

Termisellä ruiskutuksella monitoiminnallisia pinnoiteratkaisuja vaativiin teollisuuden käyttökohteisiin

Heli Koivuluoto ja Ulla Kanerva

DIMECC:n Hybrids-tutkimusohjelmassa on tehty laaja-alaisesti termisen ruiskutuksen ja pinnoitteiden kehitystyötä tiiviissä yhteistyössä teollisuuden ja tutkimuslaitosten välillä. Projektipartnerit kattavat koko arvoketjun aina pinnoitteiden raaka-aineista, pinnoitteiden valmistamiseen, tutkimukseen ja loppukäyttäjii asti, mikä onkin projektin yksi vahvuus. Tutkimus on erityisesti keskittynyt kehittämään ja parantamaan pinnoiteratkaisuja vaativiin käyttökohteisiin, jotka puolestaan tuovat erityisvaatimuksia materiaaleille, kulumis- ja korroosionkestävyydelle sekä käyttöiälle ja toimintakyvylle.

Johdanto

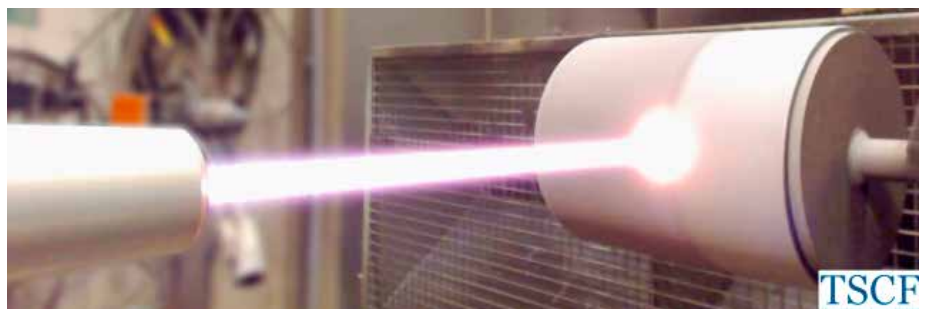
Terminen ruiskutus on suomalaisessa teollisuudessa yleisesti käytössä oleva menetelmä, jolla valmistetaan kappaleiden pintaan 100-1000 µm paksuisia pinnoitteita. Pinnoitteiden tavoitteena on muokata alkuperäisen kappaleen pinta paremmin käyttöolosuhteisiin sopivaksi tai korjata jo vioittunut pinta uudelleen käyttöön. Tyypillisiä käyttökohteita ovat kappaleiden pinnat, jotka altistuvat voimakkaalle kulumiselle ja korroosiolle. Pinnoitteen avulla mahdollistetaan varsinaisen kappaleen valmistaminen edullisemmasta ja monesti myös helpommin työstettävästä materiaalista. Lisäksi tarvittavat suojaominaisuudet saadaan kappaleeseen pinnoitteen avulla. Pinnoitusmenetelmä valitaan pinnoitettavan materiaalin ja haluttujen pinnoiteominaisuuksien perusteella. Tyypillisiä termisen ruiskutuksen menetelmiä ovat plasma-, suurnopeusliekki-, liekki-, valokaari- ja kylmäruiskutus, joiden avulla pystytään valmistamaan pinnoitteita keraameista, kova-metalleista ja metalleista.

Termisen ruiskutuksen ja niistä valmistettujen pinnoitteiden tutkimus- ja kehitystyötä on tehty laaja-alaisesti DIMECC:n Hybrids-tutkimusohjelman P2-projektissa "Multifunctional thick coatings and composites", jossa

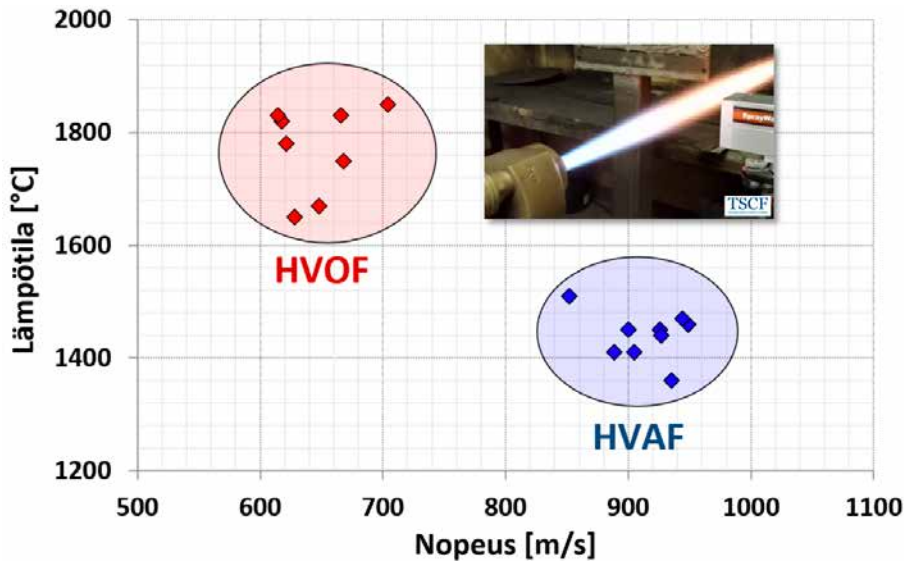
on mukana 11 yrityspartneria aina raaka-aine valmistajasta pinnoitteiden loppukäyttäjii saakka (Valmet Technologies, Metso Flow Control, Abloy, Kuopion Konepaja, Virtasen Koneistamo, Outotec, Telatek Service, Kokkola LCC, Oseir, Millidyne ja TKM TTT Finland) ja kolme pitkään termistä ruiskutusta ja siihen liittyviä ilmiöitä tutkinutta tutkimuspartneria, Tampereen teknillinen yliopisto (TTY), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Aalto-yliopisto. Lisäksi projektin aikana vuonna 2015 TTY:n ja VTT:n termisen ruiskutuksen kokeellinen toiminta yhdistyivät yhdeksi vahvaksi kokonaisuudeksi nimeltään Thermal Spray Center Finland (TSCF), jonka

seurauksena kaikki termisen ruiskutuksen laitteet siirrettiin yksin tiloihin TTY:lle. Tutkimusvoimien yhdistäminen ja TSCF-kokonaisuus edesauttavat kansainvälisen painoarvon kasvattamista ja takaavat laajemmat yhteistyömahdollisuudet.

Projektille asetettuja haasteellisia tavoitteita lähdettiin ratkaisemaan laajalla ja kokeneella konsortiolla. Vaikkakin termisesti ruiskutettuja pinnoitteita käytetään suomalaisessa teollisuudessa paljon, liittyy pinnoitteisiin edelleen haasteita, joita projektin puitteissa on pyritty ratkaisemaan. Vaativien käyttökohteiden tuomia vaatimuksia esimerkiksi materiaaleille, kulumis- ja korroosionkestävyydelle sekä käyttöiälle ja toimintakyvylle voidaan kehittää ja parantaa uusien pinnoiteteknisten ratkaisuiden avulla. Projektissa on erityisesti keskitytty termisen ruiskutuksen uusimpiin korkeakineettisiin ruiskutusmenetelmiin yhdessä pinnoitemateriaalikehityksen kanssa ja pinnoitteiden ominaisuuksien syvälliseen tutkimukseen parhaiden sovelluslähtöisten ratkaisuiden saavuttamiseksi. Kuvassa 1 esimerkkinä yksi uusista korkeakineettisistä termisen ruiskutuksen menetelmistä, HVAF (High-Velocity Air-Fuel) -ruiskutusmenetelmä.



Kuva 1. HVAF-suurnopeusliekkiruiskutuksella valmistetaan pinnoitetta sylinterikappaleen pintaan. Lähde: TTY.



Kuva 2. Suurnopeusliekkiruiskutusmenetelmien (HVOF (High-Velocity Oxygen-Fuel)- ja HVOF (High-Velocity Air-Fuel) -prosessit) partikkelinopeudet ja -lämpötilat mitattuna diagnostiikkalaitteen avulla. Lähde: TTY.

Kokonainen arvoketju mukana kehityksessä

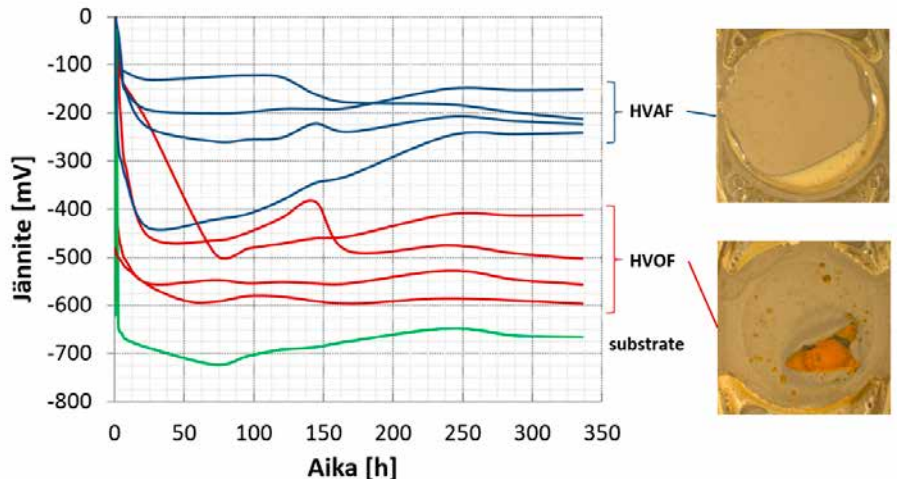
Projektin ehdoton vahvuus on projektipartnereiden muodostama arvoketju, jossa kaikki lopullisen pinnoitteen ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät ja loppukäyttäjät ovat edustettuina. Oikeanlaisen suorituskyvyn omaavan pinnoitteen valmistamisessa tarvitsee huomioida materiaalivalinnan lisäksi laadukas raaka-aine, ruiskutusprosessin toimivuus ja lopullisen pinnoitteen ominaisuudet. Jokaisen osa-alueen tulee olla hallinnassa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi ja tämä toteutuu hyvin tässä konsortiossa.

Pinnoitusraaka-aineen valmistajan roolissa projektissa on mukana Millidyne. Millidynen mukana olo on mahdollistanut myös kokeellisten ei-kaupallisten materiaalien testaamisen ketterästi projektin aikana. Projektissa ideoiduista materiaali-koostumuksista on valmistettu laadukkaat pinnoitusraaka-ainejauheet osaavissa käsissä teollisen mittakaavan laitteistolla. Jatkossa tämä helpottaa oleellisesti myös projektin aikana syntyvien uusien materiaali-innovaatioiden kaupallista hyödynnettävyyttä.

Pinnoitusprosessien moniosaajina projektia ovat vahvistaneet Kuopion Konepaja, Virtasen Koneistamo, Telatek Service, TKM TTT Finland ja Valmet Technologies. Kyseiset yritykset ovat valmistaneet pinnoitteita omiin tai alihankintana tehtäviin komponentteihin vuosikymmenien ajan. Heidän osaamistaan ja ymmärrystä ruiskutusprosesseista ja pinnoiteloppukäyttäjien tarpeista on hyödynnetty suunniteltaessa uusia materiaaliratkaisuja ja ruiskutustestejä. Ruiskutusprosessin monitoroinnin on projektille mahdollistanut Oseirin osallistuminen. Diagnostiikkatyökalu lisää ruiskutuksen aikana tapahtuvien ilmiöiden ymmärtämistä ja toimii laadunvarmis-

tusvälineenä. Diagnostiikkalaitteiden avulla pystytään seuraamaan ja mittaamaan partikkelien nopeuksia ja lämpötiloja, joilla on ratkaiseva vaikuttavat loppupinnoitteen ominaisuuksiin, kuva 2.

Projektin haastavat pinnoiteominaisuuksiin ja pintojen toimintakykyyn liittyvät tavoitteet on asetettu loppukäyttäjien kuten Valmet Technologiesin, Metso Flow Controllin ja Abloy'n näkökulmista. Yhteistyö projektipartnereiden välillä on ollut toimivaa ja jo projektin suunnittelu- että toteutusvaiheessa käyty avoin keskustelu on mahdollistanut tavoitteiden pysymisen haastavana ja yrityksiä hyödyttävänä läpi projektin. Lisäksi projektin tutkimuspartnerien rooli on merkittävä. TTY:llä, VTT:llä ja Aallolla on kaikilla pitkä historia pinnoitetutkimuksen saralla. Jokainen tutkimuspartneri toi oman roolinsa ja vahvuutensa konsortioon täydentäen toinen toiansa. TTY on keskittynyt pinnoitteiden



Kuva 3. Suurnopeusliekkiruiskutuksella valmistettujen kovametallipinnoitteiden korrosio-/lepotentiaalikäyttäytyminen suolavedessä. HVOF-prosessilla voidaan valmistaa tiiviimpiä ja korroosiota kestävämpiä kovametallipinnoitteita. Lähde: TTY.

valmistamiseen eri termisen ruiskutuksen menetelmillä ja näiden prosessien optimointiin sekä pinnoiteominaisuuksien tutkimiseen aina rakennekaraktisoinnista kulumis- ja korrosio-ominaisuuksien määrittämiseen. VTT on puolestaan keskittynyt materiaalikehitykseen ja kokeellisten jauheiden valmistamiseen sekä mallintamiseen. Aallossa on tutkittu erilaisia materiaali-koostumuksia ja niiden vaikutusta ominaisuuksiin. Tutkimusyhteistyö kattaa koko ketjun aina pinnoitelähtöaineiden valmistamisesta, pinnoitusprosessien optimoinnista, pinnoitteiden ominaisuuksien ja toiminnallisuuksien määrittämisestä ja kehittämisestä mallinnukseen ja sen hyödyntämiseen kehitystyössä.

Väitöstyötutkijat pureutuvat pintaa syvemmälle

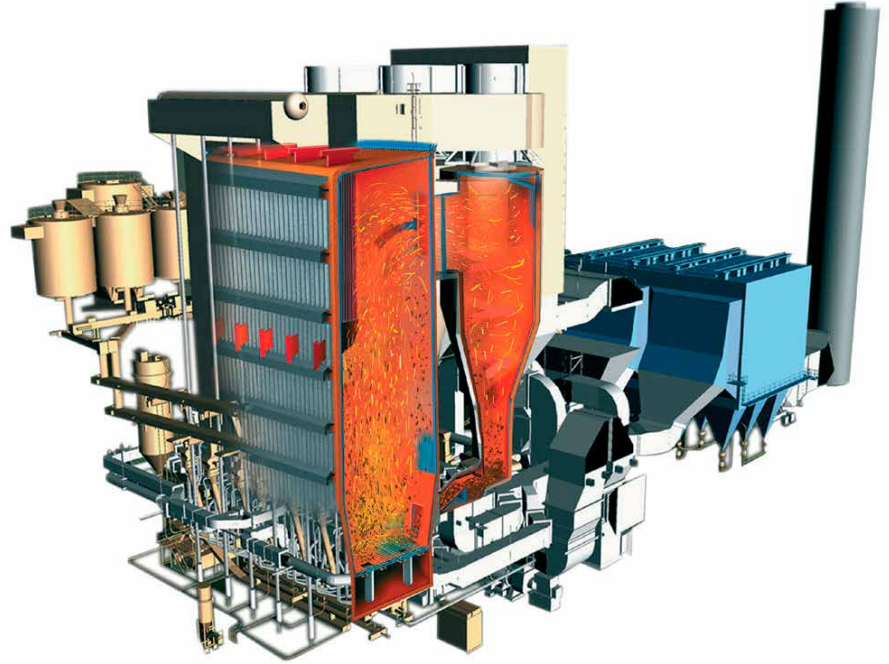
Projektissa on käynnissä neljä väitöstyötutkimusta termisen ruiskutuksen aihealueen parissa, mikä tuo osaltaan syvällistä tieteellistä ymmärrystä projektin sovelluslähtöisiin haasteisiin. Ville Matikainen (TTY) keskittyy tutkimuksessaan korkeakineettisesti ruiskutettujen kovametallipinnoitteiden prosessioptimointiin. Kuvassa 3 on esimerkiksi ruiskutusprosessien vaikutuksesta kovametallipinnoitteiden korroosionkestävyyteen. Jarkko Kiilakosken (TTY) tutkimusaiheena on termisesti ruiskutettujen keraamipinnoitteiden vauriosietoisuuden parantaminen. Davide Fantozzi (TTY) keskittyy pinnoitteiden korrosio-ominaisuuksiin energiantuotantoon liittyvissä olosuhteissa. Tatu Pinomaan (VTT) tutkimusaiheena puolestaan on termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden mallinnus. Nämä kaikki neljä väitöstyötutkimusta yhdessä projektin muun tutkimuksen kanssa ovat lisänneet pinnoite- ja materiaalitietämystä, ymmärrystä ruiskutusprosesseista sekä sovelluslähtöisen testaamisen kautta

pinnoiteominaisuuksista ja erityisesti eri osaluokkien vaikuttavista tekijöistä pinnoitteita tarvittavien ominaisuuksien kehittämisessä.

Loppukäyttäjän näkökulma – Valmet Technologies

Valmet Technologies on projektissa mukana pinnoitteiden valmistajana ja loppukäyttäjän roolissa. Termisesti ruiskutettuja pinnoitteita on käytetty paperikoneiden komponenteissa jo pitkään, ja esimerkiksi telapintoihin pinnoitteet valmistetaan pääsääntöisesti itse. Valmetilla on myös oma tuotekehitystiimi, joka työskentelee kovapinnoitteiden prosessien ja materiaalien kehityksen parissa parantaakseen lopputuotteiden suorituskykyä.

Paperikoneen telapintojen ominaisuusvaatimukset riippuvat telan lopullisesta sijainnista paperikoneessa. Valmistettavan paperituotteen laatu ja asiakkaan käyttämät raaka-aineet tuovat omat haasteensa sopivan pinnoiteratkaisun valintaan. Monessa tilanteessa pinnoite altistuu sekä kulumiselle että korroosiolle. Niin sanotun kemiallisesti kestävä pinnoiteratkaisun suunnitteleminen ja valmistaminen kaikkein vaikeimpiin kulumis- ja korroosiokohteisiin on haastavaa. Valmetin osalta projektin tavoitteena on ollut löytää pinnoiteratkaisuja, jotka ovat vikasietoisia ympäristöissä, joissa yllättävät mekaaniset kuormitustilat ja kemialliset olosuhteet kuormittavat komponentin pintaa. Projektin aikana on testattu modifioituja pinnoitusraaka-ainepölyjä ja uusia ruiskutusmenetelmiä uusien pinnoiteratkaisujen löytämiseksi. Tulosten perusteella on suunniteltu uudet ja kestävämmät pinnoiteratkaisut kalanteritelalle ja puristinosa-



Kuva 5. Periaatekuva CFB-kattila. Lähde: Valmet Technologies.

keskitelalle, kuva 4.

Projektissa tutkittiin myös mahdollisuutta hyödyntää uusia pinnoiteratkaisuja Valmetin kiertoleijupetikattiloissa (Circulating Fluidized Bed boiler, CFB-kattila), kuva 5. Haasteena kattilasovelluksessa on paineestiamateriaalien kestävyys olosuhteissa, joissa materiaali altistuu sekä korroosiolle että eroosiolle. Näissä kohteissa käytetään pinnoitteita ja muurauksia suojaamaan painerunkoa. Termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden materiaalivalinta on haasteellista varsinkin biopolttoaineita ja jäteperäisiä polttoaineita polttavissa kattiloissa johtuen käytettävien polttoaineiden epäpuhtauksista. Projektin aikana useampia pinnoitekoostumuksia tes-

tattiin laboratorio- ja sovellusmittakaavassa. Tulosten avulla ymmärrys pinnoiteratkaisujen tarjoamiin mahdollisuuksiin on noussut uudelle tasolle. Tämä helpottaa jatkossa oikean materiaalin ja pinnoitusmenetelmän valintaa kattilan eri komponentteihin.

Yhteenveto

Termisen ruiskutuksen kehitystyötä on tehty tiiviissä tutkimuslaitosten ja yritysten välisessä yhteistyössä DIMECC:n Hybrids-tutkimusohjelmassa. Projektissa on kehitetty uusia pinnoitemateriaaleja käytettäväksi optimoiduilla termisen ruiskutuksen pinnoitusmenetelmillä. Erityisesti tutkimus on keskittynyt uusiin korkeakineettisiin korkeanopeuksiin termisen ruiskutuksen menetelmiin ja niiden tuomiin etuihin pinnoiteominaisuuksien kannalta. Projektissa on kehitetty uusia pinnoitteita ja pintaratkaisuja teollisuuden vaativiin käyttökohteisiin. Projekti on tuonut uutta ymmärrystä pinnoiteominaisuuksista sekä uutta monialaista osaamista kotimaisille yrityksille. Sovelluslähtöinen kehittäminen yhdessä syvällisen tieteellisen tutkimuksen kanssa ovat olleet tämän projektin vahvuudet uusien pinnoiteratkaisujen kehittämisessä. Tutkimustyötä tarvitaan edelleenkin ja yhteistyö jatkuu varmasti jatkossakin.

Heli Koivuluoto
Tampereen teknillinen yliopisto,
Materiaalioppi
Tampere
ja
Ulla Kanerva
Valmet Technologies Oy
Jyväskylä



Kuva 4. Pinnoitettu kalanteritelan pinta pinnoituksen ja hionnan jälkeen. Lähde: Valmet Technologies.