

LIITE 1

Soodakattiloiden materiaalit ja tarkastukset – raportti 26.3.2016



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry.

**SOODAKATTILAN
MATERIAALIT JA TARKASTUKSET**

Kestoisuustyöryhmä

26.3.2016

ESIPUHE

SISÄLLYSLUETTELO

1	SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA HITSAUKSET.....	6
1.1	Yleistä	6
1.2	Terästen jaottelu	6
1.2.1	Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräsputket	7
1.2.2	Runsasseosteiset teräsputket	8
1.2.3	Ruostumattomat teräsputket	8
1.2.4	Kompound-putket	11
1.3	Materiaalit käyttökohteen mukaan	12
1.3.1	Pohja	14
1.3.2	Seinät	15
1.3.3	Kammiot, aukot, läpiviennit, kourut, massaukset	15
1.3.4	Verho	16
1.3.5	Verhoputkia käytetään ensimmäisenä lämpöpintana tulipesän jälkeen suojamaan tulistimia säteilylämmöltä sekä vähentämään carryoverin määrää. Verhoputket valmistetaan yleensä hiiliteräksestä koska lämpötila on lähellä seinäputkien lämpötilaa. Korroosio on vähäistä johtuen materiaalin lämpötilasta. Tulistin	16
1.3.6	Ekonomaiseri	19
1.3.7	Lieriö	20
1.4	Hitsaus	20
1.4.1	Erikoishitsaukset	22
1.4.1.1	Ferriittisten terästen (”Musta/musta”) –liitos	22
1.4.1.2	Austeniittisen ja ferriittisen teräksen (”Musta/ruostumaton”) liitos	22
1.4.2	Kompoundputkien korjaushitsaus	24
1.4.2.1	Soveltamisala	24
1.4.2.2	Hitsauksen edellytykset	24
1.4.2.3	Toimenpiteitä ennen hitsauksen aloittamista	25
1.4.2.4	Hitsauksen suorittaminen	26
1.4.2.5	Toimenpiteet hitsauksen jälkeen	28
1.4.2.6	Loppusanat	28
1.5	Lähteet:	29
2	SOODAKATTILAPINNOITUKSET	30
2.1	Johdanto	30
2.2	Ruiskutusmenetelmät	31
2.3	Pinnoitemateriaalit	33
2.3.1	Rautavaltaiset pinnoitteet	33
2.3.2	Nikkelivaltaiset pinnoitteet	34
2.3.3	Kaupalliset pinnoitemateriaalit	35
2.3.4	Pinnoitemateriaalien valinta	36
2.4	Pinnoitteen valmistus	39
2.4.1	Termisellä ruiskutuksella pinnoitettavan pinnan esikäsittely	39
2.4.2	Pinnoitemateriaali	40
2.4.3	Terminen ruiskutus	40

2.4.4	Sulautuvien seosten ruiskutus.....	41
2.4.5	Vaaditut ominaisuudet ja pinnoitteen testausmenetelmät	41
2.4.6	Pinnoitteen ulkonäkö	42
2.4.7	Tartunta.....	42
2.4.8	Paksuuden mittaus	42
2.4.9	Vanhojen pinnoitteiden tarkastus ja pintojen korjaus.....	43
2.4.10	Manipulaattorin käyttö pinnoituksessa.....	44
2.5	Yhteenvedo.....	44
2.6	Lähdeluettelo	44
3	PAINEASTIAN KORJAUKSET	48
3.1	Yleistä	48
3.2	Oppaat.....	48
3.3	Lait ja asetukset	49
3.4	Hitsauksen laatu.....	49
3.5	Hitsaajan pätevyystodistukset.....	50
3.6	Hitsausohjeet	50
3.7	Asennus-, korjaus- ja muutostyöt	50
3.8	Painekoe.....	51
3.9	Korjauksen luonne	52
3.9.1	Ennakkoon valmisteltu korjaus	52
3.9.2	Ennalta arvaamattoman tapahtuman korjaus	52
3.9.3	Hitsauksen korjaus.....	53
4	SOODAKATTILATARKASTUKSET.....	55
4.1	Yleistä	55
4.2	Tarkastusmenetelmät	57
4.2.1	Silmämääräinen tarkastus/VT (visual testing).....	57
4.2.2	Paksuusmittaus/ TM (thickness measurement)	58
4.2.3	Magneettijauhetarkastus / MT (magnetic particle examination).....	58
4.2.4	Tunkeumanestetarkastus / PT (liquid penetrant examination)	59
4.2.5	Radiografia/RT (radiographic examination)	59
4.2.6	Ultraäänitarkastus / UT (ultrasonic examination)	60
4.2.7	Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing).....	61
4.2.8	Jäljennemenetelmä/REP (replica).....	62
4.2.9	Endoskooppitarkastus/END (endoscopy).....	62
4.2.10	Akustinen emissio seuranta / AE (acoustic emission)	63
4.2.11	Lämpökuvaus (thermography)	63
4.2.12	Kovuusmittaus/HT (hardness test)	63
4.2.13	T-Scan paksuusmittaus.....	63
4.2.14	IRIS-tekniikka	64
4.2.15	Sisäpuolisen kerrostuman / magnetiittikalvon paksuusmittaus.....	64
4.2.16	Guided Wave.....	67
4.2.17	RFET (kaukokenttämenetelmä pyörrevirtatekniikalla, Remote Field Electromagnetic Technique).....	67
4.2.18	Magneettinen vuotokenttätarkastus (MFL).....	68
4.2.19	Jäännös jännitystilat	68
4.2.20	Ainetta rikkovat tarkastukset.....	69
4.3	Tarkastettavat kohteet.....	69



4.4	Vesipainekoe korjausten jälkeen	69
4.5	Dokumentointi	70



JOHDANTO

Tämä Soodakattilayhdistyksen raportti on järjestyksessään viides soodakattilan materiaaleja koskeva julkaisu. Raportti pohjautuu vuonna 1997 julkaistuun Soodakattilalaitoksen suojaussuositukseen ([raportti 6/1997](#)). Tätä aiemmat raportit ovat julkaistu vuosina 1968, 1978 ja 1988.

Aiemmasta raportista vuodelta 1997 valittiin päivitettäväksi seuraavat kappaleet: Soodakattilan materiaalit ja hitsaukset, Soodakattilapinnoitukset, Paineastian korjaukset ja Soodakattilatarkastukset. Raportti on koottu laadintahetkellä saatavilla olleiden tietojen ja kokemusten perusteella.

Tarkoituksena on kehittää raporttia edelleen ja tästä syystä mahdolliset huomiot virheistä, parannusehdotuksista ja kokemuksista pyydetään lähettämään Soodakattilayhdistyksen sihteeristölle. Yhteystiedot löytyvät yhdistyksen kotisivuilta. <http://www.soodakattilayhdistys.fi/>

Soodakattilayhdistys ei ota vastuuta raportissa mahdollisesti olevista tai raportin soveltamisesta aiheutuvista virheistä tai niiden kustannuksista.



1 SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA HITSAUKSET

Alkuperäinen teksti: Lasse Koivisto, Ahlstrom Machinery Oy

Päivitetty teksti: Kestoisuustyöryhmä

1.1 Yleistä

Valmistajalla tulee olla laatu järjestelmä (esim. ISO 9001 mukainen), jossa kuvataan (soveltuvin osin) materiaalin valinta, tilaus, vastaanotto, aine todistusten käsittely, materiaalin tuotantoonotto ja materiaalin tunnistettavuuden säilyttäminen.

1.2 Terästen jaottelu

Soodakattiloissa yleisimmin käytetyt teräkset voidaan jaotella monella tapaa kuten mikrorakenteen tai kemiallisen koostumuksen perusteella, taulukko 1-1.

Taulukko 1-1. Terästen jaottelu kemiallisen koostumuksen mukaan

Kemiallinen koostumus	Teräsluokka
C, Mn	Seostamattomat teräkset
Cr, Mo, Ni, Cu, V, Nb (Cb) < 5 %	Niukkaseosteiset teräkset
Cr, Mo, Ni, Cu, V, Nb (Cb) > 5 %	Runsasseosteiset teräkset
Min 13% Cr	Ruostumattomat teräkset Ferriittiset & martensiittiset
Min 18% Cr + 4-6% Ni (lean duplex +N)	Ruostumattomat teräkset Austeniittis-ferriittiset (duplex)
Min 18% Cr + min 7% Ni (myös Mn seostus)	Ruostumattomat teräkset Austeniittiset
Enemmän muita metalleja (esim. Ni) kuin Fe	Nikkelivaltaiset tms. seokset

Putket valitaan lujuuslaskujen perusteella paineastiamääräysten ja standardien mukaan. Terästuotteille on olemassa lukuisia standardeita, standardit koskevat mm. teräksen ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä, aineen koetusta, koostumusta ja nimikkeitä jne. Lisäksi standardit vaihtelevat alueellisesti: Yhdysvalloissa käytetään ASME (American Society of Mechanical Engineers)-standardeita, Euroopassa EN-standardeita, joihin Suomalaiset SFS-standardit on yhdenmukaistettu.

Vaikka standardit periaatteessa velvoittavat valmistajat käyttämään standardien mukaisia määriteltyjä nimikkeitä, käytetään usein kirjallisuudessaakin vakiintuneita vanhoja nimikkeitä. Esimerkiksi saksalainen DIN-standardi (lähinnä DIN 17175) on jäänyt elämään. Taulukoissa 1-2, 1-3, 1-4 on verrattu nykyisten ja vanhojen standardien mukaisia teräksiä, seostamattomien terästen kohdalla merkinnät ovat



muuttuneet oleellisesti, mutta seostettujen terästen merkinnät ovat hyvin lähellä toisiaan. ASME käyttää hyväksi ASTM:n (The American Society for Testing and Materials) merkintöjä, esimerkiksi ASTM A 213 = ASME SA213

Putkien koestusvaatimukset ja muut vaatimukset on esitetty edellä mainitussa standardissa. Vaadittava todistuslaji on yleensä standardin [EN 10204 Metallituotteiden aineodistukset](#) mukainen.

1.2.1 Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräsputket

Terästä sanotaan seostamattomaksi teräkseksi jos rautaan ei ole seostettu mitään lisäainetta parantamaan sen ominaisuuksia. Kuitenkin kaikki hiiliteräkset sisältävät jonkin verran mangaania, piitä ym. Seostamattomat teräkset ovat erittäin hyvin muokattavia ja niillä on yleensä hyvä sitkeys ja lujuus. Toisaalta niiden virumiskestävyys on heikko ja käyttö rajoittuu alle 450 °C lämpötiloihin.

Kuumalujuutta ja hapettumisenkestävyyttä parannetaan lisäämällä teräkseen erilaisia seosaineita. Tavallisimmat seosaineet ovat molybdeeni (Mo), kromi (Cr), vanadiini (V) ja niobi (Nb), joista tehokkain seosaine kuumalujuuden suhteen on molybdeeni. Standardit määrittelevät seosainepitoisuuksille ylärajat, joiden ylittäminen merkitsee teräksen nimikkeen muuttumista seosteiseksi teräkseksi. Niukkaseosteisiin teräsiin luetaan teräkset joissa seosaineita on yhteensä vähemmän kuin 5 prosenttia, taulukko 1-2.

Taulukko 1-2. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset putkiteräkset

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
P235GH	1.0345	St 35.8	SA-192	Hiiliteräs	< 400 °C
P265GH	1.0425	St 45.8	SA-210-A1	Hiiliteräs	< 400 °C
16 Mo 3	1.5415	15 Mo 3	SA-209 T1	≤ 0.3 % Mo	< 470 °C
13 CrMo 4-5	1.7335	13 CrMo 4 4	SA-213 T12	1% Cr - 0.5% Mo	< 500 °C
10 CrMo 9-10	1.7380	10CrMo 9 10	SA-213 T22	2.25% Cr - 1%Mo	< 540 °C
7 CrWVMoNb 9-6	1.8201		SA-213 T23	2.25% Cr -MoWV	
7 CrMoVTiB 10-10	1.7378		SA-213 T24	2.25% Cr -1%MoVTiB	

Taulukko 1-3. Yleisesti käytetyt EN 10028 mukaiset levyteräkset

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
P235GH	1.0345	H I	-	Hiiliteräs	< 450 °C
P265GH	1.0425	H II	-	Hiiliteräs	< 450 °C



1.2.2 Runsasseosteiset teräspanket

Runsasseosteisiin teräsiin päästään kun mm. kromin seostusta lisätään, esimerkiksi “X20”-teräs (X20CrMoV111), joka on melko runsashiilinen (0,2 %) ja sisältää kromia 12 %. Yleisesti käytössä olevia runsasseosteisiä putkimateriaaleja on lueteltu taulukossa 1-4.

Taulukko 1-4. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset runsasseosteiset putket

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
X10CrMoVNb9-1	1.4903	X10CrMoVNb91	SA-213 T91	9% Cr - 1%Mo mod.	
X20CrMoV11-1	1.4922	X20CrMoV12 1	-	12% Cr - 1%MoNiV	

1.2.3 Ruostumattomat teräspanket

Kromin ansiosta teräksen pintaan muodostuu ympäristön sisältämän ilman hapen vaikutuksesta erittäin ohut tiivis “oksidikalvo”, joka suojelee terästä korroosiolta. Kalvon muodostumiseen ilmassa tarvitaan teräksessä vähintään noin 11 % kromia, joka on vähiten seostetun ruostumattoman teräksen kromipitoisuus. Kromin lisäksi teräsiin seostetaan yleensä tarpeen mukaan monia muitakin seosaineita, esim. nikkeliä tarvitaan vähintään noin 8 % ja kromia 18 %, kun halutaan saada aikaan yleisin ruostumaton teräs, austeniittinen teräs.

Kemiallisen koostumuksen (lähinnä kromi, nikkeli, molybdeeni, mangaani, pii ja typpi) ja lämpökäsittelytilan mukaan saadaan teräsiin erilaisia mikrorakenteita, joilla on erilaisia ominaisuuksia. Mikrorakenteensa perusteella ruostumattomat teräkset jaetaan: ferriittisiin, austeniittisiin, austeniittis-ferriittisiin (duplex) ja martensiittisiin teräsiin. Seosainepitoisuuksia muuttamalla kyetään vaikuttamaan teräksen korroosionkestävyyteen, hitsattavuuteen ja mekaanisiin ominaisuuksiin, taulukko 1-5.



Taulukko 1-5. Seosaineiden vaikutus teräksen ominaisuuksiin

Seosaine:	Vaikutus:
Kromi (Cr)	+ Parantaa sekä korroosion että jännityskorroosion kestävyyttä + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä estämällä rikin diffuusiota + Korkea Cr-pitoisuus pienentää lämpölaajenemiskerrointa – Korkea Cr-pitoisuus laskee lämmönjohtavuutta – Huonontaa sitkeyttä
Nikkeli (Ni)	+ Parantaa jännityskorroosionkestävyyttä korkeilla pitoisuuksilla (Ni > 30 %) + Korkea Ni-pitoisuus pienentää lämpölaajenemiskerrointa + Parantaa kestävyyttä kloridikorroosiota vastaan + Parantaa sitkeyttä – Puhtaalla nikkelillä on alkalisissa sulfidiympäristöissä huono jännityskorroosionkestävyys – Heikentää sulfidoitumiskestävyyttä – Korkea Ni-pitoisuus laskee lämmönjohtavuutta
Molybdeeni (Mo)	+ Parantaa jännityskorroosionkestävyyttä väkevissä lipeäliuoksissa korkeilla kloridipitoisuuksilla + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä + Nostaa lujuutta korkeissa lämpötiloissa – Heikentää jännityskorroosionkestävyyttä väkevissä lipeäliuoksissa matalilla kloridipitoisuuksilla.
Mangaani (Mn)	+ Parantaa kestävyyttä muodostamalla pysyviä rikkiyhdisteitä ja estää rikin ja nikkelin sekä kromin välisiä reaktioita
Titaani (Ti)	+ Parantaa korroosionkestävyyttä + Vähentää raerajakorroosion (herkistymisen) riskiä hitsauksen jälkeen
Niobi (Nb)	+ Parantaa korroosionkestävyyttä + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä + Vähentää raerajakorroosion (herkistymisen) riskiä hitsauksen jälkeen
Typpi (N)	+ Parantaa pistekorroosionkestävyyttä + Parantaa lujuutta
Rauta (Fe)	+ Korkea Fe-pitoisuus lisää lämmönjohtavuutta – Heikentää korroosionkestävyyttä – Heikentää sulfidoitumiskestävyyttä.

Ruostumattomista teräksistä austeniittiset teräokset ovat ehdottomasti yleisimmin käytettyjä. Austeniittisiä teräksiä käytetään vaikeissa korroosio-olosuhteissa tulistinputkena. Austeniittiset teräokset ovat kromi- nikkeli-teräksiä, joiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 17–26 % ja nikkelipitoisuus välillä 7-22 %, pitoisuuksien summan ollessa vähintään 23 %. Hiiltä austeniittisissä teräksissä on hyvin vähän, yleensä alle 0,05 %.

Austeniittisten terästen korroosionkestävyys, sitkeys, kylmämuovattavuus ja hitsattavuus ovat hyviä. Lujuus on melko vaatimaton lukuun ottamatta runsaasti seostettuja erikoisteräksiä. Niillä on kuitenkin erittäin hyvät kuumalujuusominaisuudet, mistä syystä niitä käytetään paljon virumiskestävinä teräksinä korkeissa lämpötiloissa. Austeniittista terästä ei voida karkaista lujuuden



nostamiseksi, mutta sen lujuutta voidaan nostaa mm. tyypiseostuksella. Mikäli käytetään austeniittista materiaalia, on muistettava sen jännityskorroosioalttius.

Ferriittisten terästen pääseosaine on kromi. Toisena seosaineena voidaan käyttää muutamia prosentteja molybdeeniä. Hiilipitoisuus on alle 0,08 %. Lisäksi niissä voi olla hyvin pieniä määriä erilaisia stabilointiaineita, mm. titaania ja alumiinia. Ferriittisten terästen perustyytit ovat 12 % Cr- ja 17 % Cr-teräkset.

Ferriittisten terästen sitkeysominaisuudet eivät ole verrattavissa austeniittisten terästen erinomaiseen sitkeyteen ja ne kärsivät myös monista haurausilmiöistä. Samoin korroosionkestävyys monissa olosuhteissa on huonompi. Ferriittisten terästen hyvä ominaisuus on kuitenkin hyvä jännityskorroosionkestävyys, joka on puolestaan austeniittisten vakioterästen heikko kohta. Lujuudet ovat yleensä jonkin verran suurempia kuin austeniittisilla teräksillä. Niiden etuna on myös edullinen hinta.

Austeniittis-ferriittiset teräkset eli duplex-teräkset ovat CrNi- ja CrNiMo-teräksiä. Näiden pääseosaineiden pitoisuudet on tasapainotettu siten, että teräkseen saadaan kaksifaasinen mikrorakenne, jossa on austeniittia ja ferriittia suurin piirtein suhteessa 50:50.

Duplex-terästen hyvät ominaisuudet ovat suuri lujuus ja hyvä korroosionkestävyys (erityisesti jännityskorroosionkestävyys ja pistekorroosionkestävyys) sekä vielä hyvä hitsattavuus. Terästen sallittu käyttölämpötila-alue on noin -50...+280 °C.

Martensiittiset teräkset ovat pääkoostumukseltaan kromiteräksiä, minkä lisäksi joissakin laaduissa on muutamia prosentteja nikkeliä. Päätyypiltään ne ovat 13% Cr- ja 17% Cr -teräksiä, joiden hiilipitoisuus on välillä 0,10 – 1 %.

Martensiittiset teräkset ovat ainoita karkaistavia ruostumattomia teräksiä, minkä ansiosta niiden lujuutta voidaan nostaa karkaisulla. Terästen lujuus on korkea ja kulumiskestävyys hyvä. Korroosionkestävyys on huonompi kuin muilla ruostumattomilla terästyypeillä. Sitkeysominaisuudet ovat myös melko huonot. Hitsattavuus on yleensä huono (haurastuu hitsattaessa), minkä takia hitsaus vaatii yleensä aina erilaisia erityis- toimenpiteitä onnistuakseen, mm. esikuumennus ja jälkilämpökäsittely.

Yleisesti käytössä olevia ruostumattomia putkimateriaaleja on lueteltu taulukossa 1-6.

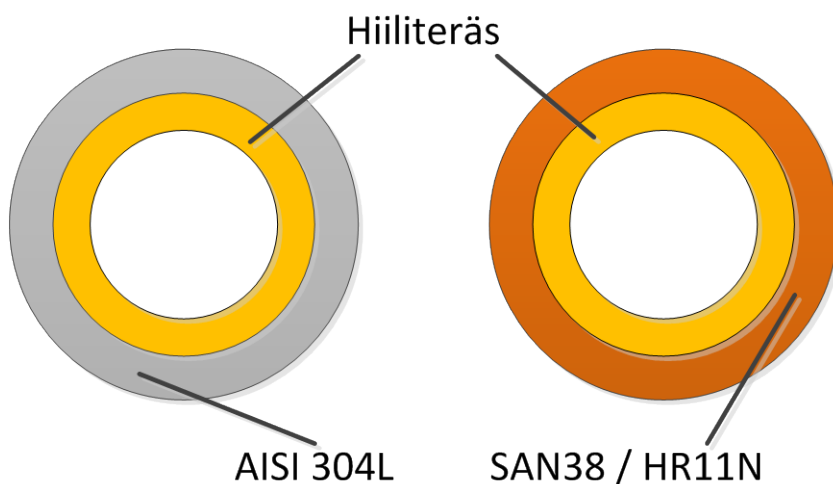
Taulukko 1-6. Yleisesti käytetyt EN 10088 ja EN 10216 mukaiset ruostumattomat putket

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
X2CrNi19-11	1.4306	X5CrNi189	304L	19%Cr - 11%Ni	
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2CrNiMo18 14 3	316L	18%Cr - 3%Mo14%Ni	
X6CrNiNb18-10	1.4550	X6CrNiNb 18 10	347	18%Cr- 10%NiNb	
X8CrNi 25-21	1.4845	X12CrNi 25 20	310S	25%Cr- 21%Ni	
X6NiCrNbCe32-27	1.4877	-	A213	31%Ni - 27%Cr (AC-66)	
X6Cr13	1.4000	-	410S	13%Cr - 0.08%C	
X6Cr17	1.4016	-	430	17%Cr – 0.08%C	
X2CrMoTi18-2	1.4521	-	444	18%Cr – 2%MoTi	
X12Cr13	1.4006	-	410	13%Cr - 0.1%C	
X20Cr13	1.4021	-	420	13%Cr - 0.2%C	
X2CrNiN23-4	1.4362	-	S2304	23%Cr - 4%NiN	< 300 °C
X2CrNiN22-2	1.4062	-	S2202	22%Cr - 0.5%Mo2Ni	< 250 °C
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	-	S2205	22%Cr - 3%Mo5%NiN	< 280 °C
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	-	S2750	25%Cr - 4%Mo7%NiN	< 300 °C
X2CrNiN22-2	1.4062	-	S2202	22%Cr - 2%NiN	< 250 °C

Siinä vaiheessa kun muita metalleja, kuten nikkeliä on enemmän kuin rautaa, ei puhutakaan enää teräksistä.

1.2.4 Compound-putket

Kompound-putki on yhdistelmä kahdesta materiaalista, jossa putken painetta kantava sisäkerros on seostamaton tai niukkaseosteinen terästä ja ulommainen korroosiota kestävä kerros ruostumatonta terästä tai nikkelseosta. Soodakattiloissa käytetään AISI 304L tai Sanicro38/Alloy 825/HR11N -tyyppisellä pinnoitteella valmistettua compound-putkea, putken rakenne on esitetty kuvassa 1-1. Compound-rakenne voidaan valmistaa sekä pursottamalla että pinnoitehitsaamalla.



Kuva 1-1. Tyypillinen compound-putken rakenne



Tulistinmateriaalina voidaan käyttää compoundputkea, jolloin pintakerros voi olla esim. AISI 310 -tyyppinen. Tulistinolosuhteissa sisemmän komponentin tulee tietysti olla lujuutensa puolesta ko. lämpötilaan ja paineeseen sopivaa terästä. Eri pintamateriaalien koostumuksia on esitetty taulukossa 1-7.

Taulukko 1-7. Compound-putkien pintamateriaaleja

Materiaali	Cr%	Ni %	Mo %	Fe %	Mn %	Muut %
AISI 304L	17 – 19	9 - 12	-	bal.	1.3	-
AISI 310	24 – 26	19 - 22	-	bal.	1.77	-
Alloy 825 (Sanicro38)	19 - 23.5	38 - 46	2.5 - 3.5	bal.	0.8	Cu: 1.7, Ti: 0.8
HR11N	27 – 31	38 - 46	0.5 – 1.5	bal.	≤ 2.0	N
Sanicro 28	27	31	3.5	bal.	≤ 2.0	1.0 Cu
Sanicro 63	21	bal.	8.5	3.0	0.5	Nb: 3.5
Sanicro 67	30	60	-	bal.	≤ 0.5	Co: <0.05
Super 625	20 – 23	bal.	-	≤ 5.0	≤ 0.5	W: 3.15 – 4.15, Al: 0.4, Co: ≤ 1.0

Kompound-putket valitaan kuhunkin sovellutukseen lujuuslaskujen ja korroosio-näkökohtien perusteella. Lujuuslaskuissa painetta kantavaksi seinämäksi otetaan ainoastaan perusaineen “musta” osuus. Compound-putkien koestus- ja muut vaatimukset on esitetty sisäosan osalta standardissa EN 10216-2, lisäksi on noudatettava kattilastandardia EN 12952-2 Annex C vaatimuksia sekä valmistajan spesifikaatiota. Compound-putkien käsittelyssä tulee huolehtia siitä, että pintakerrosta ei vahingoiteta ja että voimakas kontakti hiiliterästyökaluihin estetään.

1.3 Materiaalit käyttökohteen mukaan

Soodakattilan käyttöolosuhteet ovat rakennemateriaalien kannalta erittäin vaativat. Lämpötilat ovat korkeat, poltettavassa mustalipeässä on sekä klorideja että rikkiyhdisteitä ja tietyt aineet (Cl, K, S) rikastuvat käytön aikana putkien pintaan, vaikuttavia aineita on kattilassa niin kiinteässä, sulassa kuin kaasumaisessakin muodossa ja korkeita paikallisia jännityksiä esiintyy kattilan eri osissa putkirakenteesta ja paikallisista lämpötilan nousuista johtuen.

Soodakattilan lämpöpintojen materiaalivalinta onkin tasapainottelua käyttö-ominaisuuksien ja kustannusten välillä. Korkea tuorehöyryn lämpötila ja paine mahdollistavat rakennusasteen nostamisen, mutta vaativat samalla kestävämpiä materiaaleja. Soodakattilassa vallitsee useita lämpötilatasoja ja lämmönsiirtopinnoilla vauriomekanismit vaihtelevat, joten materiaalivalinnassa kullekin kattilan osalle on huomioitava kohteen olosuhteet ja vauriomekanismien riskit. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. materiaalin kemiallinen koostumus, materiaalin



lujuusominaisuudet, valmistettavuus, valmistusmenetelmien (kylmämuokkauksen, hitsauksen tai herkistymisen) vaikutukset korroosionkestävyyteen ja hinta. Koska soodakattilassa vallitsevat korrodoivat olosuhteet, valitaan usein suuri seinämänpaksuus niin, että saadaan suuri syöpymisvara.

Kompound-pohjaputkien yleisin vauriomekanismi on säröily. Kompound-putkien säröilyä esiintyy soodakattilan alaosassa tyypillisesti kolmessa eri paikassa: pohjanputkissa sekä ilma- ja sula-aukoissa. Säröilyn syynä on pidetty lähinnä termistä väsymistä (metallin lämpötilan vaihtelu). Tässä avainasemassa on lipeän ruiskutus, seinille ja aukkoputkille ruiskutetun lipeän aiheuttamat lämpötilan vaihtelut saavat aikaan väsyttävää kuormitusta. Myös ilmajaon hallinta on tärkeää. Joskus säröt ovat tyypiltään jännityskorroosion aikaansaamia. Jännityskorroosiolle altis ympäristö voi olla pesunaikainen vesiliuos ja kostean suolan peittämät putket.

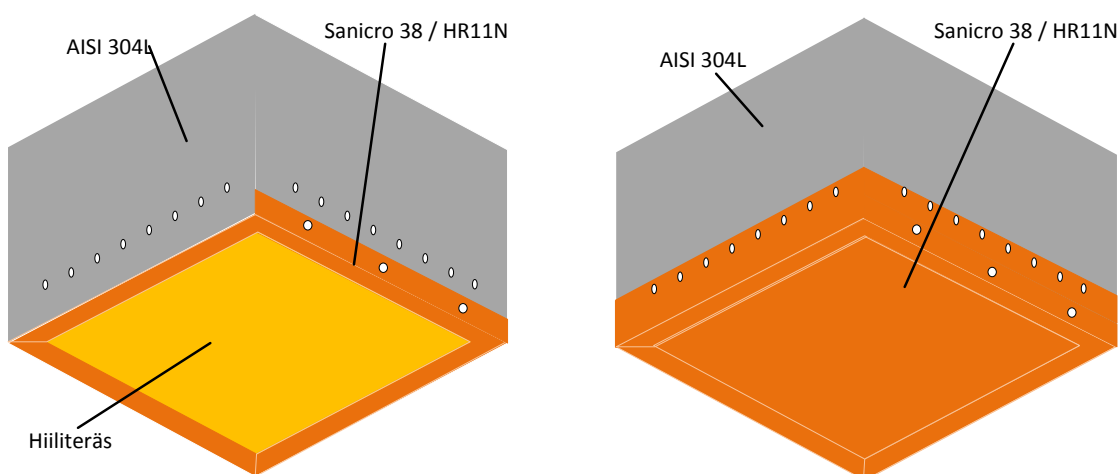
Käytönaikainen sulfidikorroosio on toinen tärkeä soodakattilan tulipesän korroosioimekanismi, sillä pelkistävissä olosuhteissa metallin ja rikkivedyn reagoidessa syntyvä sulfidikerros heikentää metallia suojaavia oksidikerroksia.

Tulistinalueella korroosio-olosuhteet ovat myös haastavat. Syynä tähän on mustalipeän polton seurauksena syntyvät alkalikloridi- ja rikkiyhdisteet, jotka tulistinpinnoille kertyessään aiheuttavat tulistinputkien syöpymistä. Korroosion lisäksi kerrostumat aiheuttavat kattilan tukkeutumista, joka puolestaan johtaa kasvavaan nuohoustarpeeseen. Korroosioon vaikuttavat ennen kaikkea tulistinputkien pintaan syntyvien kerrostumien sulamisalue sekä materiaalin lämpötila. Kloridit ja kalium ovat oleellisia aineita erityisesti kerrostumissa (ja lipeässä), sillä kalium laskee voimakkaasti kerrostuman sulamislämpötilaa ja kloridi aiheuttaa nopean korroosion. Rikkivety (H_2S) ja polysulfidit aiheuttavat sulfidikorroosiota.

Edellä mainituissa olosuhteissa on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalin valintaan ja siihen, että materiaalin lämpötila pidetään mahdollisimman alhaisena. Vesikiertojen sulkeminen aiheuttaa edellä mainittua haitallisten aineiden rikastumista mm. mustalipeään, mikä tulee ottaa huomioon materiaaleja valittaessa. Seostamattomien ja matalaseosteisten terästen korroosiosuojana on myös käytetty erilaisia pinnoitteita.

1.3.1 Pohja

Nykyisin soodakattilan tulipesän pohjan compound materiaalina käytetään tavallista ruostumatonta terästä (AISI 304L) tai paremmin korroosiota kestävästä nikkelseostasta kuten Sanicro38/ HR11N. Compound-putkien sijasta voidaan käyttää myös hiiliterästä pohjan keskiosissa. Esimerkki tulipesän alaosan materiaalivaihtoehtoista on esitetty kuvassa 1-2.



Kuva 1-2. Esimerkki tulipesän alaosan putkimateriaaleista

Japanissa soodakattilan tulipesän materiaalina käytetään ferriittistä ruostumatonta hitsauspinnoitetta 18% Cr tai 25% Cr. Ferriittisten ruostumattomien terästen ongelmana pidetään materiaalin taipumusta haurausilmiöihin. Soodakattilan käytön kannalta suurin pelko kohdistuu 475 °C-haurauteen ja sigma-haurauteen. Tällöin teräksen kromi rikastuu paikallisesti sigma-faasiksi, joka kohottaa voimakkaasti materiaalin lujuutta ja alentaa sitkeyttä. Stabiloivien seosaineiden (Nb, Ti, Al) käytön avulla on ollut mahdollista pienentää ferriittisten ruostumattomien terästen raekokoa merkittävästi ja eliminoida haurastumistaipumus.

Termisen väsymisen kannalta paras compound-materiaali on sellainen, jonka lämpölaajenemiskerroin on mahdollisimman lähellä hiiliterästä. Myös jännityskorroosioriski pienenee lämpölaajenemiskertoimien erojen pienentyessä. Lisäksi materiaalin lämmönsiirtokerroin tulee olla suuri, jotta lämpö johtuu pinnasta hiiliteräkseen ja sitä kautta kiertoveteen, eikä materiaaliin synny sisäisiä lämpötilagradientteja.



1.3.2 Seinät

Modernin soodakattilan tulipesän alaosan seinät ylimmän ilmatason tasolle on rakennettu kompond-materiaalista (304L) korroosion minimoimiseksi. Yläosissa käytetään seostamatonta hiiliterästä esim. P235GH, P265GH tai niukkaseosteisia teräksiä esimerkiksi 16Mo3.

Hiiliteräksen ja kompond-putken rajalla pohjalla ja seinällä on galvaanisen korroosion riski. Lisäksi yläosassa olosuhteet vaihtelevat pelkistävän ja hapettavan välillä.

1.3.3 Kammiot, aukot, läpiviennit, kourut, massaukset

Kammiot valitaan kuten putket. Voimakkaalle korroosiolle alttiissa osissa, kuten erilaisissa läpivienneissä tms. heikommin jäähdytetyissä osissa, tulee kiinnittää erityistä huomiota niiden korroosion-kestävyyteen, jäähdytykseen ja suojaukseen. Monesti korroosionopeutta ei voida kovinkaan paljon pienentää millään toimenpiteillä, jolloin osa joudutaan vaihtamaan tai korjaamaan huoltoseisokeissa määrä ajoin.

Primääri-ilma-aukkojen ohitusputkissa käytetään yleensä kompondia (304L, Sanicro 38/HR11N) tai pinnoitehitsattua materiaalia. Joskus kompondista valmistetuissa ohitusputkissa on havaittu säröilyä. Säröily on lähes yksinomaan ollut termistä väsymistä, jotkut säröt ovat olleet tyypiltään jännityskorroosion aikaansaamia. Materiaalivalinnan lisäksi säröilyyn voidaan vaikuttaa lipeän ruiskutuksella sekä ilmasuihkun hallinnalla.

Primääri-ilmasuuttimina käytetään nykyään valusuuttimia, standardimateriaalina on GRP 400 (pallografiittirauta), jolla on hyvä sitkeys verrattuna suomugrafiittiin ja hyvä lämmönjohtavuus verrattuna seostettuihin materiaaleihin. Tarkka sovitusta ja tiivistystä massalla ovat huomioitavia asioita suuttimien asennettaessa. Uusiminen on helppoa, ei tarvita hitsausta eikä hiontaa. Myös korkeaseosteisia materiaaleja voidaan käyttää mutta hinta on moninkertainen.

Hitsattujen levysuuttimien on todettu syöpyvän korkeiden lämpöpiikkien aikana.

1.3.4 Verho

Verhoputkia käytetään ensimmäisenä lämpöpintana tulipesän jälkeen suojamaan tulistimia säteilylämmöltä sekä vähentämään carryoverin määrää. Verhoputket valmistetaan yleensä hiiliteräksestä koska lämpötila on lähellä seinäputkien lämpötilaa. Korroosio on vähäistä johtuen materiaalin lämpötilasta.

1.3.5 Tulistin

Tulistimien materiaalinvalinnassa joudutaan tasapainoilemaan yhtäältä materiaalien korroosionkestävyyden ja toisaalta niiden hinnan välillä. Perinteisesti tulistimien korroosio-ongelmat minimoidaan pitämällä tulistimien materiaalilämpötilat alle lämpötilan T_0 (FMT = first melting point), jossa ensimmäiset sulapisarat syntyvät kerrostumiin. FMT:n ylittyessä kaikkien materiaalien korroosionopeus kasvaa huomattavasti ja on vaikeasti ennustettavissa.

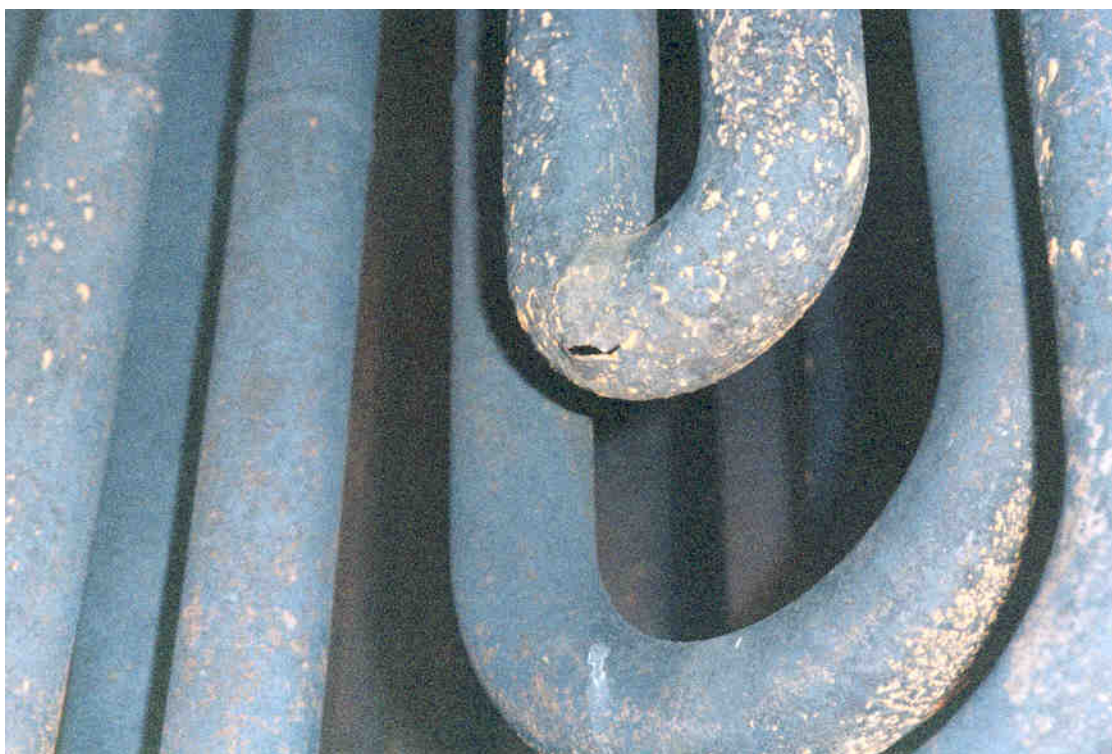
Kerrostumien ominaisuudet ja niiden korroosiovaikutus voidaan ennustaa kun tiedetään lipeäanalyysin lisäksi mitä lipeälle tapahtuu tulipesässä ja millaista lentotuhkaa syntyy. Poistamalla poltettavasta mustalipeästä kaliumia ja kloridia voidaan korroosiota vähentää. Kalium vaikuttaa pääasiassa likaantumiseen ja kloridi korroosioon. Voidaan sanoa että mustalipeän (lentotuhkan) K-pitoisuus määrittelee sekä materiaalin että höyryn maksimi lämpötilan. Mustalipeän (lentotuhkan) Cl-pitoisuus määrittelee käytettävän kirkkaan materiaalin määrän tulistimissa.

Pyrittäessä korkeampiin höyrynlämpötiloihin ja paineisiin täytyy käyttää paremmin korroosiota kestäviä materiaaleja sekä parantaa kloridi- ja kaliumpitoisuuksien hallintaa. Korroosionopeus ei aina ole suoraan verrannollinen käytettyyn rahamäärään. Parhaimmat tulistinmateriaalit voivat olla yli kymmenen kertaa kalliimpia kuin perinteiset materiaalit, mutta korroosionkesto saattaa joissakin tapauksissa olla 2 tai 3-kertainen.

Tulistinkorroosiota voidaan vähentää myös tulistimien sijoituksella. Yleensä säteilyn alla tulistimien korroosio on voimakkaampaa kuin konvektiopuolella. Tämä johtuu käytännössä siitä, että säteilypuolella materiaalilämpötilat ovat noin 15-20 °C korkeampia kuin konvektiopuolella. Sijoittamalla tulistimet joko nokan taakse tai käyttämällä tulistimien edessä verhoputkia, voidaan korroosiota vähentää oleellisesti.

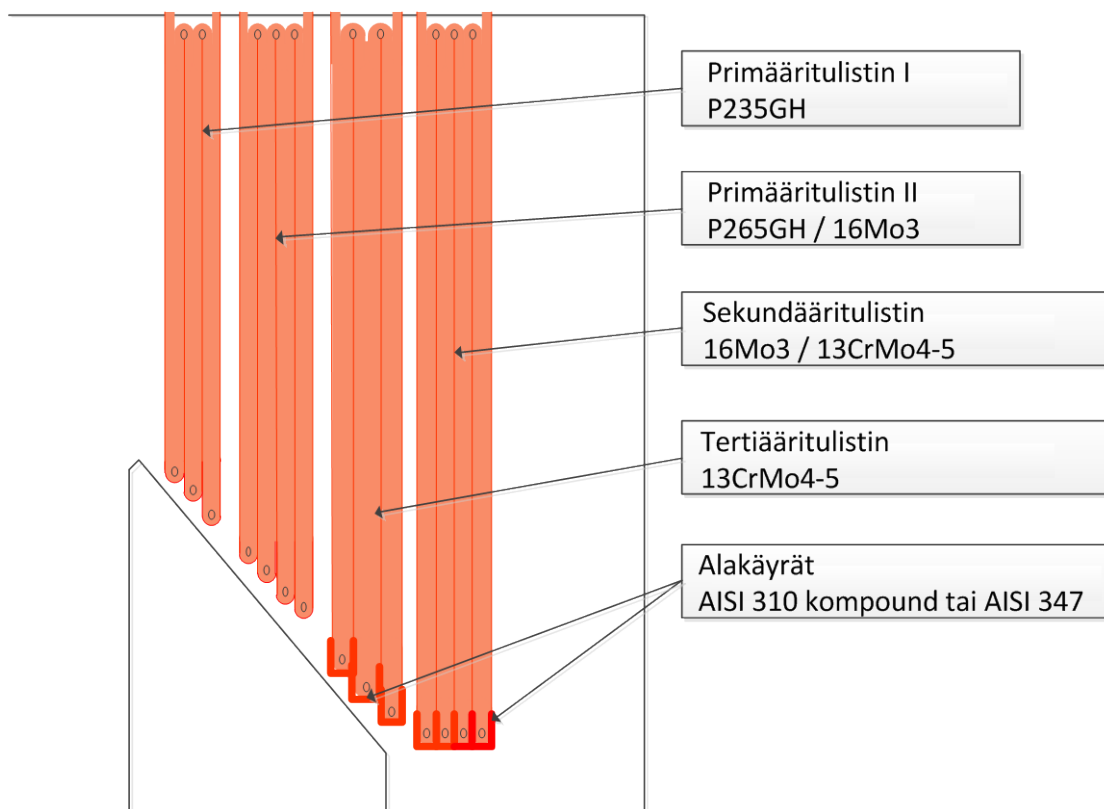
Verhoputket vähentävät myös merkittävästi tulistimille tulevaa carryoverin määrää pienentäen samalla tulistimien korroosioriskiä.

Tulistimissa käytetään yleensä useita eri terässeoksia jolloin tulistimien korroosiokestävyys ja hinta voidaan optimoida. Materiaaleina käytetään kuumalujia seostamattomia/niukkaseosteisia teräksiä tai ruostumattomia teräksiä monoputkena, compoundputkena tai pinnoitehitsattuna. Eniten korroosiolle alttiita alueita ovat tulistimien kuumimmat osat sekä tulistimien putkikäyrien alaosat, jotka ovat tulipesän suoran säteilylämmön kohteena. Kuvassa 1-3 on esimerkki sulakorroosiolle altistuneesta tulistimen alakäyrästä.



Kuva 1-3. Syöpynyt tulistimen alakäyrä

Perinteisesti soodakattiloiden primääritulistimissa on käytetty hiiliterästä (esim. P235GH, P265GH). Sekundääri- ja tertiääritulistimet on valmistettu Cr-Mo teräksistä (esim. 16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10). Tulistinputkien alakäyrissä on käytetty materiaalina austeniittista ruostumatonta terästä esim. AISI 347 tai compoundia esim. AISI 310. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-3.



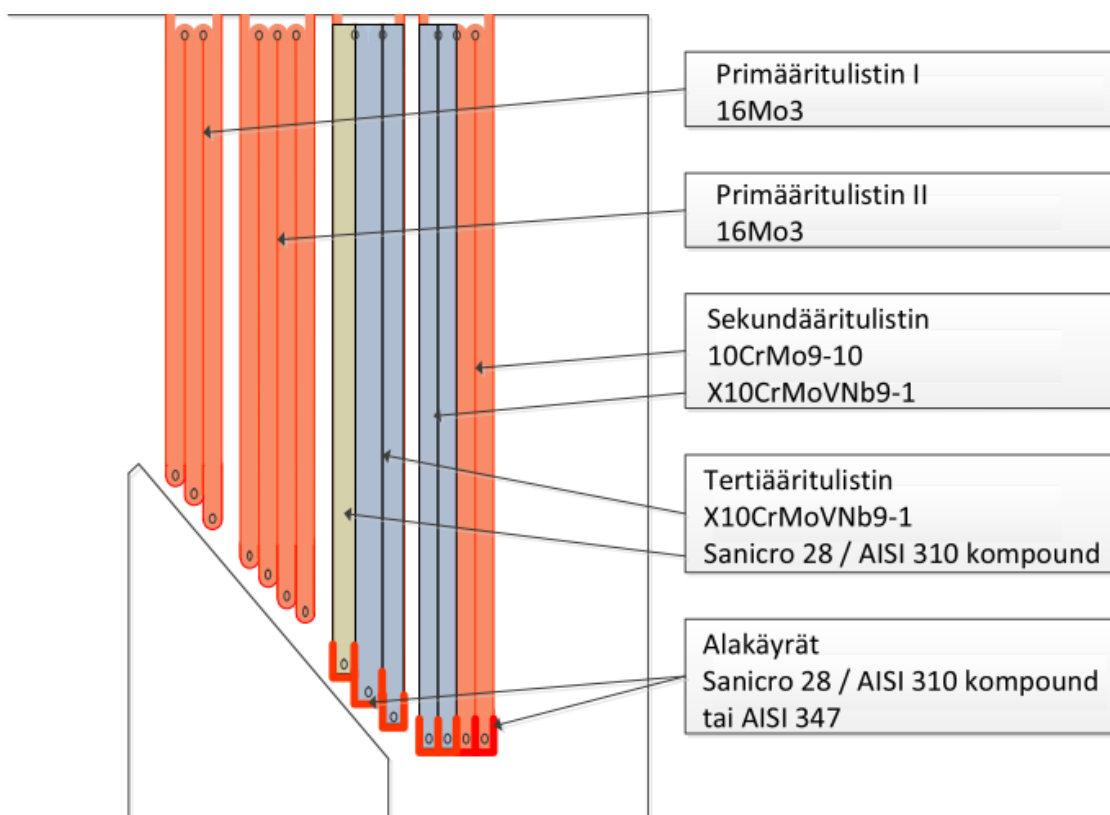
Kuva 1-4. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista

Paremmen lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran vuoksi hiiliteräsputket voidaan korvata primääritulistimissa esim. 16Mo3-materiaalilla. Sekundääritulistimen kuumimmissa osissa niukkaseosteisten teräksien sijaan käytetään runsasseosteisia teräksiä esim. X10CrMoVNb9-1 ja tertiääritulistimissa compound-materiaalia, jossa on pinnoitteena esim. AISI 310 tai Sanicro 28. Alakäyrissä käytetään esimerkiksi austeniittista AISI 347 umpiputkea tai AISI 310 sekä Sanicro 28 compoundia.

Kompound-materiaalien käyttöä puoltaa se, että sisämateriaalina voidaan käyttää kuumalujia teräksiä (esim. 10CrMo910), joiden höyrypuolen käyttäytyminen on tunnettua. Austeniittiset teräkset ovat alttiita jännityskorroosiolle, esimerkiksi pisara carry-ovet lieriöstä tai epäpuhtaudet ponnistusvedessä voivat aiheuttaa ongelmia höyrypuolella. Savukaasupuolella pesun aikana voi muodostua jännityskorroosiota aiheuttava elektrolyytti. Compoundissa ulkopuolinen särö pysähtyy yleensä rajapintaan. Austeniittiste materiaalien korroosiota soodakattilan tulistimissa on kuitenkin havaittu erittäin vähän.

Kompound-materiaalin sisämateriaali valitaan maksimikäyttölämpötilan ja virumiskestävyyden perusteella. Pinnoite valitaan korroosionkeston perusteella. Pinnoitteen valinnassa ei viruminen näyttele merkittävää osaa.

Esimerkki paremman lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-4.



Kuva 1-5. Esimerkki paremman lujuuden / suuremman korroosiovaran tulistinmateriaaleista

Putkien lisäksi tulee kiinnittää huomiota tulistinsiteiden konstruktion ja materiaaliin. Siteiden kesto ja materiaalin valinta riippuu suuresti putkien välisestä etäisyydestä ja sidekonstruktiosta eli putken kyvystä jäähdyttää sidettä sekä kerrostuvan suolan koostumuksesta. Jos eri tulistimissa putkien välinen etäisyys on sama, voidaan käyttää samaa tulistinsidettä. Mitä alhaisemmassa lämpötilassa sulavia kerrostumia syntyy, sitä vaikeammat ovat korroosio-olosuhteet ja sitä paremmin on huolehdittava siteiden jäähdytyksestä ja sitä suurempi huomio on kiinnitettävä materiaalin valintaan.

1.3.6 Ekonomaiseri

Ekonomaiseriissä lämmitetään höyrystimeen menevää vettä alle kylläisen lämpötilan (noin 250–300 °C), jolloin ekonomaiserin putkimateriaalin pintalämpötila pysyy melko alhaisena. Ekonomaiseri sijoitetaan kattilassa tulistimien jälkeen takavetoon, jossa savukaasujen lämpötila on noin 400–450 °C. Verrattain alhaisista lämpötiloista



ja veden hyvästä jäähdytysvaikutuksesta johtuen ekonomaiserin materiaalina käytetään yleensä tavallista hiiliterästä.

1.3.7 Lieriö

Lieriön kohdalla menetellään kuten edellä eli lujuuslaskujen ja paineastiamääräysten perusteella valitaan sopiva materiaali. Lieriömateriaalille vaaditaan standardin vaatimien koestusten lisäksi kerrostumatarkastus. Lieriömateriaalia valittaessa on syytä punnita eri vaihtoehtojen lujuuksia ja säröilyalttiutta (ks. raportti VTT-MET C-206).

1.4 Hitsaus

Valmistajalla tulee olla laatujärjestelmä (esim. ISO 9001:n mukainen), jossa kuvataan menettelyt hitsausmenetelmien ja hitsaajien pätevämiseksi, hitsauslisäaineiden tilaaminen ja käsittely, lisäaineiden jakelu tuotantoon ja palautus varastoon sekä hitsin tarkastuksesta ja dokumentoinnista. Painetta kantavien ja niihin liitettävien osien hitsaukseen tulee olla käytettävissä pätevoidyt hitsausohjeet ja hitsaajat. Konepajalla sekä paikan päällä tehdyn hitsauksen dokumentointi on tärkeää jäljitettävyyden takia. Lisäaineiden käsittelyn tulee tapahtua em. järjestelmän mukaan. Lisäaineiden tulee olla viranomaisen hyväksymiä.

Lämpökäsittelyuunien tulee olla kalibroituja samoin kuin mahdolliseen esilämmitykseen käytettävien laitteiden. Tämä koskee myös hitsauskoneita.

Itse hitsaustyö tulee suorittaa tarkoin kyseisen hitsausohjeen mukaan. On erittäin tärkeää, että seuraavat asiat tehdään oikein:

- teräslaadun valinta käyttöolosuhteisiin (löytyy hitsauspiirustuksesta)
- lisäaineen valinta perusaineelle ja käyttöolosuhteisiin (löytyy hitsauspiirustuksesta)
- lisäaineiden varastointi ja käsittely
- hitsattavan alueen puhtaus (erityisesti runsaasti seostetuilla)
- railosovitus
- esilämmitys
- hitsaus-parametrit
- hitsausohjearvot
- juurensuojaus
- hitsauksen jälkeiset käsittelyt

Esimerkkinä vaativasta hitsauksesta voidaan käyttää runsasseosteisen "X10"-teräksen (X10CrMoVNb9-1) hitsausta välijäähdetyksineen koska teräs on erittäin karkeneva ja hitsatussa tilassa hauras. Hitsaus edellyttää esikuumennuksen, välipalkolämpötilan eli



palkojen välisen lämpötilan, välijäähtäytysten ja jälkihehkutuksen huolellista kontrollointia. Esikuumennus on yleensä vähintään noin 200 °C ja palkojen välinen enimmäislämpötila noin 300 °C. Hehkutusta ei saa tehdä kuitenkaan heti hitsauksen jälkeen, vaan hitsi on annettava jäähtyä lämpötilaan alle 100-150 °C eli reilusti alle Mf-lämpötilan, jotta metallurgiset mikrorakennemuutokset (jäännösausteniitin muodostuminen martensiitiksi) ehtivät tapahtua loppuun. Jos hehkutus tehdään suoraan hitsauksen jälkeen, muuttuu jäännösausteniitti martensiitiksi eli karkeneminen tapahtuu vasta hehkutuksen jälkeisen jäähtymisen aikana. Tällöin liitokseen jää päästämätöntä martensiittia, joka on melko haurasta ja halkeilualtista. Lisäaineen valinnassa on otettava huomioon rakenteen käyttöolosuhteet (korroosio-olosuhteet ja lämpötila) ja eheys (kuumahalkeiluerkkyys) sekä muut ominaisuudet, joita hitsiltä vaaditaan. Yleisohjeena on, että käytetään perusainetta koostumukseltaan vastaavaa lisäainetta. Käytännössä tällaisen lisäaineen seosainepitoisuudet ovat palohäviöiden ja suotautumisten kompensoimiseksi hiukan korkeampia kuin perusaineessa.

Hitsauksen ongelmakohtia voivat olla muun muassa:

- Materiaalien (esim. maalatut putket, hitsauslisäaineet) sekaantuminen keskenään
- Asennusolosuhteet:
 - lika ja ruoste hitsattavilla pinnoilla
 - kosteus hitsattavilla pinnoilla
 - kosteat hitsauspuikot
- Kokemattomat tekijät:
 - hitsauslisäaineen valinta
 - eripariliitosten hitsaus (erityisesti liitoksen lämpökäsittely ja lämpötilan seuranta)

Mikäli käytetään runsaasti seostettuja ferriittisiä teräksiä, ovat ne hitsauksen jälkeen (ennen lämpökäsittelyä) huoneenlämmössä hyvin hauraita, mikä on otettava huomioon niiden käsittelyssä.

Erityisesti ohutseinämäisten putkien evähitsauksessa on varottava läpipalamista, joka tehokkailla menetelmillä, kuten jauhekaarhitsauksella tapahtuu helposti häiriötilanteessa. Käsien hitsattavilla eväosuuksilla tulee taata riittävä tunkeuma, mikä yleensä edellyttää viistettyä evää.

Hitsausstandardisarja EN 1011 (Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset) antaa yleiset ohjeet tuotannolle sekä hitsausten valvonnalle. Se käsittelee eri osissaan myös mahdollisia haitallisia ilmiöitä, joita eri materiaalien hitsauksessa voi esiintyä, ja antaa ohjeita niiden välttämiseksi:



- [SFS-EN 1011-1: Yleisohjeet kaarihitsaukselle](#)
- [SFS-EN 1011-2: Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus](#)
- [SFS-EN 1011-3: Osa 3: Ruostumattomien terästen kaarihitsaus](#)
- [SFS-EN 1011-4: Osa 4: Alumiinin ja alumiiniseosten kaarihitsaus](#)

Kuumalujien terästen hitsausta ja siihen liittyviä asioita käsitellään standardissa: [SFS-EN 12952-5 Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot Osa 5 Paineellisten osien valmistus](#). Putkistostandardi SFS-EN 13480:

- [SFS-EN 13480-1 Osa 1: General](#)
- [SFS-EN 13480-2 Osa 2: Materiaalit](#)
- [SFS-EN 13480-3 Osa 3: Design ja calculation](#)
- [SFS-EN 13480-4 Osa 4: Valmistus ja asennus](#)
- [SFS-EN 13480-5 Osa 5: Tarkastus ja testaus](#)
- [SFS-EN 13480-6 Osa 6: Additional requirements for buried piping](#)
- [SFS-EN 13480-7 Part 7: Guidance on the use of conformity assessment procedures](#)
- [SFS-EN 13480-8 Osa 8: Additional requirements for aluminium and aluminium alloy piping](#)

1.4.1 Erikoishitsaukset

Eripariliitos, jota kutsutaan joskus myös sekaliitokseksi, on “hitsausliitos, jossa liitettävien perusaineiden mekaanisissa ominaisuuksissa ja/tai kemiallisissa koostumuksissa on merkittäviä eroja”

1.4.1.1 Ferriittisten terästen (“Musta/musta”) –liitos

”Musta/musta” -eripariliitoksen ollessa kyseessä hitsataan erilaisia ferriittisiä (ml. myös martensiittiset) teräksiä toisiinsa. Yleissuositukset ovat seuraavat:

- lisäaine valitaan vähemmän seostetun teräksen mukaan
- esikuumennus ja välipalkolämpötila valitaan seostetumman (so. karkenevamman) teräksen mukaan

1.4.1.2 Austeniittisen ja ferriittisen teräksen (“Musta/ruostumaton”) liitos

Tällaisen ns. eripariliitoksen hitsauksessa on erityisesti huomioitava, että erilaisten terästen sekoittuessa toisiinsa syntyy helposti hauras rakenne. Tästä syystä on oltava erittäin huolellinen oikean lisäaineen ja hitsausmenettelyn valinnassa sekä itse hitsaustyössä. Seuraavia haitallisia ilmiöitä voi syntyä jos työ epäonnistuu:

- vetyhalkeilu
- kuumahalkeilu
- haurastuminen
- hiilen diffuusio
- terminen väsyminen



Koska eripariliitoksissa käytetyt lisäaineet ovat yleensä huonommin hitsattavia, on syytä tehdä tällaisista liitoksista mahdollisimman suuri osa konepajalla.

Kompound-putkien hitsauksessakin joudutaan tavallaan tekemään em. kaltainen eripariliitos, ja on luonnollista, että siihen on oltava omat erityisohjeet ja compound-materiaalilla pätevoitetyt hitsaajat.

Erityisesti on huomioitava, että pinnoitemateriaalia on kuorittava liitoksen läheltä niin, että se ei "mustaa" osuutta hitsattaessa pääse sekoittumaan hitsisulaan. Pintapalot hitsataan ns. yliseostetulla lisäaineella käyttämällä sellaisia hitsausmenetelmiä ja -parametrejä, että "mustan" hitsi- ja perusaineen sulaminen ja sekoittuminen pintakerrokseen on mahdollisimman vähäistä eikä luotettava liittyminen tämän vuoksi vaarannu. Yliseostetussa lisäaineessa on enemmän kromia ja nikkeliä, jotta sillä on varaa "laimentua" sekoittuessaan seostamattomaan teräkseen ja sekoittunut osuus pysyy austeniittisena. Hitsausta on käsitelty mm. Sandvikin raportissa "Welding of Sandvik Composite Tubes".

Evähitsauksessa on compoundia hitsattaessa varottava tunkeumaa putken hiiliteräsosaan, koska hiiliteräksen seostuminen evähitsiin vaikuttaa haitallisesti laatuun ja lujuuslaskut perustuvat ainoastaan hiiliteräsosan paksuuteen.



1.4.2 **Kompoundputkien korjaushitsaus**

Vaikka korjaushitsausta käytetään melko yleisesti soodakattiloissa, toimintatavoissa voi olla suuriakin eroja, riippuen tehtaasta, tarkastajasta tai korjauksen suorittajasta. Yhdistyksen jäsenistö on kaivannut yleistä ohjetta compoundputkien korjaushitsauksesta.

1.4.2.1 **Soveltamisala**

Tämä ohje koskee yleisesti kaikkia compound-putkia, mutta kunkin compoundin kohdalla on huomioitava erilaiset hitsausvaatimukset esimerkiksi runsaasti nikkeliä sisältävillä lisäaineilla on suurempi riski kuumahalkeiluun.

Ohjetta voidaan soveltaa Painelaitedirektiivin (PED) sekä kattilastandardin EN 12952 mukaisessa valmistuksessa/työssä.

Korjaushitsauksesta puhuttaessa tulee erottaa kaksi eri tyyppiä:

1. Pinnoitehitsaus = compound-putken ulomman kerroksen lisäämistä hitsaamalla
2. Päällehitsaus = compound-putken sisemmän osan (perusmateriaali) täytehitsaamista laskennallisen minimin saavuttamiseksi

Kohdan 2 perusaineen päällehitsausta minimin saavuttamiseksi ei suositella.

1.4.2.2 **Hitsauksen edellytykset**

Korjaushitsaus on aina tarkan harkinnan/selvityksen tulos. Tapauskohtaisesti tulee harkita kummalla menetelmällä, korjaushitsaamalla vai putken vaihdolla, saavutetaan paras lopputulos niin turvallisesti, teknisesti kuin taloudellisestikin.

Ennen kuin putken korjauksesta hitsaamalla päätetään, tulee vauriomekanismista olla käsitys, esimerkiksi voivatko hitsauksesta syntyvät lisäjännitykset pahentaa vauriota (esim. säröilyä) korjattavan kohdan lähiympäristössä.

Seuraavia asioita tulisi ainakin huomioida korjaushitsausta harkittaessa:

1. Minkälaisia vaurioita ei saa korjaushitsata
2. Kuinka monta kertaa samaa vauriota voi korjaushitsata
3. Kuinka suuren pinta-alan voi korjaushitsata
4. Etäisyys kahden korjaushitsin välillä

1. Minkälaisia vaurioita ei saa korjaushitsata

Jos tarkastuksessa havaitaan että putkessa on muodonmuutoksia esimerkiksi lommoja, kolhuja tai soikeutta, putki tulee vaihtaa uuteen. Lisäksi jos putkessa on vesipesun



jälkeen ruostumattoman pinnan värimuutoksia (ylikuumentumisesta johtuva tumma pinta), putki tulee vaihtaa uuteen. Ylikuumeneminen voi johtua esimerkiksi vesi/höyrypuolen kerrostumasta tai huonosta vesikierrosta.

Putken pinnoitepaksuus (kuinka paljon kirkasta jäljellä) tulee selvittää.

Jos särö ulottuu perusaineeseen, putken laskennallinen minimi tulee selvittää ja varmistaa että pinnoitehitsauksen tunkeuma ei mene sen alle. Jos perusaineen paksuus on alle minimin, putki on vaihdettava. Perusaineen paksuuden lisäämistä päällehitsaamalla minimin saavuttamiseksi ei suositella.

2. Kuinka monta kertaa samaa vauriota voi korjaushitsata

Samaa vauriota suositellaan korjattavaksi hitsaamalla maksimissaan kolme kertaa. Rajoitus koskee myös korjaushitsauksessa syntyneitä säröjä.

3. Kuinka suuren pinta-alan voi korjaushitsata

Pinta-ala tulee harkita tapauskohtaisesti riippuen mm. korjattavan kohteen sijainnista.

4. Etäisyys kahden korjaushitsin välillä

Etäisyys pituussuunnassa kahden erillisen korjaushitsin välillä tulee ylittää isomman korjaushitsin koko.

1.4.2.3 Toimenpiteitä ennen hitsauksen aloittamista

Hitsaajan pätevyyden varmistaminen

Ennen hitsauksen aloitusta jokainen hitsari tekee hyväksytyn työkokeen. Työkoe tehdään vastaavalla compoundputkella, samanlaisella geometrialla, samassa hitsausasennossa (pysty- tai vaakaputki) ja todellisuutta vastaavissa olosuhteissa (mm. jännitysolosuhteet, lämpövaikutukset, rajattu luoksepäästävyys, reunojen olosuhteet). Koehitsin tulee täyttää sille asetetut laatu-, koko- ja tunkeumavaatimukset.

Ennen koehitsauksen aloittamista tulee perusaineen ja pinnoitteen paksuus (hiottu korjattavan kohdan tasoon) dokumentoida.

Hitsauksen jälkeen hie leikataan poikittain hitsauspalkoihin nähden ja tutkitaan visuaalisesti ja kuparisulfaatilla kiinnittäen huomiota tunkeuman syvyyteen, kerrospaksuuteen, palon muotoon ja geometriaan. Tunkeumasyvyyys tulee olla aina mahdollisimman pieni, tunkeuma ei saa mennä putken laskennallisen minimin alle.

Hyväksytty työnäyte dokumentoidaan ja jos mahdollista säästetään seuraavaan seisakkiin.

Hitsaajat pätevoidetään standardin EN 287-1 / EN ISO 9606-1 (käsinhitsaus) mukaan

Hitsausohjeet (WPS) pätevoidetään standardin EN ISO 15614-7 mukaan.

Pinnan puhdistus

Hitsattavan materiaalin pinnan tulee olla puhdas liasta, rasvasta, ruosteesta, valssihilseestä tai muusta vastaavasta epäpuhtaudesta.

Puhdistus tehdään hiomalla esim. karhunkielellä, teräsharjaamalla tai hiekkapuhalluksella. Liuottimella voi poistaa rasvat, tussit tms. jos tarpeen.

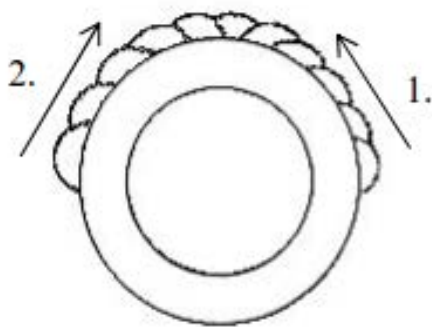
1.4.2.4 Hitsauksen suorittaminen

Hitsaus tulee suorittaa menetelmäkokeella (EN ISO 15614-7) pätevoidetyn hitsausohjeen (WPS) mukaisilla hitsausparametreilla.

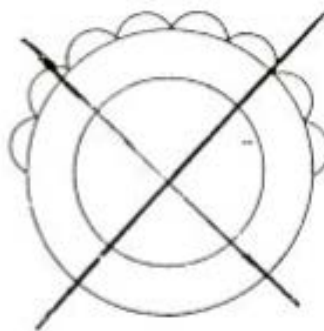
Soveltuvat hitsausmenetelmät ovat puikkohitsaus (111) ja TIG hitsaus (141).

Puikolla hitsattaessa on valokaari pidettävä lyhyenä ilmasta tulevan austeniitin osuutta kasvattavan typen määrän pienentämiseksi.

Hitsaus suoritetaan oheisen kuvan mukaan pituusakselin suuntaisesti alkaen esimerkiksi putken oikealta kyljeltä ja edeten kunnes saavutaan putken laelle (klo 12). Tämän jälkeen aloitetaan uudestaan vasemmalta kyljeltä ja taas edetään putken lakea kohti (klo 12) kunnes viimeinen palko limitetään viimeisen oikealta hitsatun päälle. Viereiset palot sulatetaan osittain limittäin, jolloin hitsin liallinen, perusaineen sekoittumisesta johtuva laimeneminen saumakohdassa voidaan estää. Erityisesti tämä on huomioitava ensimmäisen palon hitsauksessa.



Oikea palkojen sijoittelu



Väärä palkojen sijoittelu



Mikrorakenne

Jos hitsattava putken materiaali on 304L, tulipesän valmiin korjaushitsauskerroksen tulee olla mikrorakenteeltaan austeniittis-ferriittinen, jolloin sopiva ferriitin määrä tulisi olla 5...15%. Tämä saavutetaan hitsauspuikon koostumuksella ja oikeilla hitsausparametreilla. Kyseinen ferriittimäärä on edullinen hitsausteknisistä syistä, koska ferriitti pienentää hitsin kuumahalkeamistaipumusta.

Edellinen ei päde Sanicro 38:lle joka on kokonaan austeniittinen.

Kemiallinen koostumus

Jos hitsattava putken materiaali on 304L, valmiin korjaushitsauskerroksen nimellisanalyysin tulisi olla esimerkiksi:

Cr	16...19 %
Ni	8...11 %

Kromi- ja nikkelpitoisuudet voivat olla korkeammatkin edellyttäen, että mikrorakenteen koostumus säilyy kohdan 1.4.1 mukaisena.

Kerrospaksuus

Hitsauskerroksen paksuuden tulee olla riittävän ohut, jotta lämpösiirtyminen olisi hyvä ja seinämän kokonaisvahvuus ei kasvaisi liian suureksi. Vaadittava kerrospaksuus on yleisesti 2-2.5 mm.

Lisäaineet

Kohdassa 1.4.2 304L materiaalille vaaditun analyysin saavuttaminen korjaushitsauskerrokselle edellyttää yliseostetun lisäaineen käyttöä, jolla kompensoidaan perusaineen sekoittuminen. Lisäainetyyppejä ovat niukkahiiliset E23 12 L R 32 (E309L-17) vastaavat lisäaineet.

Koska kerrospaksuuden tulee olla mahdollisimman ohut, tulee käytännössä kysymykseen vain yksipalkohitsaus. Paksulla kerroksella huonontuneen lämmönsiirtymisen vuoksi voivat lämpötilaerot muodostua liian suuriksi suurten kerrospaksuuden yhteydessä, jolloin terminen väsyminen saattaa aiheuttaa putkivaurioita toistuvien ylös- ja alasajojen seurauksena.

Esikuumennus ja välipalkolämpötila (työlämpötila)



Esikuumennuksen käyttö korjaushitsauksessa ei normaalisti ole tarpeen. Palkojen välistä lämpötilaa (työlämpötilaa) tulee rajoittaa soveltuvien osien, suositeltava enimmäis- välipalkolämpötila on +150 °C.

1.4.2.5 Toimenpiteet hitsauksen jälkeen

Hitsauksen tarkastus

Korjaushitsatun alueen muoto tulisi olla jouheva (ei epäjatkuvuuskohtia).

Tunkeumanestetarkastus (fluoresoivalla menetelmällä) tulee tehdä koko korjaushitsatun ja hiotun alueen lisäksi lähialueelle. (Lähialueen pinta-ala vastaa vähintään korjaushitsattua aluetta). Lisäksi korjaushitsatulle ja hiotulle alueelle tehdään paksuusmittaus ultraäänellä.

Hitsausvirheiden korjaus

Hitsauksessa syntyneet virheet avataan hiomalla riittävän laajalta alueelta ja virheen poistuminen tarkastetaan visuaalisesti ja tarvittaessa tunkeumanestetarkastuksella.

Virheiden korjaushitsaus suoritetaan soveltuvan hitsausohjeen (WPS) mukaisesti ja tarkastetaan silmämääräisesti (tarvittaessa tunkeumanesteellä).

Dokumentointi

Dokumentointi on tärkeä osa korjausprosessia. Koko prosessi tulee dokumentoida yhdeksi dokumentiksi, joka sisältää:

- Korjaus- ja tarkastussuunnitelmat
- Korjaustyön
- Tarkastusraportoinnin

Vaurion paikka tulee dokumentoida jotta se löytyy seuraavissa tarkastuksissa esimerkiksi valokuvalla, skitsillä tai muulla vastaavalla tavalla. Lisäksi paksuusmittauksen tulos ruostumaton vs. perusaine ohuimmasta putken kohdasta otettuna tulee dokumentoida samaan paikkaan.

1.4.2.6 Loppusanat

Eräs kattilakäyttäjä kiteytti onnistuneen korjauksen koostuvan kolmesta kohdasta:

1. Osaaminen = Työn suorittajalla on korjaushitsauskokemusta kattilaolosuhteissa
2. Ohjeistus = Työn suorittajalla on ymmärrys siitä mitä tehdään eli oikeat ja voimassa olevat ohjeet (WPS) kyseiseen korjaukseen
3. Valvonta = Työn valvoja varmistaa että työ suoritetaan oikein. Tilaajaa



edustavan, osaavan ja kannanottokykyisen henkilön läsnäoloa
suositellaan

1.5 Lähteet:

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilalaitoksen suojaussuositus 1997
60V00326-V070-001

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Selvitys: SOTU - materiaalivaihtoehtojen valinta osaprojekti
Pekka Pohjanne, VTT, Hannu Hänninen, TKK, ja Timo Kiesi, TKK.
Raportti 2/2005 (16A0913-E066)

Soodakattilapäivä 2000
Soodakattiloiden tulistinkorroosio
Keijo Salmenoja, Kvaerner Pulping Oy

Soodakattilapäivä 2011
Tämän päivän materiaalivalinnat soodakattiloissa
Johanna Tuiremo, Metso Power Oy

Kunnossapito – lehti 5/99 erikoisliite
Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus

Kunnossapito – lehti 10/98 erikoisliite
Kuumalujat teräkset ja niiden hitsaus



2 SOODAKATTILAPINNOITUKSET

Alkuperäinen teksti: Kari Korpiola, VTT Valmistustekniikka

Päivitetty teksti: Tommi Varis, VTT

2.1 Johdanto

Soodakattiloiden pinnoitukset keskittyvät useimmiten kohteisiin, joissa esiintyy paikallisesti korroosio-ongelmia. Pinnoitteiden käyttö vaihtelee laitoksittain. Kompound-putken käyttö on saattanut jonkin verran vähentää pinnoitteiden tarvetta ja pinnoitteiden tarve on tyypillisesti painottunut korjauspinnoituksiin. Pinnoitettavia kohteita soodakattiloissa ovat yleensä:

1. ”mustan” ja kompond-putken raja, jossa pinnoitteella estetään galvaanista korroosiota
2. tulistinputkien mutkat, joissa pyritään estämään hapettumisen ja korroosion kautta tapahtuvaa ohenemista ja
3. paikalliset kompond-putkien säröytymien korjaus.

Pinnoitusmenetelmien ja laitteistojen kehittyessä pinnoitteilla olisi nykyisin edellytykset tarjota kompond-putkelle vaihtoehtoinen kustannustehokas ratkaisu, jolla suojata kriittisiä alueita soodakattiloissa. Pinnoitteet ovat parhaimmillaan tiiviitä korroosiolta suojaavia kerroksia. Lisäksi terminen ruiskutus on monipuolinen ja joustava menetelmä valmistuksen ja materiaalikoostumuksen suhteen. Sillä voidaan valmistaa myös gradientti- tai kerrosrakenteita ja suhteellisen kustannustehokkaasti runsasseosteisia pinnoitteita, joita ei kompond-putkiksi ole taloudellisesti tai teknisesti järkevää valmistaa. Pinnoitteet tarjoavat mahdollisuuden käyttää erilaisia strategioita materiaaliongelmiin ratkaisemiseksi. Jalompia ja kalliimpia materiaalivaihtoehtoja voidaan suunnitella vain korroosiosuojausta silmälläpitäen putkimateriaalin pinnalle.

Termiseen ruiskutukseen liittyy monia prosesseja, joilla kaikilla on omat erityispiirteensä ja lisäksi materiaalivalikoima on runsasta ja kokemukset pinnoitteista saattavat olla hyvin vaihtelevia. Termisesti ruiskutetuilla pinnoitteilla on oma erityinen lamellimainen rakenteensa, eikä niiden vaurioituminen tapahdu yleensä samoin kuin putkimateriaalien tuhoutuminen; hapettumalla pinnasta ja oksidikerroksen irtoamisen kautta. Näin ollen pinnoitteiden elinikää saattaa olla hyvin vaikea ennustaa. Tämän johdosta pinnoitusten käyttö, pinnoitusprosessin ja pinnoitemateriaalin valinta ei ole yksiselitteistä ja vaatii runsaasti tietotaitoa ja



vuoropuhelua kattilan käyttäjän, valmistajan ja pinnoitteen toimittajan välillä erityisesti soodakattiloissa.

2.2 Ruiskutusmenetelmät

Termisesti ruiskutetut metalliset pinnoitteet tehdään ruiskuttamalla sulaan tilaan kuumennettu pinnoitemateriaali kaasuvirtauksen avulla pinnoitettavaan pintaan. Sula materiaali jähmettyy pinnoitettavan materiaalin pinnalla ja muodostaa suojaavan kalvon, joka on paksuudeltaan 0,1–1,5 mm. Terminen ruiskutus pitää sisällään monia ruiskutusprosesseja kuten kaariruiskutus, liekki-ruiskutus, plasma ruiskutus, suurnopeusliekkiruiskutus (High Velocity Oxy-Fuel, HVOF ja High Velocity Air-Fuel, HVOF) ja kylmäruiskutus. [1]

Valokaariruiskutuksessa tai lyhyesti *kaariruiskutuksessa* (Wire arc) pinnoittaminen tehdään kuumentamalla lankamainen metalli sähkövalokaaren avulla sulaan tilaan ja puhaltamalla se paineilmalla kohteen päälle.

Suurnopeusliekkiruiskutuksessa jauhemainen lisäaine (metallinen tai keraaminen pinnoitemateriaali) kuumennetaan hapen ja poltтокаaasun avulla sulaan tilaan rakettimoottorin periaatteella toimivassa polttimessa. Menetelmää kutsutaan lyhyesti *HVOF-ruiskutukseksi* (High Velocity Oxy Fuel). Menetelmän etuna on pidetty sillä aikaansaattavia hienorakeisia erityisen tiiviitä pinnoitteita. *HVOF-ruiskutus* (High Velocity Air Fuel) on muunnos HVOF-ruiskutuksesta ja siinä käytetään hapen sijaan ilmaa, jolloin muodostuva liekki on kylmempi.

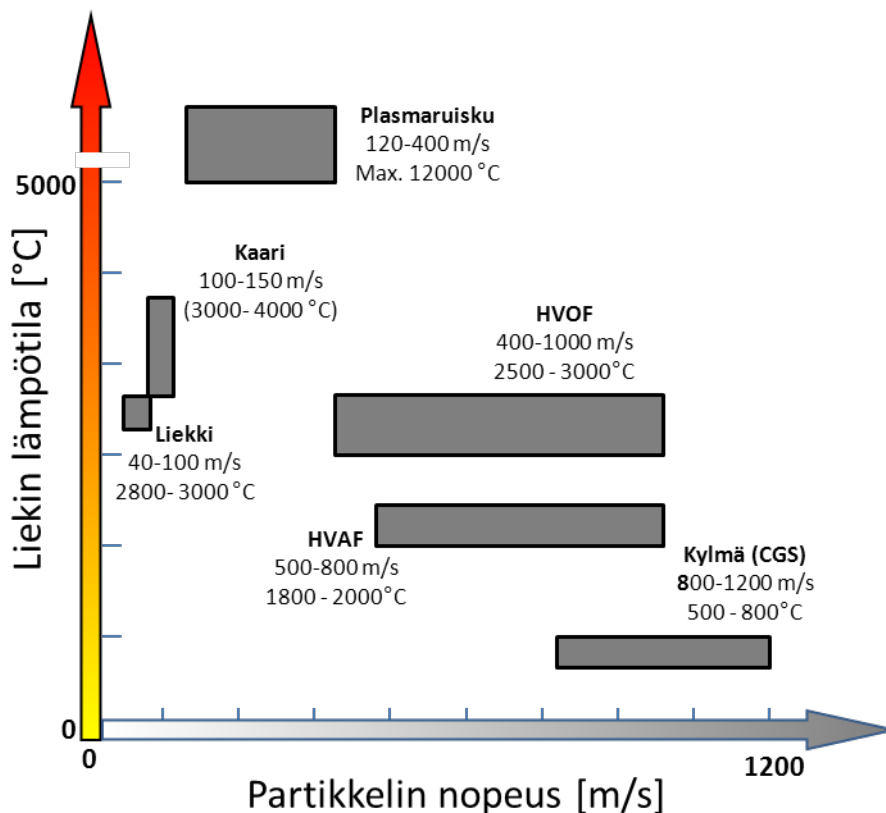
Plasmaruiskutuksessa sähkövalokaari kuumentaa kaasun noin 10 000 °C:ksi. Kuuma polttimesta suihkuava kaasu kuumentaa ja sinkoaa tällöin jauhemaisen pinnoitteen pinnoituskohteeseen, jonka päällä sulapisarot jähmettyvät.

Kylmäruiskutus on menetelmä, jossa jauhepartikkelit lämmitetään ja kiihdytetään suuttimessa. Kylmäruiskutuksessa ei ole liekkiä, vaan kaasu (ilma, typpi tai helium) kuumennetaan esilämmittimessä noin 500–800 °C lämpötilaan.

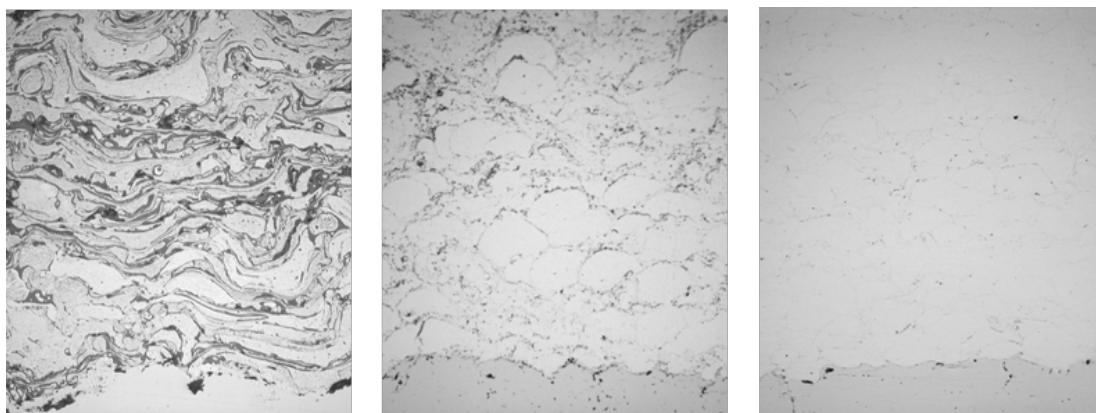
Edellä kuvattuja menetelmiä käytetään kattiloissa niiden ruiskutusnopeuden, laadun ja taloudellisuuden vuoksi. Markkinoilla on myös muita ruiskutusmenetelmiä, jotka eivät sovellu kattilaolosuhteisiin taloudellisista tai teknisistä syistä, kuten liekki-ruiskutus.

Ruiskutuslisäaineiden valikoima on suuri. Pinnoitteiden ominaisuudet ovat aina kombinaatio materiaalista ja valmistusprosessista. Samaa materiaalia voidaan

valmistaa useilla eri menetelmillä, mutta sen ominaisuudet ovat riippuvaisia käytetystä prosessista. Ruiskutuspartikkelien lämpötila ja nopeus määrittävät suurelta osin pinnoitteen ominaisuudet. Kuvassa 3-1 on esitetty eri ruiskutusmenetelmien liekinlämpötila ja partikkelinopeus. Voidaan ajatella, että mitä nopeammaksi pinnoitettavat partikkelit kiihtyvät sitä tiiviimpi pinnoitteesta muodostuu. Ruiskutusprosessissa tulee olla riittävästi lämpöä materiaalin sulattamiseksi, mutta liiallinen lämpö lisää esimerkiksi metallisen materiaalin hapettumista ruiskutuksen aikana. Kuvassa 3-2 on esitetty eri ruiskutusmenetelmillä valmistettu NiCr-pinnoite, ja huomionarvoista on, että eri ruiskutusmenetelmillä saadaan aikaan varsin erilainen pinnoiterakenne. Viimeisimmät HVOF ruiskut kuten CJS (carbide jet spray) samoin kuin HVOF ruiskut tuottavat erittäin tiiviin ja lähes hapettoman pinnoiterakenteen. Hieman tätä vanhemmilla HVOF menetelmillä kuten DJ-Hybridillä saavutetaan myös erinomainen pinnoitelaatu, vaikka happipitoisuus on hieman korkeampi. Myös kaariruiskuttamalla aikaansaadaan suhteellisen korkeasta huokoisuudesta riippumatta melko hyvä suojaavuus, koska ruiskutusmateriaalin sulamisaste on korkea, jolloin muodostuu voimakkaasti lamellimainen rakenne, jossa lamellien välinen kiinnittyminen on hyvä. Yleisesti ottaen HVOF ja HVOF menetelmillä saavutetaan kuitenkin ylivoimainen pinnoitteen tiiveys.



Kuva 2-1. Eri prosessien tuottama ruiskutuspartikkelien nopeus ja liekin lämpötila-alue.



a)

b)

c)

Kuva 2-2. Ni50Cr-pinnotteen mikrorakenne ruiskutettuna kolmella eri prosessilla a) kaariruiskutus-, b) DJ Hybrid HVOF- ja c) CJS HVOF-prosessilla.

2.3 Pinnoitemateriaalit

2.3.1 Rautavaltaiset pinnoitteet

Rautavaltaisia pinnoitteita pidetään yleensä kustannustehokkaina pinnoitevaihtoehtoina. Polttokattiloissa käytetyt materiaalit voivat olla korkealämpötilateräkset kuten FeCr, FeCrMo, FeCrNi and FeCrAl. Lähtökohtana kattilaolosuhteisiin on, että rautavaltaiset pinnoitteeseen seostetaan joko kromia tai alumiinia tai molempia, jotta saadaan suojaava oksidikerros hapettumista ja korroosiosta vastaan. Fe-Cr -seokset ovat hyvin tunnettuja korroosionsuojausta vaativissa kohteissa korkeissa lämpötiloissa. Rikkikorroosiota vastaan suhteellisen korkeat kromipitoisuudet (yli 26 %:a) on havaittu olevan hyödyllisiä. Huomattavaa on, että yli 13 %:a Cr sisältävät seokset ovat tasapainon mukaisesti austeniittisia, mutta termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden kohdalla, jäähtymisnopeuden ollessa suuri, kromipitoisuuden kasvattaminen lisää amorfisuustaipumusta. [2,3,4]

Käytettäessä alumiini-seostusta, riittävän suuri alumiinipitoisuus on tärkeää FeAl-materiaalien korroosionsuojaavuuden kannalta.[5] Jos alumiinioksidikerroksen suojaavuus on puutteellinen, pääsee rikki tunkeutumaan sen läpi ja johtaa erittäin suureen korroosionopeuteen. Jos käytetään alle 5 % alumiinipitoisuutta päädytään helposti yhtenäisen sulfidikerroksen kasvamiseen materiaalin pinnalle. FeAl-seoksien, jotka sisältävät 5–10 paino-% alumiinia, on raportoitu omaavan erittäin hyvän

rikkikorroosion keston rikkipitoisessa ympäristössä ($0.1\%H_2S$ - $3.0\%H_2$ -Ar $600^\circ C$, 50 h). Tarvittavan alumiinipitoisuuden, jolla voidaan merkittävästi pienentää FeAl-seoksen korroosiokestävyyttä 100 % H_2S :ssa on havaittu olevan noin 10 % 600 ja $700^\circ C$:ssa ja hieman matalampi $400^\circ C$:ssa [6]. Kuitenkin on havaittu, että noin 3–5% Al lisäys Fe–17Cr seoksen saa aikaan parantuneen rikkikorroosionkeston. Tästä suurempi alumiinipitoisuuden lisäys, lisää rikkikorroosionkestoja vielä enemmän $800^\circ C$:ssa. Suuremmilla alumiinipitoisuuksilla (yli 11 %) alkaa muodostua rauta-alumiini yhdisteitä (Fe_3Al or $FeAl$), jotka menestyvät hyvin rikkipitoisissa ympäristöissä. Niillä on myös hyvä hapettumisen kesto korkeissa lämpötiloissa, hiilettymisen kesto ja suolasulankesto. Fe_3Al - tai $FeAl$ -metallien väliset yhdisteet ovat kuitenkin suhteellisen hauraita, joten niiden soveltamiseen on suhtauduttava pienellä varauksella. [7].

Yleisesti ottaen Fe-Cr-Al – pinnoitteilla on suhteellisen hyvä hapettumiskestävyys, mutta ilman kovia partikkeleja niiden eroosiokestävyys jää huonoksi. Eroosiokestävyyden parantamiseksi voidaan lisätä karbidin tai boridien muodostajia. Suhteellisen pitkään on kattiloissa sovellettu kaariruiskutettuja rautavaltaisia materiaaleja (esim. Armacor), joissa on Fe-15–25 % Cr matriisissa kovia Cr-, W- ja boridi-faaseja. Näiden pinnoitteiden suuri lujuus perustuu nanokokoisiin borideihin tai karbideihin. Pinnoitteet ovat usein myös osittain amorfisia. Nytemmin on kehitetty myös täysin amorfisia rautavaltaisia pinnoitteita, joissa mm. wolframi- ja booripitoisuutta on lisätty, mikä edesauttaa pinnoitteen muodostumista amorfiseksi. Amorfisen rakenteen etuna on, että siinä diffuusion oletetaan olevan nopeampaa kuin kiteisissä materiaaleissa. Lisäksi pinnoitteen kovuus on jo ruiskutettuna erittäin suuri, noin 1100 HV. Pinnoitteen kovuus lisääntyy edelleen karbidien ja boridien erkautuessa (kiteytyessä) 600 – $650^\circ C$:n lämpötilassa, mutta tämä ei välttämättä ole suotuisaa korroosiokestävyyden kannalta ”matriisiin” köyhtyessä kromista. [8,9,10,11]

2.3.2 Nikkelivaltaiset pinnoitteet

Nikkelivaltaisia materiaaleja kuten NiCr, NiAl, NiCrAl ja NiCrSi käytetään yleensä komponenteissa, joissa tarvitaan hyvää kulumiskestävyyttä yhdistettynä hapettumis- ja korroosionkesto. [2,3,4]. Näidenkin materiaalien suojaavuus perustuu suojaavan oksidikerroksen syntymiseen. Nikkelivaltaiset materiaalit seostettuna noin 20 %:a kromia kestävät hapettumista tyypillisesti $800^\circ C$:een saakka. Lisäksi Ni-Cr –seosten lämpölaajenemiskertoimet ovat hyvin lähellä teräksiä. Tunnettuja seoksia ovat esim.

Inconel 625 ja Ni20%Cr. Kirjallisuudesta voidaan löytää muutamia erilaisia lähestymistapoja, joilla parannetaan nikkelivaltaisten seosten korroosio- ja eroosiokestävyyttä kattilasovelluksiin, joista erityisesti suuren kromipitoisuuden omaavat Ni-seokset ja nikkelivaltaiset sulautuspinnoitteet ovat potentiaalisimpia. [8,12,13,14]

Korkean kromipitoisuuden materiaalit (aina 50 %:iin saakka) on todettu olevan yksi parhaista materiaaleista kloridi- ja rikkikorroosiota vastaan. Kromioksidikerros on suojaava ja uudistuskykyinen, eikä rikkikorroosio pääse etenemään oksidikerroksen läpi. Matalakromisilla seoksilla, kuten Inconel 625, on kromioksidin suojaavuuden kanssa ongelmia erityisesti lämpötiloissa, joissa suolasulia pääsee muodostumaan [15]. NiCr-pohjaisten materiaalien suolasulan kestävyyttä voidaan parantaa seostamalla niihin oksidia stabiloivaan seosainetta, esim. alumiinia tai piitä (NiCrAl, NiCrBSi, NiCr-MoBSi), jolloin oksidikalvon liukeneminen sulaan vaikeutuu. Korkeampikromisilla nikkeliseoksilla on havaittu, että yli 550 °C:n lämpötiloissa ja suurilla kloridipitoisuuksilla pinnoitteeseen syntyvä kromioksidi ei ole suojaava ja lisäksi kromin on todettu olevan suhteellisen herkkä aktiiviselle korroosiolle esim. rautaan ja nikkeliin verrattuna, jolloin kloridi pääsee hyökkäämään pinnoitteiden lamellirajoja pitkin syvemmälle pinnoitteeseen. Vastaavasti voidaan olettaa olevan rikin tapauksessa [8,12]

Pinnoitteiden tiiveyttä voidaan parantaa sulautuskäsittelyllä, jossa tyypillisesti NiCrBSi-seos lämpökäsitellään tiiviiksi. Pii- ja booriseostuksen vaikutuksesta pinnoitteen sulamisalue voidaan laskea merkittävästi alle putkiteräksen, jolloin pinnoite voidaan lämpökäsitellä noin 1100 °C puuroalueella täysin tiiviiksi rakenteeksi. Sulautuspinnoitteiden kovuutta voidaan lisätä esimerkiksi W, Cr ja hiili seostuksella, jolloin seokseen erkautuu sulautuskäsittelyn yhteydessä karbideja. [16]

2.3.3 Kaupalliset pinnoitemateriaalit

Ruiskutusmateriaalien valmistajien kattilamateriaaleiksi tarjoamat vaihtoehdot sekä muut mahdollisesti potentiaaliset materiaalit on koottu taulukkoon 2-1, jossa kattilamateriaalit on luokiteltu karkeasti eroosiosuojamateriaaleihin tai korroosiosuojamateriaaleihin. Taulukkoon on haettu jauhevalmistajien esitteistä sellaisia materiaaleja, joiden sovelluskohteiksi on mainittu joko kattilasovellukset tai hapettumisen kesto.

Taulukko 2-1. Joitain esimerkkejä termisen ruiskutuksen materiaalitoimittajien tarjoamista kattilamateriaaleista.

Materiaali-ryhmä	Koostumus	Valmistaja	Nimike	Pinnoitus-prosessi	Olosuhde
Fe-valtaisia					
Fe-Cr-Al	Fe-20-25Cr-4-6Al	Kanthal	SW 010	Kaariruisku	Korroosio
Fe-Cr	Fe 29Cr 3.7B 1.7Mn 1.4Si	Praxair	95 MXC	Kaari	Eroosio-korroosio
Fe-Cr (amorphous)	Fe-25Cr-15Mo-5B-5W-2C-2Si	Nanosteel	SHS 7150	Kaari	Eroosio-korroosio (Biomassa kattila)
Fe-Cr (amorphous)	Fe-30Cr-10Mo-5B-4W-2C-2Mn-2Si	Nanosteel	SHS 7174	Kaari	Eroosio (SFBC kattila)
Fe-Cr (amorphous)	Fe-22Cr-5B-5Mo-5Nb-2C-1Mn-1Si	Nanosteel	SHS8000	Kaari	Eroosio-korroosio
Fe-Cr (amorphous)	Fe-25Cr-20Mo-10W-5B-5Mn-3C-2Si	Nanosteel	SHS7574	HVOF	Korroosio Cl-ympäristö
Ni-valtaisia					
Ni-20Cr	Ni20Cr	Höganäs	1616-02	HVOF	Korroosio
Ni-50Cr	50Ni49Cr1Fe, Ni50%Cr	Praxair Sulzer Metco	1260F, Amdry 350C	HVOF	Korroosio
Ni-Cr (Inconel 625)	Ni 21.5Cr 8.5Mo 3Fe 0.5Co	Sulzer Metco	Diamalloy 1005, Metco 8625	HVOF, Kaari	Korroosio
NiCrBSi	Ni 16Cr 4Fe 4B 4Si 2.4Fe 2.4Mo 2.4W 0.5C	Sulzer Metco	Metco 19E	Spray and fuse	Eroosio korroosio
Cr-Ni	Cr-34Ni-7C	Sulzer Metco	SM5241	HVOF	Eroosio-korroosio

2.3.4 Pinnoitemateriaalien valinta

Termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden vaurioituminen soodakattilaolosuhteissa tapahtuu usein eri mekanismeilla kuin vastaavan koostumuksen omaavan putkimateriaalin. Tämä johtuu pinnoitteen erityisestä rakenteesta, joka on tyypillisesti jähmettyneistä sulapisaroista muodostunut lamellimainen rakenne. Lisäksi ruiskutuksen aikana metallinen lähtöaine hapettuu pinnaltaan ja happi jää rakenteeseen sulkeumina. Pinnoitteen lamellit eivät ole täydellisesti kiinnittyneitä toisiinsa. Lamellirajat ovat näin ollen pinnoitteiden heikkoja kohtia, jotka vaikuttavat pinnoitteen korroosioikäkertymiseen. Pinnoitemateriaalin ja ruiskutusmenetelmän valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa pinnoitteen sisäiseen vaurioitumisnopeuteen ja korroosiokestävyyteen. Ruiskutettu pinnoitteen vaurioituminen voi tapahtua seuraavasti [17]:

- Pinnoitteen hapettumisesta, rikkikorroosiosta ym. ympäristöaltistuksesta aiheutuu pinnoitteen sisäinen vaurioituminen. Korroosio keskittyy tyypillisesti lamellirajoille ja voi avata reitin pinnoitteen läpi.
- Korrodoiva ympäristö pääsee ajan kuluessa kulkeutumaan pinnoitteen läpi pinnoitteen ja alustan rajapinnalle, jolloin alustamateriaali alkaa tuhoutua nopeasti. Tämä johtaa pinnoitteen nopeaan irtoamiseen alustalta.

- Pinnoite säröilee lämpötilan muutoksien aiheuttamien jännitystilojen seurauksena.

Edellä mainittujen vaurioiden minimoimiseksi pinnoitemateriaalin valinnan sekä pinnoitusprosessin valinnan merkitys korostuu. Pinnoitemateriaali voidaan esim. helposti valita sellaiseksi, että pinnoite ei vaurioidu pinnastaan hapettumalla ja sisäinen korroosio on pieni. Pinnoitemateriaalin ja alustan välinen lämpölaajenemiskertoimien välinen ero on minimoitava, jotta säröilyltä vältytään. Lisäksi pinnoitusprosesseilla on saavutettava riittävä tiiveys.

On tärkeää huomioda, että pinnoitteen korroosionsuojaavuus on aina kombinaatio valitusta materiaalista ja valmistusprosessista. Tämän vuoksi pinnoitteita ei voida valita pelkästään materiaaliperusteisesti vaan suunnittelussa on huomioitava pinnoiterakenteen erityispiirteiden tuomat muutokset pinnoitemateriaaliin. Pinnoiterakenteiden erityispiirteet, tiiveys ja happipitoisuus, riippuvat suuresti käytetystä pinnoitusprosessista.

Kriittiset tekijät, jotka määrittelevät pinnoitteen korroosionsuojaavuuden ovat:

- Itse pinnoitemateriaalin korroosiokestävyys, johon vaikuttaa valitun pinnoitemateriaalin korroosiokestävyys ko. ympäristössä (koostumus ja oksidikerroksen suojaavuus)
- Pinnoitteen korrodoivien aineiden läpäisevyys, johon voidaan vaikuttaa valitulla prosessilla ja prosessiparametreilla (lamellirajat ja huokoisuus) ja
- Mekaaninen yhteensopivuus (säröily)
- Tärkeimpiä määriteltäviä ominaisuuksia pinnoitteelle ovat adheesio (= tartuntalujuus), huokoisuus, koheesio, lämpölaajenemiskerroin ja paksuus.

Pinnoitusmateriaalien valikoima termisesti ruiskuttamalla on suuri. Korkealämpötilakorroosiota kestävät materiaalit muodostavat suojaavan ja helposti uudistuvan oksidikerroksen materiaalin pinnalle. Oksidikerroksen tulisi olla tiivis ja hyvin kiinnittynyt, jotta se voisi estää korrodoivien elementtien kuten rikin ja kloridin kulkeutumisen läpi vahingoittamaan perusmateriaalia. Tyypillisesti käytetään nikkeli- tai rautavaltaisia seoksia, joissa on korkea kromi- ja/tai alumiinipitoisuus. Termisesti ruiskutettavilla rautavaltaisilla seoksilla kromipitoisuus on tyypillisesti aina 30 %:iin saakka ja nikkeliseoksilla 50 %:iin saakka. Kromi on tärkeä ja kaikkein käytetyin suojaavan oksidin muodostavista alkuainesta. Kromioksidin muodostavia seoksia voidaan käyttää yleisesti ottaen lämpötilavälillä 500–900 °C:ta. Korkeakromisten terästen (yli 25 %) on raportoitu antavan hyvän suojan hapettavissa ympäristöissä ja suojaavan myös sulfaatteja ja sulfideja vastaan. [4, 18].



Pelkistävissä olosuhteissa korkeakromiset materiaalit pystyvät muodostamaan suojaavan kerroksen, joka koostuu kromista, rikistä ja natriumista. Pelkistävissä olosuhteissa tämän kerroksen korroosiokestävyys kasvaa kromipitoisuuden lisääntyessä. [5]

Alumiini on toinen tärkeä oksidin muodostaja. Alumiinioksidia muodostavat FeCrAl-materiaalit ovat myös tyypillisiä hapettumiskestäviä materiaaleja. Niitä käytetään lämpötilavälillä noin 800–1200 °C:ta, jolloin suojaavan oksidikerroksen muodostumiselle on parhaat edellytykset. [19, 20]. Lämpötiloissa alle 600 °C:ta alumiinioksidin muodostajien ongelmana on, että alumiini ei muodosta suojaava corundi-tyyppistä oksidikerrosta [19]. Metastabiileilla alumiinioksidoilla on puutteelliset suojausominaisuudet. Matalissa lämpötiloissa alumiinin diffuusio on erittäin hidas eikä suojaava oksidikerrosta pääse muodostumaan. Sen sijaan tyypillistä on tällöin rauta-alumiini-kromi sekaoksidin muodostuminen. [20].

Soodakattiloissa mahdollisia pinnoituskohteita ovat kattilan pohja, seinämäputket ja tulistimet. Kattilan pohjan osalta pinnoitteilla pyritään ehkäisemään säröily- ja pistekorroosio-ongelmia. Pinnoitemateriaaleista on hyviä kokemuksia saavutettu esim. Ni50%Cr seoksella.

Kattilan keski-osan korroosio-olosuhteita ei yleensä pidetä kovin aggressiivisena ja tyypillinen oheneminen on materiaalin hapettumista. Kuitenkin, jos voidaan havaita paikallisia ja pistemäisiä syöpymistä/ohenemista, on esitetty tämän johtuvan tyypillisesti pelkistävien olosuhteiden syntymisestä tai suuren kiintoainepitoisuuden omaavan lipeän poltosta. Pinnoitteita voidaan tällöin soveltaa paikallisesti. Pelkistävät olosuhteet ovat haaste myös korkeakromisille pinnoitteille, joiden suojaavuus perustuu oksidikerroksen muodostumiseen. Pelkistävissä olosuhteissa ei oksidikerroksen muodostumiselle ole luontaisia edellytyksiä, jolloin pinnoitteen tiiveyteen on kiinnitettävä erityisesti huomiota. [5]

Tulistinputkien alueella korroosio-olosuhteet ovat syntyvistä kerrostumista johtuen vaikeita, koska muodostuvat kerrokset saattavat olla sulatilassa. Tulistinalueella erityisesti matalaseosteisia teräksiä voidaan suojata pinnoitteilla. Pinnoitteiden suojaavuus alkalisulfidisulia vastaan on voimakkaasti riippuvainen pinnan lämpötiloista. Vielä alle 500 °C:n alapuolella saavutetaan useillakin pinnoitemateriaaleilla hyvä suojaavuus. Vaihtoehtoisia materiaaleja voivat olla esim. rautavaltaiset runsaskromiset teräkset tai NiCr-seokset.



2.4 Pinnoituksen valmistus

Tämä osio käsittelee ruiskuttamalla tehtyjen soodakattilapinnoitteiden valmistusta paikan päällä (on site) ja verstaalla. Lisäksi se antaa soveltuvia testaustapoja, joiden avulla suoritettu pinnoitustyö voidaan hyväksyä.

Se käsittelee pinnan esikäsittelyä, pinnoituksen suoritusta ja pinnoitteiden luonteenomaisia ominaisuuksia: paksuutta, ulkonäköä ja tarttuvuutta. Lopuksi ohje antaa testausmenetelmiä näiden ominaisuuksien toteamiseksi ja käsittelee vanhan pinnan tarkastusta ja korjausta.

Hankintasopimuksessa tulee määritellä pinnoitettava alue, pinnan paksuus, pinnoitettava materiaali, pinnoitusmenetelmä, pinnoitteen tartuntalujuus alustamateriaaliin ja pinnoitemateriaali. Lisäksi on määriteltävä mahdolliset pinnoitettavan kohteen esikäsittelyprosessit sekä ennen pinnoitusta että sen jälkeen (pesut) ja mahdollinen ulkopuolinen työn valvoja, jolla on tarpeellinen asiantuntemus termisen ruiskutuksen pinnoitteiden ja työn suorituksesta.

2.4.1 Termisellä ruiskutuksella pinnoitettavan pinnan esikäsittely

Termisesti ruiskutettavalla pinnoitteella ei ole perusainetta vastaavaa mekaanista lujuutta, joten putken seinämänpaksuudelle asetetut vaatimukset on varmistettava ennen pinnoituksen suorittamista. Pinnan esikäsittelystä on määritelty standardissa SFS-EN 13507, "Terminen ruiskutus. Metalliosien ja -komponenttien pintojen esikäsittely ennen termistä ruiskutusta" [21]. Pinta tulee puhdistaa kauttaaltaan ja karhentaa sopivalla kuluttavalla rakeella puhaltaen. Puhallusta jatketaan, kunnes pinta on metallinpuhdas ja rakenteeltaan yhtenäinen. Juuri ennen ruiskutusta on pinnan oltava kuiva, eikä siinä saa olla pölyä, rasvaa, NDT-nesteitä ja geelejä, hilsettä, ruostetta tai muita epäpuhtauksia, joihin kuuluvat myös liukoiset suolat. Liukoiset suolat voivat erityisesti vaikeuttaa pinnoitteen tarttuvuutta kattilan pintaan. Vanhoissa kattiloissa on syytä selvittää tarvittava pesuprosessi ennen pinnoitusta, jolla poistetaan aiemmat putkistojen pinnoille kertyneet suolat. Ennen työhön ryhtymistä on myös selvitettävä poistetaanko vanhan pinnoite kokonaan vai vain osittain. Kullakin pinnoittajalla on omat menetelmänsä suolojen ja kemikaalien poistoon, ja ne on syytä yksilöidä ennen työhön ryhtymistä. Kaikissa tapauksissa on puhdistetun pinnan karheus yksilöitävä vertailukappaleilla, joilla on samanlaiset ominaisuudet kuin

työkappaleilla ja jotka on valmistettu osapuolten määrittelemällä tavalla. Ellei muuta ole sovittu, voidaan pinnan puhdistukseen käyttää seuraavia raemateriaaleja:

- Valurautarae, josta hematiitti on erotettu
- Alumiinioksidirae
- Piikarbidirae

Raemateriaalin raekoko on yleensä 0,5–1,5 mm. Olipa puhdistusmateriaali minkä tyyppistä tahansa, sen tulee olla puhdasta ja kuivaa. Varsinkaan se ei saa sisältää liukenevia suoloja. Kun suihkupuhdistuksessa käytetään paineilmaa, on ilman oltava riittävän puhdasta ja kuivaa, jotta raemateriaali tai metallilla ruiskutettava pinta ei likaantuisi. Ilmamäärän tulee olla riittävä siten, että suihkupuhalluksessa suositeltu minimipaine on 6,5 bar käyttöletkun päässä. Edelleen on tarkistettava suihkupuhdistetun pinnan puhdistusaste, niin että se vastaa astetta Sa 3 standardin SFS-EN ISO 8501-1 mukaisesti [22]. Pinnoitettavasta kohteesta on ennen pinnoitusta tarkistettava mahdolliset viat, säröt, kulumat ja perusaineen vahvuus ym., ja ne on ilmoitettava kirjallisesti pinnoituksen tilaajalle. Jos pinnoitettavalla alueella esiintyy säröilyä, on perusohjeena, että kaikki havaittavat on säröt poistettava, ennen kuin pinnoitus voidaan suorittaa. Pinnoituskohteeseen on varattava riittävä määrä valoa, jotta pinnoitettavan kohteen pinnoitus ja silmämääräinen tarkistus voidaan suorittaa vaivatta. Pinnoitettavan kohteen tarkistus tulee suorittaa myös 15° viistolla valolla, jolloin havaitaan mahdolliset poikkeamat pinnan puhdistuksessa. Lisäpuhallusta vaativat kohdat merkitään liidulla. Pinnoitettavan kohteen ilmanvaihto pitää olla riittävä, jotta pinnan puhdistuksessa ja pinnoituksessa syntyneet pölyt voidaan imeä pois.

2.4.2 Pinnoitemateriaali

Pinnoitemetallin tulee täyttää seuraavat vaatimukset: 1) pinnoitemateriaalin koostumuksen pitää olla selvillä kaupanimen lisäksi, 2) samoin tulee olla selvillä pinnoitteen keskeisimmät alkuaineet ja muoto (lanka tai jauhe), 3) kuten myös pinnoitustapa, valokaari- tai HVOF-menetelmä yms. Pinnoitemateriaalien määrittelyssä voidaan käyttää apuna myös standardia SFS-EN 1274, ”Terminen ruiskutus. Ruiskutusjauheiden kemiallinen koostumus ja tekniset toimitusehdot” [23] sekä standardia SFS-EN ISO 14919, ”Terminen ruiskutus. Langat, puikot, ja täytelangat liekki ja kaariruiskutukseen. Tekniset toimitusehdot.” [24].

2.4.3 Terminen ruiskutus



Terminen ruiskutus voidaan aloittaa puhdistetussa osassa, kun tilaaja on hyväksynyt edellä mainitun pinnan esikäsitteilyn. Terminen ruiskutus tulee tehdä pian sen jälkeen, kun pinta on esikäsitelty suihkupuhdistamalla niin, että metalli ruiskutetaan valmisteltuun pintaan, joka on vielä puhdas ja kuiva eikä näkyvästi hapettunut. Käytettävissä oleva aika tulee pitää mahdollisimman lyhyenä, kuitenkin enintään 4 tuntia paikallisten olosuhteiden mukaan. Ruiskutusta ei saa tehdä olosuhteissa, joissa tapahtuisi kondensoitumista ruiskutettavalle pinnalle, ja pinta tulee pitää kastepistettä korkeammassa lämpötilassa. Termistä ruiskutusta suoritettaessa tulee teräksen lämpötilan olla ainakin 3 °C kastepisteen yläpuolella, jotta välttyttäisiin tartunnan heikkenemiseltä perusmateriaaliin. Pinnoitettavan alueen esilämmitys ennen pinnoitusta on suositeltavaa tehdä 70–80 °C lämpötilaan. Tällä estetään ruiskun palotuotteiden kondensoituminen pinnalle sekä pienennetään pinnoitteeseen syntyvää vetojännitystilaa. Mikäli pinnoitettava pinta on hapettunut tai likaantunut, tulee sen esikäsitteily uusia. Ruiskutuksen pyyhkäisyjen tulee tapahtua pääsääntöisesti kohtisuorassa putkistojen pintaan nähden. Lisäksi ruiskutuspyyhkäisyjen tulee olla putkistojen pituusakselin suuntaisia. Tällöin vältetään mahdollisimman paljon viiston ruiskutuksen aiheuttamaa varjostusvaikutusta.

2.4.4 Sulautuvien seosten ruiskutus

Niin kutsutut sulautuspinnoitteet ovat yksi termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden erikoismenetelmä. Siinä ruiskutus tehdään liekkiruiskulla ja jälkikäsitellään kuumentamalla materiaali noin 1100 °C:een joko liekillä tai uunissa. Sulautusmateriaalien seosaineina on käytetty piitä ja booria, joka laskee materiaalin sulamislämpötilaa alle perusmateriaalin sulamispisteen. Muodostuva pinnoite tiivistyy lämpökäsittelyn seurauksena täysin tiiviiksi ja poistaa termisesti ruiskutetulle pinnoitteelle tyypillisen lamellirakenteen. Tästä on usein etua korroosiota vastaan. Menetelmä soveltuu parhaiten suoritettavaksi ruiskutusajalla. Pinnoitusohjeena voidaan käyttää Standardia SFS-EN ISO 14920, ”Terminen ruiskutus. Sulautuvien seosten ruiskutus ja sulautus” [25].

2.4.5 Vaaditut ominaisuudet ja pinnoitteen testausmenetelmät

Termisesti ruiskutetuille pinnoitteille voidaan tehdä hyvin vähän yksikäsitteisiä laadun mittauksia. Tällaisia ovat pinnoitteen tartunta alustaan, vetotestit, kemiallinen analyysi sekä abraasio- ja eroosiokulumistestit sekä pinnoitteen paksuus ja pinnoitettu pinta-

ala. Mikrorakenteeseen liittyvät seikat, kuten oksidit, huokoiset sulamattomat partikkelit ja karbidien määrä, ovat laboratoriotutkimuksissa vielä kiistanalaisia asioita. Samoin pinnoitteiden kemiallinen kestävyys soodakattilaolosuhteissa voi olla vaikeasti selvitettävissä. Käytännössä pinnoitteiden ominaisuuksia voidaan testata soodakattilassa.

2.4.6 Pinnoitteen ulkonäkö

Pinnoitteen tulee olla tasalaatuinen ilman kuplia tai paljaita alueita, eikä siinä saa olla tarttumaton metallia tai vikoja, jotka voivat olla haitallisia pinnoitteen kestävyydelle tai suojapinnoitteen tarkoituksenmukaiselle käytölle. Epäonnistuneessa kaariruiskutuksessa vikoina voidaan pitää pinnoitelangan pätkiä, pinnan epätasaisuutta ja ylipaksuuteen pinnoitettuja kattilan osia. Ulkonäköä voidaan verrata pinnoittajan toimittamaan vertailupalaan, joka on riittävän suuri, (300*300*10 mm).

2.4.7 Tartunta

Pinnoitteen ja perusaineen tartunta voidaan mitata ennen tilaamista koekappaleella standardin SFS-EN 582: ”Terminen ruiskutus. Vetotartuntalujuuden määrittäminen” [26] mukaisesti. Standardin mukainen testi tehdään erillisille Ø 25 tai 40 mm oleville kiekkoille. Kiekko liimataan tartuntasauvojen väliin ja vedetään vetokoneesta irti. Tällöin voidaan määritellä pinnoitteen tartunta alustamateriaaliin. Pinnoittaja saa tehdä koekappaleen vapaasti kattilassa käytettävillä aineilla ja pinnoitusmenetelmillä. Levyyn tehdyt vetonäytteet antavat yleensä paremmat tartuntalujuudet kuin putkistoon tehdyt pinnoitteet. Suositeltavan pinnoitteen tartuntalujuuden tulisi olla vähintään $> 25 \text{ N/mm}^2$. Hyvä tartunta-alusta materiaaliin kertoo usein onnistuneesta pinnoituksesta. Parhaiden liimojen vetolujuus on tyypillisesti 80–100 MPa, jonka parhaimpien pinnoitteiden tartuntalujuudet saattavat ylittää. Mikäli vetokokeen lopussa ei ilmene pinnoitteen irtoamista perusmateriaalista ennen sovittua murtolujuutta, katsotaan pinnoitteen läpäisseen tyydyttävästi tarttuvuuskokeen. Pinnoitteen tartunnalle voidaan tehdä myös tarkistusmittauksia pinnoituksen aikana, mistä on syytä sopia testaajan kanssa erikseen.

2.4.8 Paksuuden mittaus

Pinnoitteen paksuuden mittaukseen voidaan käyttää kaarimikrometriä tai sähköisiä mittamenetelmiä. Putkimaisia kappaleita mitattaessa on edellä mainitulla haastavaa



saavuttaa luotettavaa tulosta. Paksuuden mittaukset onkin suositeltavaa tehdä magneettisella tai pyörrevirtamenetelmällä. Magneettisten mittausten etuna on, että ne ovat ainetta rikkomattomia, nopeita ja ne voidaan tehdä suoraan mistä tahansa tarkastettavan pinnan kohdasta. Paksuuden mittauksia voidaan tehdä useita satoja kertoja pinnoituskohteesta ja jopa pinnoituksen aikana. Pinnoitteen paksuutta mitattaessa tulee sopia ennen pinnoitusta, millä asteikolla pinnoitteen paksuudet tarkistetaan, koska paksuus voidaan mitata mikrometreinä tai tuhannesosatuumin. Tuumamittaus voi aiheuttaa metriseen järjestelmään tottuneella sekaannusta. Mittalaite kalibroidaan koepalaan, joka on pinnoitettu samalla materiaalilla, jota kattilan pinnoituksessa käytetään. Paksuuden tarkistuksesta on laadittava pinnoitteen paksuuskartta, jonka pinnoitteen ostaja saa.

Mikroskooppinen tarkastus poikkileikkauksesta tehdään kontrollipinnoitteille. Tällöin pinnoitteista katsotaan yleinen rakenne, pisarakoko, sulamattomat partikkelit, huokoset, oksidit sekä pinnoitteen ja perusmateriaalin rajapinta. Menetelmä on tuloksiltaan subjektiivinen, ja ne ovat riippuvaisia käytetystä materiaalista, ruiskutusparametreista ja -menetelmästä. Mikroskooppitarkastelun ei voi katsoa soveltuvan ensisijaisesti määrittämään pinnoitteen laatua. Mikroskooppisia näytteitä otetaan ensisijaisesti koekappaleista. Mikroskooppinen tarkastusmenetelmä on ainetta rikkova testi, jolloin se soveltuu hankalasti jo pinnoitetun kappaleen ominaisuuksien tutkimiseen. Mahdollisissa vauriotapauksissa voidaan kuitenkin ottaa ruiskutetun kattilan pohjasta 10 -senttisen kokoisia näytteitä ja tehdä niistä rakennetutkimus.

2.4.9 Vanhojen pinnoitteiden tarkastus ja pintojen korjaus

Kattilan seisokkien aikana on syytä tarkastaa pinnoitteiden kunto, jolloin tarkastetaan ensisijaisesti mahdolliset pinnoitteiden vauriot. Silmämääräisesti havaittavia vauriota ovat pinnoitteen irtoaminen sekä mahdolliset korroosio- ja painepesuvauriot. Mikäli havaitaan pinnoitteen irtoamista, voidaan alustavasti tutkia pinnoitteen kiinnipysyvyyttä piikkaamalla pinnoitetta pois vauriokohdan ympäristöstä. Piikkaus tehdään pienellä taltalla ja vasaralla vaurioittamatta putkistoa. Jos pinnoite lähtee helposti putkiston päältä ja sen alla on korroosiotuotetta, on syytä ryhtyä laajempiin jatkotarkastuksiin. Samoin jos pinnoite irtoaa painepesussa, on syytä olettaa, ettei se ole hyvin kiinni alustassaan. Jos vanha pinnoite irtoaa helposti alustasta, on siinä usein jokin piilevä vika, josta on syytä raportoida pinnoittajalle. Mahdollisten vikojen korjausprosessi on selvitetävä ennen työn aloitusta pinnoittajan kanssa. Käytännössä



pinnoitteen korjaaminen on hyvin hankalaa koska korjaus pidentää seisokkiaikaa (korjauksen aiheutuu melua/pölyä/myrkyllisiä kaasuja jolloin muiden töiden tekeminen kattilassa on vaikeaa).

2.4.10 Manipulaattorin käyttö pinnoituksessa

Tilaajien kireät pinnoiteruiskutuksen aikatauluvaatimukset aiheuttavat usein kiirettä itse työssä. Tämän vuoksi vaikeissa työskentely olosuhteissa pinnoituksen tasalaatuisuus voi olla vaikea aikaansaada. Pinnoitteen tasaisen laadun kannalta on tärkeää, että laajoilla pinnoilla käytetään manipulaattorilevitystä (kauko-ohjauksella tai yksinkertaisella ohjauksella varustettu automaattinen käsittelylaite), joka takaa tasaisemman pinnoitteen laadun.

Käsiruiskutuksen voi jättää tällöin vaikeammin suoritettaviin kohteisiin, kuten nurkkiin, seinämille tai yksittäisiin putkiin.

2.5 Yhteenveto

Termisesti ruiskutettavilla pinnoitteilla voidaan suojata soodakattilaputkimateriaaleja korroosiolta. Pinnoitettavia kohteita soodakattiloissa ovat yleensä a) ”mustan” ja compound-putken raja, jossa pinnoitteella estetään galvaanista korroosiota b) tulistinputkien mutkat, joissa pyritään estämään hapettumisen ja korroosion kautta tapahtuvaa ohenemista ja c) paikalliset compound-putkien säröytymien korjaus. Tyypillisesti käytettyjä materiaalivevaihtoehtoja ovat erilaiset NiCr-seokset tai rautavaltaiset runsaskromiset seokset. Tilattaessa kattilan pinnoitusta on hyödyllistä ensin määritellä seuraavat asiat: pinnoitettava alue, pinnan esikäsittelyt, pinnoitteen paksuus, pinnoitemateriaali, pinnoitusmenetelmä, ja pinnoitteen tartunta. Lisäksi on määriteltävä ja dokumentoitava, kuka suorittaa pinnoituksen aikana työn valvonnan ja hyväksymisen.

2.6 Lähdeluettelo

Kirjalliset lähteet:

1. Davis, J.R. (Ed.). Handbook of Thermal Spray Technology. Thermal Spray Society, ASM International, Materials Park, OH, USA (2004). 338 p.
2. Mohanty, P.S., Roche, A.D., Guduru, R.K. and Varadaraajan, V. Ultrafine Particulate Dispersed High-Temperature Coatings by Hybrid Spray Process. Journal of Thermal Spray Technology, 19(2010)1–2, pp. 484–494



3. Sidhu, T., S. Prakash, S. and Agrawal, R.D. Hot corrosion and performance of nickel-based coatings. *Current science*, 90(2006)1, pp.41–47
4. Crimmann, P., Bendix, D. and Faulstich, M. Investigations on corrosion protective layers in waste incineration plants. Sulzbach-Rosenberg \ D. (2005).
http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/investigations_incineration_plants_Basel_2005.pdf.
5. Banovic, S.W., DuPont, J.N. and Marder, A.R. High temperature sulfidation behavior of low Al iron-aluminum compositions. *Scripta Materialia* 38(1998)12, pp. 1763–1767.
6. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. High temperature corrosion of coatings and boiler steels below chlorine-containing salt deposits. *Corrosion Science* 46 (2004), pp. 1311–1331
7. Tortorelli, P.F., DeVan, J.H., Pint, B.A., Wright, I.G. and Saunders, S.R.J. High-temperature corrosion behaviour of iron-aluminide alloys and coatings. *Proc. Fossil Energy Materials Conf.*, May 1995.
8. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. Elevated temperature erosioncorrosion of thermal sprayed coatings in chlorine containing environments. *Wear* 9069(2002), pp. 19.
9. Totemeier, T.C., Wright, R.N. and Swank, W.D. Microstructure and Stresses in HVOF Sprayed Iron Aluminide Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology* 11(3), September 2002, pp. 400–408.
10. Wang, B.Q. and Seitz, M.W. Comparison in erosion behavior of ironbase coatings sprayed by three different arcspray process. *Wear* 250 (2001), pp. 755–761.
11. Branagan, D.J., Breitsameter, M., Meacham, B.E. and Belashchenko, V. High-performance nanoscale composite coatings for boiler applications. *Journal of Thermal Spray Technology* 06/2005, Vol. 14, No. 2, pp. 196–204.
12. Hidalgo, V. Higuera, Varela, J. Belzunce, Menéndez, A. Carriles, Martinez, S. Poveda, High temperature erosion wear of flame and plasmasprayed nickelchromium coatings under simulated coalfired boiler atmospheres. *Wear* 247 (2001), pp. 214–222.
13. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. High temperature corrosion of coatings and boiler steels in oxidizing chlorinecontaining atmosphere. *Materials Science and Engineering A346*(2003), pp. 168–177.
14. Zanchuk, W. The use of tafaloy 45CT, an Ni-Cr-Ti alloy, as an arc sprayed corrosion barrier in high temperature sulfurous environments. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 39–40, Part 1, 1 December 1989, pp. 65–69, 16th International Conference on Metallurgical Coatings.
15. Zahrani, E.M. and Alfantazi, A.M. Molten Salt Induced Corrosion of Inconel625 Superalloy in PbSO₄-Pb₃O₄-PbCl₂-Fe₂O₃-ZnO Environment. To be published in *Corrosion Science* (2012).



16. Heath, G.R., Polak, R., Tsujita, T. and Gustafsson, S. Roel of Thermal Spray Coatings in Boilers; development of Reliable Spray and Fuse Coatings for Boiler Protection. NTSC, 7-11 October, 1996, Cincinnati, Ohio.
17. Heath, G.R., Heimgartner, P., Irons, G, Miller, R. and Gustafsson, S. An Assessment of Thermal Spray Coating Technology for High Temperature Corrosion Protection.
http://web.castolin.com/wCastolin_com/pdf/publications/essai7.pdf
18. Mayoral, M.C., Andres, J.M., Belzunce, J. and Higuera, V. Study of sulphidation and chlorination on oxidized SS310 and plasma-sprayed Ni-Cr coatings as simulation of hot corrosion in fouling and slagging in combustion. Corrosion Science 48(2006)6, pp. 1319–1336
19. Lai, G. High Temperature Corrosion and Materials Applications. ASM International, Ohio, USA 2007. P. 461.
20. Grabke, H.J. Surface and interface segregation in the oxidation of metals. Surface and Interface Analysis 30(2000)1, pp. 112–119
21. SFS-EN 13507. Terminen ruiskutus. Metalliosien ja – komponenttien pintojen esikäsittely ennen termistä ruiskutusta. Suomen standardisoimisliitto (2001).
22. SFS-EN ISO 8501-1. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyvasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaanpuhdistetut teräspinnat (2007).
23. SFS-EN 1274, Terminen ruiskutus. Ruiskutusjauheiden kemiallinen koostumus ja tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto (2005)
24. SFS-EN ISO 14919. Teminen ruiskutus. Langat, puikot, ja täytelangat liekki ja kaariruiskutukseen. Tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto (2002).
25. SFS-EN ISO 14920. Terminen ruiskutus. Sulautuvien seosten ruiskutus ja sulautus. Suomen standardisoimisliitto (1999).
26. SFS-EN 582. Terminen ruiskutus. Vetotartuntalujuuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto (1994).

Suulliset lähteet:

Henkilökohtainen tiedonanto, Tapio Huuska, Metsä Fibre Oy, Kemin tehds, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Martti Hirttiö, Metsä Fibre Oy Äänekosken tehdas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Lauri Mattila, UPM-Kymmene, Oyj, Pietarsaaren tehtaas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Juha Rintala, Telatek Oy, 2012.



Henkilökohtainen tiedonanto, Rauno Karvinen, UPM Kymmene Oy, 1997.

Henkilökohtainen tiedonanto, J. Tenkula, Telatek Oy, 1997.



3 PAINEASTIAN KORJAUKSET

Alkuperäinen teksti: Kalle Salmi, Kvaerner-Pulping Oy

Päivitetty teksti: Kestoisuustyöryhmä

3.1 Yleistä

Soodakattilan käyttövarmuuden ja käyttöturvallisuuden ylläpitämiseksi on tehtävä korjauksia, joiden sisältö ja laajuus ovat etukäteen tiedossa. Tämän lisäksi tulee sellaisia yllättäviä tilanteita, joissa paineastia joudutaan korjaamaan ilman ennakoivaa tarkempaa suunnittelua. Esimerkiksi paineastian vuotovauriotapaukset ovat tällaisia. Tähän kappaleeseen on kerätty laeista, asetuksista ja muista määräyksistä paineastian korjausta käsitteleviä ohjeita sekä käytännössä esiin tulleita asioita.

Asiakirjat, joihin tässä kappaleessa viitataan, ja muut paineastioita käsittelevät ohjeet ja standardit, muuttuvat edelleen kehityksen seurauksena kohtuullisen nopealla aikataululla. Tekstiin on pyritty lisäämään linkkejä internetsivuille joilta voi ladata viimeisimmät versiot ohjeista/standardeista.

3.2 Oppaat

TUKES on julkaissut seuraavia oppaita liittyen painelaitteisiin:

Painelaiteopas:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaiteopas.pdf

Painelaitteiden kunnossapito:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaite-kunnossapito-opas.pdf

Painelaitteiden määräaikaistestaukset:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/Painelait.mraikaist.pdf

Painelaiterekisteri P1-2002

<http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/direktiivit/P1-2002.doc>

Painelaitteiden seuranta P1-2000

<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/3Painelaitteet/P2-00-Painelaitteiden-kunnonvalvonta/>

Painelaitteiden kunnonvalvonta P2-2000

Painelaitedirektiivin soveltamisohjeita:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/3_2009.pdf

3.3 Lait ja asetukset

[Painelaitedirektiivin \(97/23/EY\)](#) velvoitteet on julkaistu Suomessa [painelaitelaissa \(869/1999\)](#) ja [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä painelaitteista \(KTMp 938/1999\)](#). Päätös (938/1999) sisältää painelaitedirektiivin menettelyt painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelulle, valmistukselle ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnille. Painelaitedirektiivin soveltamisalueen ulkopuolelle jäävät painelaitteita koskevat määräykset, kuten painelaitteen käyttö, korjaukset, muutostyöt ja asennus, on julkaistu [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä painelaiteturvallisuudesta \(KTMp 953/ 1999\)](#).

Painelaite tarkoittaa säiliöitä, putkistoja, varolaitteita ja paineenalaisia lisälaitteita. Painelaitteiden osiksi luetaan tarvittaessa myös paineenalaisiin osiin kiinnitetyt osat kuten laipat, yhteet, liittimet, nostokorvakkeet jne. Laitekokonaisuus tarkoittaa valmistajan yhtenäiseksi ja toiminnalliseksi kokonaisuudeksi kokoamia useita painelaitteita. Säädöksiä sovelletaan painelaitteisiin ja laitekokonaisuuksiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine (PS) on yli 0,5 bar.

Painelaitelain mukaan painelaite on rakennettava ja sijoitettava ja sitä on hoidettava, käytettävä ja tarkastettava niin, ettei se vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta. Painelaitteen markkinoille saattajan, esimerkiksi valmistajan tai maahantuojan, on voitava osoittaa, että painelaite sekä sen suunnittelu ja valmistus täyttävät säädetyt vaatimukset. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt perustuvat moduuleihin (A, ...H1, G), jotka on esitetty [KTM:n painelaitepäätöksen \(938/1999\) liitteessä III](#).

Useimmissa painelaitedirektiivin mukaisissa painelaitteissa vaaditaan CE-merkintä osoituksena vaatimusten täyttymisestä. Vaarattomimpiin painelaitteisiin ei tule CE-merkintää.

Painelaitesäädösten vaatimuksia on tarkemmin kuvattu TUKESin julkaisemassa [painelaitteoppaassa](#).

3.4 Hitsauksen laatu

Standardit [SFS-EN ISO 3834-2](#), “Hitsauksen laatuvaatimukset. Metallisten materiaalien sulahitsaus. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset” ja [SFS-EN ISO 17663](#), ”Hitsaus. Hitsauksen ja sen lähiprosessien yhteydessä suoritettavan lämpökäsittelyn laatuvaatimukset” ovat hyviä apuvälineitä sekä valmistavassa että korjaavassa



hitsauksessa laatutoimintojen hallintaan. Standardi täydentää hitsaavan yrityksen mahdollisesti olemassa olevaa laatujärjestelmää.

3.5 Hitsaajan pätevyystodistukset

Korjaustyötä tekevällä hitsaajalla on oltava voimassa oleva pätevyyskoe, joka on teräksille standardin [SFS-EN ISO 9606-1](#) mukainen.

3.6 Hitsausohjeet

"Hitsausohjeita tarvitaan hitsauksen aikana hitsaustöiden suunnittelun perustaksi sekä laadun valvontaan. Hitsaus katsotaan erikoisprosessiksi laatujärjestelmästandardien terminologiassa. Laatujärjestelmästandardit edellyttävät yleensä, että erikoisprosessien suorituksessa noudatetaan kirjallisia menettelyohjeita. Hitsausohje (WPS) on asiakirja, joka on hyväksytty jollain seuraavista hyväksymistavoista:

- aikaisempi hitsauskokemus
- hyväksytty/testattu hitsausaine
- menetelmäkoe
- standardihitsausohje
- esituotannollinen koe

ja jossa esitetään vaadittavat hitsausmenetelmän muuttajat toistettavuuden varmistamiseksi tuotantohitsauksessa (otteet standardista [SFS-EN ISO 15607](#)).

Hitsausohjeen käyttäminen luo perustan sille, että hitsi on vaatimusten mukainen, mutta ei sinänsä vielä takaa sitä. Sen käyttö vähentää oleellisesti kuitenkin hitsausvirheitä. Myös lämpökäsittelyä voidaan pitää tällaisena erikoisprosessina, josta pitää olla kirjalliset ohjeet.

Muutamia hitsausstandardeja:

- [SFS-EN 1011](#) osat 1-8 Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituks
- [SFS-EN 12952-5 Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 5: Paineellisten osien valmistus](#)

3.7 Asennus-, korjaus- ja muutostyöt

Käytössä olevien painelaitteiden asennus-, korjaus- ja muutostöissä sovelletaan [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaiteturvallisuudesta \(953/1999\)](#).

Asennus-, korjaus- ja muutostyön tekevä toiminnanharjoittaja voi käyttää:

- painelaitteen valmistuksessa aikoinaan hyväksyttyä suunnitelmaa ja hitsausohjetta, jos tarkastuslaitos pitää niitä turvallisina ja ne kattavat työn
- tarkastuslaitoksen riittäväksi katsomallaan menettelyllä hyväksymää hitsausohjetta, jos kyse on yksittäistapauksesta



- uusien painelaitteiden valmistuksessa soveltamaansa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä
- päätöksessä (953/1999) annettua vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä.

Hyväksytty laitos ja omatarkastuslaitos tekevät asennus-, korjaus- ja muutostöihin liittyvät tarkastustehtävät. Pysyvien liitosten menetelmien, niitä tekevien henkilöiden ja rikkomatonta aineenkoetusta tekevien henkilöiden vaatimukset ovat samat kuin uusien painelaitteiden valmistuksessa. Toiminnanharjoittaja antaa tilaajalle asennus-, korjaus- ja muutostyön vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. CE-merkinnän vaatimusta ei sovelleta.

Painelaitteen vaihtamiseen kokonaisuudessaan, sen erityisen merkittävään muutostyöhön ja kokonaan uuden putkiston asennukseen sovelletaan yleensä kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaitteista (938/1999). Tällöin painelaitteeseen tulee yleensä myös CE-merkintä.

Korjaustyöhön ja asennukseen liittyy seuraavanlaisia asiapapereita:

- korjaussuunnitelma mahdollisine piirustuksineen, hitsaussuunnitelmineen ja lujuuslaskuineen
- tarkastuslaitoksen päätös korjaussuunnitelman tarkastuksesta ja hyväksynnästä
- materiaaliluettelo käytetyistä aineista
- rakenneainetodistukset
- lämpökäsittelytodistukset
- korjausselostus
- valmistuksen valvojan vakuutus
- hitsaajaluettelo ja heidän pätevyytensä
- NDT-tarkastuspöytäkirjat ja röntgenfilmit
- tarkastuslaitoksen hyväksyntä korjaukselle
- vaatimustenmukaisuusvakuutus

Edellä mainituista asiapapereista jää yleensä yksi kappale paineastian omistajalle ja yksi valmistajalle.

Luontevin toimintatapa on se, että korjauksen toimittaja hoitaa hyväksynät ja kyseiseen tapaukseen liittyvän dokumentoinnin.

3.8 Painekeo

[Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös \(953/1999\)](#) toteaa paineastian painekokeen suorittamisesta:

”Painelaitteen painekokeessa on todettava, ovatko painelaitteen paineenalaiset seinämät koepaineessa tiiviit ja esiintyykö rakenteessa turvallisuutta vaarantavia



muodonmuutoksia. Kokeen tekemisessä on otettava huomioon painelaitteen valmistajan mahdollinen ohje.

Painekoe on tehtävä nesteellä. Koe voidaan kuitenkin tehdä kaasulla, jos nesteellä tehty painekoe ei rakenteellisista syistä ole kohtuudella mahdollinen tai painelaitteessa ei voida sallia pieniäkään nestemääriä. Koe on tehtävä noudattaen tarpeellista varovaisuutta.

Nestepainekoe on tehtävä vähintään paineella, joka on 1,3 kertaa suurin sallittu käyttöpaine ja kaasupainekoe paineella, joka on 1,1 kertaa suurin sallittu käyttöpaine. Jos erityiset syyt vaativat, tarkastuslaitos voi hyväksyä käytettäväksi muun koepaineen.

Painekoe on tehtävä joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä. Koetta ei tarvitse kuitenkaan tehdä painesäiliölle ja putkistolle, joiden sisäpuolisessa tarkastuksessa on voitu riittävästi varmistua rakenteen eheydestä ja lujuudesta. Kokeen poisjättämisen perustelut on esitettävä tarkastuspöytäkirjassa ja kokeen poisjättäminen on arvioitava uudestaan jokaisessa seuraavassa sisäpuolisessa tarkastuksessa.”

3.9 Korjauksen luonne

3.9.1 Ennakkoon valmisteltu korjaus

Normaaleihin huoltoseisokkeihin ajoittuviin paineastian korjauksiin valmistaudutaan yleensä riittävän ajoissa ja riittävän suunnitelmallisesti. Hyvällä etukäteisvalmistelulla ja asiantuntemuksella (toimittajavalinta) saadaan aikaan hyvä lopputulos.

Jos korjauskohde tai -tapa on erityisen vaativa tai poikkeuksellinen (esimerkiksi huono luoksepäästävyys tai harvinainen työtapa), voidaan toimittaja velvoittaa tekemään sellainen työkoe, joka vastaa mahdollisimman hyvin korjausolosuhteita joko konepajaolosuhteissa tai tulevalla työmaalla.

3.9.2 Ennalta arvaamattoman tapahtuman korjaus

Tilanne muuttuu oleellisesti, kun joudutaan korjaustilanteeseen yllättäen joko vaurion tai huoltoseisokkitarkastuksen seurauksena. Tällöin lähes kaikki ennakkovalmistelut ovat tekemättä. Tällöinkin pitää muistaa lait ja asetukset sekä työturvallisuus. Laitoksilla tulisi olla kattilan jokaiseen eri lämpöpintaan kohtuullinen määrä sellaista



varaosaputkea, jolla voidaan korvata vanhaa ja mahdollisesti vaurioitunutta putkea. Yleensä lämpöpintaputki voidaan vaihtaa parempaan (lujempaan) samoilla ulkohalkaisijadimensiolla ja/tai paksummalla seinämällä olevaan putkeen. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että hitsaustyö vaikeutuu ja lämpökäsittely on mahdollisesti tarpeellinen, kun mennään lujempiin ja/tai runsaasti seostettuihin teräksiin. Kattilan käyttäjillä tulisi olla yhteystiedot kattilan toimittajaan, jolloin on mahdollista saada asiantuntevaa teknistä apua ja mahdollisesti materiaaleja kussakin tapauksessa.

Vauriotapauksissa, korjausseisokin aikana, tulisi kiinnittää huomiota niihin tekijöihin, jotka ovat mahdollisesti vaikuttaneet vaurioon. Dokumentointi, esimerkiksi valokuvat, tarkastusraportit ja silmämääräiset havainnot tapahtumapaikalta antavat usein selvyyttä vaurion syistä. Syiden selvitys on tärkeää siksi, että voidaan mahdollisesti poistaa vaurion aiheuttaja tai oleellisin syy, joka on johtanut vaurioon.

3.9.3 Hitsauksen korjaus

Yleisperiaatteena voidaan pitää sitä, että hitsiä voidaan korjata hitsaamalla kaksi kertaa, jos kyseessä on pienehkö hiomalla avattavissa oleva hitsausvirhe. Poikkeuksena valmiiksi hitsatun compound-putken päittäisliitoshitsi, jota ei voi korjata luotettavasti materiaalien sekoittumisen takia.

Korjaushitsauksessa pitää käyttää samaa alkuperäisen hitsin aikaansaamiseksi käytettyä hitsausohjetta. Mikäli ajaudutaan sellaiseen tilanteeseen, jossa lämpöpintaputken hitsi ei täytä laatukriteereitä kahdella korjauskerralla, on perusteltua katkaista alue pois ja asentaa tilalle uusi putki. Tällainen tilanne saattaa helposti syntyä esimerkiksi silloin, kun hitsisulaan tipahtaa kattilassa olevia suoloja. Myös silloin, kun särö on edennyt hitsialueella lämpöpintaputken seinämän läpi, on hyvän lopputuloksen kannalta varmempaa katkaista kyseinen putki vaurion kohdalta, jotta tarkastuksessa on helpompi löytää kaikki mahdolliset särön haarat.

Pintatarkastuksissa esiin tulleet näyttämät hitsin ja perusaineen liittymässä voidaan useasti poistaa pyöreällä viilalla, kunhan varmistetaan, että kyseessä on pienehkö reunahaava tai jyrkkä palon liittymä. Hiontaa/viilausta pitää jatkaa niin pitkälle, että näyttämät poistuvat. Pyöristämisellä saadaan aikaan myös jouhea jännitysjakautuma, jolloin väsymissärön liikkeelle lähtö ei tapahdu niin helposti kuin terävpohjaisesta urasta.



Jos hionta- tai viilaussyvyys hitsin liittymässä perusaineeseen on niin suuri, että sen perusteella voidaan päätellä näyttämän olevan muuta kuin pelkkä hitsausvirhe, on se merkki jostakin merkittävämmästä ilmiöstä. Kyseessä saattaa tällöin olla materiaalin väsyminen ja väsymissärö. Jotta syy väsymiseen pystytään selvittämään, tulisi tehdä vähintään silmämääräisiä tarkistuksia ympäristöstä, jotta nähdään esimerkiksi sidontojen kunto ja niiden osuus vauriossa.



4 SOODAKATTILATARKASTUKSET

Alkuperäinen teksti: Esa Ilves, Keskeytysvakuutusosakeyhtiö Otso

Päivitetty teksti: Inspecta Oy

4.1 Yleistä

Tämä suositus on tarkoitettu käynnissä oleville laitoksille. Valmistuksessa ja korjauksissa toimitaan tuotestandardien mukaisesti ([Vesiputkikattila SFS-EN 12952, jne.](#)).

Määräaikaista vaatimukset tulevat kauppa- ja teollisuusministeriön [päätöksestä painelaiteturvallisuudesta 953/1999](#). Päätöksen mukaan vähimmäisvaatimus on joka toinen vuosi käyttötarkastus, neljän vuoden välein sisäpuolinen tarkastus ja kahdeksan vuoden välein painekoe. Osa määräaikaistarkastuksista voidaan korvata hyväksytyn laitoksen tarkastuskohdetta varten vahvistamalla kunnonvalvontajärjestelmällä, jos se vaikutukseltaan vastaa määräaikaistarkastusta. Kunnonvalvontajärjestelmästä on TUKES julkaissut ohjeen P2-2000.

Tämä suosituksen lähtökohtana on, että soodakattilalle tehdään tarkastuksia jokaisessa huoltoseisokissa. Soodakattilatarkastuksien onnistumisen perusedellytykset ovat:

- Pitkántähtäimen tarkastussuunnitelmat ja tarkastusohjeet
- Pätevöitetyt tarkastajat: EN-pätevyys
- Kunnolliset tarkastusolosuhteet: työturvallisuus, telineet, valaistus ja puhdistus
- Realistinen aikataulu

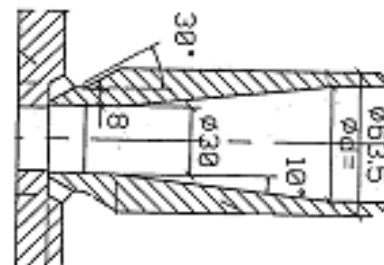
Edes 100 %:lla tarkastuslaajuudellakin kohde tulee vain harvoin täysin luotettavasti tarkastettua. NDT-menetelmät ovatkin toisiaan täydentäviä ja vain harvoin toisiaan täysin korvaavia. Esimerkiksi ultraäänitarkastus paljastaa huonosti kolmiulotteiset viat, kuten esim. huokokset. Röntgen on herkkä säteilykeilan suuntaisille tasomaisille vioille, mutta epäherkkä säteilysuunnasta poikkeaville vioille.

NDT-menetelmien avulla voidaan ohjata hitsauksen laatua. On myös järkevää panostaa hitsausvalvontaan, johon tärkeänä osana kuuluvat menetelmä- ja hitsaajakohtaiset työkokeet. Kun tarkastuslaajuus on vähemmän kuin 100 % tulee, vaaditun tarkastuslaajuuden täyttyä hitsaajakohtaisesti.

Valmistuksen aikana tarkastusmenetelmiä ja -laajuutta arvioitaessa on huomioitava viranomaismääräykset sekä kohteen sijainti sulavesiräjähdystä, korjattavuutta ja käytönaikaisia tarkastuksia ajatellen. Suunnitteluvaiheessa tulee jo arvioida



VUOTO kartion
1'ht;kulmassa

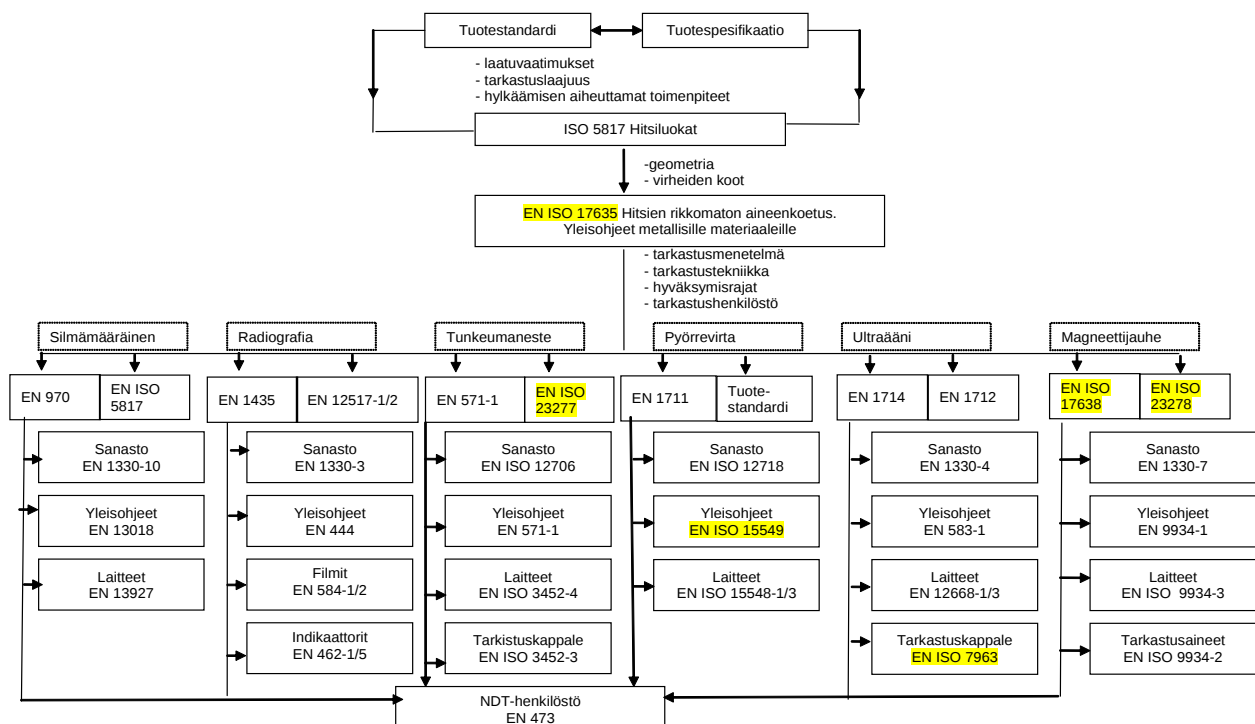


NDT-tarkastusmenetelmät ovat vertaavia, eli tarvitaan kalibrointikappale tai vastaava. Tästä syystä vauriotapauksessa on aina syytä ottaa näytekappale ja säilyttää se tulevia NDT-tarkastuksia ja opetusta silmällä pitäen.

4.2 Tarkastusmenetelmät

Yleisesti NDT-menetelmät voidaan jakaa pintatarkastuksiin ja volymetrisiin tarkastuksiin. Tärkeimmät ja yleisimmin käytettävät tarkastusmenetelmät ovat visuaalinen tarkastus, röntgenkuvaus, ultraääni-, magneettijauhe- ja tunkeumaneste- ja pyörrevirtatarkastus.

Yleisellä tasolla NDT-menetelmien käytöstä saa hyvän kuvan standardista [SFS-EN-ISO 17635](#), jossa on annettu suositukset hitsien tarkastamiselle eri materiaaleille ja menetelmille.



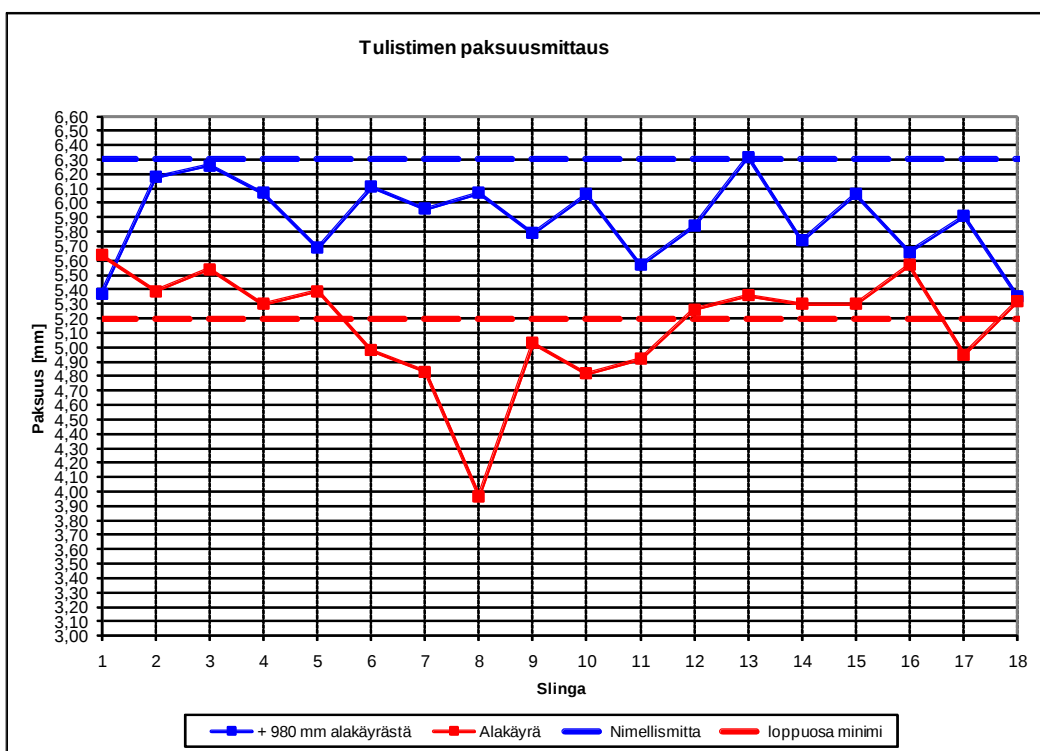
Kuva 4-2. Kaaviossa on esitetty vuoden 2010 lopussa voimassa ja työn alla olevat hitsien tarkastukseen liittyvät standardit. Tarkemmin standardit löytyvät linkin (http://www.metsta.fi/standardisointialueet/Kansalliset_komiteat/K89.php) kohdasta NDT standardisoinnin tilannekatsaus. Standardien päivityksestä löytyy myös tietoa MetSta:n nettisivuilta kohdasta standardisointialueet

4.2.1 Silmämääräinen tarkastus/VT (visual testing)

- Menetelmistä kaikkein tärkein, jolla havaitaan parhaiten kattilassa tapahtuneet muutokset.
- Hitsien silmämääräinen tarkastus [SFS-EN 17637](#)
- Nykyisin testaajilta vaaditaan EN-pätevyys
- Tekijän on tunnettava kattilan rakenne ja mahdolliset vauriomekanismit
- Vaatii hyvän valaistuksen
- Suurennuslasi ja peili ovat usein välttämättömiä apuvälineitä
- Käytä valokuvausta ja videointia!
- Endoskooppi hyvä apuväline

4.2.2 Paksuusmittaus/ TM (thickness measurement)

- Paksuusmittauksesta on oma standardi [SFS-EN 14127-2 ”Paksuusmittaus ultraäänellä”](#)
- Mittauksissa suositellaan käytettäväksi a-kuvallista mittalaitetta. A-kuvassa x-akseli kertoo näyttämän paikan (aika / mm) ja y-akseli näyttämän amplitudin.
- A-kuva mahdollistaa taustakaiun ja kerrannaiskaikujen vaimenemisen seuraamisen, mikä antaa viitteitä sisäpuolisesta likaantumisesta tai korroosiosta.
- Vaativissa mittauskohteissa suositellaan tarkastajalle UT:n EN-pätevyyttä.
- Ohentuminen voi olla epäsymmetristä: esim. seinäputken mittauksessa mittausikkuna on evästä evään.
- Kohdassa erikoismenetelmät käsitellään muita paksuusmäärittämis menetelmiä mm. EMAT ja RFET.



Kuva 4-3. Tulistimen paksuusmittaustulokset kaaviona.

Kuvassa 5-3 punainen suoraviiva kuvaa kohteen laskennallista minimiä. Ennen paksuusmittauksien suorittamista on kyseisen kohteen kriittiset rajat selvitettävä tarkastuksien vetäjille ja ennen kaikkea mittauksia suorittaville henkilöille, jotta alimittaisuudesta saadaan välittömästi tieto kattilanomistajalle.

4.2.3 Magneettijauh tarkastus / MT (magnetic particle examination)

- Hitsausliitosten magneettijauh tarkastuksen standardit ([SFS-EN ISO 17638 ”Hitsien rikkomaton aineenkoetus, Magneettijauh tarkastus”](#), vahvistettu 23.8.2010, vanha SFS-EN 1290).
- Testaajalta vaaditaan EN-pätevyys.
- Pintamenetelmä, jossa kohteen on oltava magnetoituva ferriittinen teräs (hiiliteräs), jolloin lähes aina on suositeltavaa käyttää magneettijauh tarkastusta haettaessa särötyyppejä vikoja.

- Fluoresoiva menetelmä parantaa tarkastuksen herkkyyttä, mutta vaatii hämärän ympäristön ja ultraviolettilampun.
- Magneettijauhetarkastuksessa on myös sovellettu vieruskaapelimenetelmää, joka mahdollistaa ahtaiden kohteiden tarkastamisen ("putkirykelmät").
- Päähöyryputkiston MT tarkastukset on suositeltavaa tehdä fluoresoivalla menetelmällä hiotulle (n 120 Grit) pinnalle, kun etsitään virumisen aiheuttamia säröjä.

4.2.4 Tunkeumanestetarkastus / PT (liquid penetrant examination)

- Hitsausliitosten tunkeumanestetarkastuksen standardit: [SFS-EN ISO 23277](#) "Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat". vahvistettu 27.4.2015. Vanha SFS-EN 1289, SFS-EN571-1 "Rikkomaton aineenkoetus. Tukeumanestetarkastus. Osa 1. Yleisperiaatteet"
- Testaajalta vaaditaan EN-pätevyys.
- Pintamenetelmä, joka soveltuu kaikille paitsi huokoisille materiaaleille.
- Paljastaa pintaan asti ulottuvat viat (myös pintahuokokset ja kuonan, jotka eivät näy luotettavasti magneettijauhetarkastuksessa)
- Vaatii pinnan puhdistamisen metallipinnalle.

Kattilaolosuhteissa on suositeltavaa käyttää fluoresoivaa menetelmää, joka helpottaa tunkeumanesteen poistoa/puhdistusta erityisesti silloin, kun käytetään vedellä poistettavaa tunkeumanestettä. Riittävä puhtausaste nähdään heti uv-valossa eikä kohdetta tarvitse puhdistaa varmuuden vuoksi, kuten värillisellä menetelmällä joudutaan tekemään. Jos puhtausaste ei ole riittävä, lian aiheuttamat indikaatiot peittävät todelliset viat. Mikäli epäillään esim. kattilapesun aiheuttamaa kosteutta säröissä, niin rakenne on kuivattava. Apuna voidaan käyttää lämmittämistä (vältettävä suoraa liekkiä) tai kehitettä, jolla imetään kosteus ennen tunkeumanesteen levitystä.

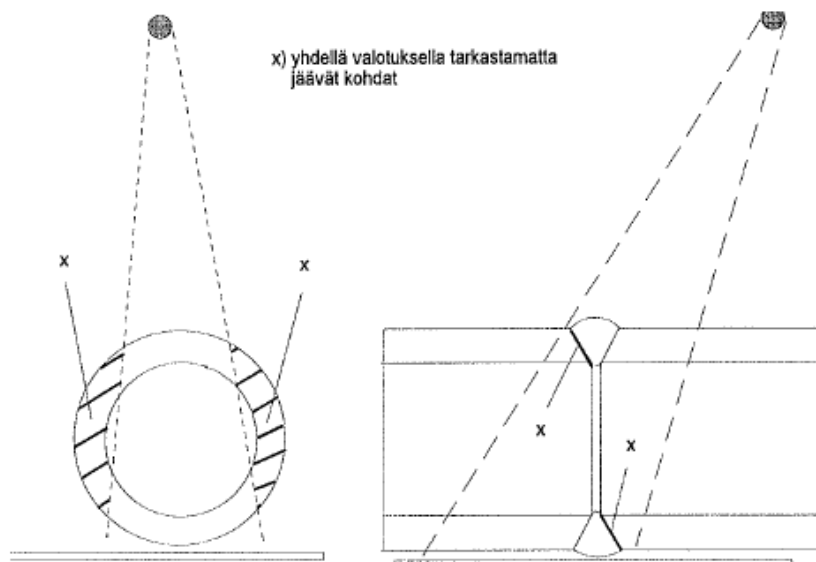


Kuva 4-4. Fluoresoivalla tunkeumanesteellä tarkastetun pohjan särönäyttämiä

4.2.5 Radiografia/RT (radiographic examination)

- Standardit:
 - [SFS EN ISO 17636 -1 "Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 1: X- and gamma-ray techniques with film"](#) vahvistettu 4.3.2013
 - [SFS EN ISO 17636 -2 "Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors"](#) vahvistettu 4.3.2013

- [SFS-EN 10675-1 ”Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Osa 1: Teräksestä, nikkelistä, titaanista ja niiden seoksista hitsattujen hitsausliitosten arviointi radiografisella kuvauksella. Hyväksymisrajat”](#). Vahvistettu 7.10.2013
- Tarkastajalta vaaditaan EN-pätevyys
- Volymetrinen tarkastus, joka soveltuu erityisesti kolmiulotteisten vikojen, kuten huokosten ja kuonan toteamiseen.
- Lineaaristen vikojen, kuten liitosvikojen ja halkeamien suhteen valotus on tehtävä vian suuntaisesti. Kuvassa 5-5 on esitetty ellipsikuvauksessa yhdellä valotuksella tarkastamatta jäävät alueet. Hitsin täysin kattava röntgenkuvaus vaatii 4 valotusta, mikä jo kustannussyistä jää toteutumatta.
- Säteilylähteinä voidaan käyttää isotooppeja, puoli- ja tasavirta röntgen koneita sekä pulssikoneita (digitaalinen)
- Röntgen kuvauksen kohteet kunnonseurannassa ovat mm. korroosiokuvaus myös eristeiden läpi, ruiskujen kunto rakennetta purkamatta, jne.
- Digitaalinen radiografia tulee yleistymään kunnonseurannassa, koska se on reaaliaikaista, nopeampaa verrattuna filmitekniikkaan, rajalliset säteilymäärät ja säteilykeilan suuntaaminen mahdollista.



Kuva 4-5. Ellipsikuvauksessa yhdellä valotuksella tarkastamatta jäävät alueet.

Soodakattilaympäristöön soveltuvana sovelluksena on isotoopilla suoritettu korroosiokuvaus.

4.2.6 Ultraäänitarkastus / UT (ultrasonic examination)

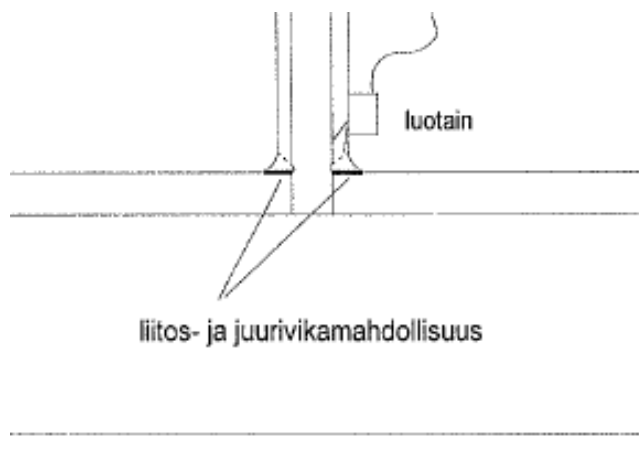
Standardit:

- [SFS-EN 11666 ”Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus Hyväksymisrajat”](#) (vanha SFS-EN-1712 sekä 1714)
- ”
- [SFS-EN ISO 23279 ” Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyypin määrittäminen”](#) (vahvistettu 19.11.2010, vanha SFS-EN 1713)

Ultraäänitarkastus on volymetrinen menetelmä, joka paljastaa kaksidimensionaaliset viat, kuten liitosvian ja halkeaman. Lineaarisen vian on kuitenkin oltava lähes

kohtisuoraan äänikeilaan nähden, mikä paksummassa aineessa edellyttää useamman luotauskulman käyttämistä. Nykyaikaisella vaiheistetulla UT-tarkastuslaitteistolla mahdollistaa useamman luotauskulman samanaikaisen käytön yhdellä scannauksella. Hitsiin nähden poikittaiset viat vaativat hitsin suuntaisen luotauksen. Hitsien tarkastuksessa UT-menetelmää on syytä täydentää pintamenetelmillä, jotta kaiken suuntaiset pintaviat todetaan.

Ultraäänitarkastusta käytetään nykyisin menestyksekkäästi standardin vastaisesti ohuiden materiaalien (seinämä < 8 mm) tarkastuksessa. Esim. jakotukin ja putken välistä pienaliitosta (kuva 5-6), jossa liitosvian mahdollisuus on suurempi kuin päittäisliitoksessa, ei voida tarkastaa röntgenkuvauksella. Ultraäänitestauksen herkkyys vikojen suhteen (ei herkkä kolmeulotteisille vioille) ei ole sama kuin optimikulmassa tehdyllä röntgenkuvauksella, mutta se on nopeampi suorittaa eikä vaadi kattilan tyhjentämistä muista työntekijöistä. Tarkastuksen luotettavuutta voidaan parantaa magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastuksella ja/tai pistokoeluontoisella röntgenkuvauksella (kuona ja huokoset).



Kuva 4-6. Jakotukin ja putken välinen pienaliitos.

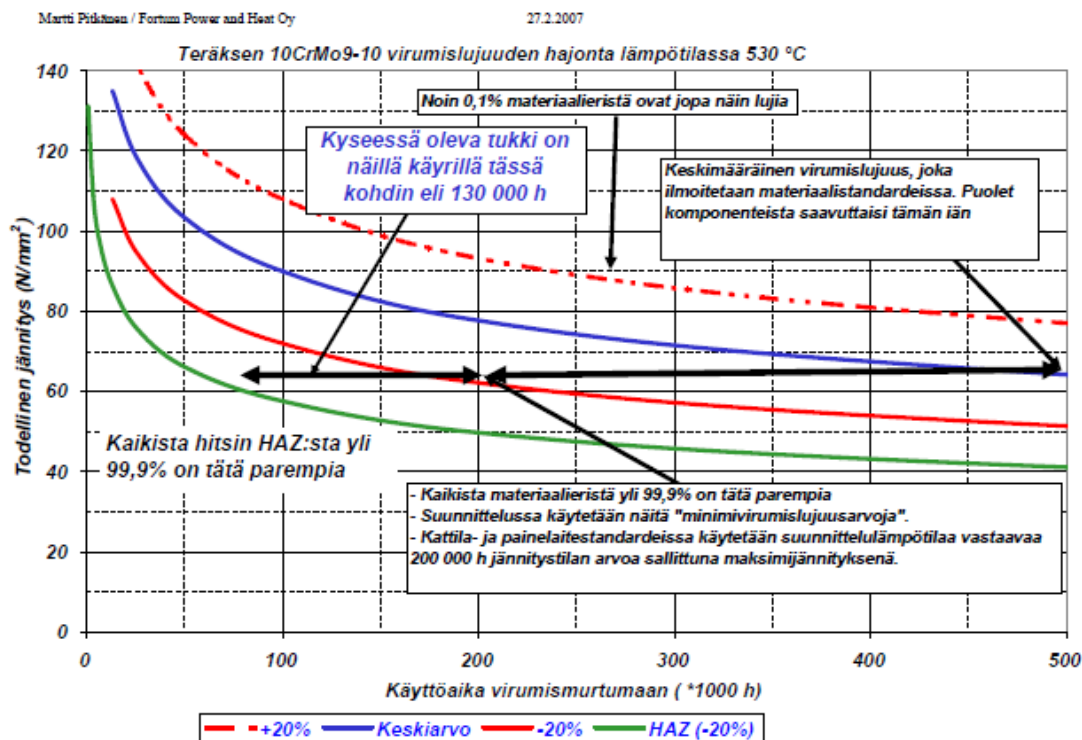
4.2.7 Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing)

- SFS-EN 1711 “Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien pyörrevirtatarkastus kompleksitasoanalyysillä”
- Ei reagoi veteen
- Maalikalvo mahdollinen
- Soodakattilan pohjan pyörrevirtatarkastus
- Pohjan compound-tarkastus
- Särön syvyyden määrittäminen, kalvonpaksuuden määrittäminen
- Suurin käyttö on lämmönvaihtimien putkien sisäpuolisessa tarkastuksessa, kun kyseessä on sähköä johtava metalli
- Käytetään myös pintatarkastusmenetelmänä (myös ferriittinen teräs)

- Erikoissovellutuksina ferriittisen materiaalin tarkastukset kaukokenttä- (RFET) ja magneettinen vuotokenttä (MFL) menetelmillä.

4.2.8 Jäljennemenetelmä/REP (replica)

- Paineastiat ja putkistot
- Virumisasteen arviointi SFS 3280 / [ISO 3057](#) / Nordtest ohjeen mukaisesti.
- Menetelmällä määritetään metallin virumis- ja hajaantumisasie mikrorakenteesta jäljenteen avulla. Viruminen alkaa tyypillisesti yli 450 °C lämpötiloista ja on materiaalista riippuvainen.
- Ennen hitsien jäljennetarkastusta suoritetaan aina magneettijauhetarkastus fluoresoivalla menetelmällä, jolla saadaan lisäarvoa tarkastukseen.
- Jäljennemenetelmällä voidaan paljastaa virumisasteen lisäksi ylikuumeneminen ja selvittää säröilyn syytä ainetta rikkomatta.



© Fortum Power and Heat 2007

Kuva 4-7. 10CrMo9-10 KP-tukin perusaineen ja hitsin virumislujuuden hajonta ja käyttäytyminen käyttötuntien mukaan. Perusmateriaalille suunniteltu käyttöikä 200 000 h (-20%) saattaa HAZ-alueella pudota jopa alle 100 000 käyttötuntin n 60 N/mm² jännitystasolla. Syynä tähän HAZ:n heikompi virumislujuus /Fortum Service, Martti Pitkänen/.

Virumisen mukaan mitoitettujen komponenttien hitsien kuntoon pitää kiinnittää erityistä huomiota ja aloittaa tarkastukset kriittisten komponenttien osalta selvästi ennen suunnittelussa käytettyä elinikää. Kriittiset komponentit päähöyryputkistossa ovat mm. T-haarat ja jakotukit, joissa yhdeputken halkaisija on hyvin lähellä itse pääputkea.

4.2.9 Endoskooppitarkastus/END (endoscopy)



- Endoskoopilla tai putkistokameralla päästää tarkastamaan rakenteita ahtaissa kohteissa, kuten putkissa, onkaloissa ja raoissa.
- Menetelmällä täydennetään sisäpuolista tarkastusta
- Nykyisillä endoskoopeilla on mahdollista mitoitaa vikoja ja näyttämiä käyttämällä varjostavia tai stereolinssejä. Samalla ne mahdollistavat videoinnin ja valokuvauksen.

4.2.10 Akustinen emissioseuranta / AE (acoustic emission)

- Painekekkeiden ja rakenteiden käytönaikainen valvonta
- Voidaan käyttää rakenteen kuunteluun säröilyn ja rasituksien toteamiseksi sekä atmosfäärin kuunteluun vuotojen ilmaisemiseksi. Putkirikko kasvaa vuodon seurauksena ja pienikin vuoto voi aiheuttaa viereisen putken vaurioitumisen, mikä lisää esim. sulavesiräjähdyriskiä.
- Rakenteen kuuntelu tehdään aaltotankojen (hitsattu putkeen) välityksellä. Ne mahdollistavat antureiden asennuksen eristeen ulkopuolelle ja samalla pudottavat antureiden lämpötilaa.
- AE-seuranta auttaa ohjaamaan muiden tarkastusmenetelmien käyttöä.
- Antaa tietoa ajokäyttäytymisen vaikutuksista ja siitä, missä vaiheessa käyttöä vioittuminen mahdollisesti tapahtuu.

4.2.11 Lämpökuvaus (thermography)

- Lämpökamera mittaa kohteiden lähettämää lämpösäteilyä (infrapuna-aallonpituus), joka voidaan muuttaa lämpötiloiksi kalibroinnin avulla.
- Voidaan käyttää laajasti kunnonseurannassa laitoksen käynninaikana.
- Lämpökuvaus on nopea menetelmä tarkastella laajoja alueita ja useita kohteita samanaikaisesti.
- Lämpökameran käyttö edellyttää menetelmän syvällistä osaamisesta (emissiivisyys, lämmönsiirtyminen...)
- On käytetty mm. kattilan täytön seurannassa.

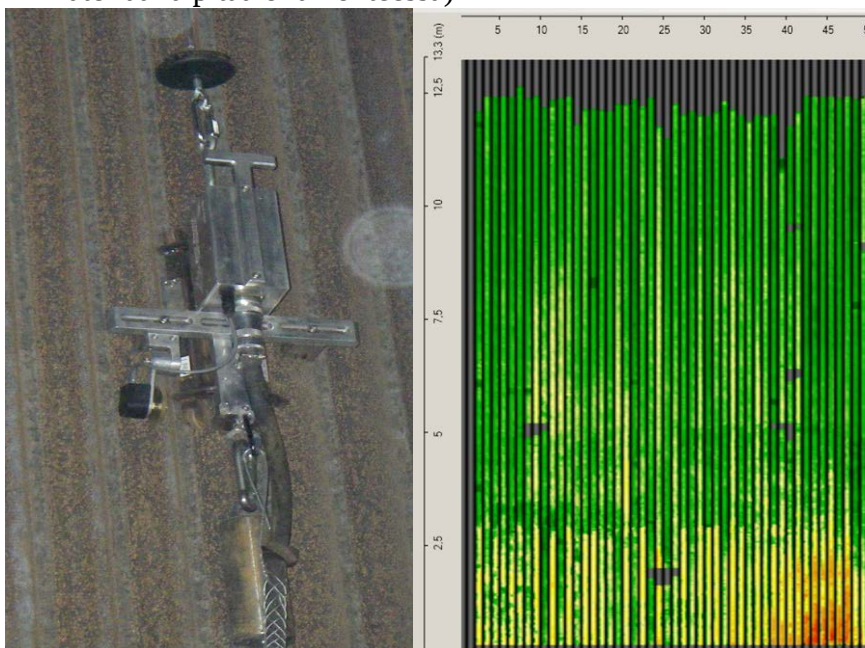
4.2.12 Kovuusmittaus/HT (hardness test)

- Kovuusmittaus korreloi hyvin mittauskohteen lujuusominaisuuksien kanssa.
- Kovuusmittaustulokset kertovat materiaaliteknisistä muutoksista esim. vauriotilanteissa.
- Hitsauksen laadunhallinta (HAZ kovuus piikit) päähöyryputkistossa.
- Kovuusmittausmenetelmä pitää valita kohteen mukaan (materiaali, ainevahvuudet jne..)
- Pinnanlaatu vaikuttaa oleellisesti mittaustulosten hajontaa, minkä tähden pitää pyrkiä vähintään 220 karheuteen.
- Tarkempia tietoja ja sovellusohjeita eri menetelmistä löytyy laitevalmistajan sivuilta.

4.2.13 T-Scan paksuusmittaus

Kattilan seinämät ja tulistimet ovat mahdollista paksuus mitata suurella laajuudella (lähes 100 %:sti) käyttämällä T-Scan tekniikkaa.

- Tekniikka perustuu EMAT-antureihin (Electro Magnetic Acoustic Transducer), joissa ei tarvita erillistä kytkentäainetta.
- Tarkkuus sama kun perinteisellä UT:llä
- Kattilan seinämäputkien paksuudet voidaan mitata kolmella mittalinjalla, joista jokainen mittaa 15 mm leveää kaistaa
- Mittaustiheys jopa 1 mm välein.
- Menetelmä on erittäin herkkä asteittaiselle kulumiselle.
- Voidaan tarkastaa putkia jotka ovat pinnanlaadultaan huonoja – ilman hiontaa.
- Menetelmällä on mahdollista tarkastaa pinnoitettuja ja compound putkia (ferriittistä materiaalia pitää olla kohteessa)



Kuva 4-8. T-scan laitteisto kattilan seinällä ja Client ohjelmiston tuottamaa visuaalista paksuusmittaustulosta tarkastuksista.

4.2.14 IRIS-tekniikka

- Ultraäänitekniikkaan perustuva menetelmä, joka soveltuu ferriittisten tuubien sisäpuoliseen tarkastukseen
- Putken suunnassa lähetetty ääni käännetään peilin avulla putken seinämän suuntaan putken ollessa vesitäytössä ja peiliä pyöritetään vesiturpiinilla tai sähköisesti.
- Menetelmä on tarkempi kuin pyörrevirtamenetelmällä tehty tarkastus, mutta huomattavasti hitaampi ja työläämpi.
- Iris-anturi tulee olla kohtuullisesti, mitattavan putken kokoinen

4.2.15 Sisäpuolisen kerrostuman / magnetiittikalvon paksuusmittaus

Kattilaputken sisäpintaa suojaa normaalisti magnetiittikerros, jonka paksuus vaihtelee 10 µm:stä 200 µm:iin. Vedenkäsittelyongelmat voivat kasvattaa magnetiittikalvon paksuutta tai aiheuttaa erilaisista epäpuhtauksista koostuvan kerrostuman, jonka alle saattaa syntyä korroosioaurio, mikä pahimmillaan on aiheuttanut ns. vetyhyökkäyksen.

Vetyhyökkäysriski on pahin siellä, missä lämpökuorma on suurin. Kuvassa 5-9 on lämpövuon jakautuminen etuseinän keskellä primääritason alapuolelta nokan tasolle kattilassa, jossa perinteisesti laskettuna keskimääräinen lämpövuoto 90 kW/m^2 . Kuvan mukaan primaari-ilma-aukkojen alueella lämpövuoto ylittää 230 kW/m^2 .

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

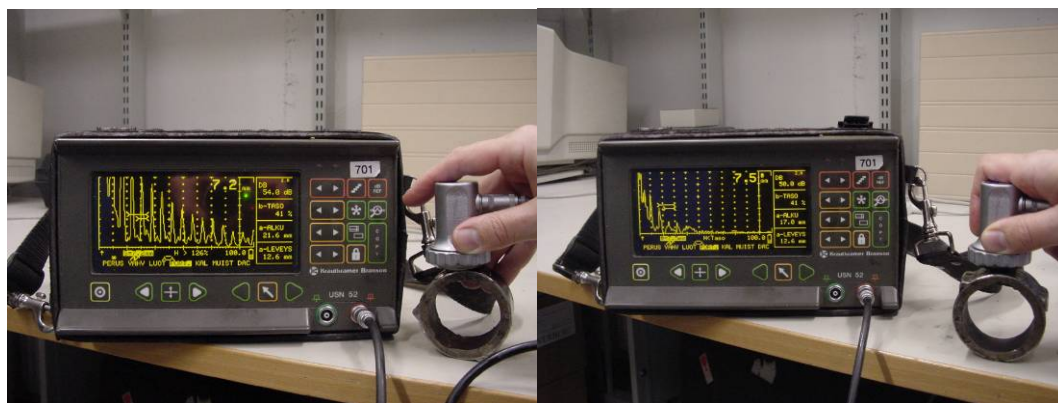
Kuva 4-9. Lämpövuon jakaantuminen kattilan etuseinällä.

Korroosiovaurioita on todettu kohdissa, jossa virtaus häiriintyy. Tällaisia paikkoja ovat aukkojen ohitusputket (käyrät) ja hitsien vierusalueet, jonka syynä ovat ylisuuret juurikuvut. Vaurioriskiä lisää ylileveät evärakenteet, jotka kasvattavat paikallista lämpövuotoa.

Vetyhyökkäys aiheuttaa aina sulavesiräjähdyksriskin ja mittavat korjaustoimenpiteet.

Ilmiötä voi tutkia ultraäänimenetelmillä seuraavasti:

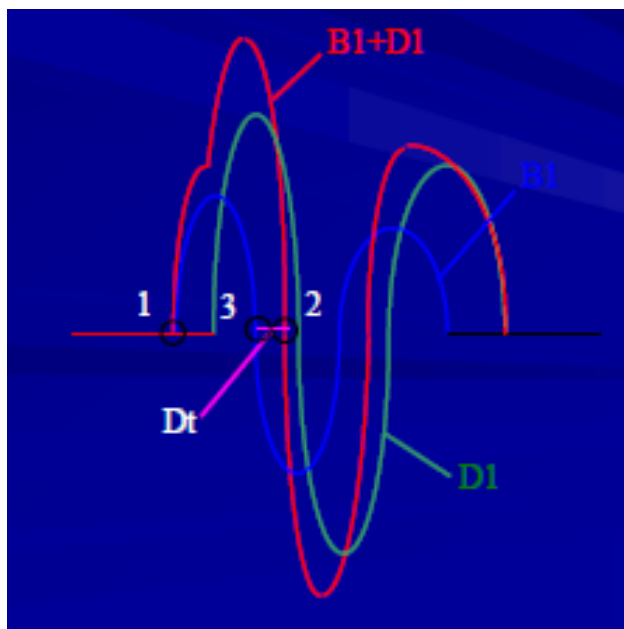
Alkava sisäpinnan korroosio tai paksu epäpuhtauksista koostuva kerros vaimentaa ultraääntä voimakkaasti. Normaalisti ultraäänilaitteen a-näytössä näkyy useampi taustakaiku kuten kuvan 5-10 vasemman puoleisessa a-näytössä. Jos korroosiovaihe on alkanut tai sisäpinnalla on paksu epäpuhtauksista koostuva kerros, niin taustakaikut vaimenevat voimakkaasti kuten kuvan oikean puoleisessa näytössä. Vaimennuksen arviointi vaatii kuitenkin tarkastajalta kokemusta, sillä vaimennukseen vaikuttaa ulkopinnan kunto/puhtaus ja käyrissä geometria.



Kuva 4-10. A-näytöt ehjästä putkesta ja vetyhyökkäyskohdalta.

Kerrostuman tarkempi määrittäminen perustuu kahteen ultratekniikkaan. Sisäpuolisen magnetiitin paksuuden määrittämisen mittaustekniikka perustuu korkeaan taajuuteen ja poikittaiseen aaltomuotoon. Poikittainen aaltomuoto mahdollistaa ohuemman kalvonpaksuuden mittaamisen. Tällä menetelmällä on voitu mitata magnetiittipaksuuksia $80 \mu\text{m}$:stä ylöspäin.

Toinen kerrostuman paksuuden mittaaminen perustuu siihen, että kerrostuma-ilman/veden rajapinnasta heijastuva aalto levantää signaalia verrattuna puhtaasta metalli-ilma/vesi signaaliin, katso kuva 5-11. Tässä mittauksessa käytetään pitkittäistä aaltomuotoa ja menetelmällä luvataan päästävän jopa 20–40 µm minipaksuuteen.



Kuva 4-11. Ultraäänikaikujen käyttäytyminen saostuma/putki rajapinnassa

Molemmat tarkemmat mittaustavat vaativat erillisen kalibroitipalan, jolla varmennetaan äänennopeus kerrostumassa.

Sisäpuolisen kerrostuman mittauksissa on muistettava, että ongelmakohdat saattavat olla hyvin paikallisia. Jos kattilassa todetaan epäpuhtauksia ja edellä olevat mittaustavat antavat viitteitä sisäpuolisista kerrostumista, niin varmin tapa on ottaa kattilasta näytepalat, joista mitataan laboratoriossa kerrostumien paksuus ja koostumus. NDT-menetelmät kohdistavat näytepalojen oton ongelmakohtiin.

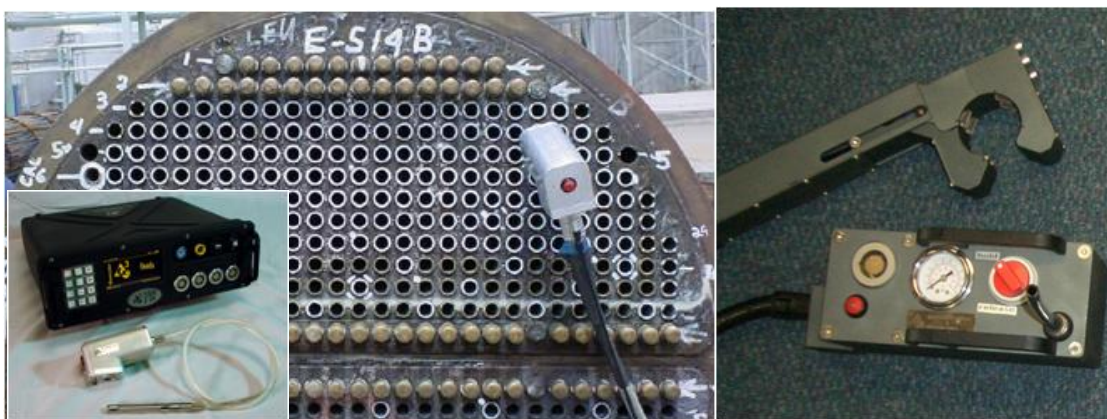
4.2.16 Guided Wave

Guided Wave tekniikka perustuu ultraääneen, joka on matalataajuisia ja etenee materiaalin pinnansuuntaisesti. Guided Wave on suuntaa-antava menetelmä, jota on hyödyllistä käyttää putkistojen ei luoksepäästävässä osissa. Guided Wavella saadut mittatulokset on hyvä tarkastaa lähemmin esimerkiksi käsivaraisilla laitteistoilla. Guided Waven vahvuus onkin saada suuntaa-antavaa tietoa, mistä kohdin esim. maanalaiset putkistot on syytä kaivaa esiin ja tarkastaa lähemmin.

- Menetelmä havaitsee muutoksia putkien poikkipinta-alassa.
- Tekniikan herkkyys on 5 % poikkipinta-alasta.

- Tekniikalla on mahdollista luoda jopa satoja metrejä anturipannasta molempiin suuntiin.
- Testaus tehdään normaalisti asentamalla kiinteä tai ilmatäytteinen lähetinrengas putken ulkopinnalta.

Tekniikan uusia sovelluskohteita on mm. lämmönsiirtimien tarkastaminen synnyttämällä ultraääni putken sisäpinnan kautta. Guided Wavesta on olemassa samantyyppisiä sovelluksia, kuten Iris-tarkastuksessakin, mutta GW on enemmänkin suuntaa-antava sovellus ja Iris on näistä kahdesta menetelmästä se tarkempi.



Kuva 4-12. Guided wave laitteiston sovelluksia lämmönvaihtimelle sekä tuubiputkistolle /Guided ultrasonics ltd/.

4.2.17 RFET (kaukokenttämenetelmä pyörrevirtatekniikalla, Remote Field Electromagnetic Technique)

Sisäpuolinen pyörrevirtatarkastus ferriittisille putkille, jolla voidaan todeta laaja-alaiset ohentumat (esim. nuohojen aiheuttama kuluma). Esimerkiksi keittopintaputkien ohenemien mittaus.



Kuva 4-13. RFET laitteisto putkiston tarkastukseen /Testex Incorporation/

4.2.18 Magneettinen vuotokenttätarkastus (MFL)



Tarkastettava kohde magnetoidaan kestopagneetilla ja ylä- tai alapinnalla olevien vikojen synnyttämä magneettinen vuotokenttä havaitaan Hall-anturilla. Erityisen käyttökelpoinen menetelmä on pistesyöpymien ja paikallisten korroosioaurioiden paikantamiseen silloin, kun kohde on ferromagneettista materiaalia 6-20 mm paksuusalueella. Menetelmällä paikannetaan vikakohdat, joiden tarkempi analysointi suoritetaan esim. ultraäänimenetelmällä. MFL:n tarkastusherkkyyys on riippuvainen kohteen paksuudesta. Menetelmä ei ole herkkä havaitsemaan tasaisesti ohentunutta laaja-alaista syöpymää. Tänä päivänä löytyy laitteita, joissa on yhdistetty ET- ja MF-tekniikka.

4.2.19 Jäännös jännitystilat

Materiaalin jäännösjännitystiloja voidaan mitata ainetta rikkomatta. Mittausmenetelmät perustuvat barkhausenin-kohinaan ja röntgendiffraktioon.

Barkhausen-kohina on materiaalista mitattava magneettinen parametri. Se on riippuvainen jäännösjännityksistä. Menetelmä vaatii kalibrointipalat, joihin tarkastuskohdetta verrataan.

Röntgendiffraktio menetelmässä mitataan jännitysten kiteisessä metallissa synnyttämien siirtymien aiheuttamia muutoksia hilavakioissa. Tutkittavaan näytteeseen kohdistetaan röntgensäde kahdessa kulmassa. Intensiteetinhuippukohdan ja muodon perusteella voidaan laskea vastaava jännitystila. Mittausherkkyyys on noin 50 N/mm².

4.2.20 Ainetta rikkovat tarkastukset

Vauriotapauksessa ja materiaaliselvityksissä on aina syytä ottaa kunnolliset näytepalat, joita voidaan myöhemmin laboratoriossa tutkia. **Näytepalojen turhaa puhdistusta ja käsittelyä on vältettävä. Jos mahdollista on näyte irrotettava sahaamalla, jotta materiaaliominaisuudet eivät muutu.** Riittävän taustatiedon kerääminen on erittäin tärkeää, joka korostuu vauriotapauksissa.

4.3 Tarkastettavat kohteet

Liitteessä I on esitetty luettelomaisesti seisokinaikaiset tarkastuskohteen, vikaantumismekanismin ja soveltuvan tarkastusmenetelmän mukaan.



Listaus on suuntaa antava, eikä voi olla täydellinen, kun otetaan huomioon kattiloiden ikäjakauma sekä erilaiset rakenteet ja ajotavat.

4.4 Vesipainekoe korjausten jälkeen

Kattilan korjauksen jälkeen yleensä suoritetaan painekoe, jolla varmistetaan kattilan tiiveys ja käytettävyys ennen starttia. Paineekokeen suorituksessa voidaan soveltaa standardin [SFS-EN 12952-6](#) kohtaa 10.2 kuitenkin siten, että painekokeen koepaine on enintään 1,3 X suurin sallittu käyttöpaine. Koepainetta määritettäessä voidaan huomioida korjauksen laajuus ja kohta (tulipesä, tulistin tai ekonomaiseri), seuraavaan määräaikaistarkastukseen liittyvän painekokeen ajankohta jne. Vähintään koepaineen pitäisi olla 1.1 X suurin sallittu käyttöpaine.

Paineekokeessa käytettävän veden lämpötilaa määritettäessä tulee ottaa huomioon kattilan materiaalien haurasmurtumavaara ja vanhempien kattiloiden osalta voidaan joutua ylittämään em. standardin yläraja +50 °C.

Paineekokeessa koepaineen tasaannuttua tarkastetaan silmämääräisesti paitsi korjauskohdat myös kattilan painerunko mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi, joita ei NDT-menetelmillä ole havaittu tai jotka ovat syntyneet painekokeen yhteydessä. Kattilan sisäosien tarkastuksessa tulee huomioida työturvallisuus ja laskea koepaine arvoon, jossa tarkastus on turvallista tehdä.

Paineekokeessa käytettävän veden lämpötila, koepaine ja mihin arvoon paine sisäpuolen tarkastuksessa lasketaan sovitaan tapauskohtaisesti painelaitetarkastajan kanssa.

4.5 Dokumentointi

Kaikista tarkastuksista, mukaan lukien silmämääräiset ja toteamisluontoiset tarkastukset, on tehtävä selkeät pöytäkirjat ja raportit, joista selviää erityisesti korjaustarpeet. Korjauskohdat on myös merkittävä selvästi itse kohteisiin, jotta korjaukset kohdentuvat varmasti oikeisiin paikkoihin.

Pöytäkirjat on syytä tehdä heti tarkastuksen jälkeen, jolloin asiat ovat vielä tuoreessa muistissa. Tarkastuksista ja korjauksista tulee tehdä yhteenveto, joka auttaa myöhemmissä tarkasteluissa.

Dokumentointiin on saatavissa ATK-ohjelmia, joihin voidaan liittää mm hitsausohjeita, pitkántähtäimensuunnitelmia jne.



LIITTEET

Liite 1 Komponenttikohtaiset suositukset NDT-tarkastuksille

LIITE 1

Komponenttikohtaiset suositukset NDT-tarkastuksille

SEISOKINAIKAISET TARKASTUSKOHTEET JA MENETELMÄT

Visuaalinen tarkastus oletetaan tehtävän kaikille komponenteille aina, eikä mainita alla olevassa menetelmä kohdassa ilman erityistä tarvetta.

Kohde	Menetelmä	Kommentit
Syöttövesisäiliö	MT, TM	Saumat. Kaasunpoistimien visuaalinen tarkastus. Erityishuomio hienorakenneteräksissä säiliöissä ”Raex”.
Syöttövesilinja	TM, RT, VT	Eroosio/korroosio mm venttiilien ja mittauslaippojen jälkeen sekä käyrissä.
Päähöyrylinja	MT, REP, HT	Viruminen. Erityisesti isot yhteen ja liitokset sekä venttiilit. MT tarkastus suoritetaan hiotetulta pinnalta fluoresoivalla menetelmällä.
Tulistimet	MT, REP, HT TM MT VT, TM VT, (TM) VT, REP, HT, OK Digi RT	Viruminen, kammiot Eroosio/korroosio, tulistinputkien alakäyrät mukaan lukien paketista ulos tulleet käyrät. Sidehitsien päät. Suolavuodot kattokaappien läpivientikohdissa voivat olla putkivaurioiden esiaste. Nuohoimien kohdat joka seisokissa (eroosio/korroosio paketista irti päässeissä putkissa). Putkien värin ja muodon muutokset voivat johtua ylikuumenemisesta. Roikkutulistimien pohjakäyrien kerrostuma / vierasesineet
Höyryn jäähdyttimet	END, RT	Sisäkartion ja ruiskutussuuttimen kunto. Huomioi suuttimen eheys yhdekappaleen sisällä
Verhot/nokat	TM VT	Korroosio/eroosio. Kolhut ja muotovirheet (kamat)
Tulipesän seinät	TM VT, PT RT tai UT, PT VT, TM	Paksuusmittaus linjoittain (huomioi epäsymmetrinen oheneminen). Säröt/syöpymä compound/hiiliteräs-hitseissä. Jatkohitsit: kriittisimmät sularännien ympäristön hitsit (terminen rasisitus). Evien eroosio / korroosio (jos silmämääräisesti havaitaan ”kulumaa” -> TM)
Seinät (eristepuoli)	VT, TM	Hiiliteräksen syöpyminen (onko ulkopuolelta pinnoittamattomia compound-hitsejä?).
Aukot	VT, PT TM	Säröt ilma-aukkojen ja sularännien ohitusputkissa ja evärakenteissa. Katso Kuva L3 Aukkojen reunaputket. Huomioi kaikukäyttäytyminen (huono vesikemia)
Pohja/compound	VT PT, ET TM	Syöpymät ja kolhut. Katso Kuva L4 ja L5 Koko pohjan alue. Fluoresoiva menetelmä ja pohjan kuivaus (katso ETY:n ohje). Sivuseinien tiivistelyissä on tavattu alapuolista korroosiota (hiiliteräksen puoli). Katso Kuva L4
Pohja/hiiliteräs	VT, TM	Korroosio on usein hyvin tasaista, jonka johdosta oheneminen selviää vain paksuusmittauksella. Hitsien, compound-alueen ja tiivisterautojen tarkastus tehdään kuten edellä.
Pohjakaappi	VT	Sulavuodot ja muodonmuutokset
Lieriöt	VT MT UT	Sisäpuolinen tarkastus ennen puhdistustoimia, sillä pahimmat säröt/halkeamat näkyvät ruostejätkinä Sisäpinnan tarkastus vaipan ja päätyjen hitseille (myös juoksuputket, miesluukut, miesluukkujen saranat ja muiden varusteiden pienasaumat) sekä reikäkenttäalueet ja alalieriön pohja-alue pistokoeluonteisesti. Vaipan ja päätyjen hitsit. Onko esim. pääty/miesluukku-hitsissä rakenteellinen juurivirhe?
Keittopintaputkisto	VT	Keittopintaputkien päät lieriön sisäpuolelta ja putkien syöpyminen ulkopuolelta.

	TM UT VT, TM	Keittopintaputken korroosio lieriön vaipan kohdalla mankelointikohdan vieressä: tarkastus suoritetaan luotainpidikkeen avulla tai ultraääneen perustavalla IRIS-laitteella, joka vaatii kuitenkin putken vesitäytön. Huonon tuennan aiheuttama säröytyminen mankelointikohdan vieressä. Tarkastus tehdään pidikkeellä kuten edellä, mutta kulmaluotaimella. Nuohoimien kohdat.
Veden esilämmitin (ekonomaiserit)	TM TM, UT VT, TM PT, MT	Eroosio vesipuolella maksimivirtauskohdissa, kammiot ja yhdysputket. Jos syöttöveden lämpötila on alle 120°C, saattaa ilmetä kastepistesyöpymää aivan alakammion vieressä putkessa ja putki/alakammio-hitsissä Nuohoimien kohdat sekä paikat joihin kerääntyy suolaa (esim. seinän ja reunimmaisen elementin väli). Evien päät ja tukki/putki-hitsit.
Tukit	END, (TM)	Epäpuhtaudet, syöpymät, hitsit
Tuenta	VT	Pohjaputkien lepääminen palkkien päällä, ripustintankojen kireys, kattilan asema ja päähöyryputki sekä käynnissä että seisokissa
Vesikemia	VT END OKS, UT	Yleensä lieriön sisäpinnan punerrus kertoo huonosta vesikemiasta. Toisena selvänä indikaationa on epäpuhtaudet alajakotukeissa ja vesityslinjoissa. Oksidi- ja kerrostumakalvon paksuusmittaukset. Kohteina höyrystimien ja tulistimien putket
Nuohoimet	VT, TM	Ensimmäisessä elementissä seinästä katsottuna saattaa olla nuohoimen vuodon aiheuttamaa eroosiota/korroosiota. Tarkista nuohoimien venttiilit sekä höyrykierto (lauhteenpoisto)

LYHENTEET:

VT	=	silämääräinen tarkastus
TM	=	paksuusmittaus
PT	=	tunkeumanestetarkastus
MT	=	magneettijauhetaarkastus
UT	=	ultraäänitarkastus
RT	=	radiografia
ET	=	pyörrevirtatarkastus
REP	=	jäljennetarkastus
HT	=	kovuusmittaus
AE	=	akustinen emissio
OKS	=	oksidikalvon paksuusmittaus
END	=	endoskoopitarkastus

VALOKUVIA SOODAKATTILAN ERI OSISTA JA VAURIOISTA



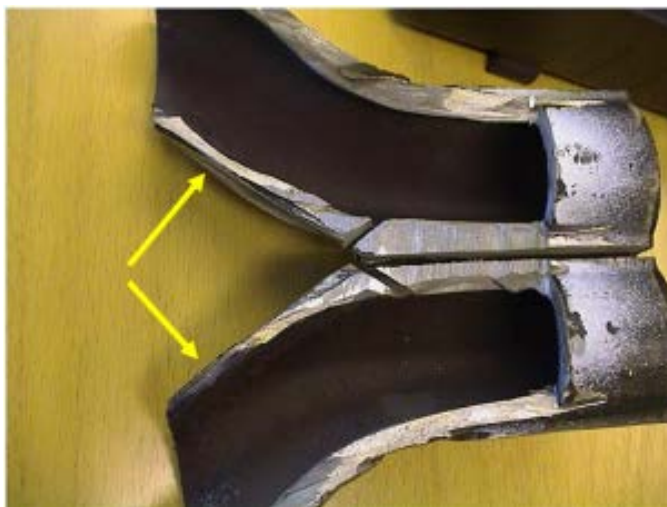
Kuva L1. Värimuutoksia seinällä

Kuva L1 on vauriokattilan seinältä. Osa vikakohdista oli mustunut. Kattilatarkastus pitää aina aloittaa silmämääräisellä tarkastuksella, jossa selvitetään väripoikkeamat normaalista. Erityisiä riskipaikkoja ovat mm. poltinaukkojen yläpuolet (virtauksen vaikutus liekkiin). Värimuutokset aiheuttavat aina lisätutkimuksia.



Kuva L2. Lieriössä epäpuhtauksia ja värimuutoksia

Kuva L2. Epäpuhtaudet ja harmaasta poikkeavat värimuutokset johtavat lisätutkimuksiin. Sen lisäksi että tehdään höyrystimensisäpinnan NDT-tarkastuksia tulipesässä, tarkistetaan jakotukkien puhtausasteet. Oikean kuvan tapauksessa on riskinä höyrystinputkien sisäpuolen kerrostumat ja jopa tukkeumat vesityslinjoissa.



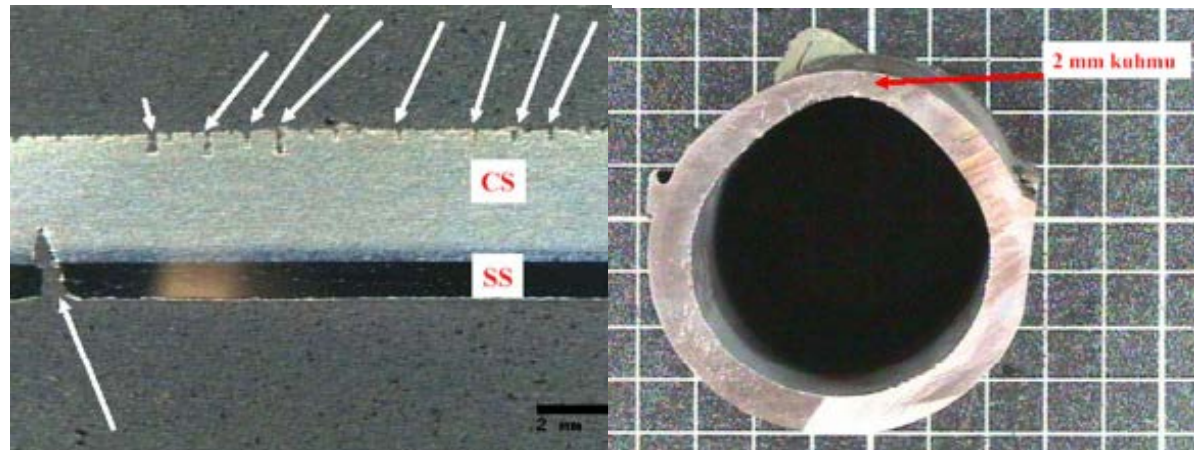
Kuva L3. Korroosioaurio ilma-aukon ohitusputkissa. Vikakohdat merkitty nuolilla

Kuvassa L3 on soodakattilan ilma-aukon ohitusputket, joissa vetyhyökkäys on aiheuttanut korroosioaurion. Kuvasta L3 selviää todennäköisin vikaantumiskohta.



Kuva L4. Korjauskohta pohja-seinä-kamparaudassa

Kuva L4. Pohjan ja seinien väliset kamparaudat on tarkastettava tunkeumanestemenetelmällä, kun pohja tyhjennetty. Jos pohjaa ei ole tyhjennetty, varmennetaan pohjakaapista, että kamparaudan rikkoutuminen ei ole aiheuttanut sulavuotoa.



Kuva L5. Kuvassa kiertohäiriön aiheuttama ylikuumeneminen pohjaputkessa, joka on aiheuttanut jopa muodonmuutoksen putkeen

Kuvissa L5 pohjaputken säröytyminen on edennyt compound-pinnoitteen läpi ferriittiseen materiaaliin. Vikaantumista voidaan todeta myös vesipuolella ja putkessa on selvä muodonmuutos. Ylikuumenemisen syynä voi olla kiertohäiriö aiheuttama korkea lämpövuoto, jonka voi aiheuttaa ylileveä seinä-pohja-kamparauta tai pudonneen ”kamin” aiheuttama muodonmuutos tai saostumat vesipuolella.

LIITE 2

BLRBAC sularänni ohje

CHAPTER 9 SMELT SPOUTS

This chapter provides recommendations for proper smelt spout cooling system design, operation, and maintenance.

The smelt spout represents a potential source for the accidental introduction of cooling water into the furnace:

1. Smelt spout cooling water leaks may put water directly into the furnace or the smelt stream.
2. Using a rodding bar carelessly to open a plugged spout may result in furnace tube wall failures.
3. Lack of maintenance in the smelt spout area may contribute to smelt, green liquor, or weak wash leaks which in turn may cause tube wall wastage or failures.

9.1 Water Cooled Spouts

Treated water is the only accepted cooling medium for use in the spout water system. Back-up systems for spout cooling must be water sources only.

9.1.1 Cooling Water

One of the most important factors in the safe and efficient operation of a water cooled smelt spout system design is the condition of the spout cooling water. Four vital aspects of the cooling water are:

1. **Quality:** Because of the severe service the smelt spouts endure (very high heat absorption rates -- much more than furnace wall tubes; high temperature differential, corrosion and erosion) the cooling water must be of high quality. It must be demineralized water, steam condensate, or equivalent. The water should be chemically treated, and monitored to minimize corrosion and deposition. Use of anything less may lead to fouling, oxygen corrosion, or deposits within the water jacket which will decrease heat transfer. Overheating and resultant leaks may occur.
2. **Temperature:** The smelt spout cooling water shall be maintained per the manufacturer's recommendations (approximately 140 -150° F inlet temperature and a maximum of 180°F outlet temperature).

It is important to maintain the proper temperature of the inlet water to minimize condensation on the spout(s). Too low a smelt spout cooling water temperature may result in condensate droplets on the sides of the spout(s) coming into contact with the exiting smelt flow. There is chance that spattering of smelt will occur

from contact with condensation that may cause or aggravate buildup in the spout housing. The spattering could also cause personnel injury. There is chance of formation of acids that can occur in this humid atmosphere associated with low spout cooling water supply temperatures.

Higher than normal spout cooling water temperatures can contribute to steaming in the spouts should unexpected and excessive smelt flow be experienced in a spout(s). Steaming in spouts can lead to spout cooling water flow interruption which in turn can severely overheat and damage spouts.

Each spout cooling water discharge line should be equipped with a direct reading temperature indicator and with a temperature-measuring element with an audible and visual alarm in the temperature range as specified by the manufacturer (approximately 185-200°F.). It should be noted on vacuum systems, the alarm point must be checked against the actual boiling point of the water at the measured spout discharge pressure, to ensure adequate margin is provided.

3. **Flow:** The spout cooling water system must be designed to provide the cooling water flow specified by the manufacturer. Low flow could lead to overheating and eventual failure of the spout. A flow measuring element with a low flow alarm shall be installed on the discharge line from each smelt spout. It should alarm at a minimum flow recommended by the manufacturer.
4. **Pressure:** The pressure at the inlet of the spout should be as low as possible and consistent with delivering recommended flow. The pressure should be minimized by not exceeding the recommended maximum flow and by minimizing restrictions and line losses downstream of the spout. Lower water pressure at the spout inlet will reduce the quantity of water which could enter the furnace in the event of a spout leak.

9.1.2 System Design Criteria

Both low pressure and vacuum or siphon systems can be used for providing the proper cooling of the smelt spouts. The following design criteria should be followed for both type systems (refer to Figures 13, 14, and 15):

1. The systems shall be closed loop with high quality treated water and designed to provide adequate cooling while minimizing corrosion. However, once-through systems utilizing demineralized water or condensate of the proper temperature may be used provided they are designed to meet the intent of the design criteria in this chapter. Since once-through systems are generally pumped instead of gravity head tank systems, design precautions must be taken to positively limit the cooling water pressure to the spouts.

In addition, consideration should be given to providing adequate cooling water flow to the spouts during a total power outage when smelt flow would continue even though fuel firing is interrupted.

2. An emergency water supply is recommended. This emergency cooling water should be supplied to the inlet side of each spout or to an appropriate supply tank depending on the type or configuration of the cooling system. The activation of this water source should be initiated automatically by the low supply tank level or low system supply pressure, and be alarmed when activated.
3. The emergency water should be provided from a source available during periods of electric power outages.
4. Loss of any operating smelt spout cooling water pump should be alarmed.
5. Each spout discharge should be equipped with a direct reading temperature indicator, a high temperature alarm, a low cooling water flow alarm, and a local flow indicator. A local flow indicator may be installed upstream of each spout as long as there is a low flow alarm on the down stream side.
6. Satisfactory spout cooling water flow permissive start interlock is required.
7. The cooling water tank level should be controlled with makeup of demineralized water or steam condensate and provided with an alarm for low level.
8. In most systems a cooling water heat exchanger will be required to maintain the spout manufacturer's cooling water inlet temperatures.
9. Isolation valves should be provided at a safe location for each spout inlet. These isolation valves should be CLEARLY identified for EACH spout to prevent the inadvertent isolation of the cooling water to the wrong spout during an emergency situation.
10. Any new spouts to be installed on recovery boilers should clearly state the inlet and outlet connections on the spout.
11. **IMPORTANT** - To insure that the smelt spout cooling water system performance can be maintained, any changes should be made by or in consultation with the cooling water system designer.

9.1.3 Pressurized Systems

(Refer to Figure 13)

The spout cooling water discharge may be piped to an optional overflow funnel arrangement, located so that operators can quickly and conveniently check for flow

through each spout. The system should be designed to prevent foreign debris from entering the system.

There should not be any valves in the cooling water outlet piping downstream of the spouts in pressurized systems.

The use of threaded piping, fittings, and valves should be minimized inside doghouses and/or mini-hoods to reduce the potential for leaks which could introduce water into the smelt stream or into the furnace proper.

There have been incidents in the industry where a suspected leak has occurred in the spout or spout piping. The operators reacted appropriately by securing the cooling water to the spout in question and observing the leak to continue for several minutes. This led the operators to believe there was a pressure part leak and a subsequent ESP followed. Upon inspection there were no pressure part leaks, but a very small leak in the spout jacket caused by a weld defect. What was learned with these incidents was that operators need to be aware that in the case of a small spout cooling water leak, water from the outlet of the spout can back flow into the leak if the cooling water piping is arranged such that the water flows up to an observation funnel. In these cases, the operator training program and procedures should outline the possibility of this occurring on their system.

9.1.4 Vacuum Systems

(Refer to Figures 14 and 15)

Most recovery boiler manufacturers can also provide vacuum type smelt spout cooling water systems which further reduce the possibility of cooling water from a spout leak coming into contact with smelt. These systems are designed to provide a slightly negative pressure within the spout cooling water jacket. A small spout leak would therefore leak into the jacket.

Some designs require valving on the spout discharge to establish the vacuum or create the initial siphon effect. These valves should be locked or secured in position to prevent an inadvertent adjustment and improper cooling water flow.

The use of threaded piping, fittings, and valves should be minimized to reduce the potential for leaks which could reduce the vacuum, possibly affecting the cooling water flow.

The installation of a conductivity sensor with alarm at an individual spout outlet or at a common point in the vacuum cooling water system can be helpful in the early detection of a spout leak, since the initial stages of a spout leak could allow small amounts of smelt to leak into the spout, slightly contaminating the purity of the cooling water prior to the leak becoming large enough to “break” the vacuum or siphon interrupting cooling water flow to the affected spout.

Transfer or recirculating pumps used within the vacuum cooling water systems should be arranged in a dual redundant manner. The pump controls should be configured to automatically start the standby pump in the event of loss of the primary pump.

The system pressure drop should be minimized. As the pressure drop increases, the boiling temperature of the water drops significantly. Steaming in the spout can severely disrupt cooling water flow.

9.1.5 Operation

1. Smelt Spout Leaks or Flow Interruptions

Smelt spout leaks may occur because of a loss of cooling water flow, excessive wear of the trough, spout defect, improper installation or maintenance. Recovery boiler operating personnel must be trained to recognize a spout leak. When a leak occurs and has been positively identified as a smelt spout cooling water leak, isolate the water to the leaking spout by closing and locking out the inlet cooling water supply valve.

If cooling water flow to a smelt spout is interrupted for any reason, **DO NOT ATTEMPT TO RESTORE COOLING WATER FLOW**. If the spout is required for boiler operation, the boiler must be taken off line and the spout replaced. If the spout is not required, the opening should be securely plugged before operation is resumed. The plugging technique should ensure that the opening will remain closed until the next scheduled outage at which time the spout can be replaced.

2. System Alarms

Operators must immediately investigate and rectify the cause for any of the system alarms:

	<u>Audible</u>	<u>Indicator</u>
1. Emergency water makeup on	X	X
2. Loss of any spout cooling water pump	X	X
3. High spout cooling water outlet temperature	X	X(local)
4. Low spout cooling water outlet flow	X	X(local)
5. High cooling water conductivity		(Optional)

9.1.6 Maintenance and Inspection

Inspect the smelt spouts during every scheduled outage. If a spout fails an inspection, replace it. All spouts should be replaced at least once a year with a new spout.

Replacement spouts should be field hydro tested to manufacturer's specifications prior to use. **NEVER REBUILD, REPAIR OR MODIFY A SMELT SPOUT!**

Each year, cut up at least one removed smelt spout. Inspect the cooling water jacket internals to ensure adequacy of the cooling water quality and the corrosion/deposition control program. Furthermore, a periodic inspection of sections of the cooling water piping should be made to ensure the absence of internal buildup or scale that could restrict cooling water flow. Sections of piping with scale or buildup should be replaced.

When replacing spouts with dual outlet connections (either right or left) care must be taken to ensure that the unused discharge connection is properly sealed.

Proper maintenance of and alignment between both the smelt spout and the smelt spout tube wall opening will help ensure problem free operation and will reduce smelt leak potential. The joint and seal between the smelt spout and spout tube wall opening must be properly maintained to reduce any potential for excessive spout water or smelt leakage. Contact the respective boiler manufacturer for proper repair and maintenance recommendations.

Both smelt spout cooling water head tanks and collection tanks should be inspected and cleaned annually.

9.2 Non Water Cooled Spouts

Some manufacturers fabricate and supply non water cooled spouts. Functionally, these spouts perform the same duty as water cooled spouts. As the name implies, this spout design eliminates the need for water or other fluids to cool or control the temperature of the spout during operation. These spouts eliminate the hazard of introducing cooling water into the furnace or into the smelt stream to the dissolving tank.

During start-up of the boiler, the initial temperature of the non water cooled spout may not be hot enough to prevent some freezing of the smelt. More frequent cleaning efforts may be required during this period of time, until a steady, unobstructed flow of smelt is attained. Once the metal temperature is up to normal operating levels, expected rodding requirements would be less than normal with this spout design. If the spouts do become plugged such that the smelt flow becomes significantly impeded, the spout should be mechanically cleaned to restore unobstructed flow. A plugged spout will increase the flow volume and velocity through the other unplugged spouts. This could potentially result in overflow and/or an increase in the wear-rate of the non water cooled spout material. (Refer to Chapter 10.1)

Non water cooled spouts should never be sprayed with water, hood wash, weak wash, etc. at any time the spout metal is above ambient temperature. Repeated contact with aqueous

solutions when the spout is at normal operating temperatures could cause the spout casting to crack due to thermal shock. The non water cooled spout casting and surrounding smelt spout enclosure should be cool enough for water washing following shutdown approximately four hours after smelt stops flowing from the spouts and boiler.

Caution should still be taken to avoid washing into the furnace when washing the non water cooled spouts and spout enclosures if smelt temperatures in the bed have not cooled below 800° F.

Adjustment of the individual steam shatter jets should be made as operation dictates.

Non water cooled spouts should be visually inspected in the trough, lip and beard during the boiler shutdown for excessive wear or cracking that could affect the integrity or service life of the spout. The refractory materials at the furnace opening for the spouts should also be inspected for excessive decay that may impact the seal at the tube opening as well as the potential wear to the spout, seal box or mounting plate.

When installing replacement non water cooled spouts it is important to inspect the integrity and condition of the existing spout opening tubes, seal box and mounting sleeve.

Due to the higher operating temperatures, proper refractory materials must be used to ensure the refractory material performs for the life of the non water cooled spouts.

Proper maintenance of and alignment between both the smelt spout and the smelt spout tube wall opening will help ensure problem free operation and will reduce smelt leak potential. The joint and seal between the smelt spout and spout tube wall opening must be properly maintained to reduce any potential for excessive smelt leakage. Contact the respective boiler manufacturer for proper repair and maintenance recommendations.

The service life of the non water cooled spout is dependent on wear rates and may vary depending on the smelt conditions, black liquor loading and spout maintenance. The replacement cycle should be determined by the site-specific operating experience.

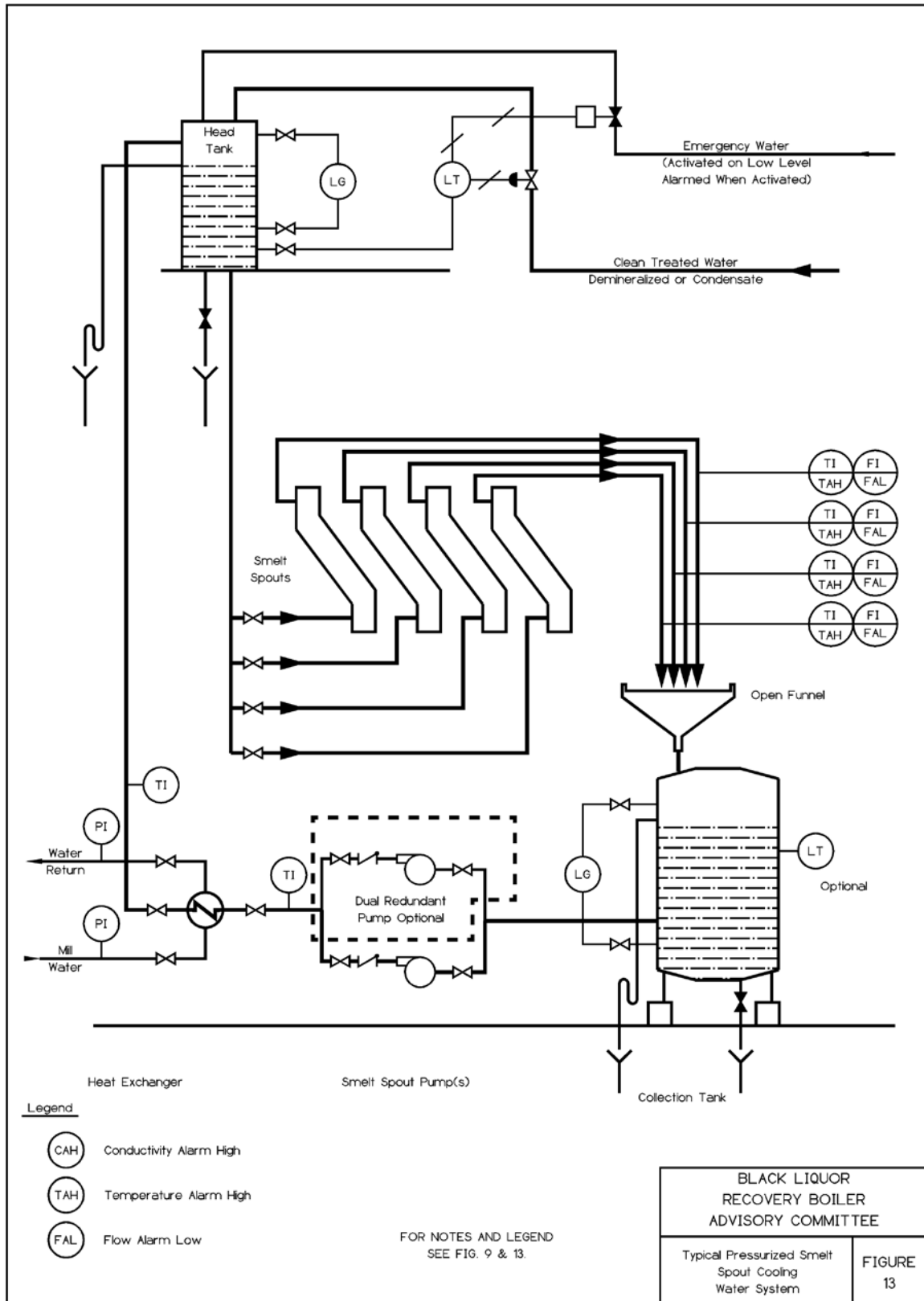


Fig. 13. Typical Pressurized Smelt Spout Cooling Water System.

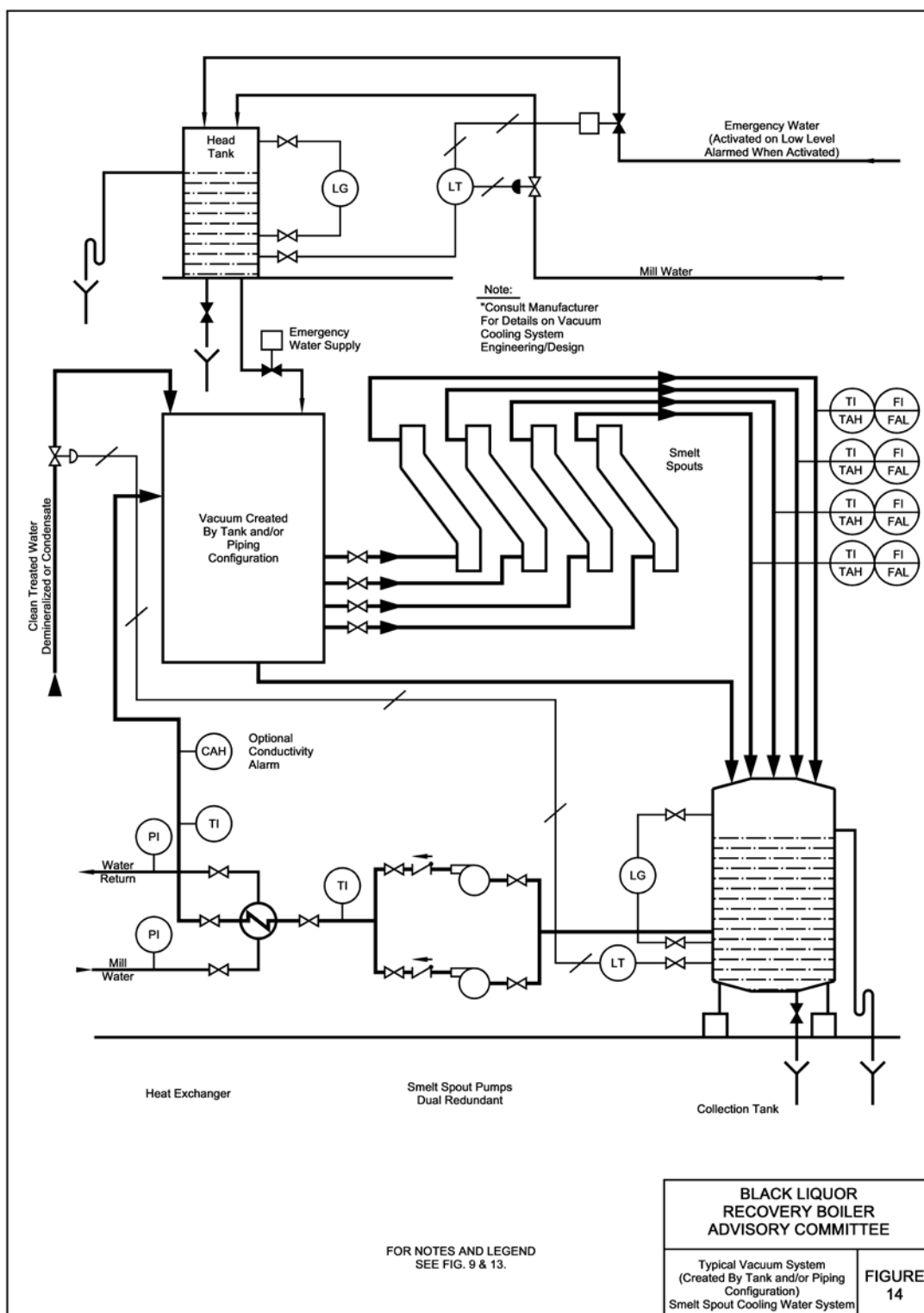


Fig. 14. Typical Vacuum (Created by Tank and/or Piping Configuration) Smelt Spout Cooling Water System.

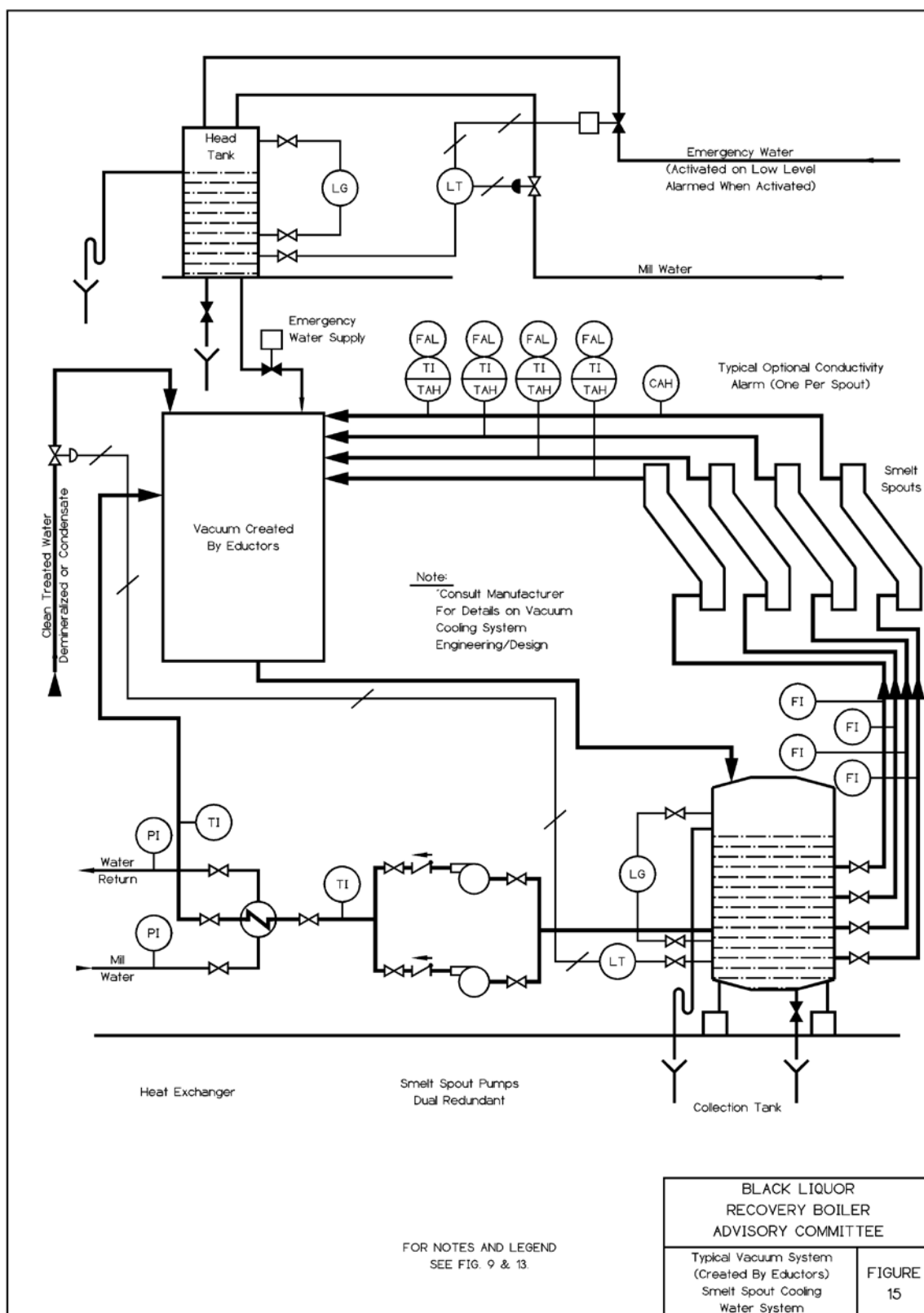


Fig. 15. Typical Vacuum System (Created by Eductors) Smelt Spout Cooling Water System.

LIITE 3

**VTT, Pinnoitushitsattujen compound-putkien käyttö soodakattiloissa –
raportti 4.4.2016**



Hans Bengtsson/AZZ
World Bioenergy Conference 2014

Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa

Kirjoittajat: Satu Tuurna

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa								
Asiakkaan nimi, 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 22						
Avainsanat Päällehitsaus, 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 lattiaputkissa 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 5.4.2016 <table border="0"> <tr> <td>Laatija</td> <td>Tarkastaja</td> <td>Hyväksyjä</td> </tr> <tr> <td>Satu Tuurna Tiimipäällikkö</td> <td>Sanni Yli-Olli Erikoistutkija</td> <td>Pekka Pohjanne Tutkimusaluepäällikön sijainen</td> </tr> </table>			Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä	Satu Tuurna Tiimipäällikkö	Sanni Yli-Olli Erikoistutkija	Pekka Pohjanne Tutkimusaluepäällikön sijainen
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä						
Satu Tuurna Tiimipäällikkö	Sanni Yli-Olli Erikoistutkija	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

Sisällysluettelo.....	2
1. Johdanto.....	3
2. Hitsauspinnoitteet	4
3. Hitsauspinnoitemateriaalit ja muokkaus	7
4. Liittäminen ja kunnossapito.....	11
5. Käyttökokemuksia.....	12
6. Yhteenveto.....	16
Lähteet.....	17

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. Korrosio 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 korrosio-olosuhteet ovat haastavat polton seurauksena lämpöpinnoille kertyvien alkalikloridi- ja rikkiyhdisteiden vuoksi.

Compound-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 virumiskestävyyden perusteella. Pintakerros valitaan vallitsevien korrosio-olosuhteiden mukaan. Vaikka compound-putkilla on pitkälti löydetty ratkaisu kattiloissa esiintyviin korrosio-ongelmiin, käytössä niiden on havaittu olevan säröilyherkkiä [1-3].

Compound-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]

Compound-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.

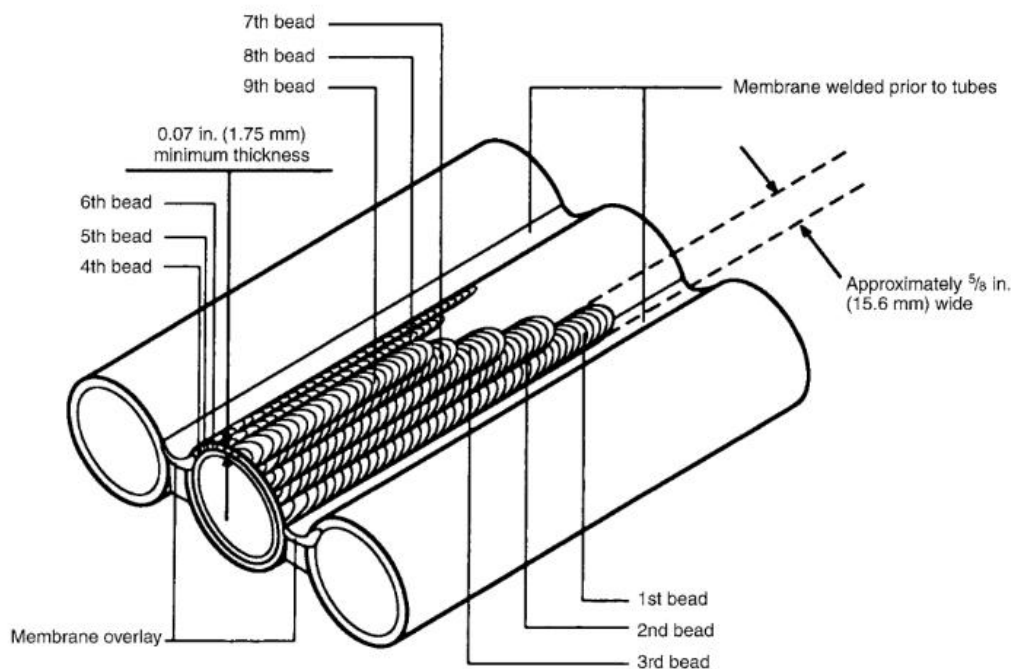
Raportin tarkoituksena on selvittää hitsauspinnoitettujen putkien käytettävyyttä soodakattilan tulipesän alaosassa sekä tulistinalueella.

2. Hitsauspinnoitteet

Hitsauspinnoitettujen (päälehitsattujen) putkien sisäosan materiaali valitaan käyttölämpötilan ja virumiskestävyyden 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 hitsauspinnoittaa 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 seinämrakenteen hitsauspinnoitteen valmistuksesta. Tyypillisesti pinnoite hitsataan ylhäältä alaspäin (kuvassa vasemmalta oikealle).[9]



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

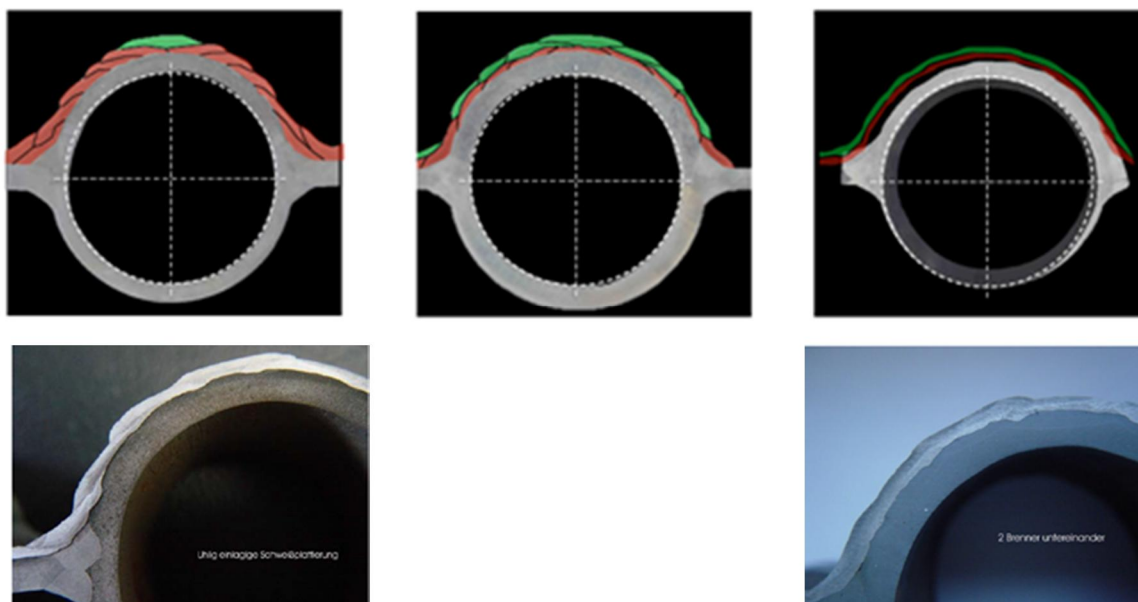
Eri valmistajat ovat kehittäneet omia menetelmiään hitsauspinnoitteiden tuotantoon, esimerkiksi AZZ (ent. WSI/Aquilex) on patentoinut Unifuse-tuotemerkin, jossa MIG/MAG:lla tuotetaan ensimmäinen hitsauspinnoitekerros, jonka karkea pinta uudelleen sulautetaan TIG:llä tasaisemman pinnan aikaan saamiseksi. 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].

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

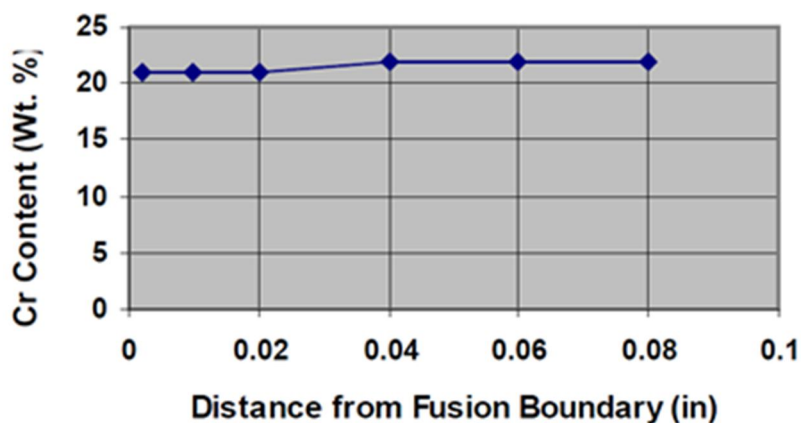
	MIG/MAG	CMT
Welding process	Electricity/voltage	Mechanical
Welding speed	Lower	Higher
Heat transfer level	Relatively high	Low
Depth of fusion	Relatively high	Low
Dilution	Relatively high	Low
Shrinkage	Relatively high	Low
Appearance/surface	Coarser	Smooth

Hitsauspinnoite tuodaan yleensä pintaan joko 1- tai 2-kerroshitsinä, Kuva 3. 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 [17-20]. 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 4. Kuva 5 antaa esimerkin raudan pitoisuudesta Unifuse 625 hitsauspinnoitteesta. Liiallinen raudan seostuminen pinnoitteen pintaosiin heikentää materiaalin korroosionkestävyyttä huomattavasti (Cl-

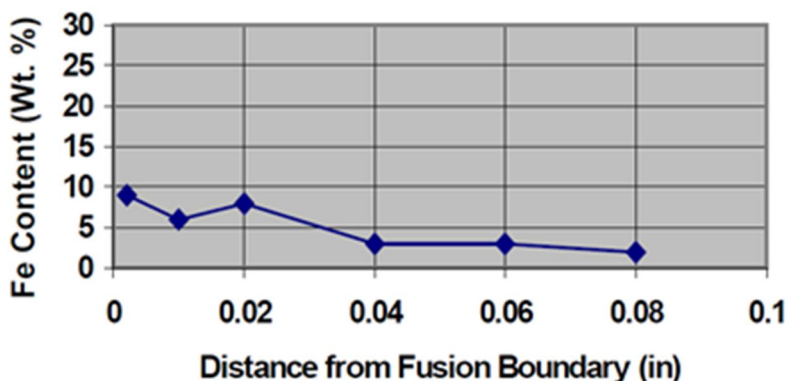
korroosion riskin kasvu). Hyvin onnistuneen pinnoitteen rakenteesta ei myöskään löydy karbidierkaumia, mikä indikoi riittävää hitsin jäähtymisnopeutta. [8,11] On myös tärkeää, että hitsauspinnoite ei aiheuta putken mekaanisten ominaisuuksien alenemista. Hyvin tehty pinnoitehitsaus saattaa jopa parantaa putken lujuutta, lisäten täten putken kestävyttä ylikuumentumista ja putoavia kerrostumia/kameja vastaan.



Kuva 3. Esimerkkejä hitsauspinnoitteen muodostumisesta putken pintaan. punainen – hitsipalko kontaktissa perusaineeseen, vihreä – ilman kontaktia [19, 20]



Kuva 4. Cr-profiili Unifuse 6425 hitsauspinnoitteessa [11]. Pinnoitteen pinta oikealla, pohjamateriaali T2, 0,02 in = 0,5 mm.



Kuva 5. 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 [11,21].

Monia erilaisia seoksia on käytetty hitsauspinnoitteina korroosion suojaukseen, mm. tyyppin 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 soveltuvuus eri kohteisiin on kasvanut ja pinnoitusprosessit ovat kehittyneet. Yksi haasteiden aiheuttaja on ollut lämpölaajenemiskerroinerot pinnoitteen ja perusaineen välillä. Matalammin seostetun perusaineen ja seostetun hitsauspinnoitteen lämpölaajenemiserosta 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 6. [22,23]. 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]

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 7. Kuvassa 8 on esitetty pinnoitteen kovuusprofiili kaksivaiheisen pinnoitusprosessin jälkeen; Hitsin muutosvyöhykkeellä ei ole havaittavissa kovuusarvojen nousua pinnoitusprosessin toisessa vaiheessa tapahtuvan päästön jälkeen. Hitsauspinnoitteet ovat paremmin muokattavia kuin vastaavat compound-rakenteet mikrorakenteensa vuoksi. Kuva 9 näyttää eron compound-putken ja hitsauspinnoitteen mikrorakenteissa. Esimerkiksi Alloy 625 hitsauspinnoite on ominaisuuksiltaan hyvin sitkeä ja pinnoitettu putki voidaan taivuttaa säröilemättä jopa 180°

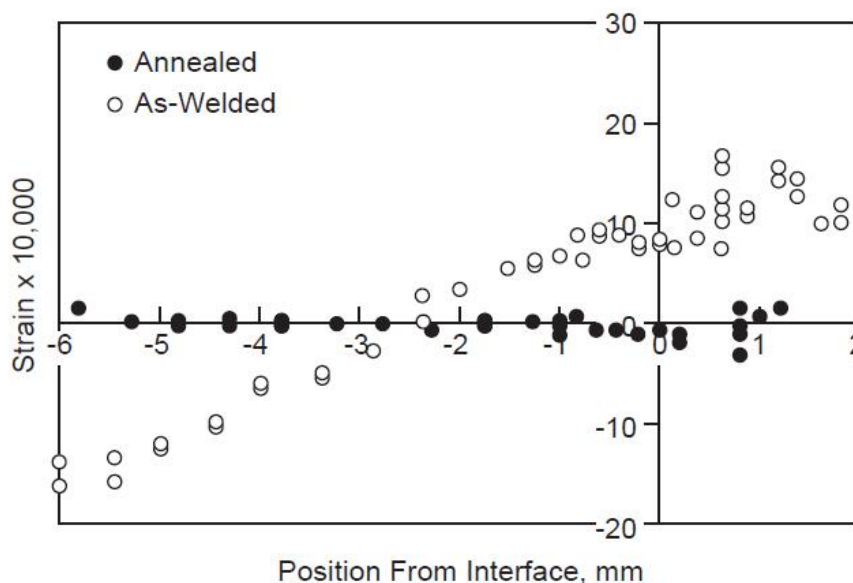
taivutussäteen ollessa kaksi kertaa putken halkaisija [22]. Optimaalisissa oloissa valmistetun hitsauspinnoitteen hyvä muovattavuus verrattuna vastaavaan compound-rakenteeseen näkyy myös putkien puristuskokeen tuloksista. Compound-putken liitosrajoilla on selkeästi nähtävissä muokkauksen aiheuttamaa säröilyä, Kuva 10 [25].

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

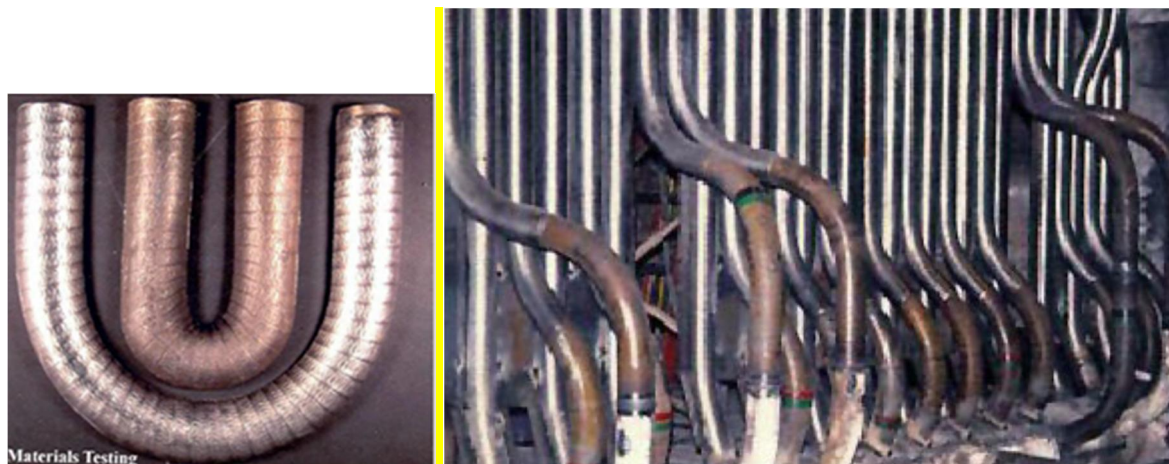
Toimittaja	Menetelmät	Esimerkkejä materiaaleista
AZZ	pulsed GMAW/GTAW	Alloy 625 (60Ni-21Cr-9Mo) Alloy 825 (38Ni-31Fe-21Cr) Alloy 309 (60Fe-22Cr-12Ni) Alloy 310 (50Fe-26Cr-19Ni) Alloy 52 (alloy 690) (55Ni-28Cr-14Fe) Alloy 59 (53Ni-20Cr-11Fe-15Mo) Alloy 33 (41Fe-28Cr-24Ni-1.6Mo)
Uhlig Rohrbogen	CMT (cold metal transfer)	Alloy 625, muita tarpeen mukaan
Integrated Global Services	pulsed GMAW	622/625/Alloy 33; 309/312/316
BTA, Power	Babcock 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

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

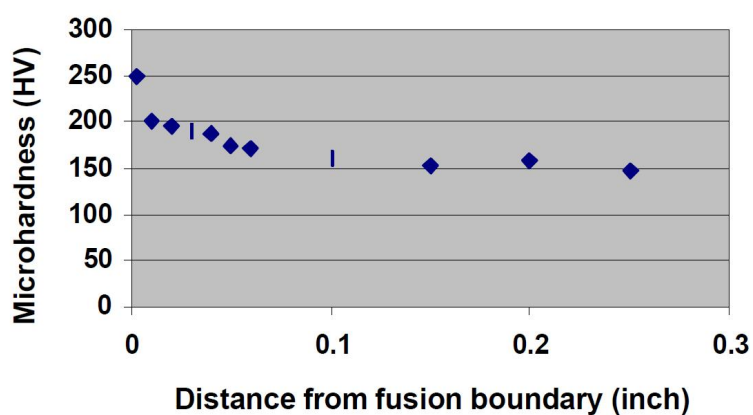
Lämpötila	Hiiliteräs	T-22	309 SS	Alloy 625	Alloy 622
70-600 F / 21-315°C	7.2	7.0	9.3	7.4	7.0
70-800 F / 21-425°C	7.6	7.2	9.5	7.6	7.4
70-1000 F / 21-540°C	8.0	7.5	9.7	7.8	7.7



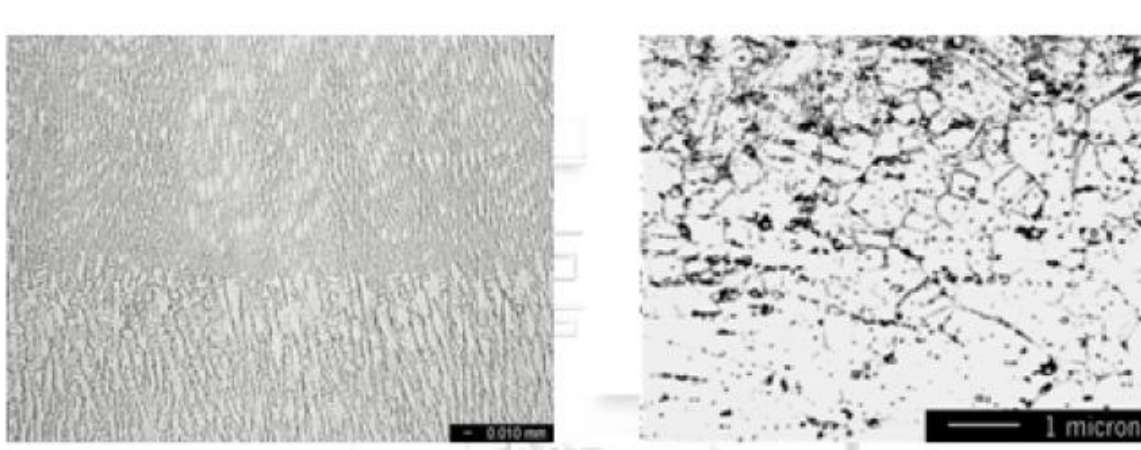
Kuva 6. Hitsauspinnoitetun putken jäännösjännitykset pinnoituksen (avoin piste) ja lämpökäsittelyn (musta piste) jälkeen [22]



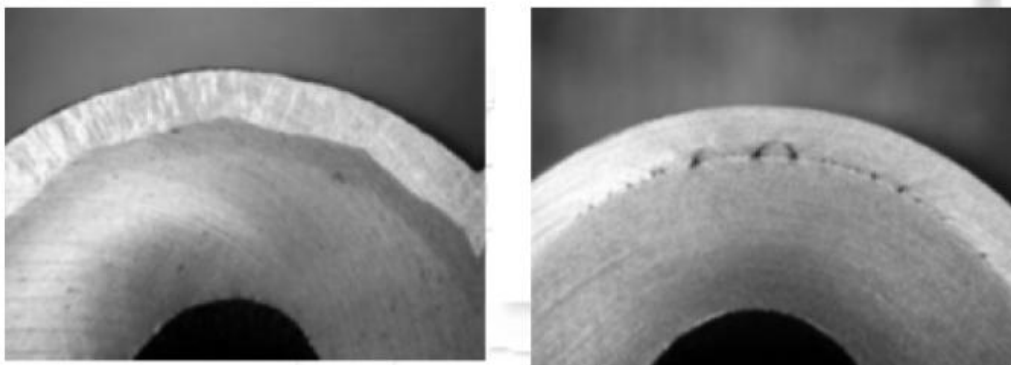
Kuva 7. Esimerkkejä Alloy 625 hitsauspinnoitetuista putkimutkista [16,22]



Kuva 8. Hitsausprosessin yhteydessä tehdyn lämpökäsitellyn muutosvyöhykkeen mikrokovuusprofiili [24]

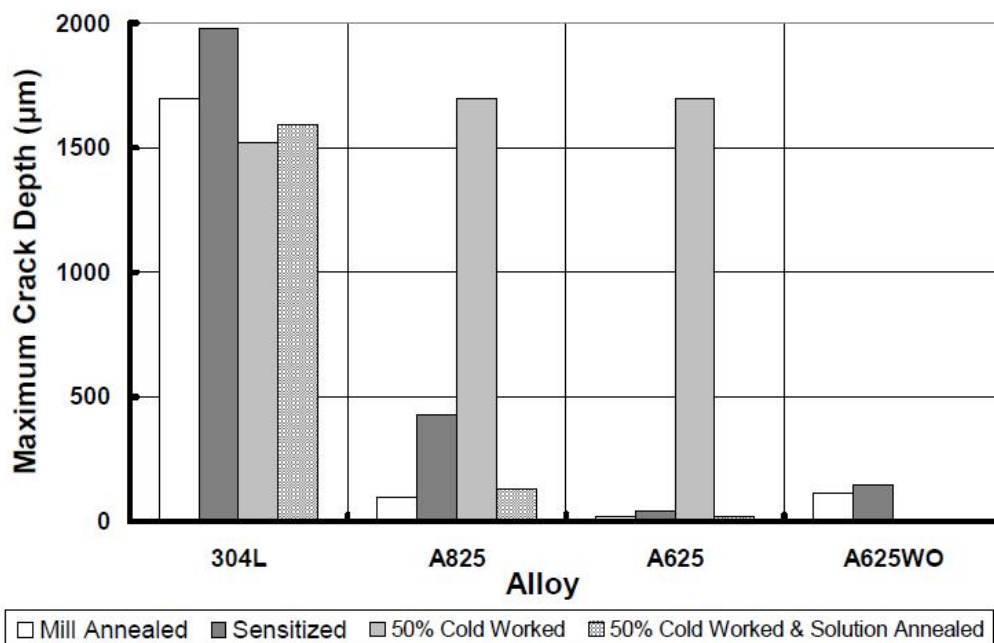


Kuva 9. Hitsauspinnoitteen ja compound-putken mikrorakenne lähellä rajapintaa (Alloy 625) [25]



Kuva 10. Puristuskokeen tulokset; vasemmalla hitsauspinnoitettu 625, ei säröilyä; oikealla compound-putki, jossa rajapinnalla nähtävissä muokkauksen aiheuttamia säröjä [25]

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 11. 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 compound-putkien SCC-kestävyyttä, erityisesti seosten 825 ja 625 kestävyys heikkeni kokeessa samalle tasolle 304L näytteen kanssa.



Kuva 11. Maksimi särön syvyys erilailla 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 12.



Kuva 12. Hitsauspinnoitettujen putkien liittäminen [19]

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 [26]:

- 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. 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 [27]. Jos käytössä olleen hitsauspinnoitettavan putken paksuus on pudonnut alle normeissa sallitun paksuuden, voidaan ennen hitsauspinnoitusta tehdä täytehitsaus putkimateriaaliin soveltuvalla täyteaineella. Vaihtoehtoisesti pahoin vaurioituneet alueet voidaan korvata uusilla tehtaassa pinnoitetuilla putkilla/paneeleilla (Kuva 13).



Kuva 13. Esimerkkejä hitsauspinnoituksesta tehtaalla [19]

5. Käyttökokemuksia

Hitsauspinnoitteita on asennettu 1980-luvulta lähtien pääasiassa pohjois-amerikkalaisiin soodakattiloihin eri kohteisiin, mm. lattia- 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 14. Vastaavissa paikoista on kuitenkin olemassa myös hyviä kokemuksia. [9,28] Viime kädessä laitospohjaiset 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 14. Alloy 625 hitsauspinnoitteen murtumia primääri-ilma-aukon ohitusputkessa. Osa säröistä on edennyt hiiliteräksen puolelle. [28]

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.

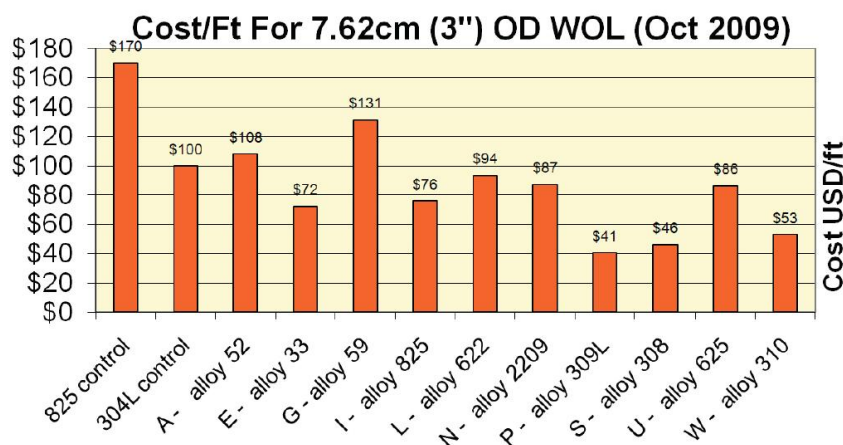
AZZ on tehty hitsauspinnoitekokeiluja Alloy 825 seoksella, koska sen on todettu kestävän paremmin kohteissa, joissa Alloy 625 compound-putki on säröillyt. Hitsauspinnoitettu 825 on osoittanut kuitenkin taipumusta jähmettymisen aikaiselle säröilylle. Alloy 625 hitsauspinnoitetta on käytetty enemmän ja 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 [25].

Babcock & Wilcox [29] on tehnyt laboratoriovertailututkimuksen (korroosio-koee, SCC) joistakin tarjolla olevista hitsauspinnoitemahdollisuuksista, Taulukko 4. Valituista, yli 20% Cr-sisältävistä materiaaleista 309L (näyte P) arvioitiin kustannustehokkaimmiksi, Kuva 15. 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 16. Näyte P (309L) lähes puolta pienemmällä materiaalikustannuksella pärjasi kokeissa

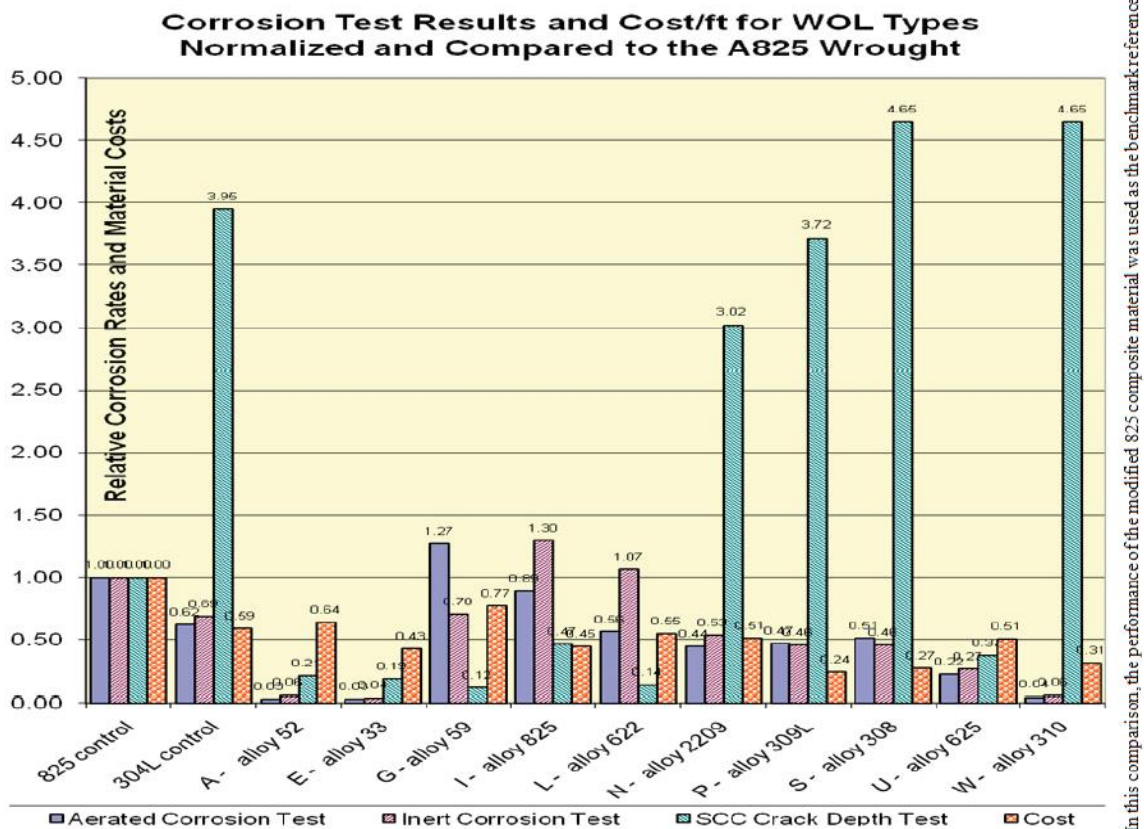
paremmin kuin materiaali 304L. Näytteen E (alloy 33) korroosion ja SCC:n kesto olivat selkeästi parempia kuin materiaalin 304L.

Taulukko 4. Vertailututkimuksessa mukana olleet materiaalit [29]

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 15. Kustannusvertailu, hinnat normalisoitu 825 materiaalin hintaan, referenssi 825 ja 304L compound-putkia, muut hitsauspinnoitteita [29]



Kuva 16. Kooste vertailututkimuksesta, referenssitaso alloy 825 [29]

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 railun 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 lattiaputkissa 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) [25,30-31]

Kohde	Hitsauspinnoite/perusaine (suositus)
Lattiaputket	625 / hiiliteräs, Cr-Mo teräs 825 (lisääntynyt viimeisten vuosien aikana)
Ilma- ja sula-aukot	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/cppr/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. Manzke, „News“ from Cladding. PREWIN 5-6.6.2013 Kristiansand
18. Weld Overlay Structure and a Method of Providing a Weld Overlay Structure US 20120214017 (2012)
19. A. Manzke, Standard of cladding process in the biomass and waste combustion. 2nd Conference on Biomass and Waste combustion, February 2010.
20. T. Herzog, Coatings and Claddings, Prewin 13-14.11. 2014 Rome
21. P. Amador et. al. Weld Metal Overlay for Boiler Tube protection in Recovery Boilers. 1993, 12 s.
22. 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
23. 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/cppr/y2001/misc/117351.pdf> (15.2.2016)
24. Unifuse 825 Overlay Tubing, Welding Services Inc. Technical Information
25. P. Amador, B. Li, Unifuse Weld Overlay in Black Liquor Recovery Boilers – Technology and Experiences. BLRBAC Spring Meeting Atlanta 2014
26. Corrosion protection for boilers
http://www.azz.com/sites/default/files/WSI_Boilers_en.pdf

27. 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.
28. Recovery Boiler Primary Air Port Tube Cracking - Examination of Failed Components; ORNL and Paprican presentation 2007
29. 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
30. Unifuse 625 Overlay Tubes for Corrosion or Erosion/Corrosion Protection in Boilers, Welding Services Inc. Technical Information
31. Unifuse 310 Overlay Tubing for Superheaters in Black Liquor Recovery Boilers, Welding Services Inc. Technical Information
32. Unifuse 52 Overlay Tubing for Superheater/Reheater in Coal-Fired Boilers, Welding Services Inc. Technical Information
33. Y Rojas, yksityinen tiedonanto

Pulp, Paper, Recovery Boiler Experience [33]



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

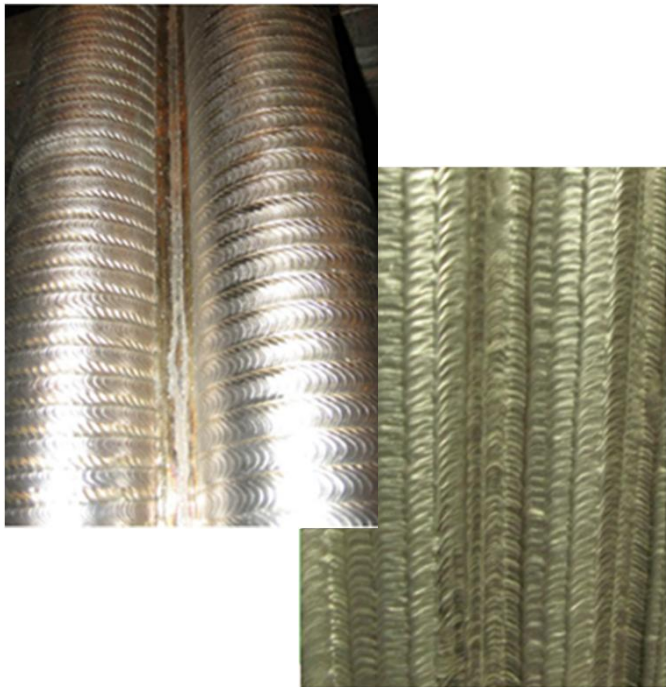
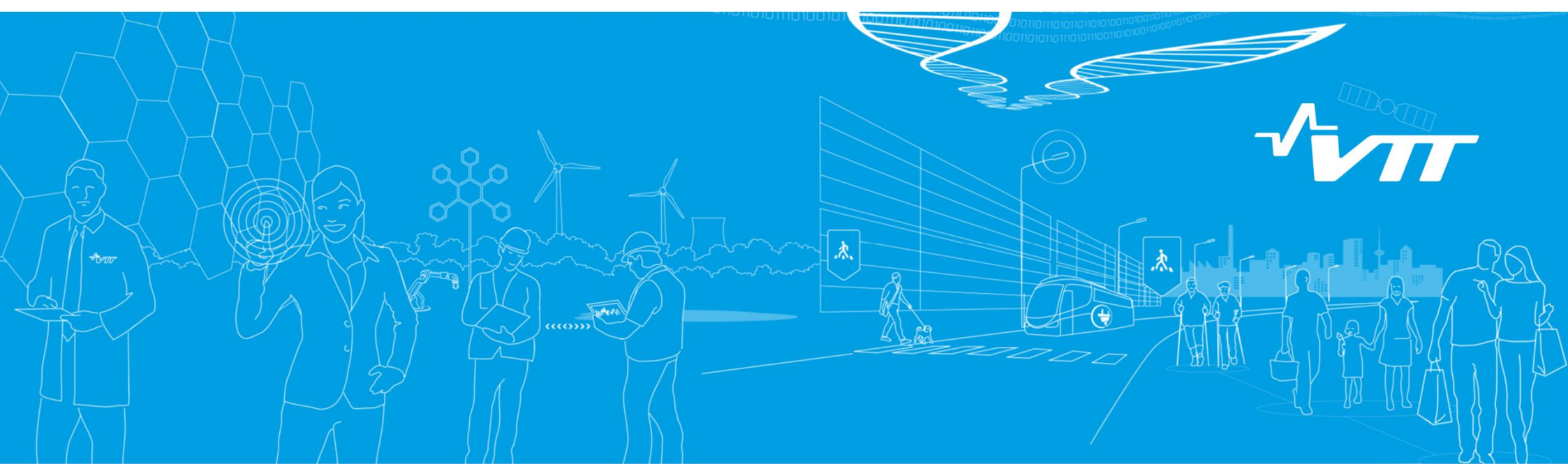
Stora-Enso Wiscosin Rapids/Wiscosin Rapids Pulp Mill	Wisconsin Rapids, WI	309	Boiler tube overlay	02
GA Pacific	Brunswick, GA	309	Boiler Tube Replacement and Overlay	02
Kamtech/Georgia Pacific/Cedar Springs	Cedar Springs, GA	90S & 70S-7	Hot pass and weld	02
Williamette of Kingsport	Kingsport, TN	312	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

LIITE 4

**VTT, Pinnoitushitsattujen komppound-putkien käyttö soodakattiloissa –
esitys 14.4.2016**



Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa

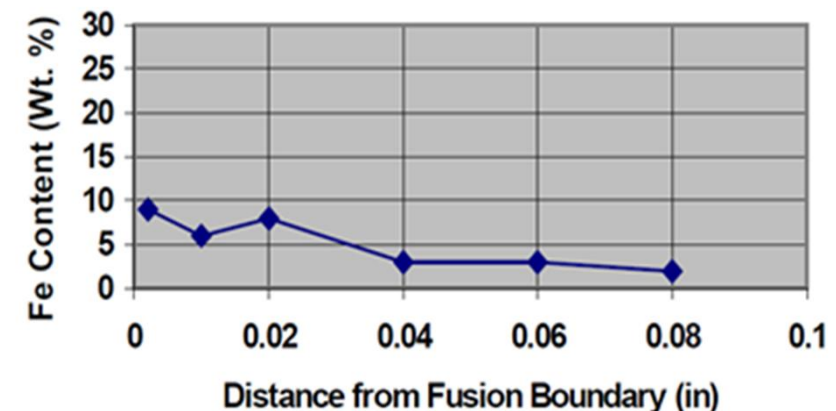
Satu Tuurna
14.4.2016

Raportin sisältö

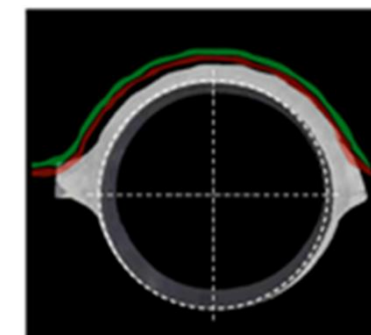
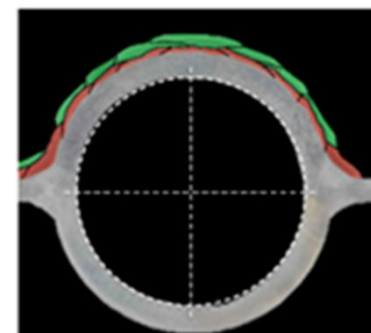
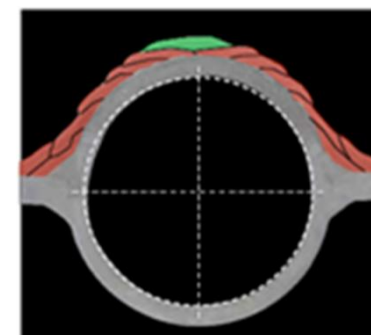
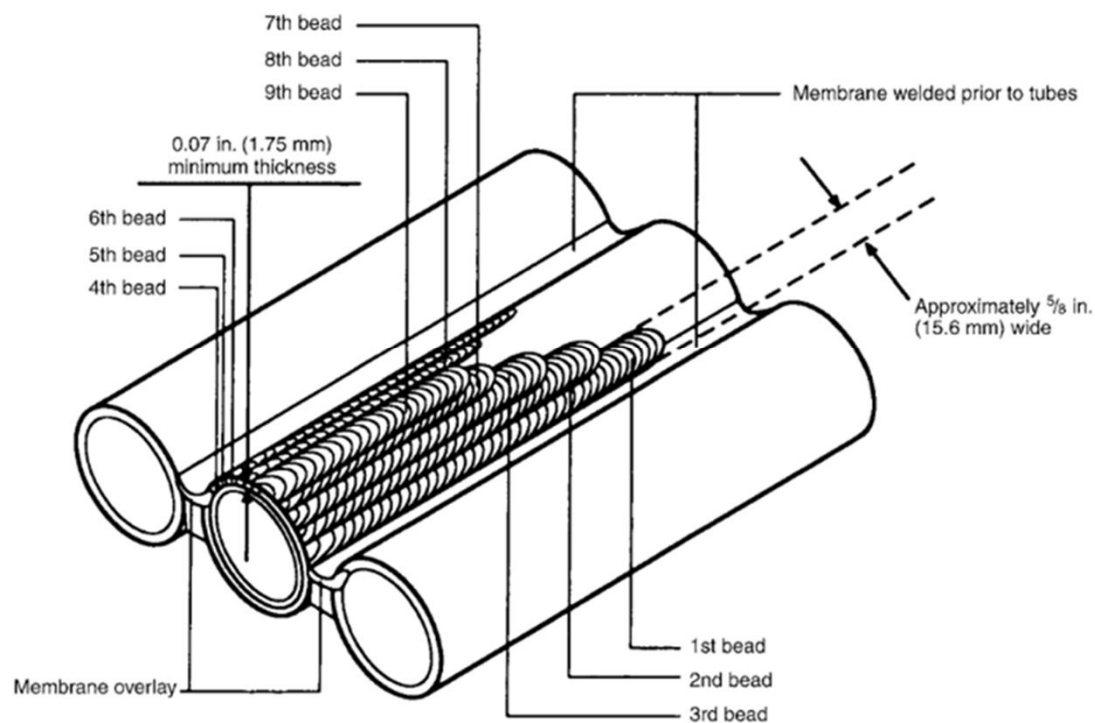
- Johdanto
- Hitsauspinnoitteet
- Hitsauspinnoitemateriaalit ja muokkaus
- Liittäminen ja kunnossapito
- Käyttökokemuksia
- Yhteenveto

Hitsauspinnoitteet/pinnoitehitsaus

- Hitsaamalla putken pintaan korroosiota ja/tai kulumista kestävä pinta; sisäosa käyttölämpötilan ja lujuuden perusteella
- Joko pajalla tai paikan päällä
- Automatisoitua, hitsausparametrien reaaliaikainen seuranta => laadunvarmistus
 - 100% peittävyys
 - Alle 10% seostumisaste (~5%)
 - Korroosion kannalta tärkeät seosaineiden hallinta, esim Cr-pit korkea, perusaineesta Fe-pit matala
 - Ei karbidin muodostusta (jäähtyminen)
 - Jännitysten hallinta (CTE, lämpökäsittely)



- 180/360°
- 1-/2-kerrosrakenne
- MIG/MAG/TIG, CMT, PTA...
- Prosessin 2-vaiheisuus jännitysten laukaisemiseksi

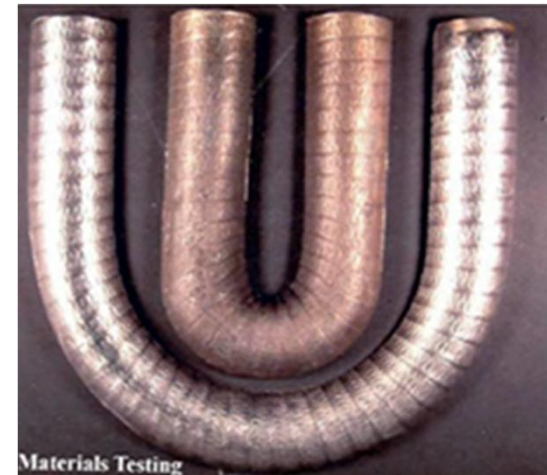
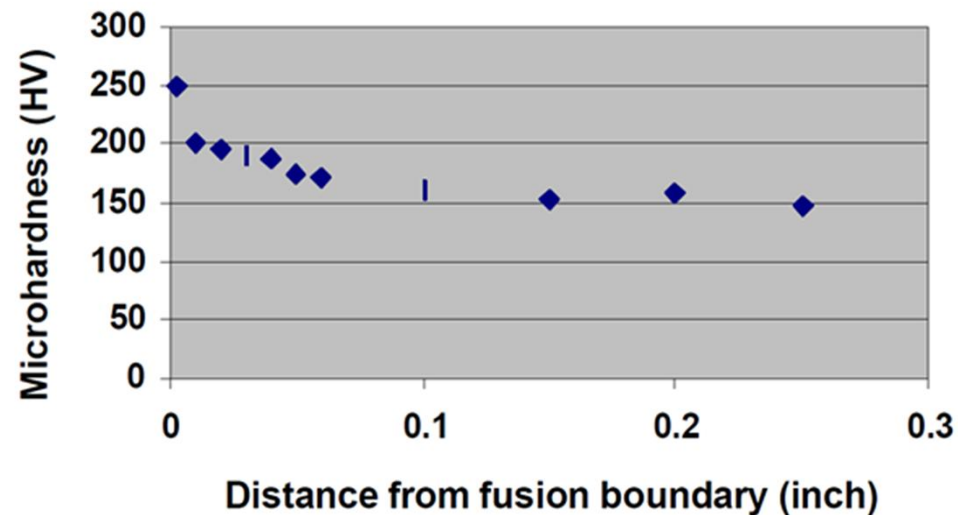


Materiaalivaihtoehtoja

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

Muokattavuus

- Oikein tehtynä HAZ:ssa ei näkyvissä kovuusarvojen kasvua
 - Mikrorakenteesta johtuen sitkeä
- => muokattavissa



Liittäminen

- Vastaa hyvin pitkälle compound-putkien liittämistä – eripariliitos
 - Kahdessa vaiheessa
- Estettävä eri laatuojen sekoittuminen – hauraiden rakenteiden syntyminen



Tarkastukset

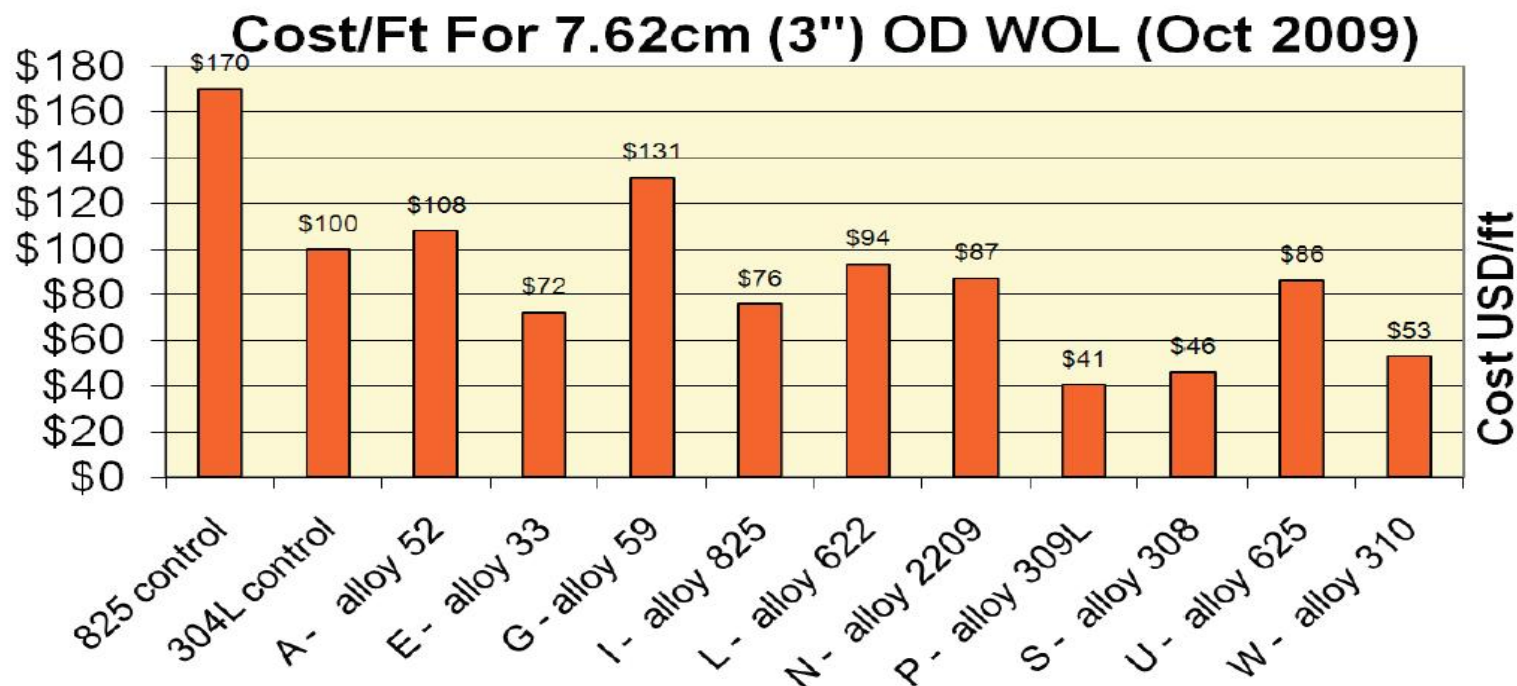
- Suosituksena mahd. laajat alueet – mahdolliset hitsausvirheistä lähtevät viat (havaitseminen jo valmistusvaiheessa)
 - Erityinen huomio ohuisiin kerroksiin (1-kerrosrakenteet, palkojen limittäisyys/peittoaste)

Korjaukset

- Samat säännöt kuin missä tahansa korjaushitsauksessa; puhdistus, vikojen poisto, oikeat materiaalit...
- Laajojen alueiden hitsauksessa rakenteiden jäähdytys (virtaus, $T_{inlet} < 30^{\circ}$)
- Tarvittaessa täytehitsaus ennen pinnoitusta (ei suositella/Suosituksien -raportti) tai koko vaurioituneen alueen vaihto



Kustannuksista



- Alloy 825 kustannustekijä 1, muut verrannollisia ko arvoon

Yhteenveto

- Laajahko materiaalivalikoima, laitoskohtaiset olosuhteet huomioitava materiaalivalintaa tehtäessä
- Laatuun vaikuttavia tekijöitä
 - käytetty hitsausmenetelmä (HAZ, jännitykset, faasimuutokset → halkeilutaipumus)
 - hitsausprosessin stabiilius/tasalaatuisuus,
 - pohjamateriaalin puhtaus,
 - pinnoitteen kerrosrakenne, huokosettomuus ja peittävyys,
 - seostuminen perusaineen kanssa

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

Jatkotoimenpiteet

- KTR:n lisätoiveet
- Vastaukset/AZZ
- Eri menetelmillä valmistettujen hitsauspinnoitteiden erojen karakterisointi (koostumus, mikrorakenne, kovuus, jäännösjännitystaso)
- Muokattavuus/säröily
- Herkistymistaipumus
- Mahdollisten liitosvirheiden tarkastelut ja havaittavuus

LIITE 5

**Varo Oy: Soodakattilan tiiveydenvalvontajärjestelmät – tutkimusehdotus
7.11.2015**

Reijo Hukkanen
Kestoisuustyöryhmä
Soodakattilayhdistys

Tarjous

SOODAKATTILOIDEN KÄYNNINAIKAISET TIIVEYDENVALVONTAMENETELMÄT

Tein vuonna 2001 Soodakattilayhdistykselle selvityksen "Kattilavuotojen valvonta ja ohjeistus" (raportti 2/2001). Selvityksessä tehtiin Suomen sellutehtaille kysely, jossa tiedusteltiin mm. valvonnassa käytettyjä mittauksia, automaattisia hälytyksiä ja suojausja. Selvityksessä kartoitettiin myös markkinoita tuolloin saatavissa olleet tiiveydenvalvontajärjestelmät. Tuolloin saatavilla oli sekä massataseen seurantaan (toimittajana Alert System Inc), kemikaalitaseen seurantaan (toimittajina Hercules ja Nalco) sekä akustisen emission seurantaan (toimittajina Acutest ja Triple 5 Industries) järjestelmiä.

Vuonna 2001 tehdyn selvityksen mukaan soodakattiloiden tiiveyttä valvottiin tehtailla hyvin vaihtelevasti. Esim. syöttövesi-höyryeron laskenta oli käytössä kaikilla tehtailla, mutta automaattisia hälytyksiä eron kasvusta oli ainoastaan kahdeksalla kattilalla 22:sta. Akustisen emission valvontaan perustuvia järjestelmiä oli käytössä noin kolmasosassa kattiloista. Kemikaalitaseen seurantaan perustuvia järjestelmiä ei tuolloin ollut käytössä yhdessäkään kattilassa.

Sittemmin tilanne on parantunut, mutta oletettavasti vaihtelua tehtaiden kesken on edelleen. Nykyinen minimitaso on määritetty Soodakattilayhdistyksen vuonna 2009 laatimassa soodakattiloiden turvallisuussuosituksessa (suositus 4) seuraavasti:

Soodakattila on varustettava vuodonvalvontajärjestelmällä, joka antaa tarvittaessa hälytyksen henkilökunnalle. Yksinkertaisimmillaan järjestelmä voidaan muodostaa syöttövesi- ja höyryvirtaamien riittävän pitkistä keskiarvosta.

Tiiveydenvalvonnan nykytila on selvitettävissä tekemällä tehtailla kysely, jossa tiedustellaan tiiveydenvalvonnassa käytettyjä mittauksia, menetelmiä ja hälytyksiä sekä niiden testauksia. Lisäksi selvitetään maailmalla soodakattiloissa tällä käytössä olevat tiiveydenvalvontamenetelmät ja niiden toimittajat sekä se kuinka laajasti ko. järjestelmiä on käytössä.

Selvityksen tuloksena esitetään yhteenveto kyselyn tuloksista sekä esitellään parhaat tehtailla nyt käytössä olevat tekniikat ja menettelyt.

Selvitys tehdään vuoden 2016 aikana.

Selvityksen hinta (ilman arvonlisäveroa) on 12 000 €. Selvitys laskutetaan kun raportti on toimitettu tilaajalle ja tilaaja on hyväksynyt raportin.

Terveisin



Timo Karjunen

VARO

LIITE 6

Muiden työryhmien kuulumiset



KTR kokous 14.4 Pöyry, Vantaa

1



Opinnäytetyöpalkinto 2016

- Yksi hakemus tällä hetkellä:
 - Venla Partanen LUT / Pöyry Finland Oy
 - Separation of lignin in Pulp Mill process and its effect on sodium-sulphur balance
- Mainostus ainejärjestöille/professoreille

2

Työryhmien toiminta

Valmistuneet projektit

3

Projekti	<u>ATR: Valvomohälytykset – hyvät käytännöt hälytysten laatimiseksi</u>
Tavoite	Laatia ohje johon kerätään hyvät käytännöt hälytysten laatimiseksi ja jossa kuvataan menetelmä turhien hälytysten karsimiseksi.
Tekijä	ATR
Kustannus (bud. / tot.)	- / - eur (+alv)
Tilanne / Aikataulu	Sihteeri tehnyt yhteenvedon olemassa olevista oppaista. Teksti kommentoitu ja hyväksytty ATR:n kokouksessa 23.3.2016
Johtopäätökset Toimenpiteet	Kommenttien lisäyksen jälkeen julkaistu 31.3.2016
Päätökset	

4

Projekti	<u>YTR: Viherlipesakkalietteen syrjäytyspesu</u>
Tavoite	Projektin tavoitteena on selvittää toimiiko syrjäytyspesu-menetelmä pilot-mittakaavassa. Syrjäytyspesu olisi vaihtoehto sakkalietteen nykyisten pesu/käsittelytekniikoiden (precoat-suodin, linko, painesuodatus yms.) <u>tilalle</u> .
Tekijä	Oy Sirra Ab
Kustannus (bud. / tot.)	15 000 eur / 15 000 (+alv)
Tilanne / Aikataulu	Raportti julkaistu 29.2.2016
Johtopäätökset Toimenpiteet	• Menetelmä toimii pilot-mittakaavassa • Sakalle tehtävä 3-4 kertainen laimennus • Kaatopaikkajätteen määrä vähenee arviolta 50 – 60 % (pre-coat) • Selvítettävä tarkemmin pesun tehokkuus -> analyysistä erillinen tarjous

Projekti	<u>YTR: Viherlipesakkalietteen syrjäytyspesu</u>
Lausunto	Projekti saavutti sille asetetun tavoitteen selvittää syrjäytyspesu menetelmän toimivuutta. Kaatopaikalle vietävän jätteen vähenemisestä ei voitu antaa tarkkaa laskelmaa. Jatkoanalysointi on tutkimuksen tulosten hyödyntämisen kannalta oleellista, mm. pesun tehokkuus
Päätökset	

Projekti	<u>LTR: Mustalipeän Ei-Newtonilaisuus ja pisaroituminen</u>
Tavoite	1. Selvittää viskositeetin ja ei-Newtonilaisuuden (lue leikkausohenevuuden) vaikutuksia mustalipeän pumppaukseen, virtauksiin, pisan muodostukseen 2. Mitata mustalipeän leikkausohenevuutta kokeellisesti leikkausnopeuden funktiona. 3. Selvittää jatkuvatoimisen kapillaariviskometrin soveltuvuutta tehdasolosuhteissa viskositeetin mittaukseen
Tekijä	Aalto Yliopisto, Ari Kankkunen / Mika Järvinen Labtium, Jorma Torniainen
Kustannus (bud. / tot.)	46000 eur / 46000 eur (+alv)
Tilanne / Aikataulu	Hallituksen kommentit välitetty tekijöille ja raportti päivitetty. Raportti odottaa julkaisua
Johtopäätökset Toimenpiteet	Polttolipeäputkiston vaihto Oulussa ei näytä johtuvan Ei-newtonilaisuudesta. Varmistus Hukkaselta puuttuu.

7

Projekti	<u>LTR: Reduced Lignin Black Liquor – pyrolysis tests and CFD modeling study</u> , part 2
Tavoite	Jatkotutkimus CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion-projektille.
Tekijä	Åbo Akademi, Markus Engblom / Nikolai DeMartini
Kustannus (bud. / tot.)	15 000 eur / - eur (+alv)
Tilanne / Aikataulu	Raportti julkaistu 13.1.2016
Työryhmän lausunto	Tutkimuksessa saatiin onnistuneesti lisätietoa hiilen jakautumisesta palavaksi hiileksi ja haihtuviin hiiliyhdisteisiin. Myös suunnitellut mallinnukset toivat lisätietoa kattilan ajoparametreista vähänligniinisellä lipeällä.
Päätökset	

8



Projekti	<u>LTR: Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion – Phase 2</u>
Tavoite	Jatkoprojekti Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion-projektille: Selvitetään kattavasti eri kosteuden, lämpötilan ja suolojen Na ₂ SO ₄ , Na ₂ CO ₃ , NaCl, KCl ja niiden yhdistelmien vaikutus hiiliteräksen korroosioon. Yhtenä yhdistelmänä myös kattilatuhka
Tekijä	Åbo Akademi, Nikolai DeMartini / diplomityöntekijä
Kustannus (bud. / tot.)	25 000 eur / 25 000 eur (+alv)
Tilanne / Aikataulu	Raportti julkaistu 13.1.2016
Työryhmän lausunto	Rikkihappokastepistettä ei löytynyt -> hygroskooppiset suolat selittävät kattiloissa tapahtunutta korroosiota



Työryhmien toiminta

Käynnissä olevat projektit

Projekti	<u>LTR: Black Liquor Evaporation Book</u>
Tavoite	The book provides introductory text to the basic principles of black liquor evaporation for young engineers in chemical recovery and detailed black liquor properties and scaling chapters which will serve as both a reference, and as a guide to troubleshooting and resolving scaling problems.
Tekijä	Åbo Akademi, Nikolai DeMartini Table Mountain Consulting, Jim Frederick
Kustannus (bud. / tot.)	14 750 eur / - eur (+alv)
Tilanne / Aikataulu	Kommentoitava versio tulossa toukokuun puolella välissä 2016 (alkuperäisesti kesäkuussa 2015)
Johtopäätökset Toimenpiteet Päätökset	

Projekti	OTR: Vuosikokous
Tavoite	
Tekijä	SKY
Kustannus (bud. / tot.)	10 000 eur (+alv)
Tilanne / aikataulu	20.4.2016 Casino Helsinki
Johtopäätökset Toimenpiteet	Uusi puheenjohtaja UPM

Projekti	OTR: Soodakattilapäivä
Tavoite	
Tekijä	SKY
Kustannus (bud. / tot.)	30 000 / - eur (+alv)
Pääsymaksut (bud. / tot.)	30 000 / - eur (+alv)
Tilanne / aikataulu	27.10.2016 Sokos Hotel Torni Tampere
Johtopäätökset	Energiamessut 25.-27.10.2016 Tampereella (Tampereen Messu- ja Urheilukeskus)
Toimenpiteet	

Projekti	OTR: SKY Historiikki
Tavoite	Tehdä haastatteluihin ja arkistomateriaaliin perustuva kovakantinen kirja yhdistyksen 50-v historiasta
Tekijä	Risto Valkeapää
Kustannus (bud. / tot.)	80 000 eur / 45 000 eur Kirjoitusosuus (50 000 eur) on alv vapaata
Tilanne / aikataulu	- Sisältöä muokattu kronologiseen järjestykseen - Risto ollut Pöyryllä kirjoittamassa joka viikko vuoden alusta (~2 x vko) - Sihteeri ollut mukana aina kun mahdollista - Kronologia vielä kesken (2000-luku menossa) - Kaksi osaa: - Kronologinen historiikki - Haastattelut Kustannustilanne ja lopullinen kustannus Kronologia draft toukokuun lopussa Koko draft hallituksen kokoukseen syksyllä Painettu versio SKP 2016

Projektitarjoukset

15

Projekti	<u>YTR: Soodakattilan NOx-päästön riippuvuus puuraaka- aineen typpipitoisuudesta, VTT</u>
Tavoite	Ensimmäisessä vaiheessa kirjallisuuskatsaus, joka painottaa seuraavia asioita: • eri puulajien typpipitoisuudet iän, kasvupaikan, kasvuympäristön, puun eri osien ym. Tekijöiden suhteen (pääpaino eurooppalaisissa metsäteollisuuden käyttämissä puulajeissa) • typen esiintyminen puussa eri yhdistemuodoissa ja näiden käyttäytyminen puun sulfaattikeitossa • typen kiertokulku/käyttäytyminen talteenotossa ja sitä kautta NOx-päästöjen muodostuminen
Tekijä	Klaus Niemelä, VTT
Kustannus (bud. / tot.)	9 000 eur / - eur + alv (virallinen tarjous tulossa hallituksen kokoukseen)
Tilanne / aikataulu	Valmis syksyn 2016 hallituksen kokoukseen

16

Projekti	YTR: Viherlipeäsakan syrjäytyspesu, osa 2 Sirra/Labtium
Tavoite	Selvittää viherlipeäsakan sisältämät aineet syrjäytyspesun jälkeen, ja mitkä haitalliset aineet mahdollisesti kulkeutuvat takaisin kemikaalikiertoon tuotelipeän mukana. Verrataan myös pitoisuudet pre-coat suodatetun sakan pitoisuuksien kanssa.
Tekijä	Kurt Siren, Sirra
Kustannus (bud. / tot.)	5 000 eur + analyysit 2285 euroa / - eur +alv
Tilanne / aikataulu	Valmis syksy 2016

Projekti	<u>LTR: Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion – Phase 3, ÅA</u>
Tavoite	Carry on earlier work further (Master's thesis): • More salts from boilers including some samples with at least slightly acidic salts (ex. Heinola) • Determine if acidic gases (SO₂, HCl) impact the extent of corrosion • Some longer runs (time and conditions to be agreed on with SKY) • Gradient furnace tests
Tekijä	Niko DeMartini, Åbo Akademi
Kustannus (bud. / tot.)	25 000 euroa / - eur +alv
Tilanne / aikataulu	Valmis syksy 2016

Projekti	<u>LTR: Writing of textbook: "Chemistry of biomass combustion", ÅA</u>
Tavoite	The book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry, and it would be a nique book focused on the role of chemistry in biomass combustion processes, including recovery boilers
Tekijä	Markus Engblom, Niko DeMartini, Åbo Akademi
Kustannus (bud. / tot.)	20 000 euroa / - eur +alv • Vastaava summa on tulossa polttotekniikan tutkimusjärjestöltä <u>FFRC:ltä</u> • Kolmas tukija on mahdollisesti erilaiset säätiöt, joilta haetaan yhteensä 20 000 euron pottia • Yhteensä pitäisi saada kasaan 60 000 euroa, jotta kirja-projekti lähtisi liikkeelle
Tilanne / aikataulu	

Projekti	<u>LTR: Pulp mill deposit formation and aging – role of intra-deposit alkali chloride transport, ÅA</u>
Tavoite	• Lämpögradientti aiheuttaa alkalikloridien siirtymistä (diffusion avulla) tulistinkerrostumassa, aihetta ei ole tutkittu juurikaan soodakattilassa • Tavoitteena saada tietoa ja ymmärrystä mekanismista • Sondilla näytteenotto (20 min ja 1000 h) soodakattilalla sekä voimakattilalla
Tekijä	Markus Engblom, Daniel Lindberg, Leena Hupa, Åbo Akademi
Kustannus (bud. / tot.)	15 000 euroa / - eur +alv
Tilanne / aikataulu	

Projektiehdotukset

21

Projekti	ATR: Soodakattilan päästömittausten menetelmät
Tavoite	Päivittää vuonna 2007 tehty kysely. Tavoitteena on selvittää myös päästömittauslaitteiden käyttökokemuksia, kunnossapitoa ja huoltoa, ja sen avulla on helppo ottaa yhteyttä päästömittausasioissa samanlaisten ongelmien ja haasteiden kanssa ponnisteleviin tehtaisiin.
Tekijä	Selvityksen alla (mahdollisesti opinnäytetyö) Yhteistyö vertailumittauksia tekevän yrityksen kanssa
Kustannus (bud. / tot.)	- / - eur (+alv)
Tilanne / Aikataulu	
Johtopäätökset Toimenpiteet	

22



Projekti	YTR: Selvitys tyypillisistä savukaasuvirroista [m ³ /ADt] eri puulajeilla
Tavoite	Selvittää miten puulajit vaikuttavat soodakattilan savukaasuvirtaan. Selvitys on varautumista seuraavan BAT-referenssidokumentin valmisteluun. 1. Kerätään suomen tehtaiden tyypilliset savukaasuvirrat, verrataan eroavatko ominaissavukaasuvirrat toisistaan 2. Laaditaan excel laskentamalli savukaasuvirtauksen laskentaan Savukaasumäärän laskenta auttaa myös tarkistamaan ympäristömittausten savukaasuvirtauksen laskentaa
Tekijä	Selvityksen alla (mahdollisesti LUT opinnäytetyö)
Kustannus (bud. / tot.)	- / - eur (+alv)
Tilanne / Aikataulu	
Johtopäätökset Toimenpiteet	



Muut asiat



Haalarimerkki

- Tavoitteena on hankkia näkyvyyttä opiskelijoiden keskuudessa ja mainostaa opinnäytetyöpalkintoa.
- Merkkejä tilattu 1000 kpl
- Merkkejä jaetaan ainakin seuraaville ainejärjestöille/killoille:
 - Puunjalostajakilta, Aalto (50 kpl)
 - Konetekniikka, Aalto
 - Lämpövoimakerho, Aalto
 - Armatuuri, LUT (50 kpl)
 - KETeK, LUT
 - Prosessikilta, OY
 - Ympäristöteekkarikilta, TTY
 - Åbo Akademi

LIITE 7

Operaattoripäivä 16-17.3.2016 yhteenveto/palaute

SOODAKATTILAOPERAATTORIEN KOKEMUSTENVAIHTOPÄIVÄT 16.-17.3.2016
Vantaa

Paikalla: Martin Wikström, LMW Consulting Oy
Kari Haaga, Valmet
Kalle Salmi, K E Salmi Oy
Vesa Timonen, POHTO Oy
38 tehtaiden osallistujaa

PAINELAITELAKI JA VELVOITTEET OPERAATTOREILLE
Martin Wikström

Soodakattilayhdistys

- toiminta 50 vuotta
- Vaurioiden lukumäärä vauriotyypeittäin

Osallistujilla keskimäärin 25 vuotta työkokemusta kattiloista.

USA:ssa mm. koulutus eri muodoissaan vähensi räjähdysten määrää merkittävästi.

Syyt suuriin räjähdysmääriin → Liian vähän työntekijöitä kentätyössä, kenttäkierroksilla. Kenttäkierroksilla huomatuilla asioilla kuitenkin estetään eniten suuria vaurioita.

Valta ja vastuu

Vuoroesiemiesten alueet ovat suuret. Hätätapaus voi sattua milloin tahansa.

Käytönvalvoja vastaa henkilökohtaisesti painelaitteesta TUKESin ohjeiden mukaan.

Valvomon hoitajan on myös tehtävä nopeita ratkaisuja ajotilanteessa kokemuksensa mukaan ja minimoida mahdolliset vauriot kattilaan. Toimitaan jopa 1-2 min harkinnalla.

Pikapysäytyksellä ja sen jälkeisellä pikatyhjennyksellä on tarkoituksena saattaa häiriössä tai vauriossa (oletuskin riittää) oleva kattila turvallisempaan tilaan. Kattilaan jäänyt keko aiheuttaa pitkähkön viiveen esim. pesun aloitukseen. Keon sisäisen lämpötilan mittausta auttaisi turvallisen pesun aloitusajan määrittelyssä. Pikatyhjennysputket tarkistetaan uusissa soodakattiloissa ns. esikokeessa ennen starttia, jolloin kattilassa täysi paine ja pikatyhjennysventtiilit avataan. *Pikatyhjennys venttiilien toiminnan tarkastuksesta pitäisi tehdä säännöllisesti toistuva rutiini.*



Taitotaso ja kenttätietous

Pidettävä yllä myös ykkösmiehillä. Seisakeissa käytävä katsomassa kattilan sisään jne..

Organisaatiot ovat pienentyneet

Onko tuuraajia ?

Ruokailut hoidettava päätteiden edessä ja wc-käynnit tehtävä radiopuhelimen kanssa. Vaihdetaan välillä tehtäviä kenttämies-valvomonhoitaja, jotta saadaan tuurauksen helpommin hoidettua. Samalla ammattitaito paranee koko ajomiehistöllä.

Käyttäjäkunnossapito

Hitsaus luvanvaraista kemikaali- ja painelaitelain mukaan. Tarvitaan hitsarilla luvat ja hitsauksen tarkastajilla luvat.

Työlupien kirjoittaminen

Vastuu on kirjoittajalla. Etumies uusi termi tulevaisuudessa. Voi kirjoittaa luvan, mikäli työnantaja on antanut siihen oikeuden (käyttää työnantajan edustajille annettua mandaattia), vastaa allekirjoituksellaan työolojen turvallisuudesta kirjoittamallaan alueella.

Ilmoitus soodakattilan vaaratilanteesta

Tiedonkulku puutteellinen. Työturvallisuus on parantunut, kun ollaan kiinnitetty enemmän huomiota myös *läheltä piti -tapauksiin* kirjaamalla myös ne opiksi ja ojennukseksi. Vaurio, häiriö tai jokin muu äkillinen vaaraa aiheuttava tapahtuma (automaatio, sähkö, käyttöhäiriö) pitäisi myös kirjata, koska niissä piilee aina myös työturvallisuusriski (ympäristö, taloudellinen). Mikäli teollisuus haaveilee 0 tapaturmista pitäisi näiden tietojen olla julkisia. Nimiä ei tarvita. Koulutuksellisesti on tärkeää tietää miten välttyä näiltä ja oppia muiden kokemuksista.

HAVAINTOJA KATTILASTA

Kalle Salmi

Kattilatarkastukset

Tulipesän pohja. Kuumalla vedellä pesu, pyörivään liikkeeseen. Puhdas pohja pitää suojata, jotta pinnoille ei tule syöpymiä, jos pohjalle pääsee mustalivettä.



Kourut

Alapään muotoilu. Onko pyöreä jättöpää parempi eroosiomieleessä? Toiset kourut kestävät toiset eivät. Kourun alapään eroosio on tällä hetkellä useanpaikan ongelma. Liian suuri alipaine jäähdytyskierrossa, jolloin vesi kiehuu jo alhaisemmassa lämpötilassa, voi kavitoija pahimmassa tapauksessa. Laihassa lipeässä on NaOH:a, joka edesauttaa rännien ja hajotushöyrysuuttimien korroosiota. Kourun jäähdytysveteen on hyvä laittaa hapenpoisto/pH-säätökemikaaleja.

Mikäli on ongelmia keon sulattamisella alasajossa on hyvä pienentää tulipesän vetoa. Palokaasumäärän vähentyessä hormi vaikutus kasvaa ja vetää liekkiä ylös.

Ränniaukkojen tulpamineen betonilla, aiheutti kovaa keskustelua puolesta ja vastaan.

Mustalipeää ei kattilan pohjan suojaksi !

Kulkuaukkoputken korroosio, alaosa suojataan tyypillisesti "liukkaalla matolla" seisokin ajaksi ja, kun kattilaa ollaan jälleen ottamassa käyttöön, niin huomataan putkivauriota kulkuaukosta.

Ilman kierrätys(pyöritys) kattilassa sopii alhaiseen (60 %) kuiva-aineeseen ja saadaan hyvä reduktio. Ei enää käytetä. Putken sisäkerrostumat kannattaa kuvata/analysoida, jos putki katkaistaan.

Ruiskuauriot

"tölkki"-suutin toimii pienissä kattiloissa (pesä 7*7 tai alle) Lusikan ruiskukulmat 32 astetta. Jossakin 29 astetta, parantaa toimintaa. Jos yksi ruisku pois (paine nousee) k.a 80 , niin pisarakoko suurenee. Jos kuiva-aine 70, niin pisarakoko pienenee (voi myös suurentaa !) kekkoon tulee lisää tavaraa.

Vetyhyökkäys

Tyypillisesti tulipesän alaosassa korkeimman lämpövuon alueilla. On havaittu myös mustalla osuudella tertiäriaukkojen yläpuolella. Vety reagoi raudan hiilen kanssa ja muodostaa metaania (kaasua). Metaani tunkeutuu raudan raerajoja pitkin läpi putken seinämän ja haurastuttaa materiaalia. Vetyhyökkäys lähtee tyypillisesti putken sisäpinnan kerrostumasta.

Nuohoinaukon korroosio ja pinnoitevaurio

Putkistossa erilaisia vikoja.

Eco kakkosen tuhoaja, happamat sulfaatit, Happamat sulfaatit muodostuvat, kun kattilalla on SO₂ päästöjä.

KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSET SOODAKATTILASTA

Kari Haaga, Valmet

Sähkösuotimissa työskentelyssä kattilan ollessa käynnissä

Onnistuu. Tulo pelti kiinni (joillakin auki), imu kertoo tilanteen. Puhaltimien pysähtyessä voi tulla paineisku kattilasta, kuumat kaasut.

Kattilan paineen nosto

Aisaputkien lämpötilan mittaus. Lämpötilan nostossa 0.7 - 1 °C/min. Jos putkissa "ongelmia", yleensä kammion alalaidan putkissa, josta esim kondenssi pääsee helpoimmin alimpiin putkiin. Paine-ero kertoo trendinä tilanteesta. Höyryn ja syöttöveden virtausero kg/s. Tulistimen vesilasti. Kuvaajassa hyppy (lämpötila ylöspäin) kertoo vesilasti lähtee pois.

Miten varmistetaan, että lauhde poistuu tulistimesta ?



Liutotsäiliön toiminta

Esim. Sulfiditeetti putosi 38 → 15. Sulan lämpötila olisi pitänyt olla korkeampi 850 °C, jotta oltaisiin sulana. Uimurin pintakytkin rikki (pinta häviää). Sekoitin ja pumppu pysähtyi. Heikkoa lipeää syötettiin lisää. Kaasutila on pieni, normaali 1.5-2 m. Laitteistorikkoja tuli reilusti. Tärkeää olla useampi pinnan mittaus.

Case 1: Liutottajan räjähdys 29.12.2001, Soodakattilayhdistyksen sivulta.



Kattilan pesun aloitus

Primääritasolta luukusta katsominen, märkää oli. Primääriputki oli säröillä. Eväpäitä oli mennyt säröille. 3 metriä korkea keko. Keko oli suuri, piti odottaa 7 päivää jäähtymistä (keon sisälämpötila alussa 800°C). Pieni keko järkevämpi, reduktio säilyy hyvänä silti. 400-500°C keon sisällä, voidaan aloittaa pesu. 100 °C pohjan lämpötila. Voidaan mitata sulan lämpötila ennen tulistinalueen vesipesun aloittamista esim. Oulu tekee näin.

Kekokamerasta tukea soodakattilaprosessin muutoksien havaitsemiseen

Clyde Bergemann, info@fi.cbpg.com

Kekokamerat, tulipesän yläosan valvontaa (kuonaantumiseen)

Kameran ohjelmistot, voidaan mitata tiettyjen pisteiden lämpötilaa tai tietyn muotoisten alueiden mittausta. Keon muoto voidaan nähdä 3D mallina. Voidaanko käyttää tulipesän polton ohjauksiin?

Lipeäruiskujen ohjauksiin?

Tulistin vuoto tulipesäräjähdys

Case 2: Tulipesä räjähdys 26.2.2008, Soodakattilayhdistys.

Tulistimien vesipesu voidaan aloittaa viimeistään n.24h kuluessa, jos kattilan alasajoa on ollut hallittua. Aloitusajankohta pitää määrittää tapauskohtaisesti riippuen keon koosta; kattilan hätäseis tehty, hallittu alasajoa, sulan pumppaus etc.

Ennakkokysymysten läpikäynti

Perusidea monella näytti olevan tapa ajaa ruiskut suoraan "vaihtokuntoon". Lipeäruiskujen huolto/pesu sisäpuolelta ei ollut tyypillistä. Höyryllä tai vedellä pesu tai mekaaninen puhdistus.

Likaantumisen

Nuohoimet pitäisi riittää. Savukaasujen aiheuttama pyörre tekee oman likaantumisilmiön. Nuohointen tehokkuusalue, useampi nuohoinpari olisi parempi. Suomessa toimitaan vähällä nuohouksella. Tehokas puhistusalue n. 1m.

T15 (lämpötila, jossa 15% kerrostumasta sullassa tilassa) ja T70 (70% sulassa) likaantumisen kannalta oleellisia alueita. Lämpötilan ollessa n.600°C alkaa kertyä 3.tulistimien pintoihin esimerkkitapauksessa.

Happamat sulfaatit (laskee tuhkan pH:ta), SO₂-emissiot. Sulfiditeetti (S/Na-suhde) käyrät. Jos suodintuhkan pH on alle 10, niin SO₂-sta esiintyy ja siten tarttuvaa suolaa. Yleisesti 2.econ sisääntulossa näkyy kertyminä ensimmäisenä.

Rännivuoto 2011

Yhdistyksen sivuilta löytyy raportti.

Kaksi reikää rännissä kattilapuolella. Pistesyöpymiä. Kavitaatioilmiö.



TILAISUUDEN ARVIOINTI

Tilaisuuden nimi: Soodakattilaoperaattorien KOKEMUSTENVAIHTOPÄIVÄT
Aika: 16.–17.3.2016
Tilaisuuden johtaja: Kehittämispäällikkö Vesa Timonen, POHTO Oy

Arvioi seuraavia asioita rengastamalla mieleisesi vaihtoehto

1 = huono ☹☹ >>> 5 = erinomainen ☺☺☺

n= 36, ARVIOINTIEN YHTEEENVETO	1=☹☹	2=☹	3=☺	4=☺☺	5=☺☺☺	KA
Käsitellyt aiheet	0	0	2	20	14	4,3
Riittäkö aiheelle varattu aika	0	2	6	18	10	4,0
Käytännön järjestelyt	0	0	2	19	15	4,4
Vastasiko tilaisuus odotuksiasi	0	0	1	21	14	4,4
Minkä yleisarvosanan antaisit 1. päivästä?	0	0	2	23	11	4,3
Minkä yleisarvosanan antaisit 2. päivästä?	0	0	1	20	14	4,4
Minkä arvosanan antaisit päivien vetäjille (Wikström/Salmi/Haaga)	0	0	0	16	20	4,6

Arvioi tilaisuutta - mitä asioita pitäisi lisätä tai poistaa, kritiikkiä tai kehuja:

- pitkästä aikaa koulutus, jossa puhuttiin asiaa, jota voi käyttää työelämässä. Nämä ajankohtaiset ongelmat ja niihin kokeiltuja ratkaisuja. Yhteystietoihin voisi lisätä kaikkien e-meiliosoitteet.
- porukkaa pitäisi vaan haastaa aktiivisempaan keskusteluun
- miten kattila- yms. laitteet puhdistetaan seisakkiin. Miten kattila laitetaan turvalliseen tilaan ja em. käytäntöjä
- hyviä havaintoja ja hyvät kouluttajat. Voisi kuunnella pitempäänkin. Aiheet olivat kiinnostavia. On hyvä, että osallistujien ikähaarukka oli suuri. Tuli paljon tietoa nuoremmille.
- koulutustilassa oli huono ilmanvaihto
- ei valittamista. Aiheet olivat hyviä ja kiinnostavia x 2
- miksei näitä ole aikaisemmin ollut. Nämä ovat erittäin hyviä tilaisuuksia, jotka antavat paljon, kun on saanut kuulla muiden kokemuksia
- kaiken kaikkiaan hyödyllinen tilaisuus
- käyttäjien esimerkkejä ongelmista ja niiden ratkaisemista eri tehtailla. Video jostain kattilan ja keon toiminnasta saattaisi olla ehkä hyvä?
- hyvää keskustelua tärkeistä käytännön aiheista
- loistava kurssi x 2
- vetäjien ammattitaito ja kokemus hyvä x 2
- todella hyvä tilaisuus, varsinkin vastuusi asiat kiinnosti
- erittäin ammattitaitoiset kouluttajat
- tilaisuus on hyvä, koska käsitellään käytännön asioita. Teorian kuunteleminen on usein aika raskasta. Kari Haagan esitys loistava ja mielenkiintoinen
- kaikki ok
- positiivista oli suuri osanottajien määrä -> tila kävi pieneksi (huono ilmanvaihto). Loistavia käytännön esimerkkejä, hyvä kokonaisuus kaiken kaikkiaan. Hyviä keskusteluja
- tilaisuus 3-päiväiseksi
- tilaisuus oli erittäin hyvä! Vapaamuotoinen keskustelu oikein hyvä. Siten kuulee kokemuksia toisilta tehtailta
- kaikki järjestetty kaikilta osin
- Haagalla oli mielestäni antoisimmat ja käytännön läheisimmät tarinat, konkreettisia esimerkkejä ja niihin ratkaisuja
- vielä enemmän keskusteluja osallistujien kesken
- hyvät ja mielenkiintoiset esitykset, hyviä esimerkkejä muualta
- järjestelyt erinomaiset, aikaa niukalti
- uusia asioita tuli esiin, mitä laajentaa ja tarkentaa seikkoja, joita pitää ottaa huomioon

Mitkä aiheet olisivat kiinnostavia seuraavalla kokemustenvaihtopäivillä 2017?

- erilaisia ilmamallinnuksia / ilma-aukkojen säädöt vaihtelevat paljon = keonvaihtelu
- kaikki käsitellyt aiheet olivat ok
- automaatio /lukitukset yms.
- kunhan luennoimassa on asiantuntevia ihmisiä, ei aiheella ole väliä.
- samat aiheet => kokemustenvaihtoa
- samat aiheet ja miten on mennyt kuluva vuosi. Vauriot, havainnot, kokemukset seisokeista, Kehitys ja laiteratkaisut tulevaisuudessa
- turvallisuutta pitää aina korostaa tekemisessä. Eri kattilamateriaalien kestäminen (lämpötilarajat)
- käytännön kokemuksista ja ongelmista voisi keskustella enemmän
- käytännön ongelmat ja niiden ratkaisut eri tehtailla
- keon hallinta, kemikaalikierto, kaustistamon prosessin vaikutus, soodakattila
- ylös-/alasajo – niiden ongelmatilanteet. Kertausta ei ole koskaan liikaa. Vaurioon johtavat juurisyyt aina hyvä selvittää
- kattilan vesikemia
- ehkä pitäisi jutella myös tulevasta lipeästä
- reduktion saaminen 97:ään

Millä paikkakunnalla kannattaisi seuraava kokemustenvaihtopäivä 2017 järjestää?

Vantaa 13
Tampere 12
Jyväskylä 4
Oulu 6
Muu 1 (Helsingin alue)

Millaista koulutusta haluaisit jatkossa?

- kokemustenvaihtoa
- samanlaista, joitain ryhmitöitä voisi olla enemmän
- vastaava kokemuksien vaihto on hyvä
- neuvoja, ohjeita kattilan ajamiseen
- pesukäytännöt, -turvatoimet. Toimisivatko jonkinlaiset ryhmätyöt? Viimeisimmät suorajärjestelmät, mittaukset jne
- kaikenlainen koulutus liittyen soodakattilaan

Kiitos !! Martin, Kari ja Kalle hyvistä päivistä.

Kiitos myös Soodakattilayhdistykselle hyvästä tuesta päivien onnistumiseksi.

Vesa Timonen POHTO Oy