efektiivsuse tõstmine;
- desintegraatorjahvatuse uute kasutusvaldkondade uurimine.

Esimesel suunal on välja töötatud tänapäeva tehnikal – sagedusmuunduritega kiirelektrimootoritel baseeruv laboratoorne desintegraator (joonis 2), mis võimaldab saavutada jahvatamiserienergiad enam kui 20 kJ/kg ja jahvatada praktiliselt igasuguseid materjale – elatsetest haprateni. On valmistatud kummi jahvatamise eksperimentaalseadmed ja projekteeritud tööstuslik seade OÜ-le Kiviõli Keemiatööstus. Ülipeente materjalide saamiseks on teoreetiliste uuringute alusel välja töötatud tsentrifugaalprintsibil töötav laboratoorne ja tööstuslik ülipeenjahvatusseade.



Joonis 2.

Laboratoorne desintegraator DSL-175.

Tänu seadme erikonstruktsioonile ja tööorganeil kaitsva jahvatatava materjali kihi moodustumisele on võimalik saada ülipuhtaid ja ülipeeni (alla 1 µm) jahvatusprodukte. See on tinginud ka jahvatusprodukti klassifitseerimisseadmete edasiarendamisest. Plastsetest metallidest desintegraatorjahvatamise teel saadud peenpulbrite puhul ei sobi sõelklassifitseerimine (praktiliselt alla 20 µm osise korral kõlbmatu) ega ka õhkklassifikaatorid. Seda silmas pidades on välja töötatud tsentrifugaal-põhimõttel töötav jahvatusprodukti klassifikaator, mis võimaldab saada peente pulbrite (alla 5 µm) kiitsa osiselise koostise jaotuse (suurusega 2...5 µm osiste osakaal kuni 80%). Jahvatusprodukti osiselise koostise määramiseks on võetud kasutusele lasergranulomeetria seade, mis võimaldab uurida pulbrilisi materjale osise suurusga 0,3–600 µm. Jahvatusprodukti osise morfoloogia kirjeldamiseks on arendatud edasi kujutise analüüsimeetodeid ja võetud kasutusele matemaatilisi meetodeid osakese kuju kirjeldamiseks. Siin toimub tihe koostöö Slovakkia TA Materjaliuuringute Instituudiga (prof M. Besteri) ja Eesti Sisekaitseakadeemiaga (prof H. Käerdi).

Teisel uurimissuunal – desintegraatorite ja desintegraatorjahvatuse uued kasutusvaldkonnad – on põhitähelepanu pühendatud desintegraatoritehnoloogia kasutamisele jäätmetöötlustes. Olgu näitena siin toodud:

- ✓ jäätmekõvasulamist kõvasulampulbri saamine selle edasiseks kasutamiseks komposiitpindepulbri materjalina;
- ✓ mitmesuguste metallide ja sulamite tööstuslike jäätmete – laastu ümbertöötamine metallipulbriks selle edasiseks kasutamiseks pulbermetallurgias;
- ✓ akrüülplastiku tööstuslike jäätmete ümbertöötamine selle edaspidiseks kasutamiseks plastikust toodete valmistamiseks;
- ✓ põllumajandusjäätmete ümbertöötamine nende keevkihtpõletamiseks mobiilsetes energiajäämades;
- ✓ autokummide tükeldamine ja jahvatus nende edasiseks kasutamiseks kummipuruna või pürolüüsiga kütteõli tootmiseks jpt.

#### KULUMISKINDLAD PULBERMATERJALID JA KULUMINE

Enam kui neli aastakümnet on olnud materjaliuurijate uurimisobjektiks abrasiiverosioonkulumine. On tegeldud põhiliste pulbermaterjalide ja -pinnete

abrasiiverosioonkulumisega: materjalide ja pinnete suhteline kulumiskindlus, kulumismehhanism, materjalide ja pinnete valik tööks konkreetsetes kulumistingimustes. Uudseks teemaikaks on materjalide ja pinnete abrasiiverosioonkulutamine kõrgetel temperatuuridel – kuni 700 °C, võimaldamaks määrata nende kasutust energeetikaseadmes jm.

Kõrvuti abrasiiverosioonkulumisega uuritakse ka teisi kulumisemeetodeid:

- ✓ pulbermaterjalide ja -pinnete abrasiiv- ja hõõrdekulumist,
- ✓ pulberkõvasulamite korrosioonerosioonkulumist;
- ✓ materjalide ja kaitsekilede nanotriboloogia (koostöö Tartu Ülikooli Füüsika Instituudiga).

Sihteema raames on toimunud teadustöö neljal uurimissuunal:

- projekteeritud omadustega kulumiskindlad pulbertribomaterjalid;
- materjalide tribomeetriliste karakteristikute uurimine;
- miniatuurset täppis- ja biotribosüsteemid;
- pinded tribotehnoloogias.

Esimesel suunal on uuringud suunatud karbiidkermiste ( $Cr_3C_2$ , WC, TiC,  $B_4C$ ) kulumiskindluse suurendamisele. Tehnoloogia valdkonnas on mindud TiC-NiMo ja  $Cr_3C_2$ -Ni kermiste legerimisele muldmetallide (Y, Ce, Nd) oksiididega ja  $Cr_3C_2$ -Ni kermiste legerimisele molübdeeni ja booriga. Legerimine molübdeeni ja booriga võimaldab tõsta  $Cr_3C_2$ -Ni kermiste erosioonikindlust 2–4 korda.

On uuritud erinevatel meetoditel saadud (astmeline ja otsesüntees)  $Cr_3C_2$  pulbri baasil valmistatud kermiste omadusi ja võrreldud neid uue, TTÜ-s väljatöötatud  $Cr_3C_2$  baasil kermiste reaktsioonpaagutamise teel saadud kermiste omadustega. Viimased on peenema ja ühtlasema struktuuriga ning ligi 2 korda suurema erosioonikindlusega. Samas on uuritud sulami ja struktuuri moodustumist TiC ja  $Cr_3C_2$  baasil kermiste paagutamisel.

On alustatud uuringuid nanostruktuursete WC, TiC ja  $Cr_3C_2$  baasil kermiste valmistamiseks. Selleks on valmistatud kõrgenergeetilised jahvatusseadmed – atriitorveskid ja välja töötatud režiimid TiC nanopulbrite (osise suurus alla 100 nm) saamiseks mehaanilise sünteesi teel atriitoris toatemperatuuril.

On selgitatud välja Sinter HIP-tehnoloogia positiivne mõju survetöötlemisel kasutatavate kermiste töökind-

luskarakteristikutele, mis põhineb eksperimentidel katsestantsil perspektiivsete TiC-baasil kermiste uurimiseks (joonis 3).

On uuritud termotötluse mõju iselevi-kõrgetemperatuursünteesi meetodil toodetud kergkermistes  $B_4C$ -Al-sulam toimuvatele faasimuutustele, mis mõjutavad oluliselt materjali tribokarakteristikuid.

Karbiidkermiste väsimuskarakteristikute uurimisel on selgitatud välja TiC-FeNi kermiste väiksema väsimustundlikkuse põhjuseid võrreldes WC-Co ja TiC-NiMo kermistega – karbiiditerade morfoloogia ja metallsideaine struktuuri erinevused jt.

Teisel suunal on senisest suuremat tähelepanu pööratud erinevate kulumisliikide mikrostruktuursete ja füüsikaliste aspektide – termomehaanilised nähtused, mikrodefektid jms – väljaselgitamisele. Karbiidkermiste abrasiiv- ja abrasiiverosioon-kulumiskindluse uurimisel on tuvastatud kahe kulumisliigi vaheline korrelatsioon. Kermiste kulumise uuringutel kombineeritud tingimustes – piiskerosioonkorrosioonil ning korrosioonil ja piiskerosioonil on välja selgitatud kulumise kineetika ja mehhanism. Selleks töötati välja vastav katsemetoodika. On välja selgitatud kergkermise  $B_4C$ -Al-sulam kulumismehhanism ja kulumiskindlus, mis abrasiivkulumisel sõltuvad peamiselt sideaine struktuurist.

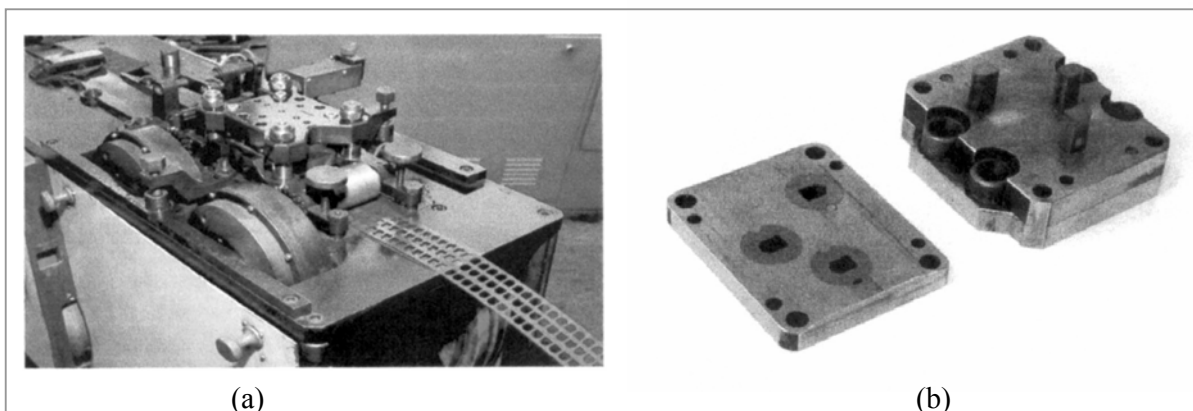
Katsemetoodika valdkonnas on jätkunud kõrgetemperatuurse kulutamise meetoodika väljatöötamine.

On toimunud keraamiliste materjalide abrasiivse erosiooni uuringud toa- ( $20^\circ$ ) ja kõrge temperatuuril ( $600^\circ C$ ). On valmistatud seade ja juurutatud abrasiivkulumise katsetamise meetoodika vastavalt USA standardile ASTM B611-85. Samuti on täiustatud eelnimetatud seadet ja välja töötatud meetoodika hõõrde- ja -kulumise määramiseks. On uuritud erineva koostise ja struktuuriga WC, TiC ja  $Cr_3C_2$  baasil kermiste abrasiiv- ja hõõrdekulumist ning selle mehhanismi erinevatel koormustel.

Mikro- ja nanotriboloogia suunal on elastohüdrodünaamiliste määrimise alaste tööde tulemusena õnnestunud tuvastada tahkete mikroosakeste toime-mehhanismid määrimisprotsessis ja luua lähted saastatud keskkonnas töötavate tribosüsteemide insenerarvutusteks. Leitud on hõõrde- ja kulumisprotsessi simuleerimisülesannete lahendused. On tehtud algust uuringutega pulbermaterjalide ja õhukeste kilede nanotriboloogia suunal.

Viimase suuna uuringutest oli pikemalt juttu pinnete uurimisvaldkonna all. Lisaks uuringute jätkumisele jahvatatud WC-baasil kermistest pihustatud ja sulatatud pinnete valdkonnas alustati uuringuid uudsete pindamismooduste – lokaalgalvaanika ja fluorpolümeerse materjalidega pindamise valdkonnas.

Üheks huvipakkuvamaks on termo- ja fluorpolümeerpinnete kombinatsioon ja nende hõõrdekulumise uurimine.



Joonis 3.

Uudse TiC-baasil kermisest elementidega armeeritud lõikestants lehtmaterjali stantsimiseks: (a) katsestants, (b) kermisega armeeritud stantsiosad.

## MATERJALIDE LIITETEHNOLOOGIAD

Põhiliselt on uuritud võimalusi liita volframivabu titaan- ja kroomkarbiidi baasil kõvasulameid ja kermiseid terastega survetöötlusriistade ja masinade valmistamisel. On välja töötatud tehnoloogilised parameetrid bimetalsete toorikute saamiseks, kasutades difusioonkeevituse ja kõvajootmise protsesse. Uute amorfsete joodiste kasutamisel on võimalik saada tugevaid liiteid, kuid rakendatava survejõu puudumine lihtsustab tehnoloogiat ja madalam liitmistemperatuur vähendab sisepeingeid liidetes. Eelmainitud liitmisprotsessid sobivad keraamika, titaani, jt materjalide liitmiseks metallidega. On uuritud võimalust kasutada uusi kaasaegeid joodiseid ning räbusteid põlevkivi kaevandusmasinate lõiketerade kõvasulamplaadidega armeerimisel. Tööstuslikud kõvajoodised võimaldavad tõsta liidete tugevust ja töökindlust kõrgendatud temperatuuridel, mis kaasnevad põlevkivi töötlemisel uute puurseadmetega.

On teostatud Eesti suuremate metallitööstusettevõtete keevituse kvaliteedi ja tehnilise taseme analüüs ning arendamisel on metoodika keevituse kvaliteedisüsteemide rakendamise efektiivsuse hindamiseks. Eriteraste keevituse kvaliteedisüsteemide väljaarendamine on seostatud ettevõtete ettevalmistamisega kvaliteedisüsteemi sertifitseerimiseks.

Alusuuringuid viiakse läbi Haridusministeeriumi poolt sihtfinantseeritavate teemadena, ETF grantide alusel ning Eesti tööstuse tellimisel lepingute raames. On käimas rahvusvahelised projektid: Põhja-maade ühisprojekt NOVCOAT "Uued kulumis- ja korrosioonikindlad termopindad" (koostööpartnerid: 4 teadusarendusasutust ja 11 tööstuspartnerit Norrast, Rootsist, Soomest ja Eestist. Eesti poolt osaleb TTÜ materjalitehnika instituut ja Sihtasutus TTÜ Materjalitööstustehnoloogiate Siirdekeskus); Laboraatorse desintegraator DSL-175M väljatöötamine ja valmistamine VTT-le (Soome).

Uute kõrgtehnoloogiliste materjalide ja materjalitehnoloogiate evitamiseks 1999. a loodud Materjalitööstustehnoloogiate Siirdekeskus (asutajad: TTÜ, Eesti Masinatööstuse Liit, TTÜ Innovatsioonikeskus, AS Kuusalu Tehas, OÜ Setton, Jena Liitetechnika ja Materjalide Katsetamise Instituut) on realiseerinud rea Eesti tööstusele orienteeritud projekte:

- kõrgtehnoloogiliste pindamistehnoloogiate evitamine (1999–2001);
- sulatusmetallurgia ja termotöötlus (2000–2001);

- materjalide katsetus- ja vastavushindamise alase tegevuse laiendamine (TTÜ Katsekoja mehaanikalaboris).

Siirdekeskuse käimasolevateks projektideks on:

- uued kulumis- ja korrosioonikindlad pindad karbiid-metall-komposiitpulbrite baasil;
- Sinter HIP paagutustehnoloogia kõvasulamite omaduste tõstmiseks;
- uute kõrgtehnoloogiliste sulatus- ja keevitusviiside evitamine.

Siirdekeskuse tulevikku näeme selle integreerumises kavandatava masinaehituse ja materjalitehnika arenduskeskusega.

Koostööpartneriteks on arvukad teadus- ja arendusasutused välismaal, Eesti tööstusettevõtted jm organisatsioonid:

- ✓ Eesti Masinatööstuse Liit;
- ✓ EML Tööriistatootjate Assotsiatsioon;
- ✓ tööstusettevõtted (AS Sumar, OÜ Setton, AS Silmet, AS ELME Masinaehitus, Balti ES AS jt);
- ✓ välismaa teadusarendusasutused (SINTEF, Norra; VTT, Tampere ja Lappeenranta Tehnikaülikoolid, Soome; Kuninglik Tehnikakõrgkool KTH, Rootsi; Taani Tehnoloogia instituut, Taani jt).

## MUU ARENDUSTEgevus

Alus- ja rakendusuuringu kõrval on materjalitehnika instituut kujunenud ka oluliseks teenuse osutajaks Eesti majandusele, eelkõige TTÜ katsekoja mehaanikalabori näol. Olgu siin loetletud olulisemad valdkonnad ja projektid:

- Eesti Raudtee metallurgialabor (PHARE projekt), koordinaator Riho Päärsoo;
- Materjalide katsetus- ja vastavushindamisalaste võimaluste laiendamine, koordinaator Riho Päärsoo;
- Uute kõrgtehnoloogiliste materjalide ja materjalitehnoloogiate evitamine (Materjalitööstustehnoloogiate Siirdekeskus);
- Täiendõpe keevituskoordinaatoritele ja surveadmete keevitustööde koordinaatoritele;
- Materjalide andmebaaside koostamine: Euro-metallid (materjalide Eurostandardid: markeerimine, omadused ja vastavus); terminoloogia arendus.

