



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry.

**Soodakattilan materiaalit ja
tarkastukset**

Kestoisuustyöryhmä

2.9.2016

Raportti 9/2016

16A0913-E0170

ESIPUHE

SISÄLLYSLUETTELO

1	SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA HITSAUKSET	6
1.1	Yleistä.....	6
1.2	Terästen jaottelu	6
1.2.1	Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräsputket.....	9
1.2.2	Runsasseosteiset teräsputket.....	10
1.2.3	Ruostumattomat teräsputket.....	10
1.2.4	Kompound-putket.....	13
1.3	Materiaalit käyttökohteen mukaan	14
1.3.1	Pohja.....	16
1.3.2	Seinät.....	17
1.3.3	Kammiot, aukot, läpiviennit, kourut, massaukset	17
1.3.4	Verho	18
1.3.5	Tulistin.....	18
1.3.6	Ekonomaiseri.....	22
1.3.7	Lieriö	22
1.4	Hitsaus	22
1.4.1	Erikoishitsaukset	24
1.4.1.1	Ferriittisten terästen (“Musta/musta”) –liitos	24
1.4.1.2	Austeniittisen ja ferriittisen teräksen (“Musta/ruostumaton”) liitos.....	24
1.4.2	Kompoundputkien korjaushitsaus	25
1.4.2.1	Soveltamisala.....	25
1.4.2.2	Hitsauksen edellytykset	26
1.4.2.3	Toimenpiteitä ennen hitsauksen aloittamista.....	27
1.4.2.4	Hitsauksen suorittaminen.....	27
1.4.2.5	Toimenpiteet hitsauksen jälkeen.....	29
1.4.2.6	Loppusanat.....	30
1.5	Lähteet:	30
2	SOODAKATTILAPINNOITUKSET.....	31
2.1	Johdanto.....	31
2.2	Ruiskutusmenetelmät	32
2.3	Pinnoitemateriaalit.....	34
2.3.1	Rautavaltaiset pinnoitteet	34
2.3.2	Nikkelivaltaiset pinnoitteet.....	35
2.3.3	Kaupalliset pinnoitemateriaalit.....	36
2.3.4	Pinnoitemateriaalien valinta	37
2.4	Pinnoitteen valmistus	40
2.4.1	Termisellä ruiskutuksella pinnoitettavan pinnan esikäsittely.....	40
2.4.2	Pinnoitemateriaali.....	41
2.4.3	Terminen ruiskutus.....	42
2.4.4	Sulautuvien seosten ruiskutus	42
2.4.5	Vaaditut ominaisuudet ja pinnoitteen testausmenetelmät	42
2.4.6	Pinnoitteen ulkonäkö.....	43

2.4.7	Tartunta	43
2.4.8	Paksuuden mittausta	43
2.4.9	Vanhon pinnoitteiden tarkastus ja pintojen korjaus	44
2.4.10	Manipulaattorin käyttö pinnoituksessa	45
2.5	Yhteenveto.....	45
2.6	Lähdeluettelo	45
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	54
4.1	Yleistä.....	54
4.2	Tarkastusmenetelmät.....	56
4.2.1	Silmämääräinen tarkastus/VT (visual testing)	56
4.2.2	Paksuusmittaus/ TM (thickness measurement)	57
4.2.3	Magneettijauhetarkastus / MT (magnetic particle examination).....	57
4.2.4	Tunkeumanestetarkastus / PT (liquid penetrant examination)	58
4.2.5	Radiografia/RT (radiographic examination)	58
4.2.6	Ultraäänitarkastus / UT (ultrasonic examination)	59
4.2.7	Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing)	60
4.2.8	Jäljennemenetelmä/REP (replica)	61
4.2.9	Endoskooppitarkastus/END (endoscopy).....	62
4.2.10	Akustinen emissioseuranta / AE (acoustic emission)	62
4.2.11	Lämpökuvaus (thermography).....	62
4.2.12	Kovuusmittaus/HT (hardness test).....	62
4.2.13	T-Scan paksuusmittaus	62
4.2.14	IRIS-tekniikka	63
4.2.15	Sisäpuolisen kerrostuman / magnetiittikalvon paksuusmittaus	63
4.2.16	Guided Wave.....	66
4.2.17	RFET (kaukokenttämenetelmä pyörrevirtatekniikalla, Remote Field Electromagnetic Technique).....	67
4.2.18	Magneettinen vuotokenttätarkastus (MFL).....	67
4.2.19	Jännös jännitystilat	67
4.2.20	Ainetta rikkovat tarkastukset	68
4.3	Tarkastettavat kohteet.....	68
4.4	Vesipainekoe korjausten jälkeen	68
4.5	Dokumentointi.....	69



LIITTEET:

- Liite 1 Komponenttikohtaiset suositukset NDT-tarkastuksille
- Liite 2 Valokuvia soodakattilan eri osista ja vaurioista
- Liite 3 Teräs-standardien vertailutaulukko



ESIPUHE

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 laatujärjestelmä (esim. ISO 9001 mukainen), jossa kuvataan (soveltuvien osien) materiaalin valinta, tilaus, vastaanotto, aineistodistusten 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, aineenkoetusta, koostumusta ja nimikkeitä jne. Lisäksi standardit vaihtelevat alueellisesti: Yhdysvalloissa käytetään AISI-, SAE-, UNS- ja ASME-standardeita, Japanissa JIS-standardeja, Venäjällä GOST-standardeja ja Euroopassa EN-standardeita, joihin Suomalaiset SFS-standardit on yhdenmukaistettu. Eri kansallisten standardien välillä ei ole identtisiä teräksiä, mutta yleensä löytyy verrattava teräs, eroja voi kuitenkin olla koostumusten ja mekaanisten ominaisuuksien sekä määrittelyiden ja velvoitteiden välillä.

SFS-EN 10027 esittelee periaatteet terästen Eurooppalaisten nimikkeiden muodostamisesta:

- [SFS-EN 10027-1 Terästen nimikeyjärjestelmät. Osa 1: Terästen nimikkeet](#)
- [SFS-EN 10027-2 Terästen nimikeyjärjestelmät. Osa 2: Numeerinen järjestelmä](#)

[SFS-EN 10027-1](#) mukaiset nimikkeet muodostuvat tunnuskirjaimista, numeroista sekä mahdollisesta lisätunnuksista, jossa teräkset nimetään kahdella tavalla:

Ryhmä 1: käyttötarkoituksen ja mekaanisten tai fysikaalisten ominaisuuksien perusteella
– tunnuskirjain kuvaa teräksen sovelluskohteen ja numerot kertovat sen keskeiset ominaisuudet. Lisätunnus kuvaa soveltuvuutta tiettyyn tarkoitukseen (esim. korkea lämpötila).

Ryhmä 2: kemiallisen koostumuksen perusteella
– teräkset jaotellaan kemiallisen koostumuksen mukaisesti neljään alaryhmään

Ryhmän 1 mukainen nimike muodostuu taulukon 1-2 osoittamalla tavalla.

Taulukko 1-2. Terästen nimeäminen käyttöominaisuuksien perusteella, ryhmä 1

Pää tunnukset		Lisätunnukset	
Kirjain	Mekaaniset ominaisuudet	Teräksen ominaisuudet	Terästuotteen ominaisuudet
S = rakenneteräs P = paineastiateräs L = putkiteräs	myötö- tai murtolujuutta kuvaava arvo, N/mm ²	N = normalisoitu T = putket G = muut ominaisuudet	H = korkea käyttölämpötila GH = kuumaluja
Esimerkki P235GH			
P	235	G	H

Ryhmän 2 mukainen kemialliseen koostumukseen perustuva nimike koostuu seostamattomilla teräksillä joiden mangaanipitoisuus ylittää 1 % rajan, taulukon 1-3 esimerkin osoittamalla tavalla.

Taulukko 1-3. Seostamattomien terästen nimeäminen kemiallisten ominaisuuksien perusteella, ryhmä 2

Hiilipitoisuuden keskiarvo x 100	ominaisuuksiin vaikuttavien seosaineiden tunnuks	seosaineiden pitoisuus kerroin Cr, Co, Mn, Ni, Si, W x 4 Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr x 10 Ce, N, P, S x 100 B x 1000
Esimerkki seostamaton teräs 13 CrMo4-5		
0.13% x 100		Cr 1 % x 4 = 4, Mo 0.5 % x 10 = 5
13	CrMo	4-5



Seosterästen nimike muodostuu taas taulukon 1-4 esimerkin osoittamalla tavalla.

Taulukko 1-4. Seosterästen nimeäminen kemiallisten ominaisuuksien perusteella, ryhmä2

vähintään yhden seosaineen pitoisuus on väh. 5 %	Hiilipitoisuuden keskiarvo x 100	ominaisuuksiin vaikuttavien seosaineiden tunnuks	seosaineiden prosentuaalinen pitoisuus pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun
Esimerkki seostettu teräs X10CrMoVNb9-1			
	0.1% x 100		
X	10	CrMoVNb	Cr 9%, Mo 1%, V 1%, Nb 1%

Eurooppalaisessa järjestelmässä käytössä myös numeroihin perustuva nimikejärjestelmä, standardi [SFS-EN 10027-2](#), taulukko 1-5.

Taulukko 1-5. Terästen nimeäminen numeron perusteella

Materiaalitunnus	seosaineiden mukaan tuleva ryhmätunnus	järjestysluku
1=teräs	01-07 = seostamattomat teräkset / laatuteräkset 91-97 = seostamattomat teräkset / laatuteräkset 10-19 = seostamattomat / erikoisteräkset 20-29 = seosteräkset / työkaluteräkset 30-39 = seosteräkset / muut teräkset 40-49 = seosteräkset / ruostumattomat ja kuumalujat teräkset 50-89 = seosteräkset / rakenne-, painesäiliö- ja koneteräkset	
Esimerkki 1.4301		
	43 = Ruostumattomat teräkset, ilman Mo-, Nb- ja Ti-seostusta, joiden Ni-pitoisuus $\geq 2,5$ %	
1	43	01

Vaikka standardit periaatteessa velvoittavat valmistajat käyttämään standardien mukaisia määriteltyjä nimikkeitä, käytetään usein kirjallisuudessa vakiintuneita vanhoja nimikkeitä. Esimerkiksi saksalainen DIN-standardi (lähinnä DIN 17175) on jäänyt elämään.

Yhdysvalloissa törmää seuraaviin tunnuksiin ASME, ASTM, UNS, AISI/SAE, ANSI. ASME (American Society of Mechanical Engineers) käyttää hyväksi ASTM:n (The American Society for Testing and Materials) merkintöjä, esimerkiksi ASTM A 213 = ASME SA213.

AISI (American Iron and Steel Institute) ja SAE (Society of Automotive Engineers) standardien merkintätavat ovat miltei yhteneviä toistensa kanssa. Seostamattomilla ja seostetuilla merkintätapa perustuu neljään numeroon, joista kaksi ensimmäistä luku kertoo seostuksen numeron 1x tarkoittaessa seostamatonta terästä. Ryhmäjaottelu jakaantuu lisäksi lukemattomiin alaryhmiin. Kaksi viimeistä numeroa kertovat teräksen hiilipitoisuuden. Ruostumattomille teräksille jaottelu perustuu kolminumeroiseen lukuun, jonka ensimmäinen numero kertoo kiderakenteen. 2xx ja 3xx ovat austeniittisiä

(esim. 304, 316L), 4xx ferriittisiä (esim. 410, 430) ja 5xx martensiittisiä teräksiä. Yhdysvaltalaisten teräslajien merkinnät ovat monesti yhtenevät, taulukko 1-6.

Taulukko 1-6. Terässtandardien vertailu

EN Nimike	EN Nimi	ASME (ASTM)	AISI/SAE	UNS
X5CrNi18-10	1.4301	A 276-03, Type 304	304	S30400

Taulukoissa 1-7, 1-8, 1-9, 1-11 on verrattu nykyisten ja vanhojen standardien mukaisia teräksiä, seostamattomien terästen kohdalla merkinnät ovat muuttuneet oleellisesti, mutta seostettujen terästen merkinnät ovat hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi liitteessä 3 on yhteenvetotaulukko eri teräs-standardeista.

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. Niukkaseosteisissa teräksissä seosaineita on yhteensä vähemmän kuin 5 prosenttia, taulukko 1-7.

Taulukko 1-7. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset putkiteräkset

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME AISI/SAE	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 1-8. Yleisesti käytetyt EN 10028 mukaiset levyteräkset

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



Esimerkiksi kuumalujien seostamattomien ja seostettujen teräsputkien koestusvaatimukset ja muut vaatimukset on esitetty standardissa [EN 10216-2](#). Ostajalle toimitettavien aineodistusten eri tyypit esitetään standardissa [EN 10204 Metallituotteiden aineodistukset](#).

1.2.2 Runsasseosteiset teräsputket

Runsasseosteisiin teräsiin päästään kun mm. kromin seostusta lisätään, esimerkiksi "X20"-teräs (X20CrMoV111), joka on melko runsashiilinen (0,2 %) ja sisältää kromia 12 %. Runsasseosteisiä putkimateriaaleja on lueteltu taulukossa 1-9.

Taulukko 1-9. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset runsasseosteiset putket

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME AISI/SAE	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 teräsputket

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 1-10.

Taulukko 1-10. 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 kestävyttä 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 kestävyttä 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 teräkset ovat ehdottomasti yleisimmin käytettyjä. Austeniittisiä teräksiä käytetään vaikeissa korroosio-olosuhteissa tulistinputkena. Austeniittiset teräkset ovat kromi- nikkeli-teräksiä, joiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 17–26 % ja nikkelpitoisuus 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.



typpiseostuksella. 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 perustyyppit 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...+300 °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 1-11.

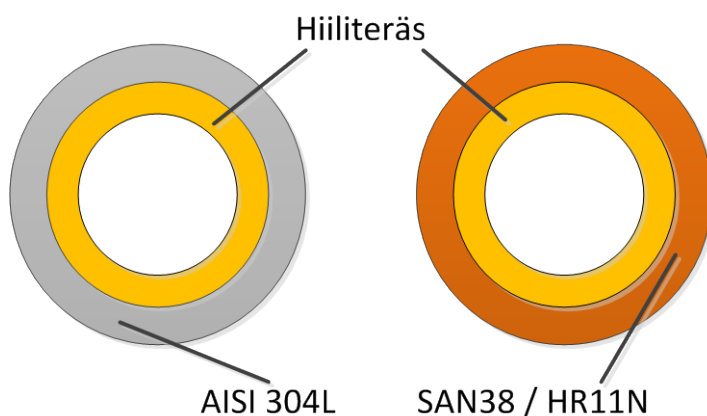
Taulukko 1-11. Yleisesti käytetyt EN 10088 ja EN 10216 mukaiset ruostumattomat putket

EN Nimike	EN Koodi	DIN 17175	ASME AISI/S	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
X10CrNi18-8	1.4310	-	301	18%Cr - 8%Ni	
X5CrNi18-10	1.4301	-	304	18%Cr - 10%Ni	
X2CrNi19-11	1.4306	X5CrNi189	304L	19%Cr - 11%Ni	
X15CrNi20-12	1.4828	-	309	20%Cr - 12%Ni	
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	-	316	17%Cr - 3%Mo13%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	
X1NiCrMoCu 25-20-5	1.4539	-	904L	20%Cr - 5%Mo25%Ni	
X2CrNiN23-4	1.4362	-	S2304	23%Cr - 4%NiN	< 300 °C
X2CrNiN22-2	1.4062	-	S2202	22%Cr - 0.5%Mo2Ni	< 250 °C
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162	-	S2101	21%Cr - 5%Mo1%Ni	
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
X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	-	S2324	27%Cr - 2%Mo5%Ni	

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

1.2.4 Compound-putket

Compound-putki on yhdistelmä kahdesta materiaalista, jossa putken painetta kantava sisäkerros on seostamaton tai niukkaseosteinen terästä ja ulommainen korroosiota kestävä kerros ruostumatonta terästä (304L) tai nikkelisestä (Sanicro38/Alloy 825/HR11N). Compound-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 1-12.

Taulukko 1-12. Compound-putkien pintamateriaaleja

Materiaali tyyppi	Kauppanimi (toimittaja)	Cr%	Ni %	Mo %	Fe %	Mn p-%	Muut %
AISI 304L	3R12 (Sandvik) TP304 (Sumitomo)	17 – 19	9 - 12	-	bal.	1.3	-
AISI 310	3RE28 (Sandvik) TP310S (Sumitomo)	24 – 26	19 - 22	-	bal.	1.8	-
	Sanicro 28	27	31	3.5	bal.	≤ 2.0	1.0 Cu
Alloy 825	Sanicro 38 (Sandvik) HR11N (Sumitomo)	19 - 23 27 – 31	38 - 46 38 - 46	2.5 - 3.5 0.5 – 1.5	bal. bal.	0.8 ≤ 2.0	Cu: 1.7, Ti: 0.8
Alloy 625	Sanicro 63 (Sandvik) Sanicro 65 (Sandvik) Super 625 (Sumitomo)	21 21 20 – 23	bal. bal. bal.	8.5 8.5 8-10	3.0 8 15-20	0.5 0.5 ≤ 0.5	Nb: 3.5 Nb: <0,5 Nb: 0.5-1.0, Ti ≤ 0.4
Alloy 690	Sanicro 67 (Sandvik) Sanicro 69 (Sandvik)	30 30	60 60	- -	10 10	≤ 0.5 ≤ 0.5	C: 0.02 C: 0.02

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. Compound-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 vesiliuoksen, kostean suolan tai haihtumalla ja palamalla väkevoituvan mustalipeän peittämät putket.

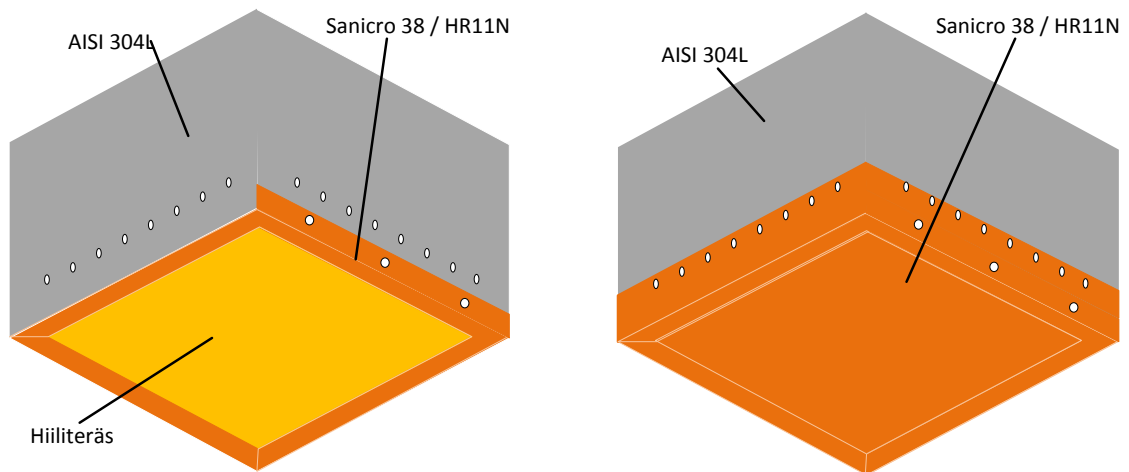
Käytönaikainen sulfidikorroosio on toinen tärkeä soodakattilan tulipesän korroosiomekanismi, sillä pelkistävissä olosuhteissa metallin ja rikkivedyn reagoidessa syntyvä sulfidikerros heikentää metallia suojaavia oksidikerroksia.

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 ja Pohjois-Amerikassa 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 lämmönsiirtokertoimen tulee olla suuri, jotta lämpö johtuu pinnasta hiiliteräkseen ja sitä kautta kiertoveteen, eikä materiaaliin synny sisäisiä lämpötilagradientteja.

1.3.2 Seinät

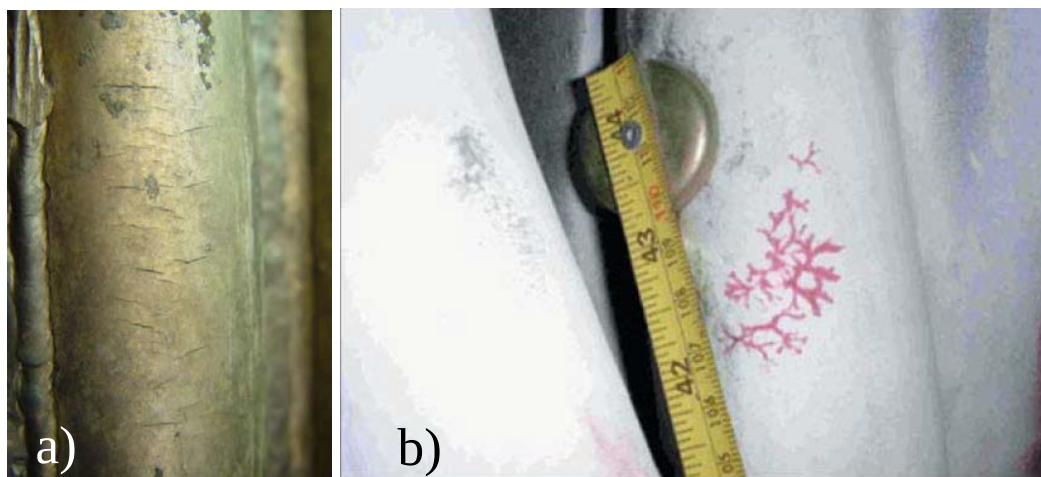
Modernin soodakattilan tulipesän alaosan seinät ylimmän ilmatason tasolle on rakennettu compound-materiaalista (304L) korroosion minimoimiseksi. Yläosissa käytetään seostamatonta hiiliterästä esim. P235GH, P265GH tai niukkaseosteisia teräksiä esimerkiksi 16Mo3.

Hiiliteräksen ja compound-putken rajalla pohjalla ja seinällä esiintyy galvaanista korroosiota. Tähän alueeseen on kiinnitettävä erityistä huomiota tarkastuksissa. 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 compoundia (304L, Sanicro 38/HR11N) tai pinnoitehitsattua materiaalia. Joskus compoundista valmistetuissa ohitusputkissa on havaittu säröilyä, kuva 1-3a-b. Säröily on lähes yksinomaan ollut termistä väsymistä, jotkut säröt ovat kuitenkin olleet tyypiltään jännityskorroosion aikaansaamia. Syyksi on päätelty lämpösykliä aiheuttaman väsymisen ja korroosion yhteisvaikutus. Materiaalivalinnan lisäksi säröilyyn voidaan vaikuttaa lipeän ruiskutuksella sekä ilmasuihkun hallinnalla.



Kuva 1-3. a) Tyypillistä säröilyä primääriaukon ohituksessa. Suoria, "avoimia" säröjä. Termisen väsymisen osuus suuri. b) Harvinaisempi säröilytyyppi. Haaroittuvia, tiiviitä säröjä. Jännityskorroosion osuus suuri.



Primääri-ilmasuuttimina käytetään nykyään valusuuttimia, standardimateriaalina on GRP 400 (pallografiittirauta), jolla on hyvä sitkeys verrattuna suomugrafiittiin ja hyvä lämmönjohtavuus verrattuna seostettuihin materiaaleihin. Tarkka sovitus ja tiivistys massalla ovat huomioitavia asioita suuttimia 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 carry-overin 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 materiaalin lämpötilat alle lämpötilan T_0 (FMT = first melting point), jossa ensimmäiset sulapisarot syntyvät kerrostumiin. FMT:n ylittyessä kaikkien materiaalien korroosionopeus kasvaa huomattavasti ja on vaikeasti ennustettavissa.

Kerrostumien ominaisuudet ja niiden korroosiovaikutus voidaan ennustaa kun tiedetään lipeäanalyyysin 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.

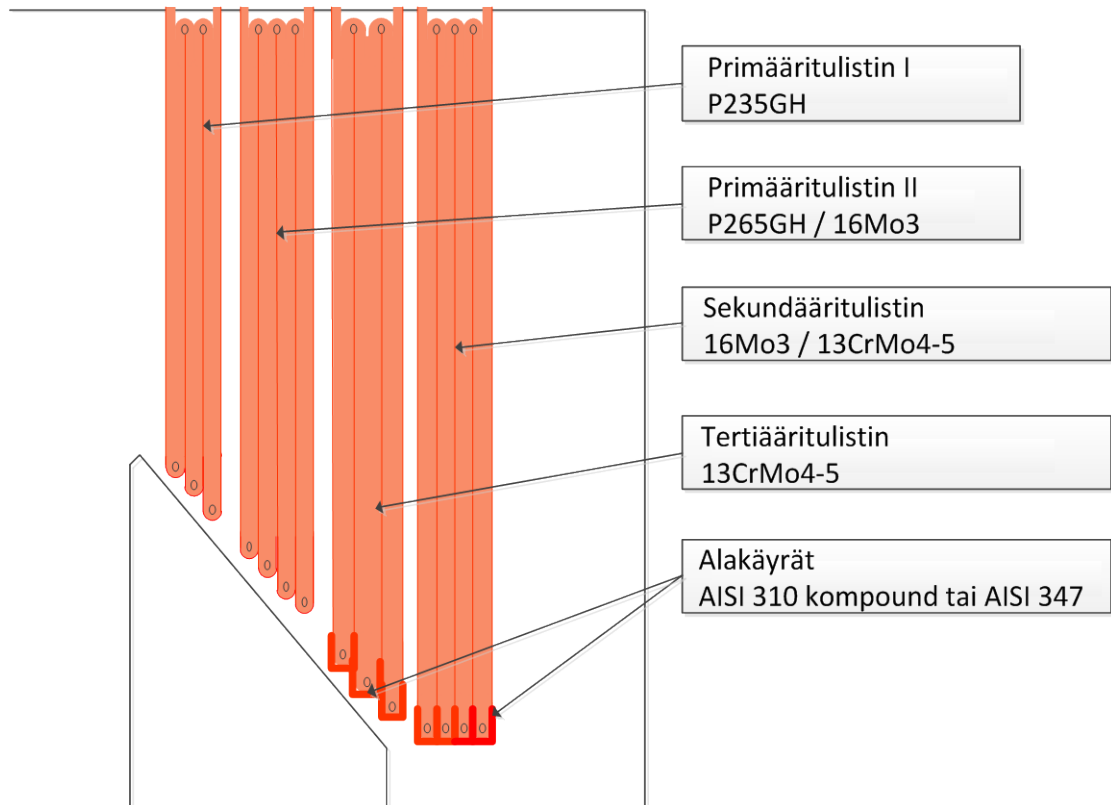
Tulistinkorroosiota voidaan vähentää myös tulistimien sijoituksella. Yleensä säteilyn alla tulistimien korroosio on voimakkaampaa kuin konvektiopuolella. Tämä johtuu käytännössä siitä, että säteilypuolella materiaalilämpötilat ovat noin 15-20 °C korkeampia kuin konvektiopuolella. Sijoittamalla tulistimet joko nokan taakse tai käyttämällä tulistimien edessä verhoputkia, voidaan korroosiota vähentää oleellisesti. Verhoputket vähentävät myös merkittävästi tulistimille tulevaa carry-overin määrää pienentäen samalla tulistimien korroosioriskiä.

Tulistimissa käytetään yleensä useita eri teräseoksia jolloin tulistimien korroosiokestävyys ja hinta voidaan optimoida. Materiaaleina käytetään kuumalujia seostamattomia/niukkaseosteisia teräksiä tai ruostumattomia teräksiä monoputkena, compoundputkena tai pinnoitehittettynä. Eniten korroosiolle alttiita alueita ovat tulistimien kuumimmat osat sekä tulistimien putkikäyrien alaosat, jotka ovat tulipesän suoran säteilylämmön kohteena. Kuvassa 1-4 on esimerkki sulakorroosiolle altistuneesta tulistimen alakäyrästä.



Kuva 1-4. 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 kompondia esim. AISI 310. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-5.



Kuva 1-5. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista

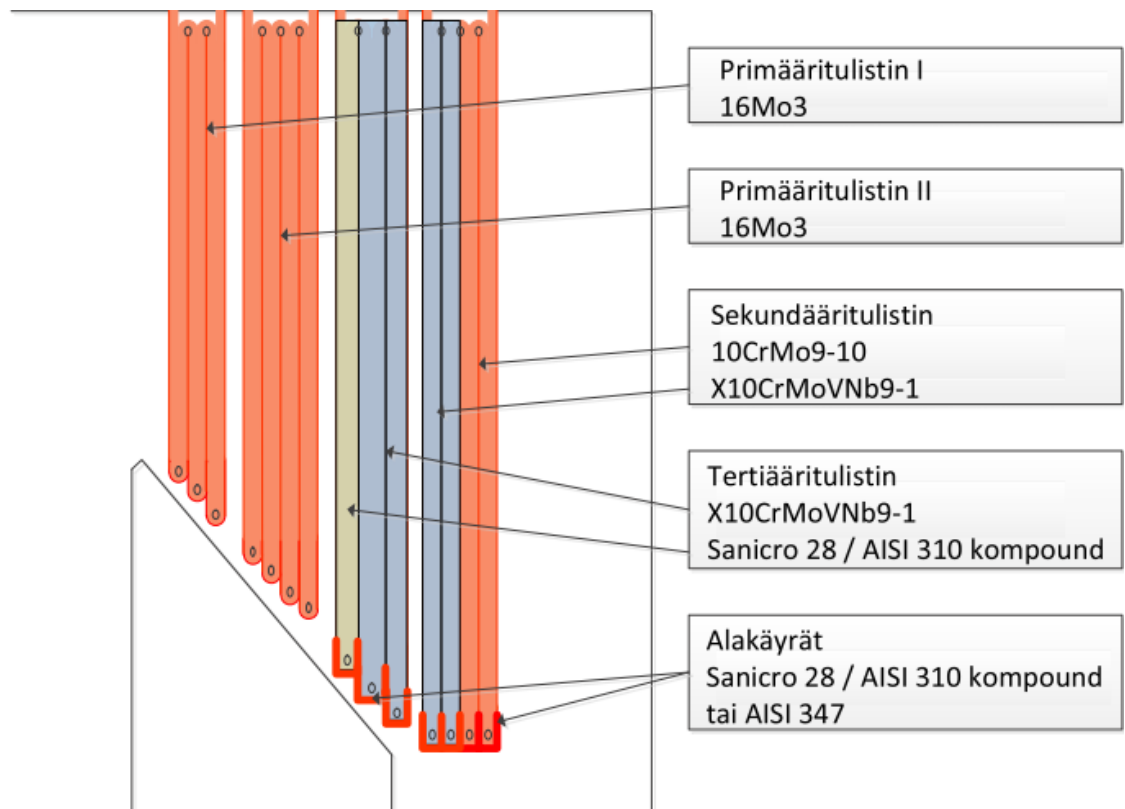
Paremmen lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran vuoksi hiiliteräsputket voidaan korvata primääritulistimissa esim. 16Mo3-materiaalilla. Sekundääritulistimen kuumimmissa osissa niukkaseosteisten teräksien sijaan käytetään runsasseosteisia teräksiä esim. X10CrMoVNb9-1 ja tertiääritulistimissa kompond-materiaalia,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

Kompond-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. Kompondissa 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 näytele merkittävää osaa.

Esimerkki paremman lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-6.



Kuva 1-6. 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 höyrytimeen 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 paineestiamääräysten 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 pätevoimiseksi, 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 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
- hitsausohjeet
- juurensuojaus
- hitsauksen jälkeiset käsittelyt



Esimerkkinä vaativasta hitsauksesta voidaan käyttää runsasseosteisen “X10”-teräksen (X10CrMoVNb9-1) hitsausta välijäähdytyksineen koska teräs on erittäin karkeneva ja hitsatussa tilassa hauras. Hitsaus edellyttää esikuumennuksen, välipalkolämpötilan eli palkojen välisen lämpötilan, välijäähdytyksen 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 (kuumahalkeiluherkkyys) 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
- Eripariliitosten hitsaus (erityisesti liitoksen lämpökäsittely ja lämpötilan seuranta)
- Hitsauslisäaineen valinta
- Asennusolosuhteet:
 - lika ja ruoste hitsattavilla pinnoilla
 - kosteus hitsattavilla pinnoilla
 - kosteat hitsauspuikot

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 pätevöitetyt 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 hiiliteräs-osaan, koska hiiliteräksen seostuminen evähitsiin vaikuttaa haitallisesti laatuun ja lujuuslaskut perustuvat ainoastaan hiiliteräsosan paksuuteen.

1.4.2 Compoundputkien korjaushitsaus

Vaikka korjaushitsausta käytetään melko yleisesti soodakattiloissa, toimintatavoissa voi olla suuriakin eroja, riippuen tehtaasta, tarkastajasta tai korjauksen suorittajasta.

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.

Tässä dokumentissa korjaushitsaus käsittää kaksi eri tyyppiä:

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

Kohdan 2 perusaineen täytehitsausta 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 täytehitsaamalla 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. Tunkeumasyvyyks 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.

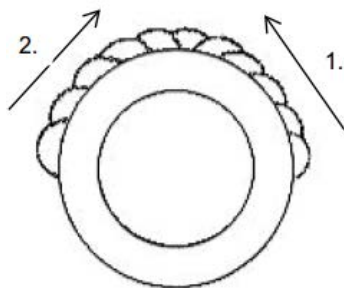
1.4.2.4 Hitsauksen suorittaminen

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

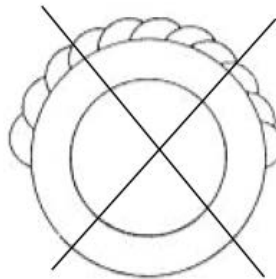
Soveltuvat hitsausmenetelmät ovat puikkohitsaus (111) ja TIG hitsaus (141).

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

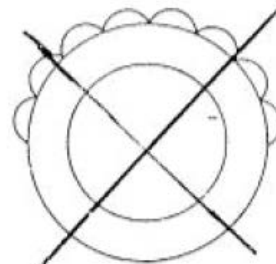
Hitsaus suoritetaan kuvan 1-7 mukaan pituusakselin suuntaisesti alkaen esimerkiksi putken oikealta kyljeltä ja edeten kunnes saavutaan putken laelle (klo 12). Tämän jälkeen aloitetaan uudestaan vasemmalta kyljeltä ja taas edetään putken lakea kohti (klo 12) kunnes viimeinen palko limitetään viimeisen oikealta hitsatun päälle. Viereiset palot sulatetaan osittain limittäin, jolloin hitsin liiallinen, perusaineen sekoittumisesta johtuva laimeneminen saumakohdassa voidaan estää. Erityisesti tämä on huomioitava ensimmäisen palon hitsauksessa.



Oikea palkojen sijoittelu



Väärä palkojen sijoittelu



Väärä palkojen sijoittelu

Kuva 1-7. Hitsauksen suoritus

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 nikkelipitoisuudet 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 enimmäisvälipalkolämpötila 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 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

Soodakattilapäivä 2000: Soodakattiloiden tulistinkorroosio Keijo Salmenoja, Kvaerner
Pulping Oy



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. Compound-putken käyttö on saattanut jonkin verran vähentää pinnoitteiden tarvetta ja pinnoitteiden tarve on tyypillisesti painottunut korjauspinnoituksiin. Pinnoitettavia kohteita soodakattiloissa ovat yleensä:

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

Pinnoitusmenetelmien ja laitteistojen kehittyessä pinnoitteilla olisi nykyisin edellytykset tarjota compound-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 compound-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, liekkiruiskutus, 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 poltтокаасun avulla sulaan tilaan rakettimootorin 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 muunnelmä HVOF-ruiskutuksesta ja siinä käytetään hapen sijaan ilmaa, jolloin muodostuva liekki on kylmempi.

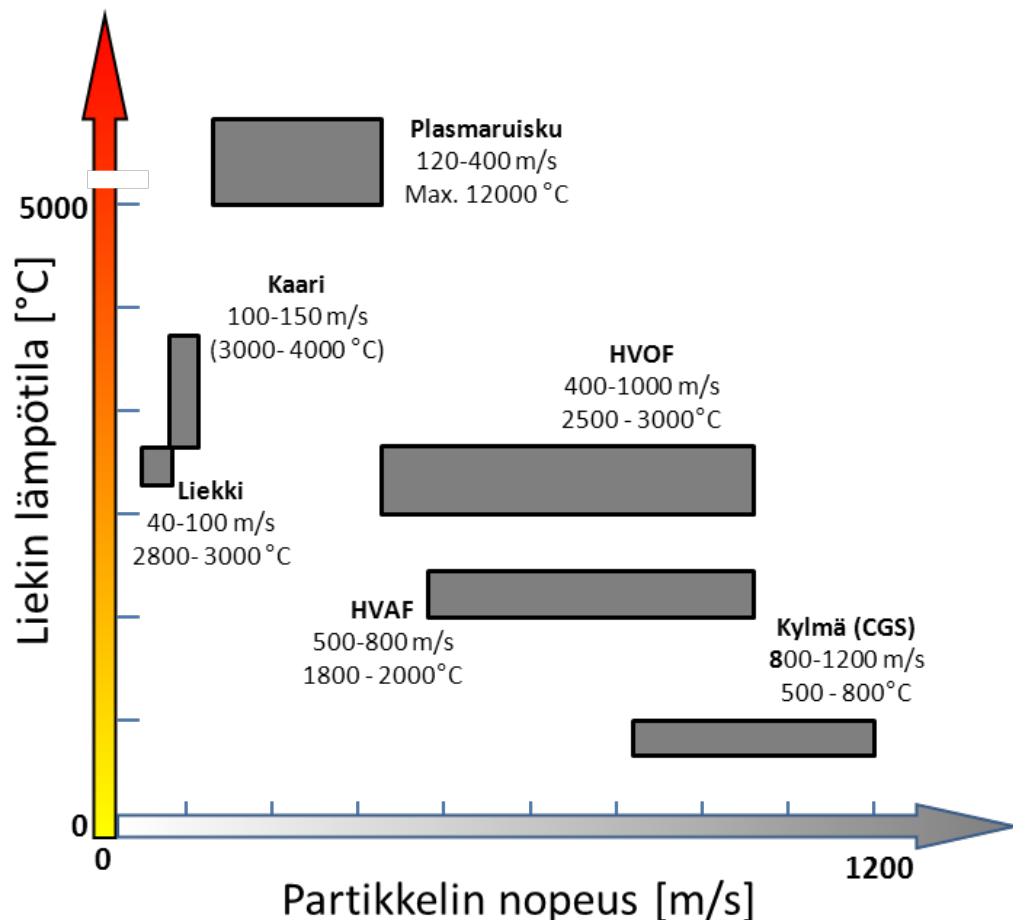
Plasmaruiskutuksessa sähkövalokaari kuumentaa kaasun noin 10 000 °C:ksi. Kuuma polttimesta suihkuava kaasu kuumentaa ja sinkoaa tällöin jauhemaisen pinnoitteen pinnoituskohteeseen, jonka päällä sulapisarat jähmettyvät.

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.

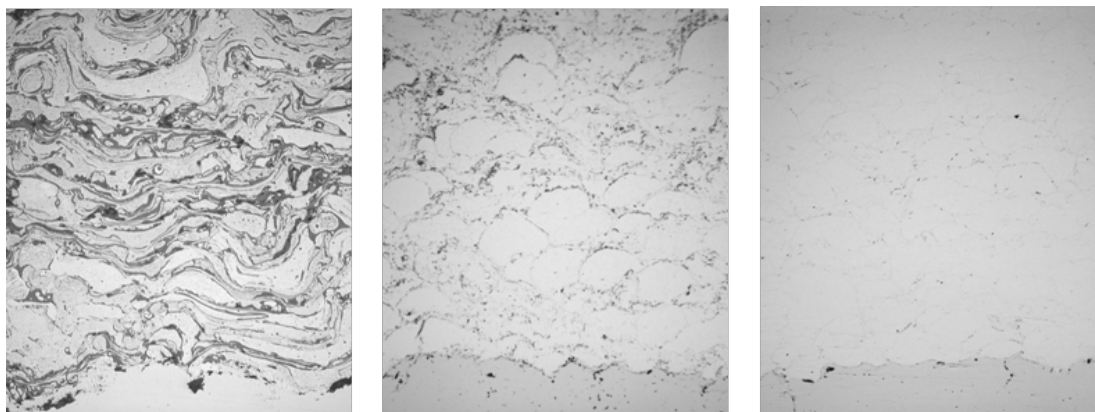
Edellä kuvattuja menetelmiä käytetään kattiloissa niiden ruiskutusnopeuden, laadun ja taloudellisuuden vuoksi. Markkinoilla on myös muita ruiskutusmenetelmiä, jotka eivät sovellu kattilaolosuhteisiin taloudellisista tai teknisistä syistä, kuten liekkiruiskutus.

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 2-1 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 2-2 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 HVAF 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 HVAF 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 kattilalaolosuhteisiin 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°C, 50 h). Tarvittavan alumiinipitoisuuden, jolla voidaan merkittävästi pienentää FeAl- seoksen korroosiokestävyyttä 100 % H_2S :ssa on havaittu olevan noin 10 % 600 ja 700 °C:ssa ja

hieman matalampi 400 °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 °C:ssa. Suuremmilla alumiinipitoisuuksilla (yli 11 %) alkaa muodostua rauta-alumiini yhdisteitä (Fe₃Al or FeAl), jotka menestyvät hyvin rikkipitoisissa ympäristöissä. Niillä on myös hyvä hapettumisen kesto korkeissa lämpötiloissa, hiilettymisen kesto ja suolasulankesto. Fe₃Al- 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 °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 korroosionkeston. [2,3,4]. Näidenkin materiaalien suojaavuus perustuu suojaavan oksidikerroksen syntymiseen. Nikkelivaltaiset materiaalit seostettuna noin 20 %:a kromia kestävät hapettumista tyypillisesti 800 °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 kestävyttä 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 korroosiokäyttäytymiseen. 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 huomioida, 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 suojavuus)
- 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 Pinnoitteen 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 työkaluilla 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 kauppanimen 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 esikäsittelyn. 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 esikäsittely 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 sulautuspinoitteet 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 ruiskutuspaajalla. 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 luotettava 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 selvitettävä 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 materiaaliveitsoita 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 kauttaaltaan puhdistetut teräspinnat (2007).
23. SFS-EN 1274, Terminen ruiskutus. Ruiskutusjauheiden kemiallinen koostumus ja tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto (2005)
24. SFS-EN ISO 14919. Terminen 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 tehdas, 2012.

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

Henkilökohtainen tiedonanto, Lauri Mattila, UPM-Kymmene, Oyj, Wisaforest, 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 paineastiaa 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, yhteen, 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 tekävä 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 hyväksynnät ja kyseiseen tapaukseen liittyvän dokumentoinnin.

3.8 Paineekoe

[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 työtap), 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 huoltoseisokitarkastuksen 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 selville 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 kompond-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. Pyöristämällä 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.](#)).

Määräaikaisvaatimukset 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:

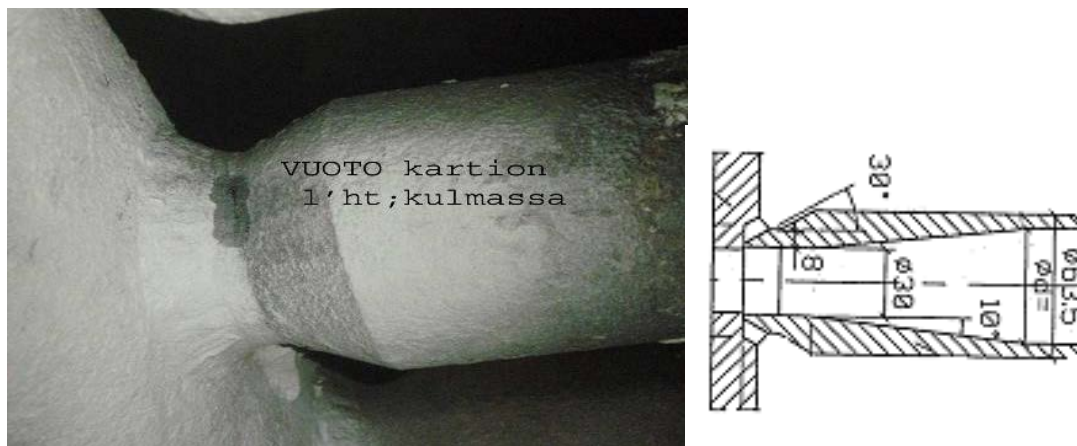
- Pitkántähtäimen tarkastussuunnitelmat ja tarkastusohjeet
- Pätevöitetyt tarkastajat: EN-pätevyys
- Kunnolliset tarkastusolosuhteet: työturvallisuus, telineet, valaistus ja puhdistus
- Realistinen aikataulu

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 mahdolliset

vikaantumismekanismit ja käyttää NDT-asiantuntijoita arvioimaan rakenteiden tarkastettavuus.



Kuva 4-1. Ekonomaiserin jakotukin yhde.

Kuvassa 5-1 on hitsiliitos, jonka luotettava volymetrinen tarkastus NDT-menetelmillä on käytännössä mahdotonta. Valokuvan perusteella vuoto on yhteen perusaineen epäjatkuvuuskohdassa, joka paikantuu hyvin lähellä muutosvyöhykettä (HAZ-alue Heat Affected Zone). Tämän alueen lujuus on muuta rakennetta heikompi ja liikkeestä aiheutuva väsyttävä kuormitus kohdistuu ko. kohtaan. Putken ulkopinnalta alkava putken väsymissärö voidaan todeta magneettijauhetarkastuksella. Jos rakennetta ei muuteta, niin ko. kohteelle on suoritettava pintatarkastus lähes vuosittain.

Laajoissa revisioissa NDT-tarkastuksille pitää olla selkeästi nimetty vetäjä, joka tuntee kattilarakenteet, niiden tarkastettavuuden ja niihin liittyvät vikaantumismekanismit.

Sen lisäksi että tarkastuksista tehdään asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat, tarkastuksessa havaitut merkittävät viat/poikkeamat tulee merkitä rasvaliidulla tai vastaavalla kohteeseen, jotta korjaavat toimenpiteet tehdään oikeaan kohtaan ja ajallaan.

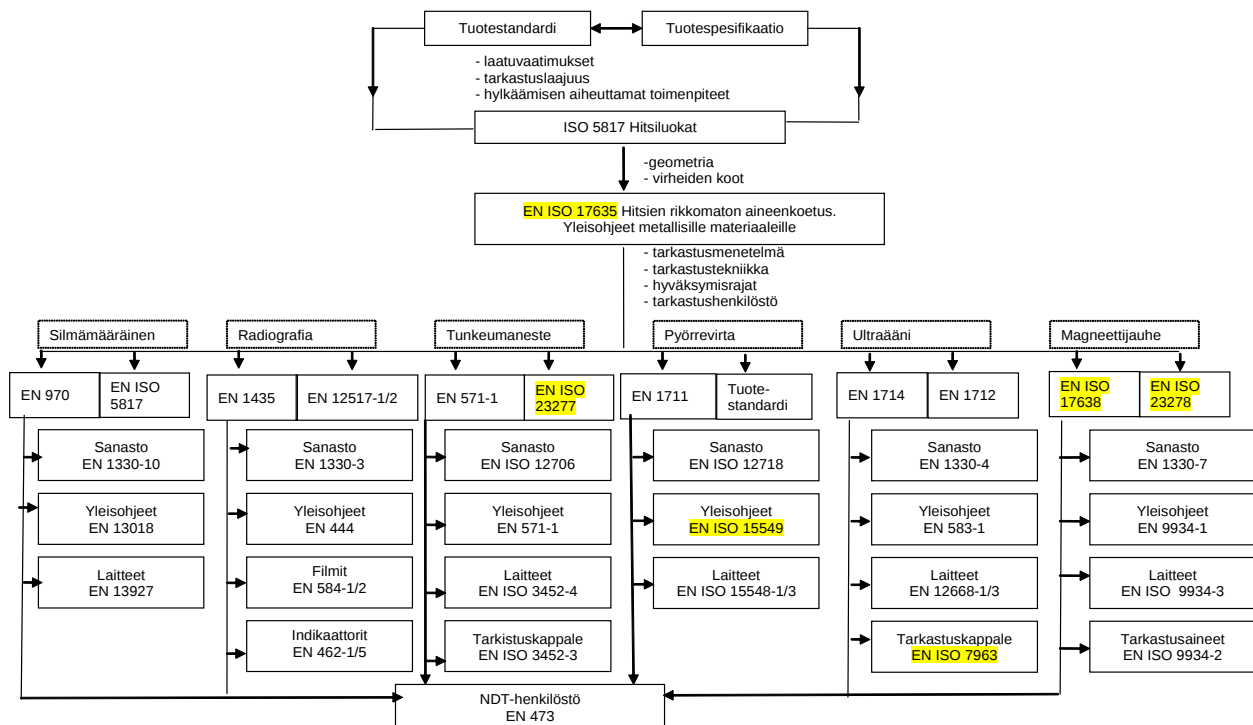
Huoltoseisokin aikaisissa tarkastuksissa menetelmä valitaan sen mukaan, mitä vauriomekanismia ollaan etsimässä. Tarkastuksissa haetaan seuraavia ilmiöitä tai vauriomekanismeja: eroosio, korroosio, väsyminen, viruminen, ylikuumentuminen, jännityskorroosio, korroosioväsyminen, terminen väsyminen, puutteellisen tuennan aiheuttamat rasitukset, väärä vesikemia jne.

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.



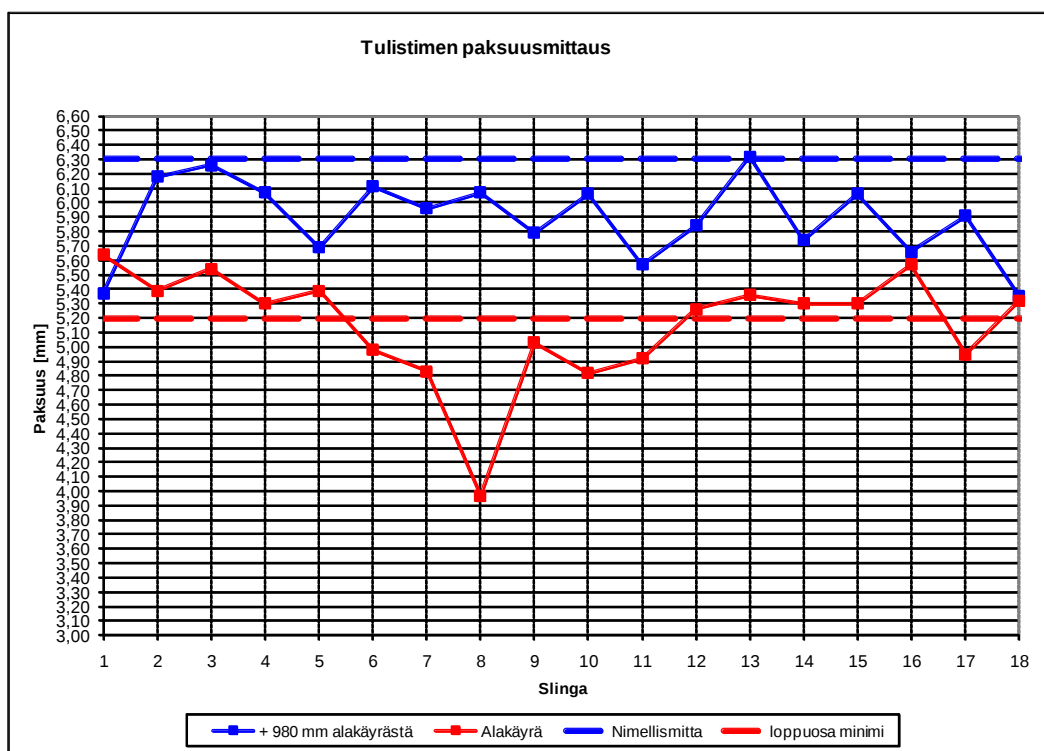
Kuva 4-2. Kaaviossa on esitetty vuoden 2010 lopussa voimassa ja työn alla olevat hitsien tarkastukseen liittyvät standardit. Tarkemmin standardit löytyvät linkin http://www.metsta.fi/standardisointialueet/Kansalliset_komiteat/K89.php kohdasta NDT standardisoinnin tilannekatsaus. Standardien päivityksestä 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 likaantumisen 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 paksuusmääritys menetelmiä mm. EMAT ja RFET.



Kuva 4-3. Tulistimen paksuusmittaustulokset kaaviona.

Kuvassa 4-3 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 hiottulle (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.

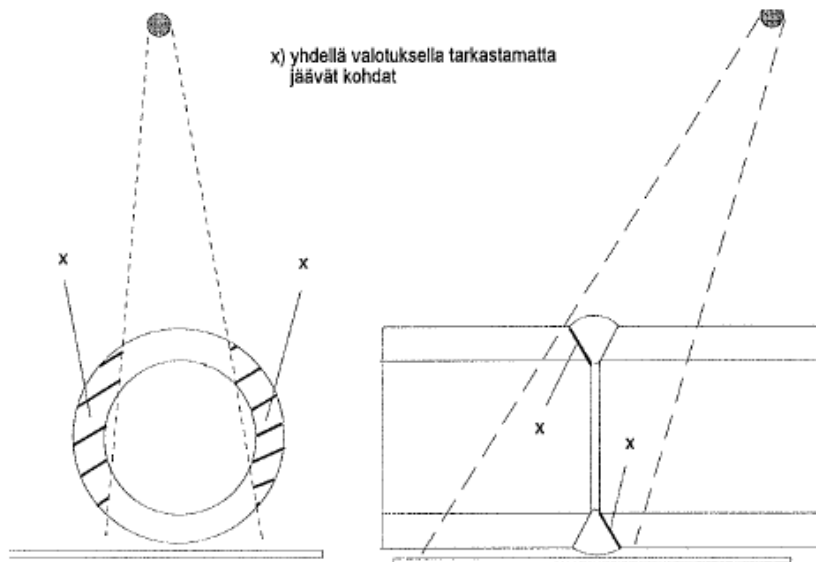


Kuva 4-4. Fluoresoivalla tunkeumanesteellä tarkastetun pohjan särönäyttämiä

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 4-5 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 filmiteknikkaan, 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)

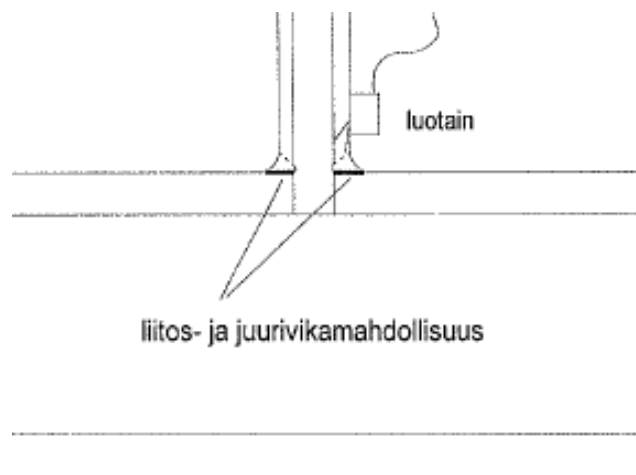
Standardit:

- [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 4-6), 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.

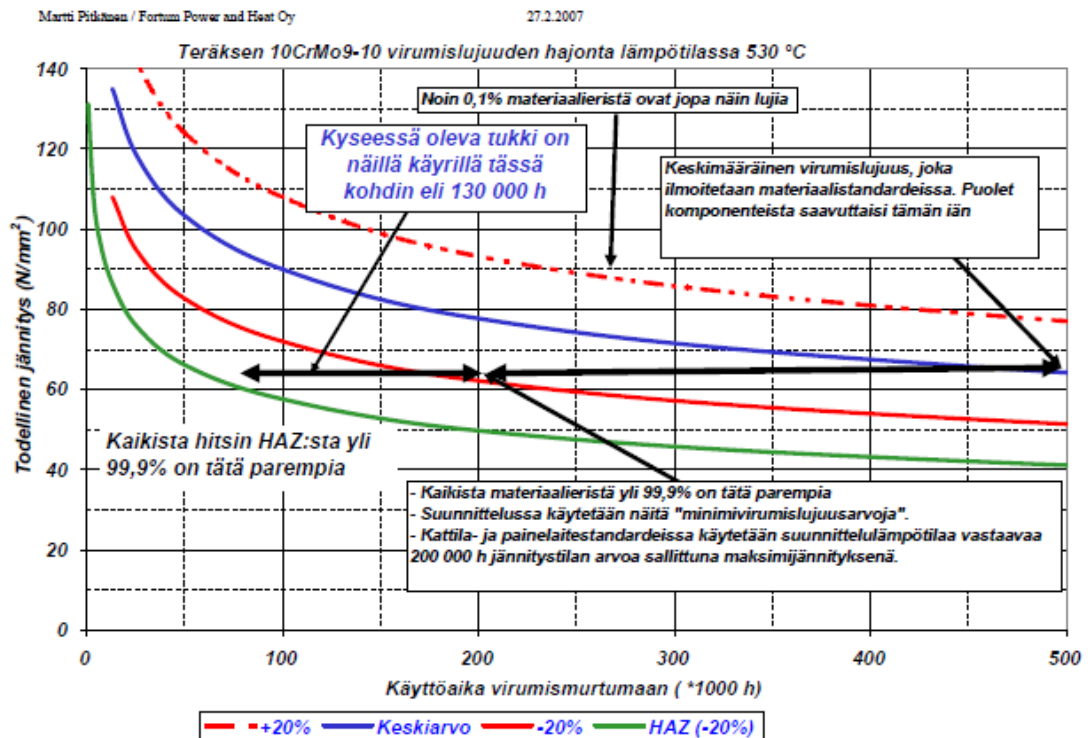
4.2.7 Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing)

- 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 käyttäminen käyttötuntien mukaan. Perusmateriaalille suunniteltu käyttöikä 200 000 h (-20%) saattaa HAZ-alueella pudota jopa alle 100 000 käyttötunnin 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 mitoittaa vikoja ja näyttämiä käyttämällä varjostavia tai stereolinssejä. Samalla ne mahdollistavat videon ja valokuvauksen.

4.2.10 Akustinen emissioseuranta / AE (acoustic emission)

- Painekekkeiden ja rakenteiden käytönaikainen valvonta
- Voidaan käyttää rakenteen kuunteluun säröilyn ja rasituksien toteamiseksi sekä atmosfääriin 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)

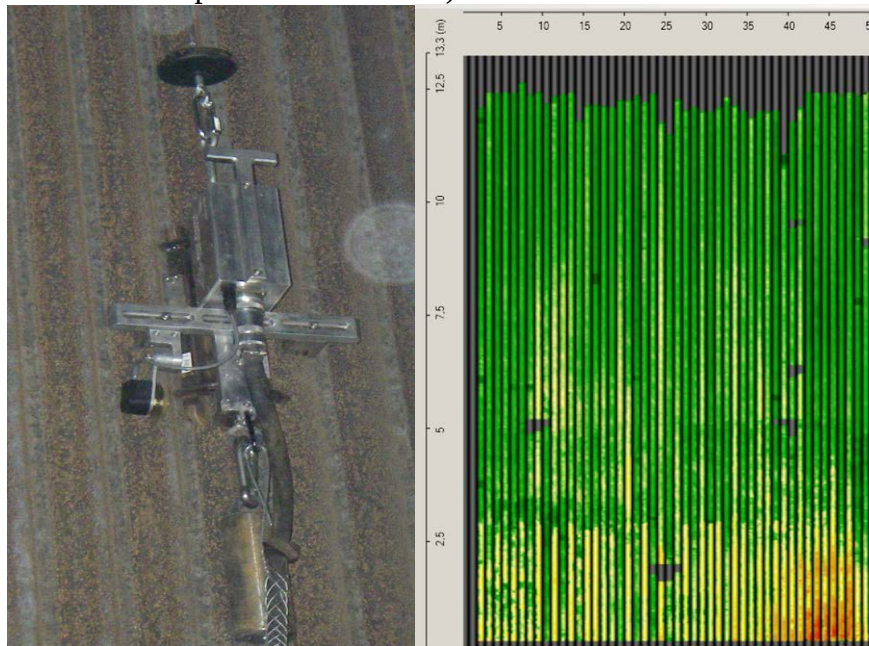
- Kovuusmittaus korreloi hyvin mittauskohteen lujuusominaisuuksien kanssa.
- Kovuusmittaustulokset kertovat materiaaliteknisistä muutoksista esim. vauriotilanteissa.
- Hitsauksen laadunhallinta (HAZ kovuus piikit) päähöyryputkistossa.
- Kovuusmittausmenetelmä pitää valita kohteen mukaan (materiaali, 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 4-9 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.

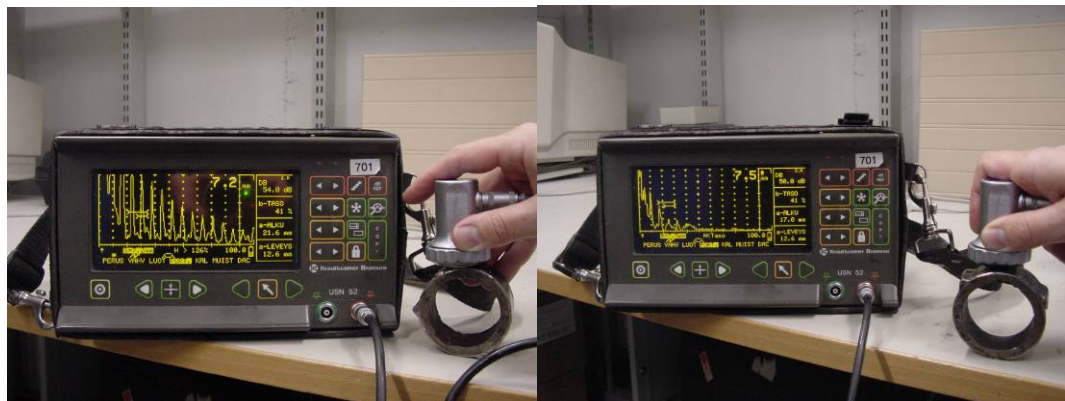
Kuva 4-9. Lämpövuon jakaantuminen kattilan etuseinällä.

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

Vetyhyökkäys aiheuttaa aina sulavesiräjähdyksriskin ja mittavat korjaustoimenpiteet.

Ilmiötä voi tutkia ultraäänimenetelmillä seuraavasti:

Alkava sisäpinnan korrosio tai paksu epäpuhtauksista koostuva kerros vaimentaa ultraääntä voimakkaasti. Normaalisti ultraäänilaitteen a-näytössä näkyy useampi taustakaiku kuten kuvan 4-10 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.

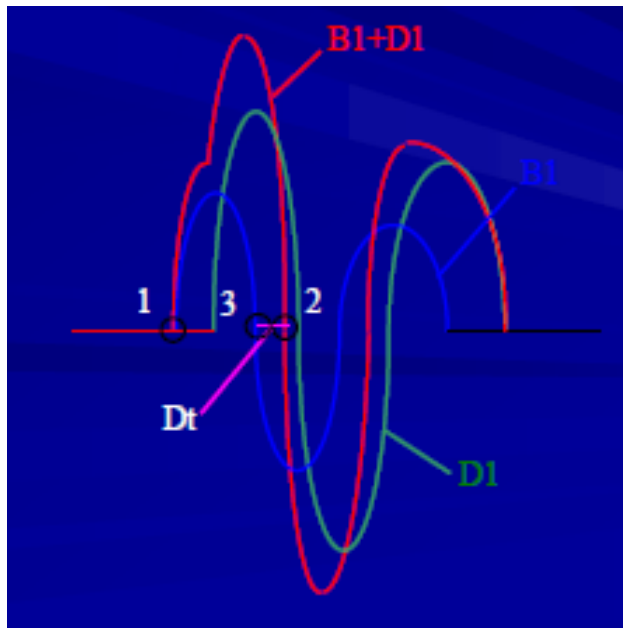


Kuva 4-10. A-näytöt ehjästä putkesta ja vetyhyökkäyskohdalta.

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 levittää signaalia verrattuna puhtaasta metalli-

ilma/vesi signaaliin, katso kuva 4-11. 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 kalibrointipalan, jolla varmennetaan äänennopeus kerrostumassa.

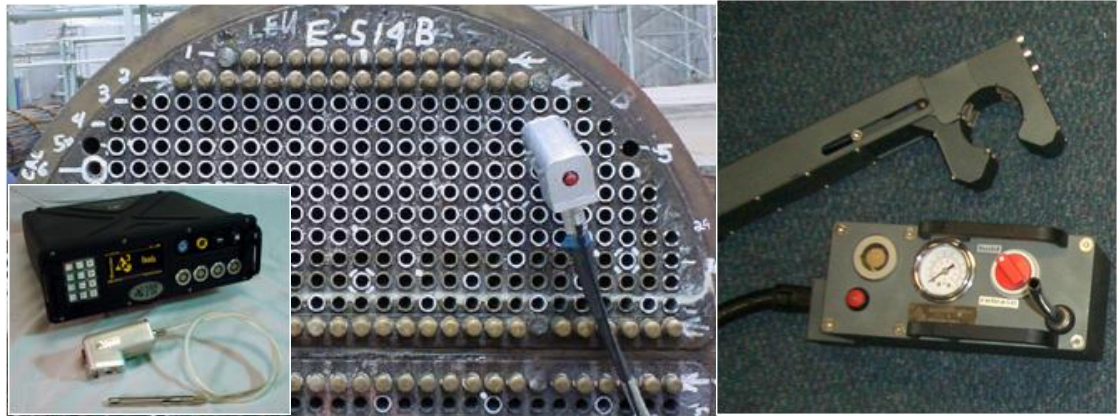
Sisäpuolisen kerrostuman mittauksissa on muistettava, että ongelmakohdat saattavat olla hyvin paikallisia. Jos kattilassa todetaan epäpuhtauksia ja edellä olevat mittaustavat antavat viitteitä sisäpuolisista kerrostumista, niin varmin tapa on ottaa kattilasta näytepalat, joista mitataan laboratoriossa 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 luodata jopa satoja metrejä anturipannasta molempiin suuntiin.
- Testaus tehdään normaalisti asentamalla kiinteä tai ilmatäytteinen lähetinrenas putken ulkopinnalta.

Tekniikan uusia sovelluskohteita on mm. lämmönsiirtimien tarkastaminen synnyttämällä ultraääni putken sisäpinnan kautta. Guided Waveista 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. nuohoimen aiheuttama kuluma). Esimerkiksi keittopintaputkien ohenemien mittausta.



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 korroosiovaurioiden 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. Mittausherkkyys 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 1 on esitetty luettelomaisesti seisokinaikaiset tarkastuskohteen, vikaantumismekanismien 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 käytettävyyys ennen starttia. Painekokeen suorituksessa sovelletaan standardin [SFS-EN 12952-6](#) kohtaa 10.2 kuitenkin siten, että painekokeen koepaine on enintään 1,3 X suurin sallittu käyttöpain. 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 käyttöpain.

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

Painekokeessa 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.

Painekokeessa 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, pitkäntähtäimensuunnitelmia jne.

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 rasitus). 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 tiivistelyvyissä 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 ruostejälkinä 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	=	magneettijauhetarkastus
UT	=	ultraäänitarkastus
RT	=	radiografia
ET	=	pyörrevirtatarkastus
REP	=	jäljennetarkastus
HT	=	kovuusmittaus
AE	=	akustinen emissio
OKS	=	oksidikalvon paksuusmittaus
END	=	endoskoopitarkastus



LIITE 2

Valokuvia soodakattilan eri osista ja vaurioista

VALOKUVIA SOODAKATTILAN ERI OSISTA JA VAURIOISTA



Kuva L1. Värimuutoksia seinällä

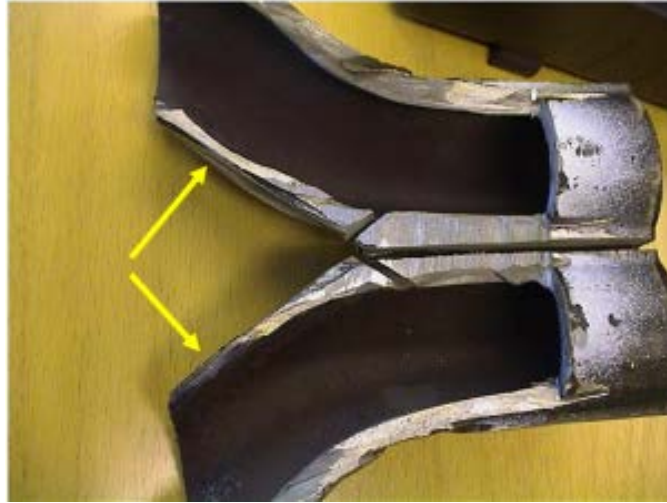
Kuva L1 on vauriokattilan seinältä. Osa vikakohdista oli mustunut. Kattilatarkastus pitää aina aloittaa silmämääräisellä tarkastuksella, jossa selvitetään väripoikkeamat normaalista. Erityisiä riskipaikkoja ovat mm. poltinaukkojen yläpuolet (virtauksen vaikutus liekkiin). Värimuutokset aiheuttavat aina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



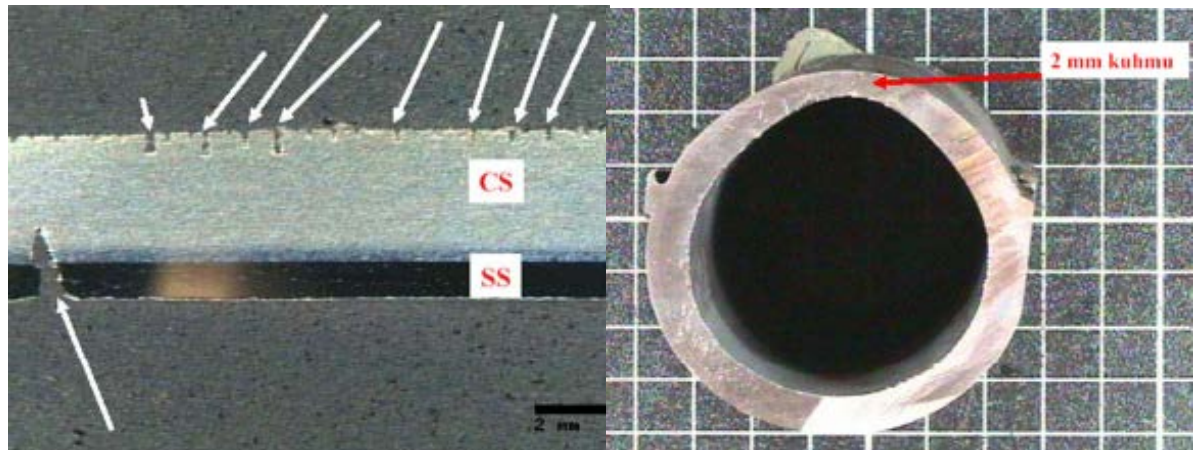
Kuva L3. Korroosioaurio ilma-aukon ohitusputkissa. Vikakohdat merkitty nuolilla

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 3

Teräs-standardien vertailutaulukko

TERÄS-STANDARDIEN VERTAILUTAULUKKO

EN Nimike	EN numero	DIN 17175 17155	ASME tai AISI/SAE	UNS	C paino-%	Mn paino-%	Cr paino-%	Ni paino-%	Mo paino-%	Nb paino-%	Muuta paino-%	Muita nimiä
P235GH	1.0345 1.0305	HI St 35.8	A 516 Gr.55;65 A 515 Gr.65;55 A 414 Gr.C A 442 Gr.55 A106Gr.A		≤ 0,16	≤ 1,20	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,08	≤ 0,020	Cu ≤ 0,30	
P265GH	1.0425 1.0405	III St 45.8	A 414 Gr. E A 516 Gr. 60 SA106Gr.B		≤ 0,20	≤ 1,40	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,08	≤ 0,020	Cu ≤ 0,30	
16 Mo 3	1.5415	15 Mo 3	SA-209 T1		0,12-0,20	0,40-0,90	≤ 0,30	≤ 0,30	0,25-0,35	-	Cu ≤ 0,30	
13 CrMo 4-5	1.7335	13 CrMo 4 4	SA-213 T12		0,08-0,18	0,40-1,00	0,70-1,15	-	0,40-0,60	-	Cu ≤ 0,30	
10 CrMo 9-10	1.7380	10CrMo 9 10	SA-213 T22		0,08-0,14	0,40-0,80	2,00-2,50	-	0,90-1,10	-	Cu ≤ 0,30	
7 CrWVMoNb 9-6	1.8201		SA-213 T23		0,04-0,10	0,10-0,60	1,90-2,60	-	0,05-0,30	0,02-0,08	V:0,20-0,30 N≤ 0,03 B:0,0005- 0,006 W:1,45-1,75	
7 CrMoVTiB 10-10	1.7378		SA-213 T24		0,05-0,10	0,30-0,70	2,20-2,60	-	0,90-1,10	-	Ti:0,05-0,10 V:0,20-0,30 N≤0,010 B:0,0015-0,0070	
X6 Cr13	1.4000		410S	S41008	max 0,08	max. 1,0	12,0-14,0	-	-	-	-	
X12 Cr13	1.4006		410	S41000	0,04-0,08	≤ 1,5	11,5-13,5	≤ 0,75	-	-	-	
X20 Cr13	1.4021		420	S42000	0,16-0,25	≤ 1,5	12,0-14,0	-	-	-	-	
X6 Cr17	1.4016		430	S43000	max 0,08	max. 1,0	16,0-18,0	-	-	-	-	
X10 CrNi18-8	1.4310		301	S30100	0,05-0,15	≤ 2,0	16,0-19,0	6,0-9,5	0,8			
X5 CrNi18-10	1.4301		304	S30400	max 0,07	≤ 2,0	17,0-19,5	8,0-10,5	-	-	-	
X2 CrNi19-11	1.4306	X5CrNi189	304L	S30403	max 0,03	≤ 2,0	18,0-20,0	10,0-12,0	-	-	-	
X5 CrNiMo17-12-2	1.4401		316	S31600	max 0,07	≤ 2,0	16,5-18,5	10,0-13,0	2,0-2,5	-	-	
X3 CrNiMo17-13-3	1.4436				max 0,05	≤ 2,0	16,5-18,5	10,5-13,0	2,5-3,0	-	-	
X2 CrNiMo17-12-2	1.4404		316L	S31603	max 0,03	≤ 2,0	16,5-18,5	10,0-13,0	2,5-3,0	-	-	
X2 CrNiMo18-14-3	1.4435	X2CrNiMo18 14 3			max 0,03	≤ 2,0	17,0-19,0	12,5-15,0	2,5-3,0	-	-	
X6 CrNiNb18-10	1.4550	X6CrNiNb 18 10	347	S34700	max 0,08	≤ 2,0	17,0-19,0	9,0-12,0	-	10xC-1,0	-	
X2 CrMoTi18-2	1.4521		444		max 0,02	max. 1,0	17,0-20,0	-	1,8-2,5	-	-	
X1 NiCrMoCu 25-20-5	1.4539		N08904 (904L)		max 0,02	≤ 2,0	19,0-21,0	24,0-26,0	4,0-5,0	-	Cu 1,2-2,0	
X6CrNiTi18-10	1.4541		321	S32100	max 0,08	≤ 2,0	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	Ti:5xC...0,70	6R35
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547		S31254	S31254	max 0,02	≤ 1,0	19,5-20,5	17,5-18,5	6,0-7,0	-	Cu 0,5-1,0	254 SMO
X1CrNiMoCuN24-22-8	1.4652			S32654	max 0,02	2,0-4,0	23,0-25,0	21,0-23,0	7,0-8,0	-	Cu 0,3-0,6	654 SMO

EN Nimike	EN numero	DIN 17175 17155	ASME tai AISI/SAE	UNS	C paino-%	Mn paino-%	Cr paino-%	Ni paino-%	Mo paino-%	Nb paino-%	Muuta paino-%	Muita nimiä
X15 CrNi20-12	1.4828		309	S30900	≤ 0,20	≤ 2,0	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	-	
X8 CrNi 25-21	1.4845	X12CrNi 25 20	310S	S31008	≤ 0,10	≤ 2,0	24,0-26,0	19,0-22,0	-	-	-	
X6 NiCrNbCe32-27	1.4877		-	S33228	0,04-0,08	≤ 1,0	26,0-28,0	31,0-33,0	-	0,60-1,00	Al: ≤ 0,025 Ce: 0,05-0,10 Nb: 0,60-1,00	AC66
X10 CrMoVNB9-1	1.4903	X10CrMoVNB91	SA-213 T91	S50460 / S59180	0,08-0,12	0,30-0,60	8,00-9,50	≤ 0,30	0,85-1,05	0,06-0,10	V: 0,18-0,25	
X20 CrMoV11-1	1.4922	X20CrMoV12 1	-	-	0,17-0,23	≤ 1,00	10,0-12,5	0,30-0,80	0,80-1,20	-	V: 0,20-0,35	
X10CrNiMoMnNbVB15-10-1	1.4982		-	S21500	0,07-0,13	5,5-7,0	14,0-16,0	9,0-11,0	0,80-1,20	0,75-1,25	V: 0,15-0,40 B: 0,003-0,009	Esshete 1250
Duplex-teräkset												
X2CrNiN22-2	1.4062		-	S32202	max 0,03	1,3	21,0-23,0	1,0-3,0	0,45		Cu 0,5-2,0	UR2202
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162		-	S32101	max 0,03	4,0-6,0	21,0-22,0	1,35-1,70	0,1-0,8	-	Cu 0,5	LDX2101
X2CrNiN23-4	1.4362		-	S32304	max 0,03	≤ 2,0	22,0-24,0	3,5-5,5	0,1-0,6	-	Cu 0,1-0,6	2304
X3CrNiMoN27-5-2	1.4460		329	S32900	max 0,05	≤ 2,0	25,0-28,0	4,5-6,5	1,3-2,0	-	-	SS2324
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462		-	S32205 / S31803	max 0,03	≤ 2,0	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	-	-	2205
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410		-	S32750	max 0,03	≤ 2,0	24,0-26,0	6,0-8,0	3,0-4,5	-	-	2507
X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	1.4662		-	S82441	max 0,03	2,5-4,0	23,0-25,0	3,0-4,5	1,0-2,0		Cu 0,1-0,8	LDX2404

Ruostumattomien teräsryhmien tunnusluvut ovat seuraavat:

- 40: Mo-, Nb- ja Ti-seosteiset ruostumattomat teräkset, joiden Ni-pitoisuus on alle 2,5 %
- 41: Mo-seostetut, mutta Nb- ja Ti-seostamattomat teräkset, joiden Ni-pitoisuus on alle 2,5 %
- 42: -
- 43: Mo-, Nb- ja Ti-seostamattomatteräkset, joiden Ni-pitoisuus on väh. 2,5 %
- 44: Mo-seostetut, mutta Nb- ja Ti-seostamattomat teräkset, joiden Ni-pitoisuus on väh. 2,5 %
- 45: erikoisseostetut teräkset
- 46: kemiallisesti kestävät ja korkea-lämpötilan Ni-seokset
- 47: kuumalujat teräkset, joiden Ni-pitoisuus on enint. 2,5 %
- 48: kuumalujat teräkset, joiden Ni-pitoisuus on väh. 2,5 %
- 49: muut teräkset korkeisiin lämpötiloihin

KOMPOUND-MATERIAALIEN PINNOITEVAIHTOEHTOJA

Materiaalityyppi	Kauppanimi (toimittaja)	EN	UNS	Cr%	Ni %	Mo %	Fe %	Mn %	Muut %
Austeniittiset ruostumattomat teräkset									
AISI 304L	3R12 (Sandvik) TP304 (Sumitomo)	1.4306	S30403	17 – 19	9 - 12	-	bal.	1.3	-
AISI 310	3RE28 (Sandvik) TP310S (Sumitomo)	1.4845		24 – 26	19 - 22	-	bal.	1.8	-
Nikkeliseokset									
	Sanicro 28	1.4563	N08028	27	31	3.5	bal.	≤ 2.0	1.0 Cu
Alloy 825	Sanicro 38 (Sandvik)	2.4858	N08825 Mod. N06811	19 - 23.5	38 - 46	2.5 - 3.5	bal.	0.8	Cu: 1.7, Ti: 0.8
	HR11N (Sumitomo)			27 – 31	38 - 46	0.5 – 1.5	bal.	≤ 2.0	
	Unifuse 825 (AZZ/WSI)*			21.1	42.64	2.97	bal.	-	Nb+Ta 0.51, Ti 1.04, Cu 2.13
	Sanicro 30	1.4558	N08800						
Alloy 625	Sanicro 63 (Sandvik)	2.4626	N06625 N06625 mod	21	bal.	8.5	3.0	0.5	Nb: 3.5
	Sanicro 65 (Sandvik)			21	bal.	8.5	8	0.5	Nb: <0,5
	Super 625 (Sumitomo)			20 – 23	bal.	8-10	15-20	≤ 0.5	Nb: 0.5-1.0, Ti ≤ 0.4
	Unifuse 625 (AZZ/WSI)*			20.7	bal.	8.5	5.8	-	Nb+Ta 3.4, Ti 0.14
Alloy 690	Sanicro 67 (Sandvik)	2.4642	N06690	30	60	-	10	≤ 0.5	C: 0.02
	Sanicro 69 (Sandvik)	2.4642	N06690	30	60	-	10	≤ 0.5	C: 0.02
	Unifuse 52 (AZZ/WSI)*			28	bal	-	14		Ti, Al
Ferriittiset ruostumattomat teräkset									
18% Cr	Mitsubishi*			17,3/15,5	-	-	bal.		Nb 0,85, Ti, A
25% Cr	Mitsubishi*			25,3/22	-	-	bal.		Nb 0,95, Ti, Al
AISI 446	4C54 (Sandvik)	1.4749	S44600	26,5	-	-	-	0,8	

* hitsauspinnoite

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

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

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Syöttövesipumppujen optimaalinen valinta
Optimal design of boiler feed water pumping system
Esa Vakkilainen ja Bahnam Zakri , Lappeenrannan teknillinen yliopisto
(16A0913-E0163) 13.1.2016
- 2/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, Phase 2
Nikolai DeMartini, Henri Holmblad, Emil Vainio, Patrik Yrjas ja Leena Hupa, Åbo Akademi
(16A0913-E0164) 13.1.2016
- 3/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, Phase 2
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0165) 13.1.2016
- 4/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 28.1.2016, esitelmät
Sokos hotelli Koli, Lieksa, Stora Enso Oyj, Enocellin tehdas
(16A0913-E0166) 28.1.2016
- 5/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipeäsakan syrjäytyspesu
Kurt Sirén, Oy Sirra Ab
(16A0913-E0167) 28.1.2016
- 6/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hyvät hälytyskäytännöt - yhteenveto
Automaatiotyöryhmä
(16A0913-E0168) 23.3.2016
- 7/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2015
(16A0913-E0169) 20.4.2016
- 8/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 20.4.2016, Radisson Blu Plaza hotelli, Helsinki
(16A0913-E0170) 20.4.2016
- 9/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan materiaalit ja tarkastukset
Kestoisuustyöryhmä
(16A0913-E0171) 14.4.2016