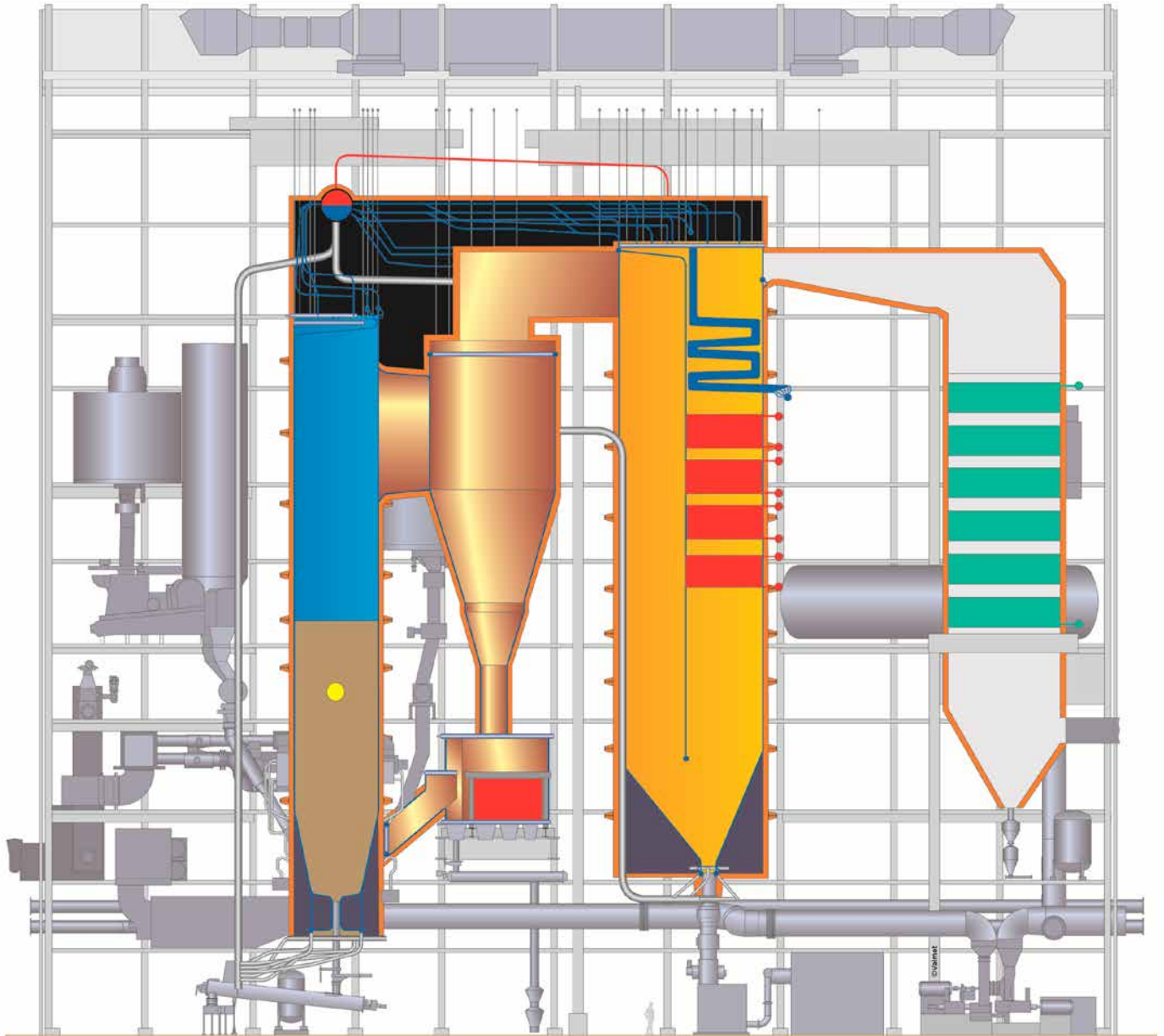


# Käyttövarmuutta kattiloihin uusilla materiaalivaihtoehdoilla

**Satu Tuurna, Jyrki Romu, Hannu Hänninen, Jouni Mahanen ja Tony Puikkonen**

Pinnoitus mahdollistaa joustavan materiaalin valinnan kohteen tarpeiden mukaan ja on usein kustannustehokkaampi sekä nopeammin saatavilla oleva vaihtoehto kuin korkeasti seostettu putkimateriaali. Oikein valitulla hitsauspinnoitteella saadaan tiivis suoja prosessiolosuhteita vastaan eikä lämmönjohtavuus tulipesästä prosessiin heikkene merkittävästi pinnoitteen hyvän lämmönjohtavuuden ansiosta.



Voimalaitosten käytettävyyteen ja ylläpitoon vaikuttavat alati muuttuva liiketoimintaympäristö sekä tiukentuvat ympäristövaatimukset. Laitosten käyttötavat muuttuvat mm. vaihtelevien, kustannustehokkuutta hakevien energialähteiden mukaan. Teknologiat kehittyvät uusien prosessien, polttoaineiden ja markkinoiden mukana, vaikkakin kehitystä hidastaa uusien materiaalivaihtoehtojen pitkät kehitysaajat. Tästä syystä erilaiset pinnoitteet, jotka voidaan asentaa jo hyväksytyjen, painelaittevaatimukset täyttävien, tunnetusti käyttäytyvien perusmateriaalien päälle, ovat kiinnostava vaihtoehto. Pinnoitusmenetelmien ja -laitteistojen kehittyessä pinnoitteilla on edellytykset tarjota kustannustehokas ratkaisu korkeasti seostetuille putkimateriaaleille. Pinnoitus on parhaimmillaan joustava menetelmä valmistuksen ja materiaalikoostumuksen suhteen. Runsaammin seostettuja ja kalliimpia materiaalivaihtoehtoja voidaan suunnitella korrosio- ja eroosiosuojausmielessä putkimateriaalin pinnalle kohteen mukaan.

DIMECCin BSA-ohjelman Productive broiler -projektissa on kehitetty ja testattu uusia hitsauspinnoitteita korkean lämpötilan soveluksiin, erityisesti kattilaympäristöjä ajatellen.

### Automatisoinnilla tasalaatuista pinnoitetta

Hitsauspinnoitettujen putkien sisäosan materiaali valitaan käyttölämpötilan ja lujuusominaisuuksien perusteella ja pintaan tuodaan hitsaamalla korroosiota ja/tai kulumista kestävä pintakerros. Hitsauspinnoituksessa syntyvä metallurginen sidos on etu verrattuna muihin pinnoitusmenetelmiin, koska tällöin pinnoitteen tartunta pohjamateriaaliin on hyvä ja haitallista pinnoitteen irtoamista ei pääse tapahtumaan. Kattilan kriittisiä osia voidaan hitsauspinnoittaa joko robotisoidusti pinnoitushitsausasemassa konepajalla tai paikan päällä asennushitsauksena. Hitsauspinnoitteen laatu vaikuttaa suoraan komponentin elinikään. Laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käytetty hitsausmenetelmä, prosessin tasalaatuisuus, pohjamateriaalin puhtaus, pinnoitteen kerrosrakenne, huokoisuus ja peittävyys sekä seostuminen perusaineen kanssa.

Hitsauslaitteistot ovat pitkälle automatisoituja. Hitsausparametrien, mm. jännitteen, virran, suojakaasun, langansyöttö- ja ajonopeuden, reaaliaikaisella seurannalla pyritään takaamaan tasainen laatu. Reaaliaikainen prosessivalvonta on erityisen tärkeää hitsattavan alueen ollessa laaja. Esimerkiksi kattilalaitosten kohdalla pinnoitettava alue voi käsittää satoja neliömetrejä. Yleisesti käytetään useita hitsauslaitteita samanaikaisesti työn nopeuttamiseksi.

Kattiloiden seinämät ovat tyypillisesti membraaniseinämiä, jonka hitsaus tehdään yleensä vertikaalisesti ylhäältä alas aloittaen

eväalueelta edeten asteittain putken lakipiteeseen taaten näin täydellinen peitto koko putken pinnalle. Tyypillinen hitsipalon leveys on 10-20 mm ja päällekkäisyys viereisen palon kanssa on 30-50 %. Minimipaksuus on usein noin 2 mm:n luokkaa. Seinämäputket voidaan pinnoittaa myös spiraalimaisesti (ns. 360°-hitsauspinnoite) ennen yhteen liittämistä. Tällöin putkipaneelien mahdollinen taipuminen toispuoleisen hitsauksen vuoksi estyy. Kyseinen menetelmä tarjoaa suojan myös kylmän puolen korroosiota vastaan, erityisesti ilma-aukkojen läheisyydessä. Spiraalimaisia hitsauspinnoitteita käytetään myös mm. tulistin- ja verhoputkissa sekä erilaisten kattila-aukkojen ympärillä taivutetuissa putkissa, joissa tarvitaan korrosio- ja/tai kulumiskestävyyttä.

### Oikealla valinnalla korroosionkestävyyttä

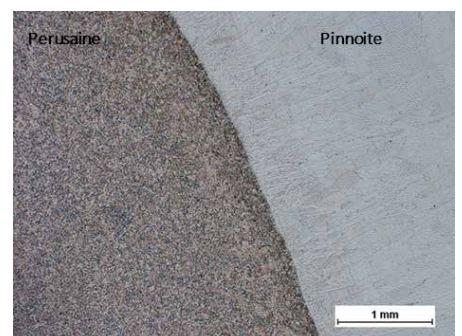
Hitsauspinnoitteiden korroosionkestävyys on usein parempi kuin samoista materiaaleista muilla pinnoitusmenetelmillä valmistettujen suojapinnoitteiden, koska hitsauspinnoite on tiivis ja muodostaa kemiallisen sidoksen perusaineen kanssa. Monia erilaisia seoksia rautapohjaisista nikkelipohjaisiin, mm. Alloy 33, 309, 310, 59, 625 ja 825, on käytetty hitsauspinnoitteina korroosion suojaustarkoituksissa. Periaatteessa voidaan sanoa, että kaikilla materiaalivaihtoehtoilla on koettu haasteita toimivuudessa olosuhteista riippuen. Kokemuksen myötä tieto eri materiaalien soveltuvuudesta eri kohteisiin on kasvanut ja myös pinnoitusprosessit ovat kehittyneet. Yksi haasteiden aiheuttaja on ollut lämpölaajenemiskerroinerot pinnoitteen ja perusaineen välillä. Matalammin seostetun perusaineen ja seostetun hitsauspinnoitteen lämpölaajenemiserosta johtuen rakentee-



Kuva 1. Erytyypisiä hitsauspinnoitteita: ylhäällä putkipaneelin pituussuuntainen hitsauspinnoite ja alhaalla erillisen putken spiraalimainen pinnoite.

seen saattaa muodostua valmistuksen ja myös käytönaikaisten lämpötilavaihteluiden seurauksena jännityksiä, jotka voivat altistaa rakenteen säröilylle. Pinnoituksen jälkeisen lämpökäsittelyn on todettu eliminoivan valmistuksen jälkeisiä jäännösjännityksiä. Nykyisin käytössä olevat pinnoitusmenetelmät ovat usein kaksivaiheisia, jolloin erillistä lämpökäsittelyä ei oleteta tarvittavan, ja putket voidaan kylmämuokata pinnoituksen jälkeen ja pienetkin taivutussäteet ovat mahdollisia ilman säröilyä.

Kaupallisia hitsauspinnoitteiden valmistusmenetelmiä ovat mm. CMT-menetelmä,



Kuva 2. Putkinäyte ja Inconel 52 -hitsauspinnoitteen poikkileikkaus.

jossa lämmöntuonti kappaleeseen on rajoitetumpaa perinteiseen MIG/MAG-menetelmään verrattuna, tai MIG/MAG/TIG-menetelmien yhdistelmä, jossa MIG/MAG:lla tuotetaan ensimmäinen hitsauspinnoitekerros, jonka karkea pinta uudelleen sulautetaan TIG:llä tasaisemman pinnan aikaan saamiseksi. Pinnan tasoittumisen lisäksi samalla mahdollistuu ensimmäisen pinnoitekerroksen muodostaman hitsin muutosvyöhykkeen, HAZ, lämpökäsittely. Eri menetelmillä valmistettujen pinnoitteiden pintaprofiilit saattavat erota suuresti ja tällaisilla makroskooppisilla ominaisuuksilla voi olla merkittävä vaikutus mm. putkipintojen likaantumiseen ja korroosioon. Korroosio on usein nopeampaa kohdissa, joissa vierekäiset hitsipalot ovat limittäin vain reuna-alueiltaan, jolloin muodostuva pinnoite on ohuempaa kyseessä olevilla alueilla. Materiaaliin kohdistuva lämpövuoto on näillä kohdoin korkeampi ja se toimii ajavana voimana korroosiolle.

Hitsauspinnoite hitsataan yleensä pintaan joko 1- tai 2-kerroshitsinä. Yksikerroshitsissä pinnoite muodostuu limittäin toistensa päälle rakentuvista palkokerroksista. Haasteina korakenteessa ovat mm. peittävyysongelmat, hitsiaineen liiallinen sekoittuminen perusaineen kanssa (korroosion kannalta oleellisten alkuaineiden liukeneminen, pinnan liian suuri rautapitoisuus ja madaltanut kromipitoisuus) sekä jyrkähköt pinnan profiilimuutokset. Hitsiaineen sekoittumista voidaan hillitä käyttämällä alhaisempia hitsausparametrien arvoja, mutta tämä saattaa heikentää perusaineen ja hitsin tai hitsipalkojen välistä tartuntaa. Heikko tartunta voi aiheuttaa ongelmia pinnoitehitsauksen jälkeisessä taivutuksessa. Kaksikerroshitsissä pinnoitteen ominaisuuksia voidaan säädellä helpommin. Tyypillisesti sekoittumisaste on alle 10 %, usein tavoitteena on alle 5 %:n sekoittuminen perusaineen ja pinnoitteen välillä. Korroosion kannalta tärkeimmät seosaineet, esim kromi, pyritään pitämään mahdollisimman korkealla tasolla koko pinnoitepaksuuden läpi, jotta pinnoitteen suojaava ominaisuus säilyisi koko pinnoitteen eliniän. Liiallinen

**Taulukko 1. Hitsauspinnoitekokeissa mukana olleet materiaalit.**

Materiaali <sup>1)</sup>	Fe (%)	Cr (%)	Ni (%)	Al (%)	Muita
Kanthal A1 FM	bal	20,5-23,5		5,8	Mn, Si
Kanthal APMT FM	bal	20,5-23,5		5	Mo, Mn, Si
Fe12Cr2Si FM	bal	13,1	0,1	0,04	Si, W, Mn
Inconel 52 FM	7-11	28-31,5	bal	<1,1	Mn, Cu, Si, Nb, Ti, Mo
AFA OC4 FM	bal	14,0	25	3,52	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W
AFA OC4 P	bal	14,0	25	3,52	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W
AFA OC-I P	bal	13,8	12,1	2,52	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W
AFA OC-S P	bal	13,8	32	3,02	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W, Zr
AlSi 347HFG	bal	18,2	11,5		Mn, Cu, Si, Mo

<sup>1)</sup> FM: filler metal (lisäaine) ja P: plate (perusaine)

raudan seostuminen pinnoitteen pintaosiin heikentää materiaalin korroosionkestävyyttä huomattavasti, mm. kloorikorroosion riski kasvaa. Hyvin onnistuneen pinnoitteen rakenteesta ei myöskään löydy erkauman muodostusta ja faasimuutoksia, jolloin pystytään hallitsemaan materiaalien kuuma-/ kylmähalkeilutaipumusta. On tärkeää, että hitsauspinnoite ei aiheuta putken mekaanisten ominaisuuksien alenemista. Hyvin tehty hitsauspinnoite voi parantaa putken lujuutta, lisäten täten putken kestävyttä ylikuumentumista ja putoavia kerrostumia vastaan.

Pinnoitehitsattujen putkien liittäminen vastaa hyvin pitkälle eripariiliitosten hitsausta. Eripariiliitoksen hitsauksessa on pyrittävä estämään erilaisten materiaalityyppien sekoittuminen toisiinsa, jotta helposti muodostuvien hauraiden rakenteiden syntyminen estetään ja korroosionkestävyys säilyy. Tästä johtuen on noudatettava erityistä huolellisuutta oikean lisäaineen ja hitsausmenetelyn valinnassa sekä itse hitsausyössä. Hitsaus tehdään kahdessa osassa, ensin pohjaputki ja toisessa vaiheessa pintaosa. Jättämällä riittävän pitkä osuus pohjaputkea näkyviin varmistetaan, ettei pinnoitekerrosta pääse sekoittumaan hitsisulaan. Korjaushitsauksia tehtäessä on huolehdittava, että uudelleen pinnoitettavat alueet on puhdistettu ja mahdolliset viat poistetaan materiaalista.

## Uudet materiaalivaihtoehdot täyden mittakaavan kenttätesteihin

Aalto yliopisto on kehittänyt käynnissä olevassa DIMECC BSA-ohjelmassa alumiinirik- kaiden (AFA, alumina forming austenitic) hitsauspinnoitteiden valmistusta, taulukko 1. Ensimmäiset kehitysversiot testattiin sekä Aallon että VTT:n laboratorioissa simuloiduissa kattilaolosuhteissa ja kokeissa parhaiten menestyneistä materiaaleista valmistettiin putkinäytteitä Amec Foster Wheelerin Äänevoiman kattilalaitokselle suunnittelemaan höyryluoppiin, jossa vuoden mittaiset altistukset jatkuvat edelleen. Höyryluoppi mahdollistaa materiaalien altistuksen todellisissa käyttöolosuhteissa häiritsemättä emolaitoksen höyryn tuotantoa.

Kevään 2017 aikana valikoitujen hitsauspinnoitteiden käyttökokeet tulevat jatkumaan myös Andritzin toimesta kattilaolosuhteissa. Laboratorioissa tehtyjen korroosio- kokeiden lisäksi on tärkeää saada tietoa hitsauspinnoitteiden korroosiokestävyydestä myös niiden todellisissa käyttöolosuhteissa, sillä laboratorio- kokeissa ei pystytä simuloimaan kaikkia korroosioon vaikuttavia prosessiparametreja. Toisaalta laboratorio- kokeissa pystytään hallitsemaan yhtä parametria kerrallaan, joten laboratorio- ja kenttäkokeet tukevat toisiaan, kun eri päällehitsausten soveltuvuutta eri kattilasovelluksiin arvioidaan. Päällehitsausten merkitys korostuu erityisesti tapauksissa, joissa olemassa oleva kattilalaitos halutaan muuntaa polttamaan heikompi laatuista ja suuremman korroosioriskin aiheuttavaa polttoainetta. Päällehitsauksia voidaan käyttää korroosiosuojana myös uus- kattilatoim- tuksissa, esimerkiksi jätteenpolto- ssa, jossa korroosio on yleensä ongelma.

**Satu Tuurna, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy**  
**Jyrki Romu, Hannu Hänninen, Aalto Yliopisto**  
**Jouni Mahanen, Amec Foster Wheeler**  
**Tony Puikkonen, Andritz Oy**



Kuva 3. Laitteisto, jolla valmistettiin laitosmittakaavan kokeisiin hitsauspinnoitetut näyteputket.