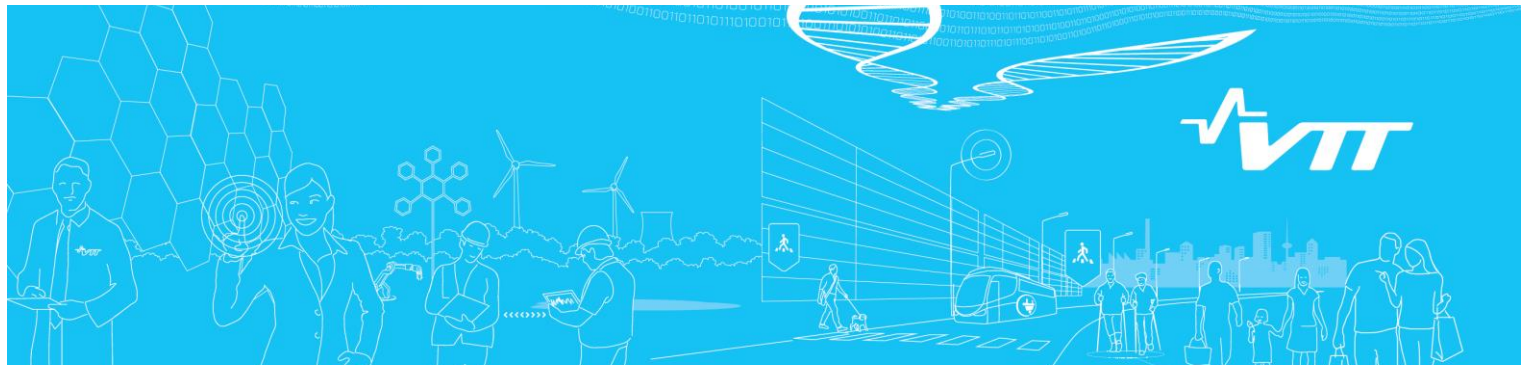


Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Hitsauspinnoitetut putket
soodakattiloissa**

**Satu Tuurna, Pekka Pohjanne,
Sanni Yli-Olli
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy**

**2.9.2016
Raportti 11/2016
16A0913-E0173**



Hans Bengtsson/AZZ
World Bioenergy Conference 2014

Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa

Kirjoittajat: Satu Tuurna

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa				
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Suomen Soodakattilayhdistys ry c/o Pöyry Finland Oy Markus Nieminen PL 4 01621 Vantaa	Asiakkaan viite			
Projektin nimi HITPI	Projektin numero/lyhytnimi 107969			
Raportin laatija(t) Satu Tuurna	Sivujen lukumäärä 23			
Avainsanat Pinnoitehitsaus, hitsauspinnoite, käytettävyys	Raportin numero VTT-R-00843-16			
Tiivistelmä Soodakattilan käyttöolosuhteet ovat rakennemateriaalien kannalta erittäin vaativat. Soodakattilan lämpöpintojen materiaalivalinta on tasapainottelua käyttö-ominaisuuksien ja kustannusten välillä. Hitsauspinnoitusta on käytetty mm. Pohjois-Amerikassa reilun parinkymmenen vuoden ajan korroosiota vastaan. Pinnoitus voidaan tehdä yksittäisille putkille tai paneeleille riippuen sovelluskohteesta. Hitsauspinnoitteen laatu vaikuttaa suoraan sen elinikään. Laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käytetty hitsausmenetelmä, hitsausprosessin stabiilius/tasalaatuisuus, pohjamateriaalin puhtaus, pinnoitteen kerrosrakenne, huokosettomuus ja peittävyys sekä seostuminen perusaineen kanssa. Oikealla menetelmällä ja lisäainekoostumuksella pystytään vaikuttamaan hitsauspinnoitteen muutosvyöhykkeen jännityksiin ja tapahtuviin faasimuutoksiin (esim. karbidien ja martensiitin muodostumisen ehkäiseminen), ja tätä kautta hallitsemaan mm. materiaalin kylmä/kuumahalkeilutaipumusta. Monia erilaisia seoksia on käytetty hitsauspinnoitteina korroosion suojaukseen, mm. austeniittisia ruostumattomia teräksiä sekä nikkelpohjaisia seoksia. Alloy 625 hitsauspinnoitettuja putkia käytetään soodakattiloiden pohjaputkissa ja muissa kriittisissä kohteissa, kuten sula-aukoissa. Kattilan yläosissa, ilma-aukkojen ohitusputkissa ja tulistimilla on käytössä mm. AISI 309 ja 310 tyyppiset hitsauspinnoitteet.				
Luottamuksellisuus	Luottamuksellinen			
Tampere 26.4.2016 <table border="0"> <tr> <td>Laatija  Satu Tuurna Tiimipäällikkö</td> <td>Tarkastaja  Sanni Yli-Olli Erikoistutkija</td> <td>Hyväksyjä  Pekka Pohjanne Tutkimusaluepäällikön sijainen</td> </tr> </table>		Laatija  Satu Tuurna Tiimipäällikkö	Tarkastaja  Sanni Yli-Olli Erikoistutkija	Hyväksyjä  Pekka Pohjanne Tutkimusaluepäällikön sijainen
Laatija  Satu Tuurna Tiimipäällikkö	Tarkastaja  Sanni Yli-Olli Erikoistutkija	Hyväksyjä  Pekka Pohjanne Tutkimusaluepäällikön sijainen		
VTT:n yhteystiedot Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 111, Sähköpostiosoitteet: etunimi.sukunimi@vtt.fi				
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Asiakas, 1 alkuperäinen VTT arkisto, 1 alkuperäinen				
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.				

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	3
2. Hitsauspinnoitteet	4
3. Hitsauspinnoitemateriaalit ja muokkaus	8
4. Liittäminen ja kunnossapito	12
5. Käyttökokemuksia.....	13
6. Yhteenveto	17
Lähdeviitteet.....	18

1. Johdanto

Soodakattilan pohjaputket voivat käytön aikana joutua ajoittain kosketuksiin mustalipeän poltossa muodostuvien suolasulien (mm. natriumkarbonaatti, Na_2CO_3 ja natriumsulfidi, Na_2S) kanssa. Päästessään suoraan kosketuksiin metallin pinnan kanssa suolasulat aiheuttavat korroosiota. Suolasulan kosketus pohjaputkien kanssa mahdollistuu mm. silloin, jos kattilaputkissa esiintyy kiertohäiriöitä tai osittain paljastunut kalteva pohja saa runsaasti säteilylämpöä, jolloin pohjaputkia suojaava kiinteä sulakerros paikoitellen sulaa. Pohjaputkien lähellä olevan suolan koostumus saattaa poiketa keon yläosan koostumuksesta siten, että putkien lähellä kalium-, kloori- ja rikkihaittoisuudet ovat suurempia kuin pintakerroksessa. Tällöin suolasulan rikkipitoisuuden kasvaessa sulaan muodostuu polysulfideja (K_2S_x , Na_2S_x). Polysulfidit laskevat voimakkaasti suolan sulamislämpötilaa, jopa lähelle putkien normaalia käyttölämpötilaa aiheuttaen riskin sulakorroosioon. Korroosio on haasteena myös muilla kattilan lämpöpinnoilla. Mustalipeän palaminen johtaa pelkistäviin olosuhteisiin tulipesän alaosassa, jolloin seinäputket sulan yläpuolisissa osissa altistuvat pelkistäville olosuhteille ja sulfidikorroosion riski kasvaa mm. muodostuvan rikkivedyn (H_2S) ja polysulfidien vuoksi. Tulistinalueella korroosio-olosuhteet ovat haastavat polton seurauksena lämpöpinnoille kertyvien alkalikloridi- ja rikkiyhdisteiden vuoksi.

Kompound-putkia on käytetty soodakattiloissa 70-luvulta lähtien, aluksi kattilan pohjalla ja alaosissa, ja myöhemmin rakennusasteiden noustessa ja käyttöolosuhteiden muuttuessa myös tulistimissa. Tällä hetkellä soodakattiloissa käytetään mm. AISI 304L, Sanicro38/Alloy 825/HR11N, AISI 310, Sanicro28 ja Alloy625/Sanicro67/Super625 compound-putkia. Perinteisesti putket valmistetaan kuumapursotuksella (Sandvik, Nippon Steel & Sumitomo Metal). Compound-putkien sisäosan materiaali valitaan maksimikäyttölämpötilan ja lujuuden perusteella. Pintakerros valitaan vallitsevien korroosio-olosuhteiden mukaan. Vaikka Compound-putkilla on pitkälti löydetty ratkaisu kattiloissa esiintyviin korroosio-ongelmiin, käytössä niiden on havaittu olevan säröilyherkkiä [1-3].

Kompound-putkissa säröilyä esiintyy soodakattilan alaosassa tyypillisesti kolmessa eri paikassa: pohjaputkissa sekä ilma- ja sula-aukoissa. Säröjä on todettu putkien ylä- ja sivupinnoilla sekä putkia yhdistävissä evissä että eväputkihitseissä. Säröt voivat olla joko putken pituussuuntaisia tai kohtisuoraan pituussuuntaa vastaan. Useimmiten säröjen eteneminen pysähtyy ruostumattoman teräksen ja hiiliteräksen rajapintaan tai ne jatkavat kasvuaan rajapintaa pitkin ruostumattoman teräksen puolella. Joissakin tapauksissa säröt voivat edetä hiiliteräksen puolelle. Eniten tällaisia säröjä on todettu ilma- ja sula-aukkojen lähellä. Säröilyä on havaittu myös putkissa, jotka ovat kattilan kylmällä puolella ilma-aukkojen lähistöllä. Ilma-aukkojen säröilyn syyksi on todettu jännityskorroosio (SCC), terminen väsyminen ja mahdollisesti näiden mekanismien yhteisvaikutus. Useimmissa tapauksissa pohjaputkien säröilyn on todettu olevan ympäristövaikutteista ja sillä on jännityskorroosiolle tyypillisiä piirteitä. [4-7]

Kompound-putkien säröilytaipumus soodakattiloissa on pakottanut etsimään lisämateriaaliratkaisuja, jotta turvallisuus- ja tuotantovaatimukset pystytään täyttämään. Viime vuosina markkinoille on tullut useita toimittajia, jotka tarjoavat hitsauspinnoitettuja (päällehitsattuja) putkia compound-putkien rinnalle/korvaajiksi. Hitsauspinnoitetut putket on koettu kiinnostavaksi vaihtoehdoksi myös, koska ne ovat hinnaltaan edullisempia kuin perinteiset compound-putket, mutta käyttöä on rajoittanut käyttökokemusten puute sekä epävarmuus eräistä valmistettavuuteen (mm. liittäminen, korjaukset, muokattavuus) liittyvistä kysymyksistä.

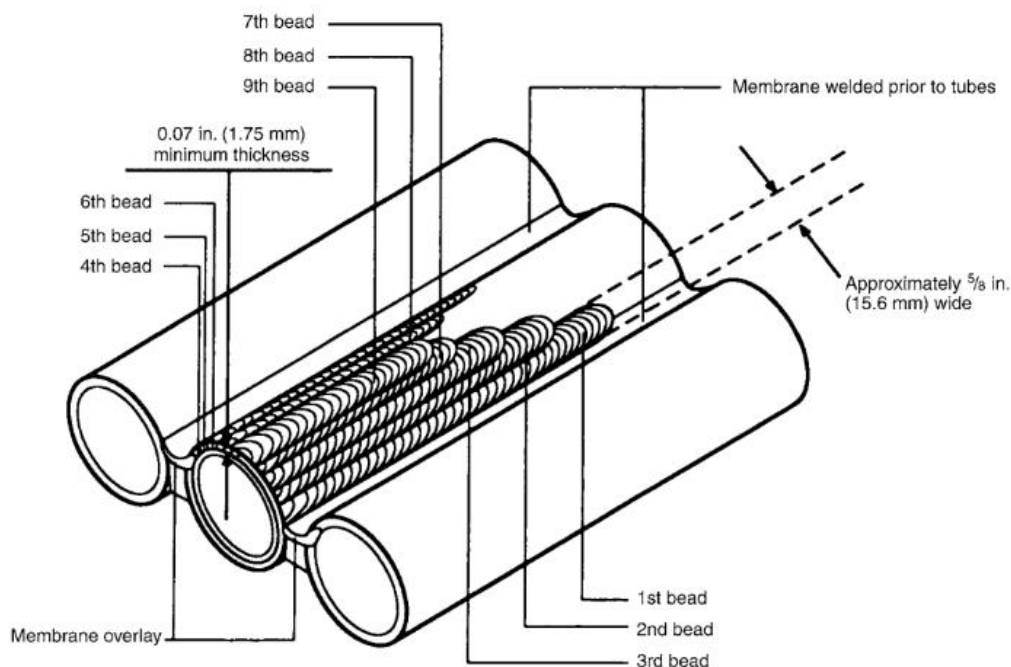
Raportin tarkoituksena on selvittää hitsauspinnoitettujen putkien käytettävyyttä soodakattilan tulipesän alaosassa sekä tulistinalueella.

2. Hitsauspinnoitteet

Hitsauspinnoitettujen (päälehitsattujen) putkien sisäosan materiaali valitaan käyttölämpötilan ja lujuusominaisuuksien perusteella kuten compound-putkienkin tapauksessa, ja pintaan tuodaan hitsaamalla korroosiota ja/tai kulumista kestävä pintakerros [8]. Kattilan osia voidaan hitsauspinnoittaa joko konepajalla ennen osien vientiä kattilaan tai paikan päällä kattilan sisällä.

Hitsauslaitteistot ovat pitkälle automatisoituja ja hitsausparametrien, mm. jännite, virta, suojakaasu, langansyöttö- ja ajonopeus, reaaliaikaisella seurannalla pyritään takaamaan tasainen laatu. Reaaliaikainen prosessivalvonta on erityisen tärkeää, kun hitsattava alue on satoja neliömetrejä. Yleisesti käytetään useita hitsauslaitteita samanaikaisesti työn nopeuttamiseksi.

Kattilan seinämät ovat tyypillisesti membraaniseinämää, jonka hitsaus yleensä tehdään vertikaalisesti ylhäältä alas aloittaen eväalueelta edeten asteittain päätyen putken kruunuun taaten näin täydellinen peitto koko pinnalle, Kuva 1. [8-10] Tyypillisesti hitsipalon leveys on 10-20 mm ja päällekkäisyys viereisen palon kanssa on 30-50%. Minimipaksuus on usein noin 1,8-2 mm luokkaa. Seinäpaneelit putket voidaan pinnoittaa spiraalimaisesti (360° hitsauspinnoite), Kuva 2, myös ennen paneelin valmistamista. Tällöin putkien mahdollinen taipuminen toispuoleisen hitsauksen vuoksi estyy. Lisäksi tämä tarjoaa suojan myös kylmän puolen korroosiota vastaan, erityisesti ilma-aukkojen läheisyydessä. Spiraalimaisia hitsauspinnoitteita käytetään myös tulistin- ja keitto/verhoputkissa sekä erilaisten kattila-aukkojen ympärillä taivutetuissa putkissa, joissa tarvitaan korroosio- ja/tai kulumiskestävyyttä. [11,13]



Kuva 1. Skemaattinen kuva seinämärakenteen hitsauspinnoitteen valmistuksesta. Tyypillisesti pinnoite hitsataan ylhäältä alaspäin (kuvassa vasemmalta oikealle).[9]



Kuva 2. Esimerkkejä hitsauspinnoitteista, vasemmassa kuvassa spiraalihitsi [13]

Eri valmistajat ovat kehittäneet omia menetelmiään hitsauspinnoitteiden tuotantoon, esimerkiksi AZZ (ent. WSI/Aquilex) on patentoinut Unifuse-tuotemerkin, 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. [11,12]. Uhlig Rohrbogen GmbH, joka keskittyy pääsääntöisesti jätekattiloiden pinnoituksiin, käyttää mm. CMT (cold metal transfer) –menetelmää hitsauspinnoitteiden valmistuksessa, jolloin lämmöntuonti kappaleeseen on rajoitetumpaa. Taulukossa 1 on esitetty CMT ja MIG/MAG-hitsauksen eroja [16]. Eri valmistajien toimittamat pinnoitteet saattavat erota suuresti toisistaan mm. pintaprofiililtaan, Kuva 3. Makroskooppiset ominaisuudet vaikuttavat mm. pintojen likaantumiseen ja korroosioon. Korroosio on usein nopeampaa kohdissa, joissa vierekkäisten hitsipalkojen reunat ovat limittäin ja pinnoite näin ollen jonkin verran ohuempaa. Materiaaliin kohdistuva lämpövuoto on näillä kohdoin korkeampi ja se toimii ajavana voimana korroosiolle [18].

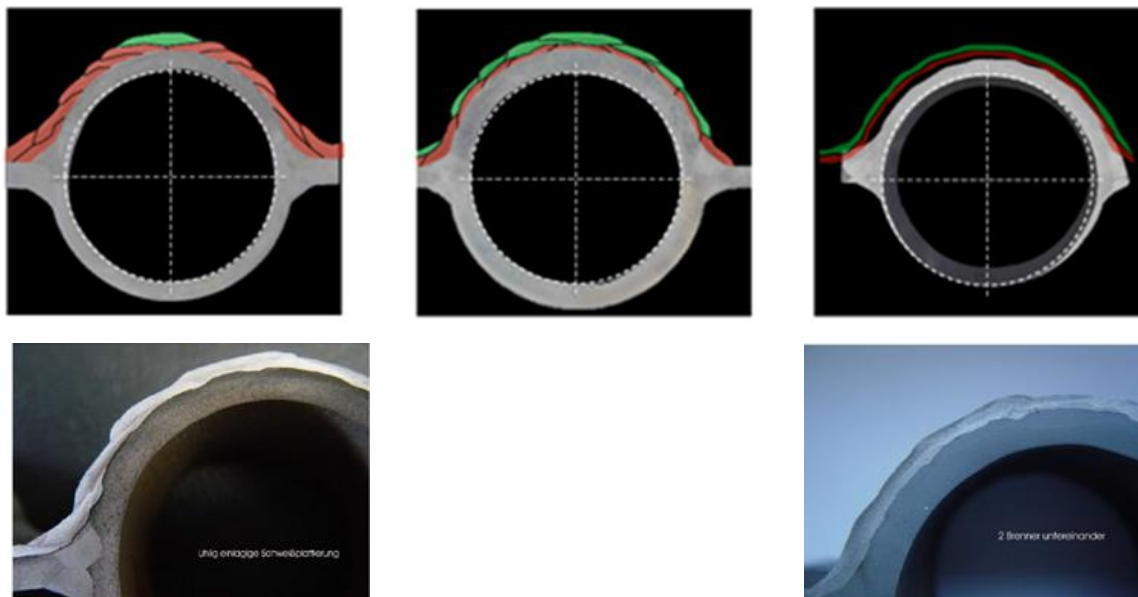
Taulukko 1. Pulssi MIG/MAG:in ja CMT-menetelmien vertailu [17]

	MIG/MAG	CMT
Welding process	Electricity/voltage	Mechanical
Welding speed	Lower	Higher
Heat transfer level	Relatively high	Low
Depth of fusion	Relatively high	Low
Dilution	Relatively high	Low
Shrinkage	Relatively high	Low
Appearance/surface	Coarser	Smooth

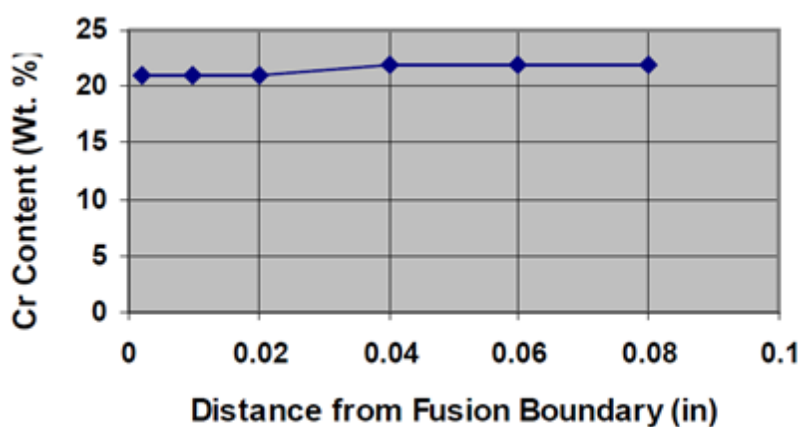


Kuva 3. Kuuden toimittajan samoilla spesifikaatioilla valmistamat näytekappaleet [18]

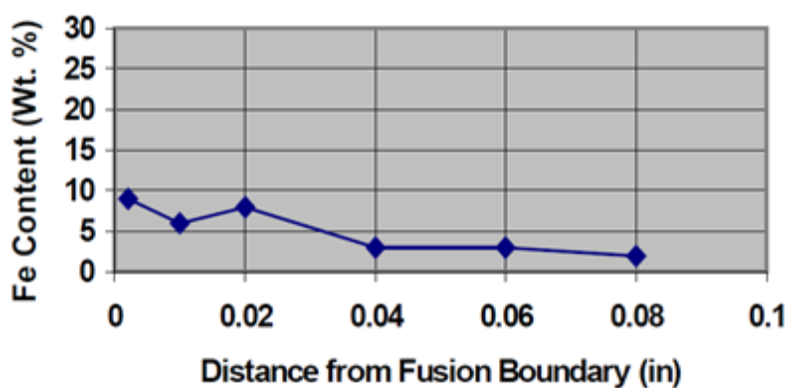
Hitsauspinnoite tuodaan yleensä pintaan joko 1- tai 2-kerroshitsinä, Kuva 4. Yksikerrosrakenteessa pinnoite muodostuu limittäin toistensa päälle rakentuvista palkokerroksista. Haasteina ko. rakenteessa ovat mm. peittävyysongelmat, hitsiaineen liiallinen seostuminen perusaineen kanssa (korroosion kannalta oleellisten alkuaineiden liukeneminen, liian suuri pinnan rautapitoisuus) sekä jyrkähköt pinnan profiilimuutokset. Seostumista voidaan hillitä alhaisten hitsausparametrien, virran ja jännitteen, käytöllä, mutta tällöin on vaarana, että perusaineen ja hitsin tai hitsipalkojen välinen tartunta jää heikoksi. Heikko sidos perusaineen ja pinnoitteen välillä saattaa aiheuttaa ongelmia, jos putkia taivutetaan pinnoitehitsauksen jälkeen. Kaksikerrosrakenteella pinnoitteen ominaisuuksia voidaan säädellä helpommin [17-21]. Tyypillisesti seostumisaste on alle 10%, usein tavoitellaan alle 5%. Korroosion kannalta tärkeimmät seosaineet, esim kromi, pyritään pitämään mahdollisimman korkealla tasolla koko pinnoitepaksuuden läpi, jotta pinnoitteen suojaava ominaisuus säilyisi koko pinnoitteen eliniän, Kuva 5. Kuva 6 antaa esimerkin raudan pitoisuudesta Unifuse 625 hitsauspinnoitteesta. Liiallinen raudan seostuminen pinnoitteen pintaosiin heikentää materiaalin korroosionkestävyyttä huomattavasti (Cl-korroosion riskin kasvu). Hyvin onnistuneen pinnoitteen rakenteesta ei myöskään löydy karbidierkaumia, mikä indikoi riittävää hitsin jäähtymisnopeutta. [8,11] On myös tärkeää, että hitsauspinnoite ei aiheuta putken mekaanisten ominaisuuksien alenemista. Hyvin tehty pinnoitehitsaus saattaa jopa parantaa putken lujuutta, lisäten täten putken kestävyyttä ylikuumentumista ja putoavia kerrostumia/kameja vastaan.



Kuva 4. Esimerkkejä hitsauspinnoitteen muodostumisesta putken pintaan. punainen – hitsipalko kontaktissa perusaineeseen, vihreä – ilman kontaktia [20, 21]



Kuva 5. Cr-profiili Unifuse 6425 hitsauspinnoitteessa [11]. Pinnoitteen pinta oikealla, pohjamateriaali T2, 0,02 in = 0,5 mm.



Kuva 6. Fe-profiili Unifuse 625 hitsauspinnoitteessa [11]. Pinnoitteen pinta oikealla, pohjamateriaali T2, 0,02 in = 0,5 mm.

3. Hitsauspinnoitemateriaalit ja muokkaus

Hitsauspinnoitteiden korroosionkestävyys on usein parempi kuin samoista materiaaleista muilla pinnoitusmenetelmillä valmistettujen suojapinnoitteiden, koska hitsauspinnoite on tiivis ja muodostaa kemiallisen sidoksen perusaineen kanssa. On erittäin tärkeää, että pinnoite ei aiheuta pinnoitettavan komponentin mekaanisten ominaisuuksien heikentymistä, mm. haitalliset faasimuutokset [11,22].

Monia erilaisia seoksia on käytetty hitsauspinnoitteina korroosion suojaukseen, mm. tyyppiin 309 ja 312 ruostumattomia teräksiä. Nikkelipohjaisista seoksista ERNiCrMo-10 (Alloy 622) ja ERNiCrMo-3 (Alloy 625) ovat ehkä eniten käytettyjä. Myös seoksien ERNiCrFe-7 (Alloy 52, Ni-30Cr-9Fe), ERNiCr-4 (Alloy 72, Ni-44Cr) ja ERNiFeCr-1 (Alloy 825) käyttö on viimeisen kymmenen vuoden aikana laajentunut. Taulukossa 2 on esitetty joitakin hitsauspinnoitteiden toimittajia sekä tarjolla olevia materiaalivehtoehtoja. Kaikilla materiaalivehtoehtojilla on koettu haasteita toimivuudessa olosuhteista riippuen. Kokemuksen myötä tieto eri materiaalien soveltuvuudesta eri kohteisiin on kasvanut ja pinnoitusprosessit ovat kehittyneet. Yksi haasteiden aiheuttaja on ollut lämpölaajenemiskerroinerot pinnoitteen ja perusaineen välillä. Matalammin seostetun perusaineen ja seostetun hitsauspinnoitteen lämpölaajenemiseroista johtuen rakenteeseen saattaa muodostua valmistuksen ja myös käytön aikaisten lämpötilavaihteluiden seurauksena jännityksiä, jotka voivat altistaa rakenteen vastaavanlaiselle säröilylle, jota on havaittu perinteisissä compound-putkissa [1]. Pinnoituksen jälkeisen lämpökäsittelyn on todettu eliminoivan valmistuksen jälkeisiä jäännösjännityksiä, Kuva 7. [23,24]. Taulukossa 3 on vertailtu kolmen hitsauspinnoitteen lämpölaajenemiskertoimien arvoja niukkaseosteisten terästen vastaaviin. Nikkelipohjaisten 625 ja 622 seosten lämpölaajenemiskertoimet ovat melko lähellä perusainetta, kun taas ero ruostumattomaan 309 teräkseen verrattuna on jo merkittävä, mikä altistaa rakenteen säröilylle käytön aikana. On kuitenkin raportoitu, että mm. ylikriittisessä hiilikattilassa seitsemän vuoden altistuksen jälkeen särömuodostusta ei havaittu. Jonkin verran karbidien erkautumista oli havaittavissa lähellä perusainerajapintaa, mikä saattaa johtaa pidemmällä aikavälillä mikrorakenteen heikkenemiseen ja säröilyyn. [10]

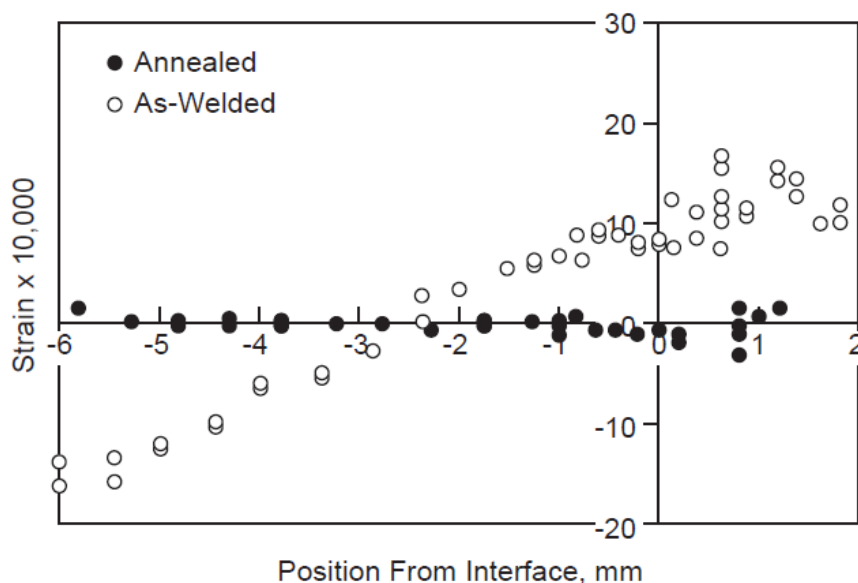
Taulukko 2. Hitsauspinnoitteiden toimittajia ja hitsauspinnoitemateriaalivehtoehtoja (suuntaa antava koostumus)

Toimittaja	Menetelmät	Esimerkkejä materiaaleista
AZZ	pulsed GMAW/GTAW	Alloy 625 (60Ni-21Cr-9Mo) Alloy 825 (38Ni-31Fe-21Cr) Alloy 309 (60Fe-22Cr-12Ni) Alloy 310 (50Fe-26Cr-19Ni) Alloy 52 (alloy 690) (55Ni-28Cr-14Fe) Alloy 59 (53Ni-20Cr-11Fe-15Mo) Alloy 33 (41Fe-28Cr-24Ni-1.6Mo)
Uhlig Rohrbogen	CMT (cold metal transfer)	Alloy 625, muita tarpeen mukaan
Integrated Global Services	pulsed GMAW	622/625/Alloy 33; 309/312/316
BTA, Babcock Power	Hot Wire GTAW with Wave Process	Alloy 625, 622, 72, 33, 309, 310, 312
Valmet		Alloy 625, 309L, muita tarpeen mukaan
MHI	GMAW, PTAW	Fe-25Cr
Areva Uddcomb	MIG/MAG/TIG	59, C276, 617, 622, 625, 686, 309, 310, 383

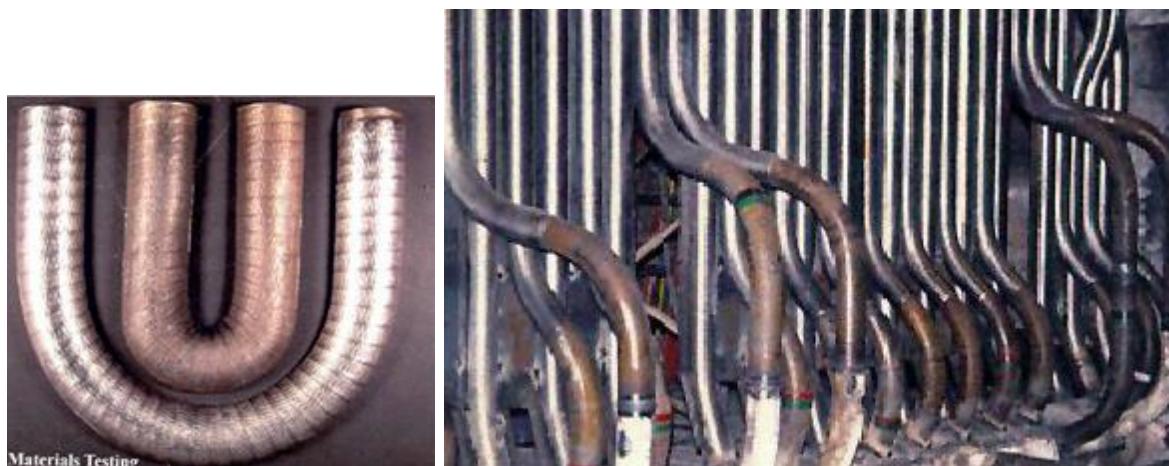
Taulukko 3. Niukkaseosteisten terästen ja hitsauspinnoitteiden lämpölaajenemiskertoimien vertailu (10^{-6} in/in F) [10]

Lämpötila	Hiiliteräs	T-22	309 SS	Alloy 625	Alloy 622
70-600 F / 21-315°C	7.2	7.0	9.3	7.4	7.0
70-800 F / 21-425°C	7.6	7.2	9.5	7.6	7.4
70-1000 F / 21-540°C	8.0	7.5	9.7	7.8	7.7

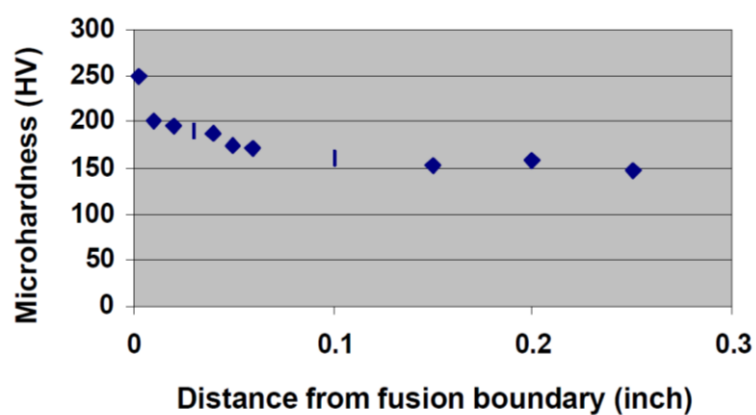
Nykyisin käytössä olevat pinnoitusmenetelmät ovat usein kaksivaiheisia, jolloin erillistä lämpökäsittelyä ei oleteta tarvittavan, ja putket voidaan kylmämuokata pinnoituksen jälkeen ja hyvinkin tiukat mutkat ovat mahdollisia ilman säröilyä, Kuva 8. Kuvassa 8 on esitetty pinnoitteen kovuusprofiili kaksivaiheisen pinnoitusprosessin jälkeen; Hitsin muutosvyöhykkeellä ei ole havaittavissa kovuusarvojen nousua pinnoitusprosessin toisessa vaiheessa tapahtuvan päästön jälkeen. Pohjamateriaali voi kuitenkin tarvita muokkauksen jälkeisen lämpökäsittelyn. Hitsauspinnoitteet ovat paremmin muokattavia kuin vastaavat compound-rakenteet mikrorakenteensa vuoksi. Kuva 10 näyttää eron compoundin ja hitsauspinnoitteen mikrorakenteissa. Esimerkiksi Alloy 625 hitsauspinnoite on ominaisuuksiltaan hyvin sitkeä ja pinnoitettu putki voidaan taivuttaa säröilemättä jopa 180° taivutussäteen ollessa kaksi kertaa putken halkaisija [23]. Optimaalisissa oloissa valmistetun hitsauspinnoitteen hyvä muovattavuus verrattuna vastaavaan compound-rakenteeseen näkyy myös putkien puristuskokeen tuloksista. Compound-putken liitosrajoilla on selkeästi nähtävissä muokkauksen aiheuttamaa säröilyä, Kuva 11 [26].



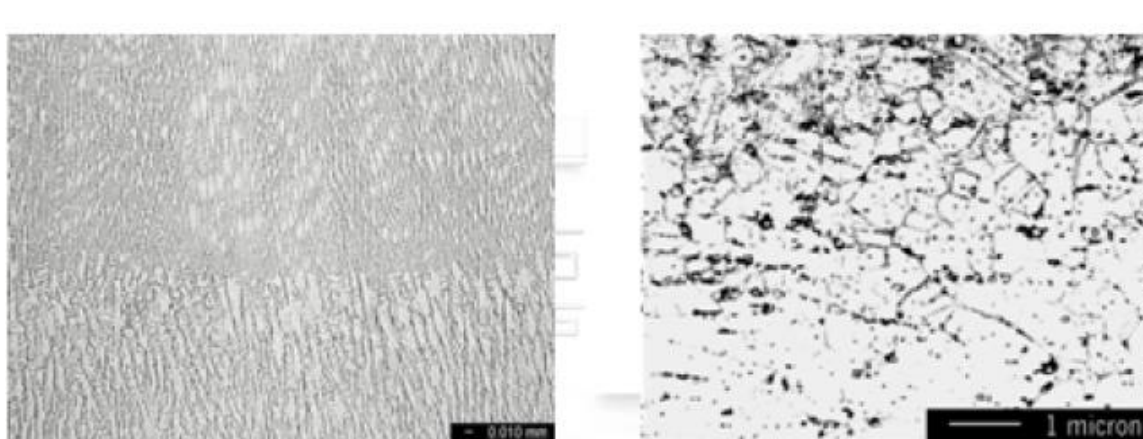
Kuva 7. Hitsauspinnoitetun putken jäännösjännitykset pinnoituksen (avoin piste) ja lämpökäsittelyn (musta piste) jälkeen [23]



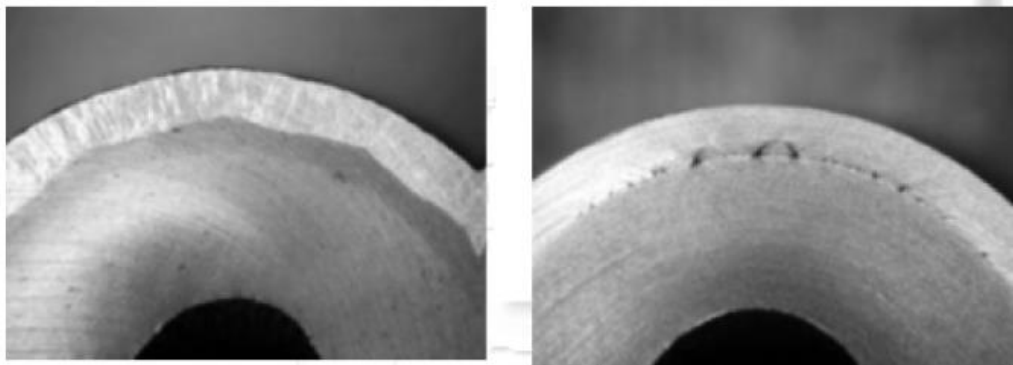
Kuva 8. Esimerkkejä Alloy 625 hitsauspinnoitetuista putkimutkista [16,23]



Kuva 9. Hitsausprosessin yhteydessä tehdyn lämpökäsitellyn muutosvyöhykkeen mikrokovuusprofiili [25]

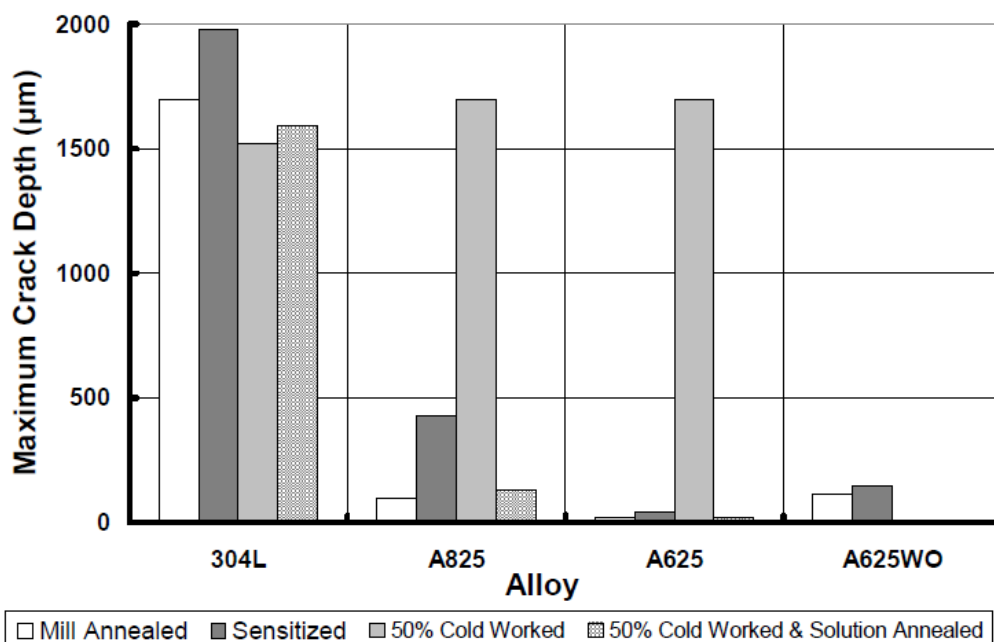


Kuva 10. Hitsauspinnoitteen ja compound-putken mikrorakenne lähellä rajapintaa (Alloy 625) [26]



Kuva 11. Puristuskokeen tulokset; vasemmalla hitsauspinnoitettu 625, ei säröilyä; oikealla compound-putki, jossa rajapinnalla nähtävissä muokkauksen aiheuttamia säröjä liitosrajapinnalla [26]

Työstö, koneistus ja hionta heikentävät materiaalien jännityskorroosionkestävyyttä, mikäli kappaleen pinnassa tapahtuu muokkautumista tai lujittumista. Keiser et al. [6] vertailivat compound-putkien (304L, 625 ja 825) ja hitsauspinnoitteen 625 säröytymistä erilaisten muokkauksikäsitteilyjen jälkeen $\text{Na}_2\text{S}+\text{NaOH}$ ympäristössä 180°C :ssa, Kuva 12. 304L compound-rakenteen havaittiin olevan erittäin herkkiä jännityskorroosiolle (SCC) kaikissa käsitelytiloissa, kun työstötilaisilla 825 ja 625 seoksilla oli melko hyvä SCC-kestävyys. Herkistetyssä tilassa havaittiin vain vähäisiä muutoksia ja pientä säröymää. Kylmämuokkaus heikensi eniten compoundien SCC-kestävyyttä, erityisesti seosten 825 ja 625 kestävyys heikkeni kokeessa samalle tasolle 304L näytteen kanssa.



Kuva 12. Maksimi särön syvyys erilaisilla käsiteltyjen näytteiden jäännösjännityskokeessa 74% $\text{Na}_2\text{S}+\text{NaOH}$ seoksessa 180°C [6]

4. Liittäminen ja kunnossapito

Pinnoitehitsattujen putkien liittäminen vastaa hyvin pitkälle compound-putkien hitsausta (hiiliteräs–austeniittinen/ruostumaton teräs –liitos). Tällaisen eripariliitoksen hitsauksessa on pyrittävä estämään erilaisten terästen sekoittuminen toisiinsa, koska tällöin muodostuu helposti hauraita rakenteita. Tästä johtuen on noudatettava erityistä huolellisuutta oikean lisäaineen ja hitsausmenettelyn valinnassa sekä itse hitsaustyössä. Hitsaus tehdään kahdessa osassa, ensin pohjaputki ja toisessa vaiheessa pintaosa. Jättämällä riittävän pitkä osuus pohjaputkea näkyviin varmistetaan, ettei pinnoitekerrosta pääse sekoittumaan hitsisulaan, Kuva 13.



Kuva 13. Hitsauspinnoitettujen putkien liittäminen [20]

Tarkastuksista ei ole tarjolla paljoakaan yksityiskohtaista, julkista, tietoa. Uhlig suosittelee hitsauspinnoitteiden vuosittaista tarkastusta mahdollisimman laajoilta alueilta, jotta mm. mahdollisista hitsausvirheistä lähtevät vauriot havaitaan ajoissa. Yksikerrospinnoitteiden tapauksessa suositellaan koko pinnan puhdistusta ja tarkastusta. Kaksikerrospinnoitteiden kohdalla suositellaan tarkastusta vähintään alueilla, joihin kohdistuu käytössä suurimmat termiset kuormitukset [16]. Mahdolliset hitsausvirheet pyritään havaitsemaan jo valmistusvaiheessa. AZZ ilmoittaa tekevänsä seuraavanlaisia tarkastuksia pinnoituksen aikana ja sen jälkeen [27]:

- Ultraäänitestaus (UT) ja visuaalinen tarkastus (VT) ennen hitsauspinnoitusta
- Satunnainen testaus pinnoitusprosessin aikana
- Materiaalintunnistus (PMI), tunkeumaneste- (PT), ultraääni- ja visuaalinen tarkastus hitsauspinnoituksen jälkeen

Korjaushitsauksia tehtäessä on huolehdittava, että uudelleen pinnoitettavat alueet on puhdistettu ja mahdolliset viat (mm. säröt, huokokset) on poistettu materiaalista. Hitsauksessa on noudatettava asiaankuuluvia hitsausnormeja. Laajojen alueiden hitsauspinnoitteita korjattaessa, putket täytetään vedellä riittävän jäähdytyksen varmistamiseksi ja vääntyilyn estämiseksi. Uhlig ilmoittaa jäähdytysveden sisäänmenolämpötilaksi alle 30° [20]. Ensimmäisiä hitsauspinnoituksia tehtäessä yli 20 vuotta sitten putkien vääntyilyä tapahtui veden virtauksen estyessä, mutta kokonaisprosessi on sittemmin kehittynyt ja vääntyilyä ei valmistajien mukaan ole enää tapahtunut.

Hitsauspinnoitus voidaan suorittaa, jos hitsin tunkeuma ja muutosvyöhyke jäävät putken seinämän pienimmän sallitun paksuuden ulkopuolelle [28]. Jos käytössä olleen hitsauspinnoitettavan putken paksuus on pudonnut alle normeissa sallitun paksuuden, voidaan ennen hitsauspinnoitusta tehdä täytehitsaus putkimateriaaliin soveltuvalla täyteaineella (KTR ei suosittele täytehitsausta, kts Soodakattilan materiaalit ja tarkastukset – raportti). Vaihtoehtoisesti pahoin vaurioituneet alueet voidaan korvata uusilla tehtaassa pinnoitetuilla putkilla/paneelilla (Kuva 14).



Kuva 14. Esimerkkejä hitsauspinnoituksesta tehtaalla [20]

5. Käyttökokemuksia

Hitsauspinnoitteita on asennettu 1980-luvulta lähtien pääasiassa pohjois-amerikkalaisiin soodakattiloihin eri kohteisiin, mm. pohja- ja seinäpaneelisiin, ilma- ja sula-aukkoihin sekä tulistimiin. Liitteessä 1 on koottuna esimerkkejä AZZ:n referenssilistalta 1990-2000 -lukujen vaiheesta.

Normaalitilanteessa tulipesän pohja on jähmettyneen sulakerroksen peitossa, mikä suojaa putkia melko hyvin sulakorroosiolta. Hiiliteräksen korroosio voi silti tulla ongelmaksi kattilan pohjalla. Ratkaisua ongelmaan on haettu AISI 304L tyyppisistä compound-putkista, joiden on kuitenkin havaittu kärsivät säröilyä. Alloy 625:lla on hyvä ympäristön aiheuttaman murtumisen (EAC, environmental assisted cracking) ja termisen väsymisen kestävyys, joten se soveltuu hyvin tulipesän pohjarakenteiden hitsauspinnoitteeksi. Unifuse 625 hitsauspinnoitetta on systemaattisesti käytetty ja testattu useilla laitoksilla Yhdysvalloissa ja Kanadassa vuodesta 1995 pääosin hyvin tuloksin. Kyseistä hitsauspinnoitetta on myös käytetty onnistuneesti sula-aukkojen ja -kourujen suojana [11]. Vertailukokeita tehtiin myös 625 compound-putken ja hitsauspinnoitteen välillä. Molempia materiaaleja käytettiin kattilaputkissa; 625 compound halkeili, hitsauspinnoite ei. Syynä tähän oli materiaalien erilainen mikrorakenne.

ORNL ja Paprican raportoivat Alloy 625 hitsauspinnoitteen vakavista säröilyongelmista primääri-ilma-aukkojen ohitusputkissa 2,5 vuoden käytön jälkeen. Säröt ulottuivat pahimmillaan hiiliteräksen asti, Kuva 15. Vastaavissa paikoista on kuitenkin olemassa myös hyviä kokemuksia. [9,29] Viime kädessä laitospesäkohtaiset olosuhteet määrittelevät materiaalien käytettävyyden. G. Lai raportoi primääri-ilma-aukon putkiin pinnoitetun Unifuse 309 kerroksen olleen hyvässä kunnossa ilman merkkejä mekaanisista vaurioista vielä 13 vuoden käytön jälkeen [11].



Kuva 15. Alloy 625 hitsauspinnoitteen murtumia primääri-ilma-aukon ohitusputkessa. Osa säröistä on edennyt hiiliteräksen puolelle. [29]

Tulistinalueella korroosio-olosuhteet ovat haastavat mustalipeän polton seurauksena syntyvien alkalikloridi- ja rikkiyhdisteiden vuoksi. Tulistinalueelle suositellaan mm. AISI 309 ja 310 tyyppisiä hitsauspinnoitteita. Kahden vuoden käytön jälkeen Unifuse 310 pinnoitetuissa putkissa ei ollut havaittavissa merkkejä korroosiosta alueella, joissa materiaalista T11 valmistetuista putkista on raportoitu häviävän jopa 3,9 mm/v [8].

Mustalipeän palaminen tapahtuu pelkistävässä olosuhteissa tulipesän alaosassa, jolloin natriumsulfaattia muuttuu natriumsulfidiksi ja lisäksi muodostaa natriumkarbonaattia. Kattilan alaosan seinäputket sulan yläpuolisissa osissa altistuvat pelkistäville olosuhteille ja sulfidikorroosion riski on suuri. Materiaalihävikki hiiliteräspankilla on raportoitu olevan 0,2-0,8 mm luokka vuodessa. G. Lai [8] raportoi 309 tyyppisen hitsauspinnoitteen toimineen hyvin ko. olosuhteissa yli 10 vuoden ajan.

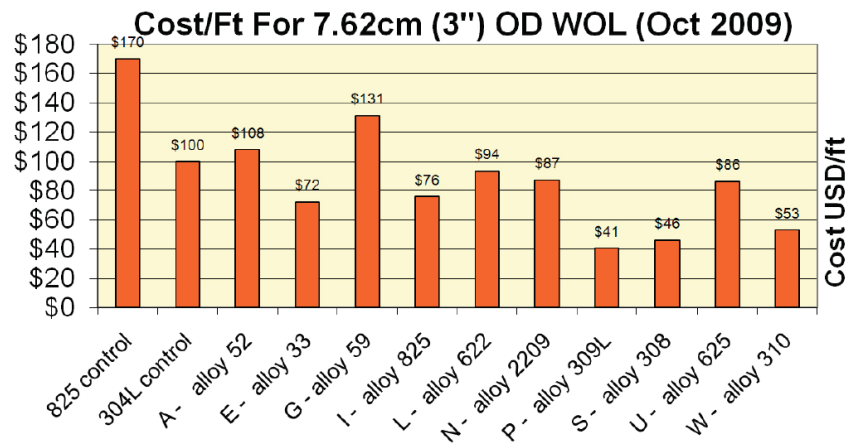
AZZ on tehty hitsauspinnoitekokeiluja Alloy 825 seoksella, koska sen on todettu kestävän paremmin kohteissa, joissa Alloy 625 compound-putki on säröillyt. Hitsauspinnoitettu 825 on osoittanut kuitenkin taipumusta jähmettymisen aikaiselle säröilylle. Alloy 625 hitsauspinnoitetta on käytetty enemmän ja pidempään, joten sen käyttäytyminen tunnetaan ja vastaavat ongelmat pystytään paremmin ennakoimaan. Säröilyherkkyys on riippuvainen hitsauslangan koostumuksesta; Tarkka koostumuksen räätälöinti on tarpeen, jotta säröily voidaan estää [26].

Babcock & Wilcox [30] on tehnyt laboratoriovertailututkimuksen (korroosio- ja SCC) joistakin tarjolla olevista hitsauspinnoitemahdollisuuksista, Taulukko 4. Valituista, yli 20% Cr-sisältävistä materiaaleista 309L (näyte P) arvioitiin kustannustehokkaimmiksi, Kuva 16. Kuvassa 15 materiaalin 825 kustannustekijäksi on määritetty 1 ja muiden materiaalien kustannukset on esitetty suhteessa 825 hintaan. Esitetty hinta ei ota huomioon kaikkia valmistukseen liittyviä kustannuksia. Ainoastaan näytteet A (Alloy 52), E (Alloy 33) ja U (Alloy 625) olivat kestävyydeltään parempia kuin referenssinä toiminut materiaali 825, Kuva 17. Näyte P (309L) lähes puolta pienemmällä materiaalikustannuksella pärjasi kokeissa

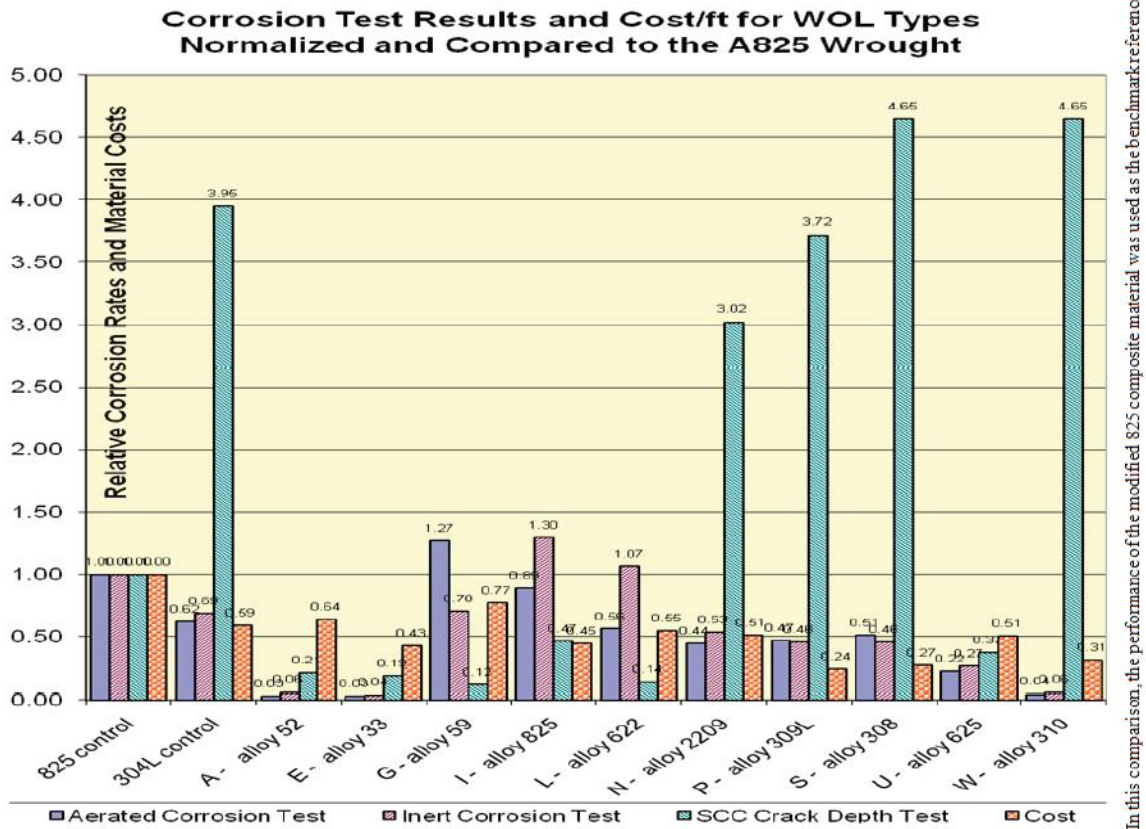
paremmin kuin materiaali 304L. Näytteen E (alloy 33) korroosion ja SCC:n kesto olivat selkeästi parempia kuin materiaalin 304L.

Taulukko 4. Vertailututkimuksessa mukana olleet materiaalit [30]

Sample ID	Filler Metal	Filler Class	Cr%	Fe%	Ni%	Mo%
Sample A	Alloy 52	ERNiCrFe-7	27.07	14.63	55.12	<0.003
Sample E	Alloy 33	ER33-31	28.36	41.18	24.32	1.65
Sample G	Alloy 59	ERNiCrMo-13	19.8	11.19	52.77	14.96
Sample I	Alloy 825	ERNiFeCr-1	20.87	30.93	38.06	3.51
Sample L	Alloy 622	ERNiCrMo-10	19.89	11.27	49.67	14.35
Sample N	Alloy 2209	ER2209	20.31	65.13	8.03	3.51
Sample P	Alloy 309	ER309L	21.85	60.84	12.39	<0.03
Sample S	Alloy 308	ER308	17.45	65.52	10.25	<0.09
Sample U	Alloy 625	ERNiCrMo-3	21.39	2.84	60.58	8.99
Sample W	Alloy 310	ER310	25.51	50.33	19.24	<0.05



Kuva 16. Kustannusvertailu, hinnat normalisoitu 825 materiaalin hintaan, referenssi 825 ja 304L compound-putkia, muut hitsauspinnoitteita [30]



Kuva 17. Kooste vertailututkimuksesta, referenssitaso alloy 825 [30]

6. Yhteenveto

Soodakattilan käyttöolosuhteet ovat rakennemateriaalien kannalta erittäin vaativat. Soodakattilan lämpöpintojen materiaalivalinta on tasapainottelua käyttö-ominaisuuksien ja kustannusten välillä. Hitsauspinnoitusta on käytetty mm. Pohjois-Amerikassa reilun parinkymmenen vuoden ajan korroosiota vastaan. Pinnoitus voidaan tehdä yksittäisille putkille tai paneeleille riippuen sovelluskohteesta. Hitsausmenetelminä käytetään mm. pulssi MIG/MAG-hitsausta yhdistettynä TIG-jälkikäsittelyyn (pinnan sulautus ja jännitystenpoisto).

Monia erilaisia seoksia on käytetty hitsauspinnoitteina korroosion suojaukseen, mm. austeniittisia ruostumattomia teräksiä sekä nikkelipohjaisia seoksia. Kaikilla materiaalivaihtoehdoilla on kohdattu haasteita matkan varrella. Materiaalin oikealla valinnalla sovelluskohteen mukaan voidaan kuitenkin merkittävästi vaikuttaa hitsauspinnoitteiden toimivuuteen ja elinikään kohteessa. Hitsauspinnoituksessa syntyvä metallurginen sidos on etu verrattuna muihin pinnoitusmenetelmiin, koska tällöin pinnoitteen adheesio pohjamateriaaliin on hyvä ja haitallista delaminaatiota ja pinnoitteen irtoamista ei pääse tapahtumaan.

Hitsauspinnoitteen laatu vaikuttaa suoraan sen elinikään. Laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käytetty hitsausmenetelmä, hitsausprosessin stabiilius/tasalaatuisuus, pohjamateriaalin puhtaus, pinnoitteen kerrosrakenne, huokosettomuus ja peittävyys sekä seostuminen perusaineen kanssa. Oikealla menetelmällä ja lisäainekoostumuksella pystytään vaikuttamaan hitsauspinnoitteen muutosvyöhykkeen jännityksiin ja tapahtuviin faasimuutoksiin (esim. karbidien ja martensiitin muodostumisen ehkäiseminen), ja tätä kautta hallitsemaan mm. materiaalin kylmä/kuumahalkeilutaipumusta.

Alloy 625 hitsauspinnoitettuja putkia on käytetty menestyksekkäästi soodakattiloiden pohjaputkissa ja muilla kriittisillä alueilla, kuten sula-aukoissa. Kattilan yläosissa, ilma-aukkojen ohitusputkissa ja tulistimilla on raportoitu toimivan hyvin mm. AISI 309 ja 310 tyyppiset hitsauspinnoitteet. Taulukko 5 esittää yhteenvedon yleisimmin käytetyistä hitsauspinnoitemateriaaleista ja niiden sovelluskohteista soodakattiloissa. Pääsääntöisesti näitä AZZ:n suosituksia voidaan seurata, mutta laitoskohtaiset olosuhteet on kuitenkin otettava huomioon materiaalivalintaa tehtäessä.

Taulukko 5. Yhteenveto eniten käytetyistä hitsauspinnoitemateriaaleista ja niiden sovelluskohteista soodakattiloissa (lähde: AZZ) [26,30-31]

Kohde	Hitsauspinnoite/perusaine (suositus)
Pohjaputket	625 / hiiliteräs, Cr-Mo teräs 825 (lisääntynyt viimeisten vuosien aikana)
Ilma- ja sula-aukot	309 625 (pääasiassa) 825 (viimeisten vuosien aikana)
Seinät	309L Alloy 625
Tulistimet	310 / hiiliteräs, Cr-Mo teräs 52 / hiiliteräs, Cr-Mo teräs, austeniittiset

Mahdollisia ehdotuksia jatkoa varten hitsauspinnoitteisiin liittyen ovat:

- Eri menetelmillä valmistettujen hitsauspinnoitteiden erojen karakterisointi (koostumus, mikrorakenne, kovuus, jäännösjännitystaso) sekä selvitys materiaalien vanhenemisesta, herkistymisestä sekä vaikutuksista käyttöominaisuuksiin.
- Mahdollisten liitosvirheiden tarkastelut ja havaittavuus

Lähdeviitteet

1. J.R. Kish, D.L. Singbeil, J.R. Keiser, Cracking Susceptibility of Alternative Composite Tube Alloys in a Molten Sodium Sulphide Hydrate-Sodium Hydroxide Salt Mixture, *Corrosion*, 62 (7), 2006, s. 624
2. X.-L. Wang et al. Experimental determination of the residual stresses in a spiral weld overlay tube. *Materials Science and Engineering: A*, 232, (1–2) 1997, s. 31
3. J.R. Kish, D.L. Singbeil, J.R. Keiser, North American Experience with composite tubes in kraft recovery boilers. *Pulp & Paper Canada*, 106 (4), 2005, s. 34
4. T. Odelstam. BLRB Composite Tubes 15 Years of Experience. Proc. Tappi Seminar Notes on Kraft Recovery Operations, Orlando, FL, USA 1987, s. 277
5. D.L. Singbeil et al. Composite Tube Cracking in Kraft Recovery Boilers: A State of the Art Review. Oak Ridge National Laboratory, USA, 1997. ORNL/TM13442. 43 s.
6. J. R. Keiser et al. Cracking and Corrosion of Composite Tubes in Black Liquor Recovery Boiler. <http://web.ornl.gov/~webworks/cpprr/y2001/pres/119891.pdf>, 48 s.
7. J. R. Keiser et al. Cracking and Corrosion of Composite Tubes in Black Liquor Recovery Boiler Primary Air Ports. Oak Ridge National Laboratory, USA, 2006. ORNL/TM2006/112. 179 s.
8. G. Lai, P. Hulsizer. Corrosion Control by Modern Weld Overlay Technology, 14th International Corrosion Congress (ICC). 1999, Cape Town; South Africa.
9. G. Lai. High-Temperature Corrosion and Materials Applications. ASM International, 2007. 461 s.
10. G. Lai. Performance of Automatic GMAW Overlays for Waterwall Protection in Coal-Fired Boilers. *PowerPlant Chemistry* 4 (12), 2002. s 712
11. G. Lai, N. Blogg, Unifuse® Overlay Cladding for Surface Protection Against Corrosion and Erosion/Corrosion in Power Boilers and Waste Heat Recovery Systems. *OMMI* 3(3), 2004.
12. Dual pass weld overlay method and apparatus US 6013890 (2000)
13. Overlay Capabilities: Reduce boiler tube erosion and corrosion with shop applied weld overlay, <http://www.babcockpower.com/pdf/BTA-BR-0001.pdf> (15.2.2016)
14. Overlay welded tubes. Valmet HPGB_R_2300_183-02 01/2015.
15. M. Uusitalo. Plant supplier's perspective on coatings and cladding, Prewin 13-14.11.2014, Rome
16. E. Fleck. Corrosion mechanisms in WtE plants. 3rd International VDI Conference 2015 Energy and Materials from Waste/VDI Wissenforum 2015, May 06–07, 2015
17. A. Mancke, „News“ from Cladding. PREWIN 5-6.6.2013 Kristiansand
18. T. Herzog et al. Benchmarks for corrosion resistant cladding. Prewin 13.-14.11.2014 Rome
19. Weld Overlay Structure and a Method of Providing a Weld Overlay Structure US 20120214017 (2012)
20. A. Mancke, Standard of cladding process in the biomass and waste combustion. 2nd Conference on Biomass and Waste combustion, February 2010.
21. T. Herzog, Coatings and Claddings, Prewin 13-14.11. 2014 Rome
22. P. Amador et. al. Weld Metal Overlay for Boiler Tube protection in Recovery Boilers. 1993, 12 s.
23. J. Barna, K. Rivers, Improving Recovery Boiler Furnace Reliability with Advanced Materials and Application Methods. BR-1668, Canadian Pulp and Paper Association, 25-29.1.1999, Canada
24. B. Gorti B, et al. Analyses of Weld Overlay Tubes, MPLUS MC-01-006 Final Report, January 2002. 9 s. <http://web.ornl.gov/~webworks/cpprr/y2001/misc/117351.pdf> (15.2.2016)
25. Unifuse 825 Overlay Tubing, Welding Services Inc. Technical Information
26. P. Amador, B. Li, Unifuse Weld Overlay in Black Liquor Recovery Boilers – Technology and Experiences. BLRBAC Spring Meeting Atlanta 2014
27. Corrosion protection for boilers
http://www.azz.com/sites/default/files/WSI_Boilers_en.pdf

28. D. Hawkes, Chemical recovery Boiler above Cut Line Corrosion Identification, Evaluation of repair options and Execution of Weld Repair. Carter Holt Harvey Tasman, 2003, 17 s.
29. Recovery Boiler Primary Air Port Tube Cracking - Examination of Failed Components; ORNL and Paprican presentation 2007
30. J.A. Kulig, R.P. Viscardi, Weld Overlay Materials Comparison For Recovery Boiler Service, BR-1859, TAPPI Pulping, Engineering, Environmental, Recycling and Sustainability Conference, 2-5.10.2011 USA
31. Unifuse 625 Overlay Tubes for Corrosion or Erosion/Corrosion Protection in Boilers, Welding Services Inc. Technical Information
32. Unifuse 310 Overlay Tubing for Superheaters in Black Liquor Recovery Boilers, Welding Services Inc. Technical Information
33. Unifuse 52 Overlay Tubing for Superheater/Reheater in Coal-Fired Boilers, Welding Services Inc. Technical Information
34. Y. Rojas, yksityinen tiedonanto

Pulp, Paper, Recovery Boiler Experience [34]

				
Customer	Location	Alloy	Scope	Year
GA Pacific/Leaf River	Leaf River, MS	309	180 overlay 200 sq. ft. in a recovery boiler	00
GA Pacific/Brunswick	Brunswick, GA	625 & 309L	180 overlay. Inspect and make repair in #6 recovery boiler	00
Irving Pulp & Paper/St. John Mill/B&W	New Brunswick, Canada	625	360 overlay tube samples	00
B&W/Barberton	McFarland	625	360 overlay, Unifuse for tubes	00
Castolin Espana/Spain	McFarland	625	360 overlay, Unifuse for tubes	00
B&W/Canada	McFarland	625	360 overlay, Unifuse for tubes	00
B&W/Canada	McFarland	625	360 overlay, Unifuse for tubes	00
Santa Fe Plant/CMPC/Chile	McFarland	310	360 overlay, Unifuse for tubes	00
Castolin Espana/Spain	McFarland	625	360 overlay, Unifuse for tubes	00
B&W/Barberton	McFarland	625	360 overlay, Unifuse for tubes	00
Pulp & Paper/Berlin Mill	Berlin, NH	625	360 to overlay with 625 100 3.5" boiler tubes, 12" long, and 2 smelt spouts	00
Mead/Escanaba	Escanaba Mill, Escanaba, MI	309	Apply 309 on 5 blower opens approx. 473 sq. ft. in #11 boiler	00
Saint Laurent Paper/West Point Mill	West Point, VA	309	Work on a T&M basis to inspect existing overlay in a recovery boiler	00
International Paper/Jay, ME	McFarland	625	180 overlay smelt spouts	01
Arauco/Chile	McFarland	310	360 overlay Unifuse for Tubes	01
Williamette/Hawesville	Hawesville, KY	82	Machine 67" ID nozzle from the inside of the lower mud drum	01
Pacifica Papers/Canada	Powell River, BC, Canada	625	Unifuse for Tubes	01
CMPC Celulosa/Planta Pacifico	Angol, Chile	309	109 sm on continuous digester	02
Mead/Rumford Mill	Rumford, ME	312	120 Sq. Ft. Batch Digester Overlay	02
Carter Holt Harvey Tasman	Kawerau, New Zealand	309	1500 sq. ft. recovery boiler 309 overlay	02
Babcock & Wilcox	Barberton, OH	625	2100 sq. ft. Unifuse for tubing	02
Pulp and Paper of America, Berlin Mill	Berlin, NH	309	29 sq. ft. Alloy 309 BTO	02
Mead/Westvaco	Luke, MD	625	336 sq. ft. Boiler Tube Overlay	02
CMPC Celulosa S.A.	McFarland	310	47 bends for superheater	02
Deridder	Barberton, OH	625	7,200 ft. overlay 2 7/8 ft. tubes	02

Stora-Enso Wiscosin Rapids/Wiscosin Rapids Pulp Mill	Wisconsin Rapids, WI	309	Boiler tube overlay	02
GA Pacific	Brunswick, GA	309	Boiler Tube Replacement and Overlay	02
Kamtech/Georgia Pacific/Cedar Springs	Cedar Springs, GA	90S & 70S-7	Hot pass and weld	02
Williamette of Kingsport	Kingsport, TN	312	Inspection and repair, as required, on 6 digesters-100 sq ft 312	02
GP Brunswick	Brunswick, GA		Overlay	02
CMPC Celulosa/Planta Pacifico	Santiago, Chili	N/A	Provide alloy fittings and pipe	02
Smurfit Stone of West Point	West Point, VA	309	Recovery boiler tube overlay	02
Castolin Espana/Spijkenisse	Madrid, Spain		WMO on customer provided materials	02
GP Brunswick	Brunswick, GA	70S-6	Boiler Tube Replacement	03
CMPC Celulosa		625	Fabricate smelt openings with alloy 625	03
International Paper	Andro-Scoggins Mill, Jay, ME	625	Overlay 3 smelt spouts w/625	03
CMPC Celulosa			Provide 20 overlaid superheater bends with 310	03
Georgia-Pacific	Brunswick Operations	312	Provide supervision, labor, equipment and materials to apply 3/16" thick minimum, Alloy ER312 Unifuse* weld metal overlay and repairs to all 19 digesters.	03
MeadWestvaco Corp.	Rumford Mill	312	Provide supervision, labor, equipment and materials to repair and apply 3/16" thick minimum, Alloy 312 Unifuse Weld Metal Overlay as directed in document dated to the surface of the # 3 Digester, # 10 Digester, # 7 Digester. Workscope includes gouging of previously overlaid dome, and overlay with alloy 312.	03
International Paper	Andro-Scoggins Mill, Jay, ME	625	Shop overlay three smelt spouts	03
Babcock & Wilcox		625	The tubes will then be grit blasted to "white metal" and Alloy 625 (or equivalent) will be applied. Upon completion of weld metal overlay, a complete visual inspection will be performed.	03
Harmac Pacific	Harmac, B.C., Canada	625	360 overlay smelt opening	87
Consolidated Papers	Wisconsin Rapids, WI	309L	180 overlay lower furnace sidewalls	89
Consolidated Papers	Wisconsin Rapids, WI	309SS	180 overlay boiler tube	91
Georgia Pacific	Palatka, FL	309L	180 overlay boiler tube membrane	91
Weyerhaeuser	Flint River, GA	70S-7	Impregnation Vessel	93
International Paper	Various locations	625	180 overlay smelt spouts	94

Champion Paper	Courtland, AL	625	360 overlay smelt opening	94
Stone Container	Florence, SC	625	180 overlay floor	95
Weyerhaeuser	Columbus, MS	309L	180 overlay sidewall to floor transition	95
Georgia-Pacific	Ashdown, AR	309L & 625	360 overlay floor	95
Chesapeake Papers	Chesapeake, VA	309L	180 overlay lower furnace sidewalls	96
Georgia-Pacific	Leaf River, MS	309L	180 overlay lower furnace sidewalls	96
Westvaco	Charleston, SC	309L	180 overlay lower furnace sidewalls	96
Georgia-Pacific	Brunswick, GA	309L	180 overlay sidewalls above composite line	96
Irving Paper	New Brunswick, Canada	625	360 overlay floor composite replacement	96
Arauco-Constitucion	Constitucion, Chile	625	360 overlay smelt opening	96
P&G Paper	Mehoopany, PA	317	Flange face repair	96
Smurfit@Container Corp.	Fernandina Beach, FL	309	Overlay 24 soot blowers	96
International Paper	Jay, ME	625	Overlay 4 smelt spouts	96
Stone Container	Florence, SC	309	Repair & replace membrane	96
Champion International	Cantonment, FL	70S-7	180 overlay approx. 80 sq. ft. of boiler floor	97
Georgia Pacific	Brunswick, GA	309	180 to overlay 2,172 sq. ft. in a 10' band on all 4 walls, 2 1/2" tubes w 1/2" membrane, 624 tubes total	97
Domtar Papers	Cornwall, Ontario, Canada	309	Overlay 2 nozzles	97
Stone Container	Florence, SC	625	Remove & replace 100' of cracked floor membrane & overlay	97
Stone Container	Florence, SC	625	Remove & replace 100' of cracked floor membrane & overlay w/625	97
Jefferson Smurfit	Jacksonville, FL	309 & 316L	Small overlay areas in 5 batch digesters, first layer 309 w 316 on top	97
Mobile Energy Services	Mobile, AL	309	180 overlay 61 sq. ft. in boiler #8	98
Great Northern Paper	Millinocket, ME	70S-7	180 overlay to 83 sq ft. carbon steel buildup on boiler tubes	98
Domtar Papers	Cornwall, Ontario, Canada	312	Overlay 2 nozzles	98
International Paper	Memphis, TN	625	Overlay 3 smelt spouts	98
Domtar	Windsor, Ontario, Canada	309	2000 sq ft gouge & overlay continuous digester	99
Ahlstrom Kamyr/Thurso Paper	St. Laurent, Ontario, Canada	312	2100 sq ft vessel overlay	99
National Power	Drax Power Station, Selby North Yorkshire, UK	625	35 boiler tubes @ 5.6 meters each	99
Appleton Paper	Spring Mill, Roaring Springs, PA	309L	377 sq ft in 10' ID x 12" high band Skim gouge existing overlay off & replace with 309L/Inspect 4 add'l Batch digesters	99
Celucat	Correia Pinto, Brazil	309LSI	Boiler tube overlay	99
International Paper	Tesecon/Mobil, AL	70S-3	Economizer tube welds	99
International Paper	Georgetown Mill, Georgetown, SC	70S-7	Gouge, grind, sandblast and build-up	99
EC Espanje	Huelva, Spain	625	Overlay 32 boiler tubes	99

Smurfit	Florence Mill, Florence, SC	625	Remove & replace 100 linear ft cracked floor membrane. Replace membrane, then overlay	99
Smurfit	Florence Mill, Florence, SC	625	Remove & replace 100 linear ft cracked floor membrane. Replace membrane, then overlay	99

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 29.1.2015, esitelmät
Hotelli Cumulus, Rauma, Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas
(16A0913-E0154) 29.1.2015
- 2/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Aktiivihiihden mitoituksen varmistus ja optimointi sekä TOC-reduktion
varmistaminen
(16A0913-E0155) 29.1.2015
- 3/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan käynnistys-, pysäytys- ja häiriöjaksojen määrittely
(16A0913-E0156) 14.4.2015
- 4/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0157) 14.4.2015
- 5/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion
Niklas Vähä-Savo, Emil Vainio, Nikolai DeMartini, Patrik Yrjas & Mikko Hupa
Åbo Akademi
(16A0913-E0158) 14.4.2015
- 6/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2014
(16A0913-E0159) 23.4.2015
- 7/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 23.4.2015, Top Lounges, Helsinki
(16A0913-E0160) 23.4.2015
- 8/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Ääninuohouksen mahdollisuudet soodakattiloilla
Santeri Peltola, Tampereen teknillinen yliopisto
(16A0913-E0161) 19.10.2015
- 9/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 29.10.2015
Sokos hotelli Flamingo, Vantaa
(16A0913-E0162) 29.10.2015

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Syöttövesipumppujen optimaalinen valinta
Optimal design of boiler feed water pumping system
Esa Vakkilainen ja Bahnam Zakri , Lappeenrannan teknillinen yliopisto
(16A0913-E0163) 13.1.2016
- 2/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, Phase 2
Nikolai DeMartini, Henri Holmblad, Emil Vainio, Patrik Yrjas ja Leena Hupa, Åbo Akademi
(16A0913-E0164) 13.1.2016
- 3/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, Phase 2
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0165) 13.1.2016
- 4/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 28.1.2016, esitelmät
Sokos hotelli Koli, Lieksa, Stora Enso Oyj, Enocellin tehdas
(16A0913-E0166) 28.1.2016
- 5/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipeäsakan syrjäytyspesu
Kurt Sirén, Oy Sirra Ab
(16A0913-E0167) 28.1.2016
- 6/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hyvät hälytyskäytännöt - yhteenveto
Automaatiotyöryhmä
(16A0913-E0168) 23.3.2016
- 7/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2015
(16A0913-E0169) 20.4.2016
- 8/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 20.4.2016, Radisson Blu Plaza hotelli, Helsinki
(16A0913-E0170) 20.4.2016
- 9/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan materiaalit ja tarkastukset
Kestoisuustyöryhmä
(16A0913-E0171) 14.4.2016
- 10/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Mustalipeän ei-Newtonilaisuus
Ari Kankkunen, Jorma Torniainen, Mika Järvinen
Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Energiatekniikan laitos, Labtium Oy
(16A0913-E0172) 2.9.2016
- 11/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa
Satu Tuurna, Pekka Pohjanne, Sanni Yli-Olli,
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
(16A0913-E0173) 2.9.2016