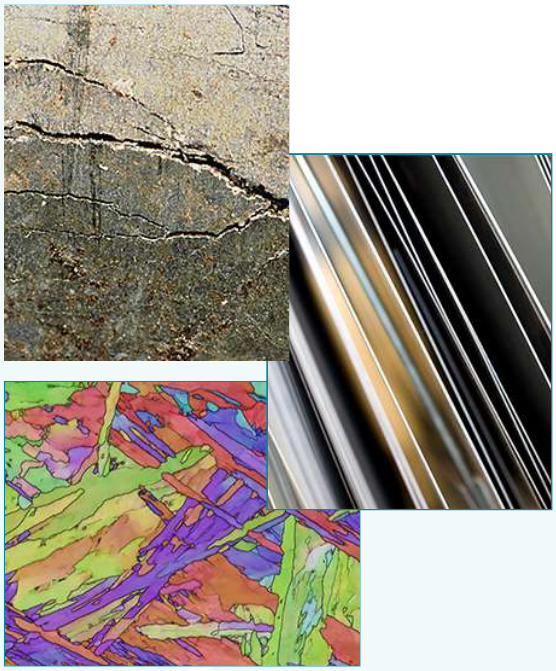


Forskningsrapport
Öppen

Utredning av material tänkta för löprännor

Magnus Nordling

Rapportnummer: P106433

Titel	Utredning av material tänkta för löprännor
Författare	Magnus Nordling
Publiceringsdatum	2021-06-29
Rapportnummer	P106433
Status	Öppen
Projektnummer	P106433
Avdelning	Corrosion
Forskningsområde	Material vid höga temperaturer
Member Research Consortium (MRC)	Korrosion i cellulosaindustri
Finansiering	Industriell
Distribution	MRC CPPI

Godkänd av

X

Rikard Norling
Forsknings- och affärsutvecklare

© RISE KIMAB AB
ISSN 1403—848X

© RISE KIMAB AB

Utredning av material tänkta för löprännor

Magnus Nordling

Rapportnummer: P106433

Abstract

Tio material tänkta som konstruktionsmaterial för okylda köprännor till sodapannor har exponerats i högtemperaturugn. Materialen var enligt leverantörernas uppgifter varmvalsad 253MA (1.4835), Kanthal APMT, ALSTEL, Stellite 6, gjutet 253 MA, gjutet KSF 50-50, R41 (påläggssvets på kolstål), C-276 (UNS N10276), tätsintrad 99,5% Al2O3 och tätsintrad SiC.

Provbitar av materialen exponerades i deglar med smälta representativ för sodasmältor vid 850 °C i luftatmosfär, både under 1 vecka och under 6 veckor. För 6-veckorsexponeringarna gjordes exponeringen i två varianter, dels kontinuerligt vid 850 °C, s k isotermisk exponering, dels genom att med jämna mellanrum en gång i veckan ta ut proverna i rumstemperatur och låta dom kylas till rumstemperatur uppnåtts, för att därefter sätta in proverna igen, s k termochockexponering.

Efter avslutad exponering bakades smältan in, varefter den inbakade smältan slipades tills tvärsnittet på kvarvarande prov framträdde. Tjockleken på tvärsnittet uppmättes och jämfördes med ursprungstjockleken varefter mätning med SEM/EDS utfördes kring gränssnittet mellan basmaterial och korrosionsprodukt.

Utifrån tjockleksmätningen kan konstateras att endast Kanthal APMT, Alstel, KSF och Al_2O_3 haft basmaterial kvar efter båda varianterna av 6-veckors exponering, och att av dessa så hade Al_2O_3 haft den tydligt minsta tjockleksminskningen följt av Alstel och Kanthal APMT. Samtidigt kan utifrån tjockleksmätningen konstateras att varken 1.4835/253MA (varmvalsad), Stellite 6, 253MA(gjuten), R41, UNS N10276/C-276 eller SiC (tätsintrad) har erhållit stöd för att de skulle kunna vara lämpliga som konstruktionsmaterial för okylda löprännor.

Utifrån tjockleksmätningen kan också konstateras att tjockleksminskningen inte varit större för termochockexponeringen jämfört med den isotermiska exponeringen, snarare tvärtom.

Utifrån SEM/EDS-mätningen ges uppfattningen att inträngningsfronten av korrosionsprodukter är mer jämn för isotermisk exponering än för termochockexponering, och möjligen också att alltför höga halter av Ni skulle kunna vara till nackdel som legeringselement för sodasmältamiljön, men dessa resultat är förhållandevis osäkra.

Förutom materialexponering gjordes en översiktlig erfarenhetsinsamling angående konstruktion och korrosion hos löprännor för 10 massabruk. Här kan ses att påläggssvetsning gett bra resultat för kylda löprännor.

© RISE KIMAB AB

Utredning av material tänkta för löprännor

Magnus Nordling

Rapportnummer: P106433

Innehållsförteckning

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Målsättning 1
1.3 Projekt- och genomförandeplan 1
2 Erfarenhetsinsamling 2
3 Analys av sodapannesmälta 3
3.1 Provinsamling 3
3.2 Bestämning av smältpunkt 4
3.3 Bestämning av elementarhalt 5
4 Materialexponering i högtemperaturugn 5
4.1 Övergripande beskrivning 5
4.2 Utrustning, material och kemikalier för exponering 6
4.3 Experimentellt förfarande 7
4.4 Analysförfarande 9
4.5 Kommentar till experimentellt förfarande och analysförfarande 10
4.6 Resultat 11
5 Diskussion 17
5.1 Rangordning av material utifrån tjockleksminskning 17
5.2 Effekt av materialsammansättning 17
5.3 SEM/EDS-analys av exponerade prover 18
5.4 Effekt av termochockexponeringen 18
5.5 Volymförändring saltsmälta 18
5.6 Massförändring 18
6 Slutsatser 19
7 Förslag på fortsatt verksamhet 19
8 Tillkännagivanden 20
9 Referenser 20
9.1 Litteratur 20

10 Bilagor 21
10.1 Erfarenhetsinsamling; tabellsammanställning 21
10.2 Erfarenhetsinsamling; kommentarer 23
10.3 Löprännebilder 24
10.4 Smältaprover 26
10.5 Smältpunktbestämning 27
10.6 Smältaprover efter en veckas exponering 28
10.7 Smältaprover efter 6 veckors isotermisk exponering 29
10.8 Smältaprover efter 6 veckors termochockexponering 30
10.9 Tvärsnittsyta av prov efter inbakning 31
10.10 Massförändring 33
10.11 SEM/EDS-mätningar APMT 34
10.12 SEM/EDS-mätningar Alstel 37
10.13 SEM/EDS-mätningar KSF 39
10.14 SEM/EDS-mätningar Al_2O_3 43
10.15 Erhållna materialprover 46

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Löprännorna är några av de mest utsatta delarna för omfattande korrosion och andra typer av skador i en sodapanna, och har vanligen en livstid på ett år. Kostnaden för byte av löprännor ligger på ca 100 000 SEK per löpränna, varför en ökning av livslängden skulle bespara bruken stora kostnader. Genom att ta reda på vilka material som skulle kunna ge löprännorna utökad drifttid skulle bruken spara stora kostnader, både genom ökad tillgänglighet för anläggningen och genom uppskjutande av kostnad för byte av löprännor.

Projektets uppgift har varit att förbättra kunskapsläget avseende lämpligheten för olika material avsedda för löprännor. Det kan i detta sammanhang nämnas rapporten ”Material i kontakt med sodapannesmälta” [1] där både litteraturstudie, fältstudier och laboratorieprovning utförts, ”Smältarusningar – orsaker och Erfarenheter” [2], en sammanställning av den rådande uppfattningen kring smältarusningens orsaker samt ”Löprännestudie” [3], en erfarenhetsinsamling riktad till Sveriges bruk. I sistnämnda rapport framkommer inte oväntat att materialfrågan är en viktig och avgörande faktor för löprännans livslängd, och att olika materialvarianter prövats utan att man kommit fram till något säkert ställningstagande för ett visst material. Löprännor i svenska massabruk är konstruerade av material som kräver kylning, och löprännorna är konstruerade utifrån detta. Vissa anläggningar har löprännor av kolstål med påsvetsat rostfritt medan andra har löprännor gjorda helt i rostfritt eller helt i kolstål. Det finns uppgifter på att det utanför Sverige finns ett fåtal massabruk som ska ha prövat med okylda rännor av keramiskt material men uppgifterna skiljer sig åt huruvida hur bra det lyckats, och dessutom kan det för dessa massabruk vara så att driftförhållandena kopplat till löprännor skilja sig från de svenska massabruken, och därmed hur pass aggressiv smältan är mot löprännorna. Dock, skulle funktionsdugliga rännor kunna konstrueras av material som inte behöver kylas samtidigt som livslängden skulle överstiga de kylda löprännornas, skulle kostnaderna för löprännor troligtvis kraftigt sjunka, både med anledning av längre hållbarhet och enklare konstruktion, samtidigt som allvarliga haveririsker skulle minimeras med anledning av att inte något kylvatten hos löprännorna skulle riskera att komma i kontakt med sodasmältan.

Detta projekt har därför fokuserat sig på att utföra en laborativ exponering i relevant miljö av material som ur korrosionssynpunkt kan förmodas lämpliga som konstruktionsmaterial för löprännor. Efter detta projekt är tanken att göra en efterföljande fältexponering av de material som i den laborativa exponeringen visat sig fungera bäst, och som skulle ge en än säkrare bedömning. Dessutom har en översiktlig erfarenhetsinsamling hos ett antal massabruk gjorts rörande deras löprännor och driftförhållanden kopplade till dessa.

1.2 Målsättning

Projektets mål utifrån ansökan till ÅForsk har varit att rangordna 10 olika material med avseende på hur väl ur ett korrosionsperspektiv de skulle fungera som konstruktionsmaterial i löprännor. Materialvalen ska inkludera både påsvetsade stål, icke-påsvetsade stål och keramer, där urvalet görs utifrån erfarenhetsinsamling från svenska bruk samt utifrån litteraturgranskning, och i sistnämnda fallet främst med avseende på material tänkta för okylda rännor.

1.3 Projekt- och genomförandeplan

Projektets projekt- och genomförandeplan, utifrån ansökan till ÅForsk, ska ha utgjorts av en erfarenhetsinsamling och litteraturgranskning, dels som en materialexponering i laboratorium. Vad gäller erfarenhetsinsamling ska initiala muntliga kontakter ha tagits med representanter för minst 10 massabruk i Sverige. Kontakter ska även ha tagits med övriga representanter i branschen, framförallt de två företag som levererar de löprännor som används i svenska massabruk, Valmet och Andritz. Val av

lämpliga och relevanta materialval för materialexponering ska ha gjorts utifrån litteraturgranskningen och kontakter i branschen

Exponering av 10 olika material i form av trippelprover ska ha utförts i rörugnar i labb, och vid den temperatur som smältan har när den passerar löprännan. Proverna ska ha varit belagda med salt ungefärligen motsvarande den sammansättning som smältan har när den passerar en löpränna. För att få en bra bild av den sammansättning som smältan har vid detta tillfälle ska analyser ha gjorts av smältan från 5 olika anläggningar, där smältan tagits vid två olika tidpunkter. Exponeringen ska ha pågått i 6 veckor per material. Analysen ska ha bestått av massförlustbestämningar och tvärsnittsanalys med SEM/EDS.

2 Erfarenhetsinsamling

Elva bruk kontaktades avseende deras erfarenheter kopplade till livslängden hos deras löprännor, se tabell 0.3, där också vilka frågor som ställdes kan ses.

Tabell 1. Massabruks- och frågelista. "Kortbenämning" står för den beteckning på bruken som generellt används i rapporten i de fall där inte hela namnet skrivs ut.

Massabruk	Kort-benämning	Frågelista	
BillerudKorsnäs Frövi	BK-F	**Bränsle** Bränsleslag och fördelning Eventuell återföring, ex aska från filter Eventuell avvikelse avseende soda-smältans samman-sättning **Sodapannan** Antal pannor Pannleverantör Antal löprännor Belastning (ton/dygn)	**Löprännornas konstruktion** Leverantör Typ, ex insticks eller ej Basmaterial Eventuellt pålägg ex påläggssvetsning eller termisk sprutning Återanvändning **Driftförhållande löprännor** Belastning (ton/dygn) Manuell eller robotspettning Omfattning av smältaflöden/ rusningar Bytesfrekvens Orsak till byte exempelvis enligt rutin eller skada **Övrigt löprännor** Skadeorsak Besiktningsföretag
BillerudKorsnäs Gävle	BK-G		
BillerudKorsnäs Karlsborg	BK-K		
BillerudKorsnäs Skärblacka	BK-S		
Metsä Board Husum	MBH		
SCA Munksund	SCA-M		
SCA Obbola	SCA-O		
Smurfit Kappa Kraftliner	SKK		
Stora Enso Skoghall	SE-S		
Södra Cell Mönsterås	SC-M		
Södra Cell Värö	SC-V		

Svaren kan ses i bilaga 10.1-10.2 (om än inte samtliga bruk svarat på alla frågor), och de förmodat mest betydelsefulla svarsuppgifterna kan ses i tabell 2. Dessutom har foton på brukens löprännor levererats i den mån de funnits att tillgå, se bilaga 10.3.

Tabell 2. Erfarenhetsinsamling löprännor (Lr). Rusning= förekomst av smältarusning, Bas= löprännans basmaterial (d v s under ev beläggning), Pålägg= eventuell beläggning (TS=Termisk sprutning, Ps=Manuell påläggssvetsning, Ls= lasersvetsning), Material= påläggsmaterial, Byte= hur ofta löprännan byts, Skada= huruvida löprännan byts p g a skada (eller mer av "rutin"), Var= var skadorna främst uppstått, Typ= typ av skador ("Tsb"= termisk sprickbildning, "Tsk"= termisk spänningskorrosion, "EC"= erosionskorrosion). Förtydliganden av förkortningar för massabruken kan ses i tabell 1.

Bruk	Rusning	Bas	Pålägg	Material	Byte	Skada	Var	Typ	Övr
BK-F	Ej längre	253MA	TS[1]	253MA	1g/år	Ja	Läpp	Sprickor	
BK-G (2 Sp)	Ibland	Kolstål	Ps(?)	Alloy 265	Ny	Ny Lr	#	#	
	Ibland	304L	-	#	2g/år	Ja	Instick	Sprickor (Tsb),EC	[6]
BK-K	2 ggr/år	Kolstål	TS		1g/2 år				
BK-S	Nej	2333	-	#	1g/år	Nej	Instick [9]	Sprickor	
MBH	Nej	Kolstål	Ps[2]		1g/år	Ja	Läpp o in-stick	Sprickor	
SCA-M									
SCA-O	Nej	Com-pound	-	#	1g/år	Ja	Vätskenivån	Sprickor (spk)	
SKK	Sällan	P265GH	Ps	18-8	1g/år	Ja			
SE-S					1g/år				
SC-M	Sällan	Svart	Ps	Alloy265, Stellite 6	1g/2år [7]	Ja	Läpp (Lr Stellite)	Sprickor	[3]
SC-V	Ibland	P265GH	Ls	[8]	1g/år	Nej	#	#	

1) släpper efter en driftsäsong, 2) Stellite vid "läppen", 3) En löpränna påsvetsad med Alloy 625, de övriga var påsvetsade med Stellite 6, rännan i Alloy 625 såg bäst ut med avseende på sprickor 6) 4-5 ggr högre kloridhalt än normalt 7) Ansågs skulle kunna ha gått ytterligare 12 månader. 8) Leverantören specificerar inte detta. 9) Ej allvarligt, "klarar sig".

Enligt tabell 2 kan ses att byte sker generellt en gång per år, även om undantag finns i form av byte en gång på två år, BK-K och SC-M, där sistnämnda uppgett att löprännan skulle kunna ha suttit kvar längre, om än efter uppgradering av påläggsmaterialet. Även vissa som bytt efter ett år har uppgett att dom gjort det mer p g a rutin än p g a skada (BK-S och SC-V). Den skadetyp som är den vanligaste angivna är sprickbildning, även om erosionskorrosion också uppges (BK-G).

Vad gäller utformningen av löprännorna så har två bruk löprännor utan beläggning, BK-S och BK-G, och då rostfritt av typ 304, medan övriga har beläggningar, utom SCA-O som särskiljer sig genom att ha ett compoundmaterial. För påläggsmaterialets del förekommer två varianter, termisk sprutning och påläggssvetsning, där sistnämnda förekommer i två varianter, manuell påläggssvetsning och laser-svetsning.

I tabell 2 kan också ses att de vanligaste angivna skadetyperna är sprickbildning även om skador förmodat orsakade av smältainducerad erosionskorrosion kan ses, se bilaga 10.3.

3 Analys av sodapannesmälta

3.1 Provinsamling

Smältaprover erhölls från 5 olika massabruk; BillerudKorsnäs Frövi, BillerudKorsnäs Skärblacka, SCA Obbola, Stora Enso Skoghall och Smurfit Kappa. Proverna var tagna vid två olika tidpunkter, och proverna från de olika bruken avvek både i fråga om färg och konsistens, se bilaga 10.4.

3.2 Bestämning av smältpunkt

3.2.1 Experimentellt förfarande

Förutom för SCA Obbola, för vilken bara smältaprov från ett provtagningstillfälle exponerades, placerades bitar av smältaproverna i deglar varefter deglarna placerades i en värmeugn, se figur 1.

Figur 1. Värmeugn. Till vänster öppen ugn med inställda deglar med sodapannesmältaprover samt kabel med termoelement i änden. Till höger stängd ugnslucka med avläsningsenhet för i ugnen anslutet termoelement.

Temperaturen i värmeugnen höjdes successivt i steg om ca 50 °C från 600 °C, tilläts stå vid erhållna temperatur i ca 30 minuter, varefter proverna granskades med avseende på om smälta bildats eller ej. När samtliga provbitar smält avslutades exponeringen.

3.2.2 Kommentar till experimentellt förfarande

Anledningen till att bara prov från ett provtagningstillfälle exponerades av proverna från SCA Obbola, byggde på ett missförstånd som gjorde att provet från det senare provtagningstillfället inkom först efter det att exponeringen utförts.

3.2.3 Resultat

Foton på proverna efter varje steg om 50 °C kan ses i bilaga 9.5. Här kan ses att smältornas färger varierar utifrån temperatur, men att samtliga smältor får en blåfärgad ton då smältorna svalnat (visas ej). En sammanställning över vid vilka temperaturer smälta erhållits kan ses i tabell 1.

Tabell 3. Smältpunktsbestämning. Inom parentes anges första respektive andra provtagningen. Förtydliganden av förkortningar för massabruken kan ses i tabell 1.

	BK-F(1)	BK-F(2)	BK-S(1)	SCA-O(1)	SCA-O(2)	SE-S(1)	SE-S(2)	SKK(1)	SKK(2)
Antydan	900-950						750		700
Smält	1000	800-820	750	800-820	750	800-820	800-820	750	750

Här kan ses att samtliga prover smält vid 800-820 °C förutom ett av proverna från Frövi som tydligt smälte först vid 1000 °C. En antydan till smälta kan dock ses redan vid 900 °C.

3.3 Bestämning av elementarhalt

3.3.1 Experimentellt förfarande

Analysen utfördes med SEM (Svepelektronmikroskopi, Sigma VP 300) och EDS (Energidispersiv röntgenspektroskopi, X-maxN). SEM- och EDS-hårdvara manövrerades med mjukvarorna SmartSEM respektive AZtec.

3.3.2 Resultat

Resultatet av bestämning av elementarhalterna i sodasmältaproverna kan ses i tabell 4, både i form av atom%, och i form av avvikelse från medelvärdet från samtliga prov.

Tabell 4. Elementarhaltsanalys (at%). Siffran i rad 2 anger första respektive andra provtagningen. Förtydliganden av förkortningar för massabruken kan ses i tabell 1.

	SE-S		BK-S		SCA-O		BK-F		SKK		Medel
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Na	69,83	67,4	80,9	62,7	70,68	72,1	68	64,4	63,1	73	69,2
	0,6	-1,8	11,7	-6,5	1,5	2,9	-1,2	-4,8	-6,2	3,8	
Si	0,48	0,46	0,34	0,35	0,48	0,25	0,97	0,34	0,28	0,23	0,4
	0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,1	-0,2	0,6	-0,1	-0,1	-0,2	
S	22,44	24,4	11,7	28,2	21,32	21,2	24	23,7	24,9	18,5	22,0
	0,4	2,3	-10,4	6,1	-0,7	-0,8	2,0	1,7	2,9	-3,6	
Cl	0,78	0,65	0,41	1,05	0,46	0,27	0,59	1,31	0,47	0,49	0,6
	0,1	0,0	-0,2	0,4	-0,2	-0,4	-0,1	0,7	-0,2	-0,2	
K	5,78	6,4	6,55	7,56	7,05	6,03	6	10,2	11,3	7,7	7,5
	-1,7	-1,1	-0,9	0,1	-0,4	-1,4	-1,5	2,8	3,8	0,2	
Ca	0,68	0,71	0,1	0,19	0	0,12	0,46	0	0,06	0,09	0,2
	0,4	0,5	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	-0,2	-0,2	
Tot	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Vid jämförelse av halterna mellan de två provtagningstillfällena inom samma bruk kan man se att värdena för Skärblacka och Smurfit avviker ganska kraftigt med avseende på natrium och svavel, och för Smurfit även med avseende på kalium. Görs jämförelse för varje bruk med medelvärdet kan ses att proverna från Skärblacka avviker mest, och då ifråga om höga halter av natrium och låga halter av svavel för det först tagna provet men tvärtom för det andra provet.

4 Materialexponering i högtemperaturugn

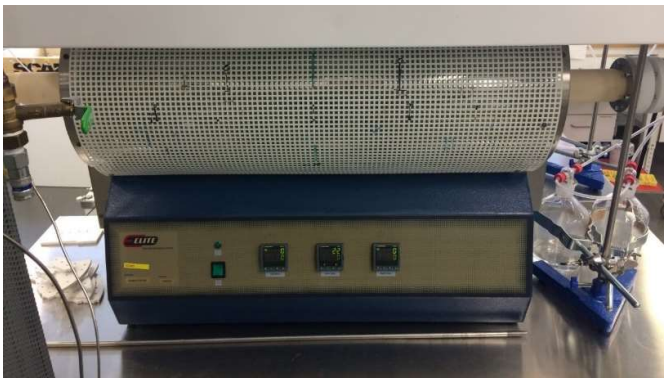
4.1 Övergripande beskrivning

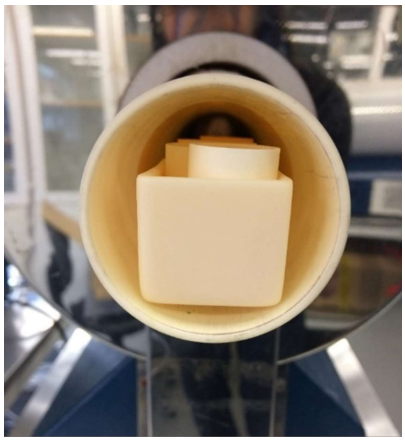
Materialen exponerades i två på varandra följande perioder, en 1-veckasexponering följt av en 6-veckorsexponering. Under 1-veckasexponeringen exponerades ett prov av varje material medan för 6-veckorsexponeringen så exponerades två prov av varje material. För 1-veckasexponeringen satt proverna i ugnen hela tiden medan för 6-veckorsexponeringen så togs ett prov av varje material ut ca en gång per vecka för att kylas ner, och för att sedan sättas tillbaka i ugnen igen, medan de övriga 6-

veckorsproverna fick sitta kvar i ugnen hela tiden. Exponeringen benämns fortsättningsvis som 1-veckasexponering, 6-veckors isotermisk exponering respektive 6-veckors termochockexponering.

4.2 Utrustning, material och kemikalier för exponering

Den ugn som användes för exponeringen var en rörugn (Elite, TMH12/75/750), se figur 2.





Figur 2. Rörugn. Till vänster helbild av rörugn, med inlopp till vänster och utlopp till höger. Till höger ugnsinlopp med glödkista fylld med cylindriska deglar.

Elementaranalys av proverna utfördes med SEM (Svepelektronmikroskopi, Sigma VP 300) och EDS (Energidispersiv röntgenspektroskopi, X-maxN). SEM- och EDS-hårdvara manövrerades med mjukvarorna SmartSEM respektive AZtec.

Material för exponering valdes enligt tabell 5, och valen gjordes utifrån att ett antal materialtillverkare och materialleverantörer tillfrågades om de hade tillgång till material som skulle klara en smälta av den under tabell 4 angivna sammansättningen och då åtminstone vid 900 °C. Formen på de tillsända materialen kan ses i bilaga 10.15.

Tabell 5. Materialval. Leverantörer: 1 Outokumpu, 2 Kanthal, 3 Kennametal, 4-6 Kihlbergs Stål AB, 7 Duroc Laser Coating AB, 8 Harald Pihl, 9-10 Keranova. Materialbeskrivningspecifikationer; a) varmvalsat b) påläggssvets på kolstål c) tätsintrad 99,5% d) tätsintrad. Sammansättningen anges enligt uppgifter från leverantör eller officiellt tillgängliga värden samt utifrån mätning med EDS i projektet. Där uppgifter saknas har det inte lyckats gå att erhålla uppgifter. Sammansättningen anges av leverantör i wt%, och för EDS-mätning i wt% samt atom% inom parentes.

Nr	Material-beskriv-ning	Material-benämning	Sammansättning											
			Fe	Ni	Cr	W	Mo	Al	Co	Si	Mn	O	N	C
1	1.4835/253MA[a]	253MA(v)	67	11	21								0.17	0.09
	EDS		65 (62)	11 (10)	21 (22)	0.3 (0.1)				2 (3)	0.5 (0.5)		0 (0)	0.5 (2)
2	Kanthal APMT	APMT	68-71		20.5-23.5		3.0	5.0		<0.7	<0.4			<0.08
	EDS		66 (52)		21 (18)		2 (1)	5 (7)		0.4 (0.7)				5 (20)
3	ALSTEL	ALSTEL												
	EDS			29 (27)	70 (72)					0.3 (0.7)				
4	Stellite 6	Stellite			27-32	4-6			57					1
	EDS		2 (2)	2 (2)	32 (32)	5 (1)			54 (47)	0.7 (1)				3 (14)
5	253 MA gjutet	253MA(g)												
	EDS		67 (65)	10 (10)	19 (20)		0.2 (0.1)			1 (3)	1 (1)			0.3 (1)
6	KSF 50-50 gjutet	KSF		ca50	ca50									
	EDS		4 (3)	43 (36)	48 (45)					0.9 (2)				4 (15)
7	DUROC R41 [b]	R41												
	EDS		83 (81)	2 (2)	14 (15)					0.9 (2)				
8	UNS N10276/C-276	C-276	4-7	56-63.5	14.5-15.5	3-4.5	15-17							
	EDS		6 (7)	59 (62)	17 (20)	3 (1)	14 (9)	0.2 (0.4)						
9	Al_2O_3 [c]	Al_2O_3												
	EDS							53 (39)				43 (54)		4 (7)
10	SiC [d]	SiC												
	EDS									59 (38)		0.7 (0.8)		40 (60)

De kemikalier som användes var det pulver som erhölls vid malning av smältaprov från Smurfit Kappa prov 1, se tabell 4. Smurfit Kappas sodasmältaprov, prov 1, hade en relativt hög svavelhalt, om än inte den högsta, och valdes utifrån en förmodan om att svavlet i smältan skulle kunna ha en negativ effekt på materialen, samtidigt som den inte skulle vara den mest extrema.

Materialprover och pulver var placerade i cylindriska keramdeglar av Al_2O_3, med en innerdiameter av 1.6 cm och en innerhöjd av 3.0 cm.

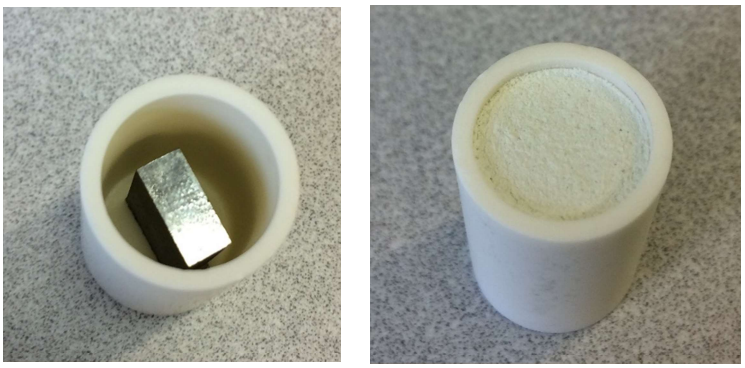
Atmosfären i samtliga exponeringar utgjordes av teknisk luft (20.9 volym% O_2, resterande N_2).

4.3 Experimentellt förfarande

4.3.1 Exponeringsförberedelse

Ugnen kalibrerades utifrån principerna i standard SS-ISO 21608:2012.

Proverna kapades till för att passa i deglarna på så sätt att provet kunde stå i degeln, och uppnå en höjd av ca ½ degelns höjd, varefter proverna vägdes och mättes med avseende på tjocklek. För 1-veckasexponering gjordes ett prov av varje material och för 6-veckorsexponering två. Därefter placerades proven i varsina deglar, se figur 3, vägdes tillsammans med degeln, fylldes med pulver från malt sodasmältaprov upp till en nivå nära degelns övre kant, varpå degeln med prov och pulver vägdes igen.

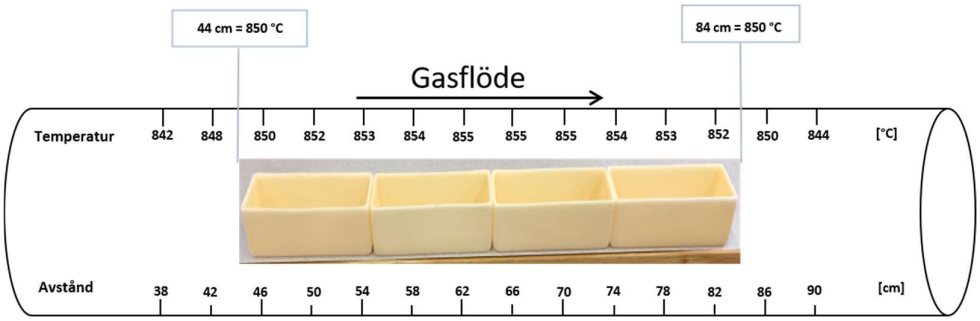


Figur 3. Degel med prov och smältapulver. Till vänster degel. Till höger degel med prov, och till höger degel med prov och salt.

Slutligen placerades deglar med prov och sodapannesmälta i glödkista med 5 deglar i varje, d v s 2 glödkista för 1-veckasexponeringen, samt 2 glödkista vardera för de båda 6-veckorsexponeringarna, och då på så sätt att glödkista för 6-veckorsexponeringarna hade samma material två och två.

4.3.2 Exponering

Glödkista med deglarna fördes in i ugnen då ugnen hade en temperatur på 850 °C, se figur 2 och figur 4.



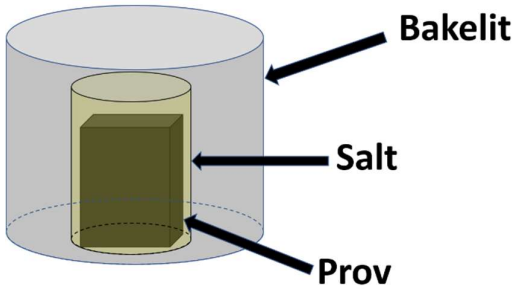
Figur 4. Placering av glödkista och temperaturprofil i rörugnens rör. I glödkista står under exponeringen 5 deglar i varje (visas ej).

För 6-veckorsexponeringen placerades glödkistorna så att två glödkistor med sinsemellan olika material i var placerade längst ut i varsina ändor av ugnsröret. In- och utlopp förslöts så när som på att ett kontinuerligt flöde av syntetisk luft fick flöda med 150 ml/min genom ugnsröret. För 1-veckasexponeringen togs proverna ut efter ca en vecka, och tilläts svalna i rumstemperatur. För 6-veckors termochockexponeringen togs de två glödkistor i ena änden av ugnsröret ut efter ca en vecka och tilläts svalna i rumstemperatur. Efter ca 90 minuter sattes de två glödkistorna tillbaka igen varvid processen upprepades efter varje vecka tills det gått totalt 6 veckor. För de isotermiska exponeringarna tilläts ugnen svalna till rumstemperatur med 10 grader/min innan proverna togs ut. Mer exakt utfördes exponeringen vid 850 °C under 168 timmar för 1-veckasexponeringen, 1000 timmar för termochockexponeringen och 1008 timmar för 6-veckors isotermiska exponeringen.

4.3.3 Provbearbetning efter exponering

Efter avslutat exponering vägdes och fotograferades degel med innehåll. Därefter knackades degeln loss och innehållet bakades in. De keramiska materialen SiC och Al_2O_3, göts in i epoxi medan de övriga gjöts in övriga i bakelit (KonductoMet), se figur 5. Därefter slipades ingjutningen på den sida som

varit botten i degeln 2-3 mm efter att metallen blottats (om inget prov syntes efter att ingjutningen slipats några millimeter avbröts slipningen).



Figur 5. Beskrivning av utformning av inbakning. För de keramiska materialen användes epoxi som ingjutningsmaterial. "Salt" står för stelnad sodapulversmälta.

Samtliga metalliska material slipades på SiC slippapper (P4000 som sista steg). De keramiska material gjöts in i transparent epoxi och slipades med MDPiano (1200 som sista steg) samt polerades med MD Nap (1my som sista steg) och MD CHEM. För de keramiska materialen användes etanol till slipningen och vattenfritt smörjmedel för poleringen medan det för de övriga materialen inte användes någon vätska. Material som är dåliga elektriska ledare kräver en elektriskt ledande beläggning för att kunna analyseras med SEM och EDS. Eftersom keramerna (Al_2O_3, SiC) har dålig elektrisk ledningsförmåga belades dessa prover med ca 15 nm tjock guldbeläggning. Guldbeläggningen applicerades via plasmasputtring (Emitech K550).

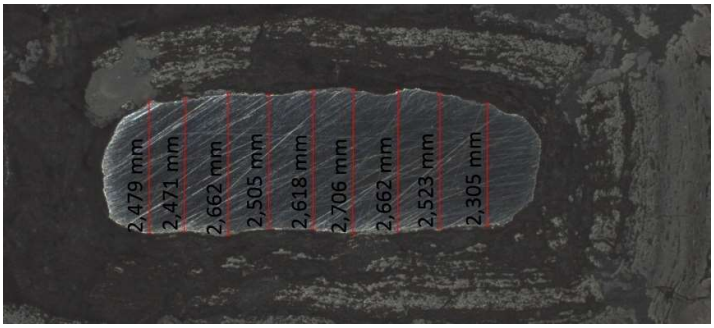
4.4 Analysförfarande

4.4.1 Massförändring

Bestämning av massförändring av prov med smältaprovspulver gjordes genom att massan av degel med prov och smältaprovspulver före exponering jämfördes med degel med innehåll efter slutförd exponering för de två isotermiska exponeringarna. För termochockexponeringen vägdes deglarna efter varje uttag.

4.4.2 Tjockleksförändring

Bedömning av tjockleksförändring av prov gjordes genom att jämföra tjockleken hos provet före exponering med bredden hos provets synliga yta i ingjutningen efter exponering. Provets tjocklek mättes på 10 platser med hjälp av ljusoptiskt mikroskop, se figur 6, och därefter beräknades medelvärdet.



Figur 6. Metod för tjocklekbestämnings. Exemplifierat genom mätning på 253MA(g), 1 veckas exponering.

4.4.3 Elementaranalys experimentellt förfarande

De ingjutna proverna analyserades med SEM/EDS backscatter, både vad gäller proverna från 1-veckasexponeringen och 6-veckorsexponeringarna. Vid samtliga analyser av de metalliska

provmaterialen användes accelerationsspänning 20 kV, strålström 1.7 nA och arbetsavstånd 8.5 mm. Vid analys av de keramiska materialen användes accelerationsspänning 10 kV. Resultaten från EDS-mätningarna presenteras som EDS-kartor för de element som kunnat detekteras, se bilaga 10.11-10.14.

4.4.4 Elementaranalys förutsättningar

EDS-kartor ger en uppfattning om fördelningen av grundämnen på provytan inom den skannade arean. För ett specifikt element uppträder högkoncentrerade områden som ljusa och lågkoncentrerade områden som mörka.

Vid EDS-mätningar är signalerna för vissa element mycket lika, och det gäller mellan Mo och S, Br och Al samt mellan Zn och Na. Detta gör exempelvis att om S finns i en del av provets scannade yta och Mo i en annan del av den scannade ytan, och S har en högre koncentration än Mo, kommer signalerna från båda att framträda i EDS-kartan, och området med S som mer ljus än området med Mo.

4.5 Kommentar till experimentellt förfarande och analysförfarande

Löprännorna för svenska massabruk kyls för att minska korrosionen från smältan varför det ansågs finnas en viss risk för att samtliga prov skulle korrodera bort efter en 6-veckorsexponering, varvid nyttan av resultaten skulle vara kraftigt begränsade. Därför beslutades att det först skulle göras en 1-veckasexponeringen för att utifrån denna göra en bedömning av hur proverna skulle klara en 6-veckasexponering. Dessutom skulle jämförelsen mellan en 1-veckasexponering och en 6-veckasexponering kunna utnyttjas för att göra en extrapolering av hur materialen skulle klara sig under en längre exponeringstid än 6 veckor. Utifrån hur många av proverna som hade ursprungsmaterial kvar efter 1-veckasexponeringen och hur mycket som fanns kvar av materialet, gjordes bedömningen att en 6-veckasexponering under samma förhållanden som 1-veckasexponeringen skulle kunna ge ytterligare användbara resultat.

Ett av projektets fokus var att se om termochockexponeringen skulle ha någon avvikande effekt på de exponerade proverna relativt den isotermiska exponeringen. Därför beslutades att deglarna skulle fyllas med sodasmältapulver endast före exponeringen, och att några kompletterande påfyllningar inte skulle göras även om smältan skulle sjunka. Skulle påfyllning göras för de isotermiska exponeringarna skulle dessa ha utsatts för en termochock, och skulle de termochockexponerade deglarna ha kompletterats med sodasmältapulver skulle exponeringarna för den de isotermiska exponering och termochockexponeringen inte varit likvärdiga.

Duroc hade tillsänt två provbitar till RISE för exponering, varav den ena bitens påläggssvets, DUROC C21, uppges användas för befintliga löprännor för massabruket BillerudKorsnäs Gruvön, och där varit i stort sett opåverkade, medan den andra bitens påläggssvets, DUROC R41, består av en ny och oprövad legeringssammansättning. Enligt uppgift från Duroc ska materialet C21 bestå av Co (balanced), Cr (29 wt%, 32atom%), Mo (5wt%, 3atom%) och Ni (3wt%, 3atom%). Genom bristfällig kommunikation mellan Duroc och RISE, fick RISE uppfattningen att båda provbitarna hade samma påläggssvets, och den provbit som valdes blev den med den oprövade legeringssammansättningen.

Det kan ses att deglarna har olika pålagd massa av smältaprovspulver. Det beror på att fokuset var att fylla degeln med så mycket pulver som möjligt för att minska risken för att det under exponeringen skulle bli risk för brist på smälta (och inte att ha samma utgångsmassa), varför skillnader i provbitarnas volym påverkade den mängd av smältaprovspulvret som kunde få plats.

Deglarna placerades i glödkistorna för att minska risken för skada på ugnsröret av sodasmälta vid eventuell sprickning av degeln.

Den här använda dimensionen på deglarna ansågs vara den minsta som skulle kunna användas för att samtidigt kunna ha en dimension på provet som inte riskerade att försvinna under exponeringen. Samtidigt ansågs att exponeringen av samtliga 6-veckorsexponeringar skulle behöva köras samtidigt för att undvika risker för avvikande miljö vid exponeringen, med följande tolkningssvårigheter av resultaten. Maximalt 4 glödkistor får plats i ugnsröret, och i varje glödkista max 5 deglar av här använd vilket gav det maximala antalet deglar för en exponering på 20 deglar.

4.6 Resultat

4.6.1 Optisk granskning av smälta och provmaterial

Smältans volym och utseende efter 1 veckas isotermisk exponering, 6 veckors isotermisk exponering och 6 veckors termochockexponering kan ses i bilagorna 10.6-10.8, och en sammanställning av detta kan ses i tabell 6. Det måste dock betonas att granskningen gjordes utifrån fotografierna, och att bedömningen därför kan vara något osäker.

Tabell 6. Smältaprovsutseende. Okulär granskning av smältaprovet efter exponering. Exponering ("Expo") anges enligt "1v" (en veckas exponering), "6v Iso" (6 veckors isotermisk exponering) och "6v Tc" (6 veckors termochock- exponering). Utseendekategori ("Kat") specificeras enligt V= Volym, F=färg. För volym av smältaprovet anges den som "tydligt över degelns övre kant" (++), "något över degelns övre kant" (+), "i nivå med degelns övre kant eller strax under" (=), "nära botten men ändå över provet" (-), "så pass nära botten att provet inte med säkerhet helt täcks" (--). Siffrorna under volymsangivelsen anger "utgångsmassa smältapulver"/"totala massminskning av degel tillsammans med prov och smältapulver", erhållna från bilaga 10.10 och avrundade till heltal (gram). För färgerna finns förkortningarna "Mgrön" (=mörkgrön), "Lgrön" (ljusgrön), "Sv/Br" (svartbrun) och "R/Sv" (rödsvart).

Expo	Kat	Material									
		253MA(v)	APMT	Alstel	Stellite	253MA (g)	KSF	R41	C-276	Al_2O_3	SiC
1v Iso	V	+ 5/3	- 6,-1	-- 5/-2	-- 6/-5	= 6/2	-- 6/-1	++ 10/4	+ 6/1	- 6/0	-- 5/-2
	F	Svart	Mgrön	Lgrön	Svart	Svart	Lgrön	Svart	Svart	Blå	R/Sv
6v Iso	V	= 6/4	= 6/1	-- 5/-6	= 6/2	= 6/2	- 6/-3	++ 5/5	= 6/-1	- 6/2	- 6/-2
	F	Svart	Svart	Svart	Sv/Br	Svart	Svart	Svart	Svart	Lgrön	R/Sv
6v Tc	V	+ 6/2	-- 6/-3	-- 5/-6	- 6/-3	= 6/2	-- 6/-2	++ 6/5	= 4/0	-- 6/0	- 5/-1
	F	Svart	Mgrön	Svart	Svart	Svart	Lgrön	Svart	Svart	Lgrön	R/Sv

Här kan ses att både utseende och volym av kvarvarande smälta efter exponering skiljer sig kraftigt åt. Framförallt kan man se att volymerna för några av smältaproverna minskat så kraftigt att proven inte med säkerhet helt täcks. Detta har skett för APMT (6-veckors termochockexponering), Alstel (samtliga exponeringar), Stellite (1-veckas isotermisk exponering), KSF (1-veckas isotermisk exponering och 6-veckors termochockexponering) och Al_2O_3 (6-veckors termochockexponering). Resultatgranskning rörande "utgångsmassa smältapulver"/"totala massminskning av degel tillsammans med prov och smältapulver" anges under 4.6.3.

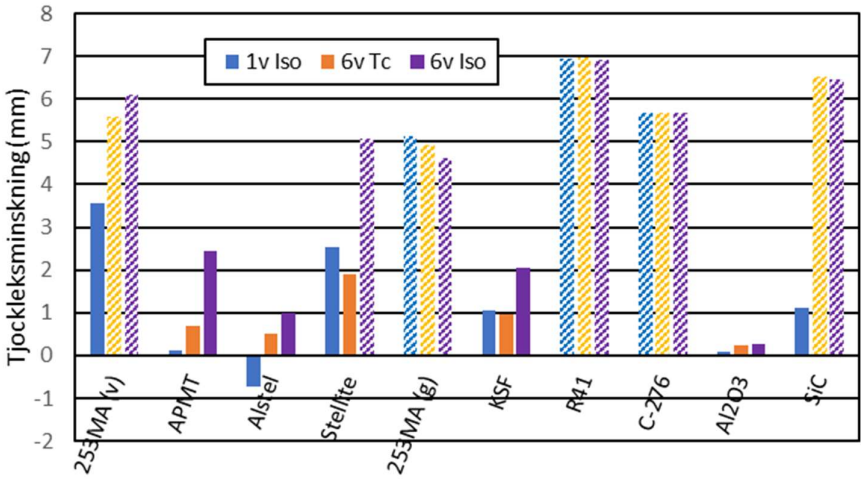
Utseendet på materialens tvärsnittsyta efter inbakning kan ses i bilaga 10.9. En sammanfattning för respektive material huruvida något av materialet bevarats oangripet efter exponeringen eller ej kan ses i tabell 7. Här kan ses att 4 material haft ursprungsmaterialet kvar i tydlig omfattning under samtliga exponeringsperioder (APMT, Alstel, KSF och Al_2O_3), 3 material inte haft något ursprungsmaterial kvar efter någon exponeringsperiod (253MA(g), R41 och C-276), medan två material haft något ursprungsmaterial kvar endast efter 1-veckasexponeringen (253MA(v) och SiC). Att lägga märke till är att ett material, Stellite, inte haft något ursprungsmaterial kvar efter 1-veckasexponeringen eller 6-veckors termochockexponeringen, men däremot material kvar efter 6-veckors isotermiska exponeringen.

Tabell 7. Materialrest. Okulär bedömning av om oangripet basmaterial finns kvar efter exponeringsperiodens slut. Beteckningen"+" och "-" står för att åtminstone något basmaterial finns kvar respektive inget basmaterial finns kvar. Exponeringsmiljön anges enligt 1-veckas isotermisk exponering (1v Iso), 1-veckors isotermisk exponering (6v Iso) och 6-veckors termochockexponering (6v Tc). Specifikation av materialen ges i tabell 5.

Exponering	Material									
	253MA (v)	APMT	Alstel	Stellite	253MA (g)	KSF	R41	C-276	Al_2O_3	SiC
1v Iso	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+
6v Iso	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-
6v Tc	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-

4.6.2 Tjockleksförändring

Resultat från tjockleksmätningen på de prov som hade något basmaterial kvar efter exponeringen kan ses i figur 7.



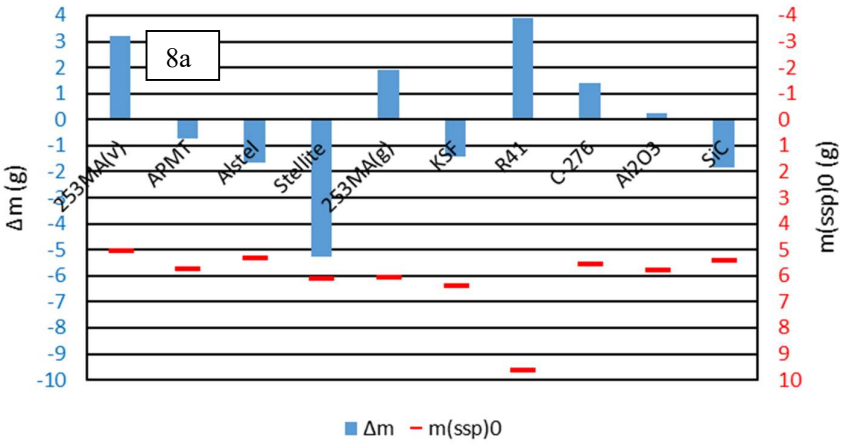
Figur 7. Tjockleksminskning. Tjockleksminsking av olika material efter 1-veckas isotermisk exponering (1v Iso), 1-veckors isotermisk exponering (6v Iso) och 6-veckors termochockexponering (6v Tc). Specifikation av materialen ges i tabell 3. För de material där allt prov förbrukats anges tjockleksminskningen med en streckad stapel.

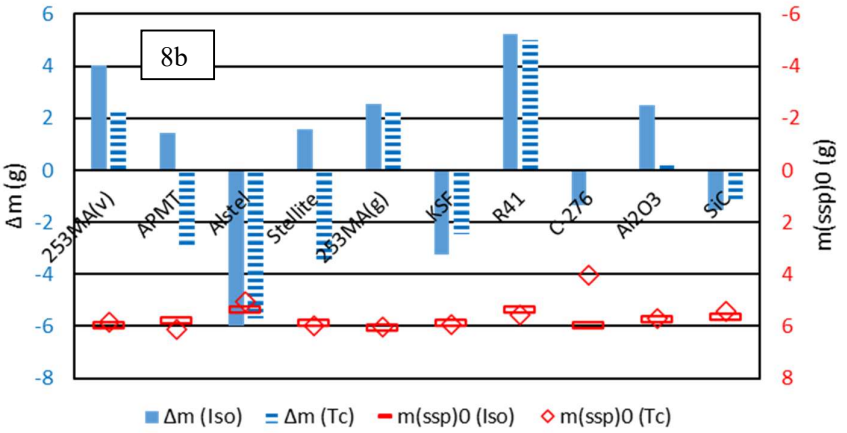
Förutom vad som anges i anslutning till tabell 4 kan ses att för de material som haft ursprungsmaterialet kvar i tydlig omfattning efter samtliga exponeringar har Al_2O_3 haft det lägsta värdet på tjockleksminskningen följt av Alstel. Vid jämförelse mellan APMT och KSF kan ses att APMT haft ett lägre värde på tjockleksminskningen för 1-veckasexponeringen och 6-veckors termochockexponeringen medan motsatsen gäller för den 6-veckas isotermiska exponeringen. Dessutom kan vid jämförelse mellan den 6-veckors isotermiska exponeringen och 6-veckors termochockexponeringen för varje prov konstateras att tjockleksminskningen varit större för den 6-veckors isometriska exponeringen. Att lägga märke till är också dels att för KSF har 1-veckasexponeringen inneburit något högre tjockleksminskning än 6-veckors termochockexponering, och att för Alstel så har 1-veckasexponeringen inneburit en ökning av värdet på tjockleken.

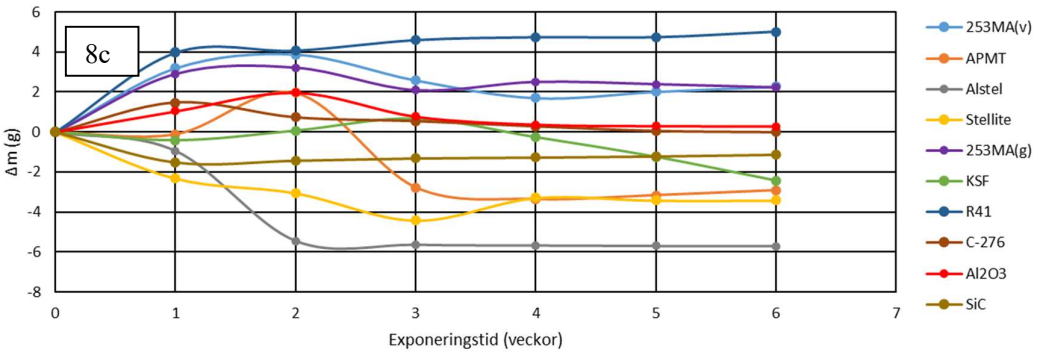
4.6.3 Massförändring

Massförändringen relativt utgångsvikten av den totala vikten av degel, prov och smälta ses som data i bilaga 10.10 och sammanställt i diagram i figur 8.1-8.3. För de två isometriska exponeringarna anges vikten efter avslutad exponering medan för termochockexponeringen anges vikten efter varje uttag.

Här kan ses att totalvikten för ett visst materials deglar ökat efter exponeringen medan det för andra minskat. Samtidigt kan man vid jämförelse mellan 1-veckasexponering och 6-veckors isotermisk exponeringen se att tendensen, d v s större minskning eller ökning i vikt ju längre exponeringstid, inte varit konsekvent för ett visst materials deglar (APMT, Stellite, C276, SiC) där det för tre av fallen (APMT, Stellite, C276) t o m varit så att om det varit en ökning eller en minskning i vikt efter 1-veckasexponeringen så har motsatsen gällt efter 6 veckor isotermisk exponering. Vid jämförelse mellan 1-veckasexponering och 6-veckors termochockexponering efter 6 veckor kan ungefär motsvarande ses, d v s att det inte varit konsekvent för ett visst materials deglar (253MA(v), Stellite, C276, Al_2O_3 och SiC), om än inte så att det för något fall varit så att om det varit en ökning eller en minskning i vikt efter en vecka så har motsatsen gällt efter 6 veckor termochockexponering (även om massökningen varit mycket liten, 0.001 g, för C276 efter termochockexponeringen).







Figur 8. Förändring av totalmassa av degel, sodasmälta och prov vid exponering. Figur 8a visar vikten efter en veckas isotermisk exponering, figur 8b visar efter sex veckors exponering, där staplarna anger isotermisk exponering och tvärstrecken anger termochockexponering, medan figur 8c anger massförändringen under hela perioden för termochockexponeringen. I figur 8a och 8b anges även utgångsvikten för sodasmältapulvrets massa, m(ssp)0.

Granskas 6-veckas termochockexponeringen för samtliga mätningar kan ses att vissa deglars vikt ökat efter exponeringsperiodens slut (253MA(v), 253MA(g) och R41) andra ligger kring oförändrad vikt om än efter att under en period ökat för att sedan gå ner i vikt (Al_2O_3 och C276), medan de övriga gått

ner i vikt, om än en av dessa efter att först ha ökat kraftigt i vikt, APMT. Man kan också se att tre materials deglar ändrar i vikt relativt kontinuerligt i samma riktning för varje vecka, R41, C276 och Alstel, medan de övriga visar ett minimum eller ett maximum under exponeringsperioden.

Jämförs den observerat kvarvarande volymen smältaprov, tabell 6, med massförändringarna för de tre olika exponeringarna, under antagande att volymsförändring står i proportion till förändring av massa, kan ses att uppgifterna generellt inte är motstridiga. Undantagen gäller vid 1-veckasexponeringen för Al_2O_3 (där volymen av sodasmältan minskat till bottennivå men massförändringen nästan är oförändrad), vid 6-veckas isotermiska exponeringen för Stellite (där volymen av sodasmältan minskat men massförändringen ökat med drygt 1 g) och för Al_2O_3 (där volymen av sodasmältan minskat till bottennivå men massförändringen ökat med drygt 2 g) samt för 6-veckas termochockexponeringen för Al_2O_3 (där volymen av sodasmältan minskat till bottennivå men massförändringen nästan är oförändrad).

4.6.4 SEM/EDS-analys

Basmaterialet analyserades efter exponering med avseende på elementarsammansättning, se tabell 3. Här kan ses att sammansättningen av de mätningar som utförts är i god överensstämmelse med de officiella värden som funnits att tillgå. I övrigt att Alstel är ett krombaserat material, och att 253MA gjutet har ungefär samma sammansättning som 253MA varmvalsat. Dessutom att den molära halten av Al_2O_3 är ungefär vad man kan förvänta sig utifrån dess formelenhet, och där den måttfulla avvikelsen kan förklaras med störningar från förekommande kol i atmosfären.

SEM/EDS-analyserna av tvärsnitt för de material som efter 6 veckors exponering hade oangripet material kvar, d v s APMT, Alstel, KSF och Al_2O_3, kan ses i bilaga 10.11-10.14. Här kan ses att angreppet på Al_2O_3 varit förhållandevis minimalt, och utelämnas därför i den följande analysen. En översiktlig sammanställning av den efterföljande resultatgranskningen kan ses i tabell 5.

Tabell 5. Översiktlig sammanställning av resultat från SEM/EDS-analys. Specifikation av material ges i tabell 3. "Expo" står för exponeringsform där "6v Tc" och "6v Iso" anger "6 veckors termochockexponering" respektive "6 veckors isotermisk exponering". "Front" anger utseendet på korrosionsskiktet i angränsning mot basmaterialet. Under "Korrosionsskikt" anges element som inte tillhör basmaterialet utan parentes, och då i ordning utifrån in mot basmaterialet avskilt med ett snedstreck (om läget är likvärdigt mellan elementen särskiljs de med ett likhetstecken). Inom parentes direkt efter elementen utan parentes, anges de element som tillhör basmaterialet och som samtidigt sammanfaller med läget för det element som inte tillhör basmaterialet. "bas" anges basmaterialet.

Material	Expo	Front	Korrosionsskikt	Basmaterial
APMT	6v Tc	Slingor	O(Al)=Na(Al)/bas	Homogent
Fe65,Cr22,Al10,Mo2	6v Iso	Jämn	Na/O(Al)/S(Cr)/bas	Inhomogent
Alstel	6v Tc	Inhomogen	O(Cr)/S/Na=Cl(Ni)/bas	Skiktat
Cr72,Ni27	6v Iso	Homogen	Na/O(Cr)/S(Ni)/bas	Skiktat
KSF	6v Tc	Slingor	Na=K/O(Cr)/S(Cr)/bas	Skiktat/Slingor
Cr52,Ni42,Fe4	6v Iso	Inhomogen	Na=K/O(Cr)/S(Cr)	Skiktat

Granskning 6-veckorsexponeringar per material exklusive Al_2O_3

<u>För APMT termochockexponering</u> (bilaga 10.11.2) kan ses att <u>inträngningsfronten</u> har syreslingor med inslag av både Al och Na. För inträngningsskiktet kan ses att detta framför allt består av syre och Na vad gäller de externa elementen, d v s de från saltet eller atmosfären, men mycket lite av S och Mo. För basmaterialets element (Fe,Cr,Al,Mo) kan ses att Al sammanfaller till mycket stor del med syre och Na. Vad gäller basmaterialet kan ses att dess element är homogent fördelade i basmaterialet. för termochockexponeringen medan tydligt skiktat för den isotermiska exponeringen.

<u>För APMT isotermisk exponering</u> (bilaga 10.11.3) kan ses att inträngningsfronten är relativt jämn. För inträngningsskiktet kan ses att detta från dess yttre del in mot basmaterialet består av Na, syre och S

vad gäller de externa elementen. Här kan ses att också Mo ligger i ytterskiktet men det beror troligen på ett överlapp mellan S och Mo (se 4.4.4). För basmaterialets element (Fe,Cr,Al,Mo) kan ses att Al sammanfaller med den nedre delen av syre medan Fe till viss del med den övre delen. För S kan ses att framförallt Cr sammanfaller. Vad gäller basmaterialet kan ses att dess element är skiktade.

För Alstel termochockexponering (bilaga 10.12.2) kan ses att inträngningsfronten är relativt inhomogen. För inträngningsskiktet ses att detta från dess yttre del in mot basmaterialet består av syre, S, Na och klorid för de externa elementen. För basmaterialets element (Cr,Ni) kan ses att Ni har en tendens att sammanfalla med S medan Cr sammanfaller med syre. För Na och Cl verkar varken Cl eller Ni tydligt sammanfalla, utan Na och Cl sammanfaller snarare med varandra. Vad gäller basmaterialet kan ses att dess element är relativt inhomogent fördelade.

För Alstel isotermisk exponering (bilaga 10.12.3) kan ses att inträngningsfronten är relativt homogen. För inträngningsskiktet ses att detta från dess yttre del in mot basmaterialet består av Na och syre på ungefär samma läge, om än syre något mer tydligt förekommande, följt av och S, för de externa elementen. För basmaterialets element (Cr,Ni) kan ses att Cr sammanfaller med syre medan Ni med S. Vad gäller basmaterialet kan ses att dess element är skiktade.

För KSF termochockexponering (bilaga 10.13.2) kan ses att inträngningsfronten är relativt homogen om än med slingor. För inträngningsskiktet ses att detta från dess yttre del in mot basmaterialet består av Na och syre på ungefär samma läge, om än syre något mer tydligt förekommande, följt av S, för de externa elementen. För basmaterialets element (Cr,Ni,Fe) kan ses att Cr sammanfaller med syre och för S. Vad gäller basmaterialet kan ses att dess element både har slingor och är relativt skiktade.

För KSF isotermisk exponering (bilaga 10.13.3) kan ses att inträngningsfronten är relativt inhomogen om än inga slingor. För inträngningsskiktet ses att detta från dess yttre del in mot basmaterialet består av Na följt av syre och S på ungefär samma läge längre in i skiktet, om än syre mer tydligt förekommande i hela skiktet. För basmaterialets element (Cr,Ni,Fe) kan ses att Cr sammanfaller med syre medan inga tydliga preferenser av basmaterialets element kan ses sammanfalla med S för den isotermiska exponeringen. Vad gäller basmaterialet kan ses att dess element både har slingor och är skiktade och inhomogena.

Jämförelse mellan materialen exklusive Al_2O_3

Möjligen kan man hävda att inträngningsfronten skett enligt en jämnare gräns vid isotermisk exponering. Exempelvis kan man för termochockexponering för APMT se syreslingor in i basmaterialet. Också för KSF vid termochockexponering kan inträngning av syreslingor ses. Vid termochockexponering för Alstel termochockexponering kan visserligen inga slingor ses, men däremot är inträngningsfronten betydligt mindre homogen än vid isotermisk exponering.

Vad som kan ses både för isotermisk och termochockexponering är att svavel ligger långt fram i inträngningsfronten med undantag för APMT termochockexponering, och ibland längst fram (APMT isotermisk exponering, Alstel isotermisk exponering och KSF termochockexponering) med undantag för Alstel termochockexponering där Na ligger längst fram, och för KSF isotermisk exponering där Na ligger längst fram och där också syreslingor förekommer.

För svavlet kan också ses att inträngningarna för APMT isotermisk exponering sammanfaller med basmaterialet Cr, för Alstel termochockexponering med Ni men även till viss del med Cr, för Alstel isotermisk exponering främst med Ni, för KSF termochockexponering främst med Cr och för KSF isotermisk exponering också främst med Cr.

För syret kan i inträngningarna för APMT termochockexponering ses att syret sammanfaller med Al, för APMT isotermisk exponering med Al, för båda Alstels exponeringar med Cr, och så också för KSFs båda exponeringar.

5 Diskussion

5.1 Rangordning av material utifrån tjockleksminskning

Utifrån tabell 4 kan konstateras att materialen APMT, Alstel, KSF och Al_2O_3 haft material kvar efter 6 veckors exponering, och att av dessa så hade enligt figur 7 Al_2O_3 haft den tydligt minsta tjockleksminskningen följt av Alstel medan det är något oklarare vilken som följer därefter, emedan APMT haft den minsta tjockleksminskningen för termochockexponeringen medan KSF haft den minsta tjockleksminskningen för den isotermiska exponeringen. Inkluderas även 1-veckasexponeringen, där APMT haft den minsta tjockleksförändringen, bör dock APMT kunna sägas komma före KSF i rangordningen.

Dock måste sägas att tjockleksminskningen, och därmed bedömningen av rangordningen, kan påverkas av hur mycket smälta som varit kvar i degeln vid exponeringstidens slut. Utifrån tabell 6 kan ses att för termochockexponeringen har alla de fyra materialen haft mycket lite smälta kvar efter exponeringens slut, vilket åtminstone gör att man inte kan häva att exponeringen varit olikvärdig för de fyra materialen vad gäller termochockexponeringen. För den isotermiska exponeringen däremot, har endast Alstel haft mycket lite smälta kvar vid exponeringens slut, d v s att provet möjligen inte helt varit täckt av smälta under hela exponeringsperioden, vilket gör att det kan hävdas att Alstel-provet inte varit lika utsatt som de andra under den 6-veckors isotermiska exponeringen. Det gör i sin tur att Alstel närmar sig ASTM och KSF vad avser rangordningen. Dock är det tveksamt om tjockleksminskningen för Alstel, med mer smälta under hela perioden för termochockexponeringen, skulle ha inneburit så pass stor tjockleksminskning att värdet skulle nå upp till värdena för ASTM och KSF, d v s ytterligare 1 mm tjockleksminskning. Detta, tillsammans med att tjockleksminskningen för Alstel vid den 6-veckors isotermiska exponeringen är lägre än för ASTM och KSF, gör att Alstel, utifrån de här angivna resultaten, kan rangordnas före ASTM och KSF. Det måste ändå betonas att ytterligare exponeringar skulle behöva göras för att säkerställa rangordningen vad gäller motståndskraften mot smältan, åtminstone om man undantar Al_2O_3.

5.2 Effekt av materialsammansättning

Angivna värden på materialsammansättning är i atom%.

Enligt 5.1 är rangordningen för de tre legerade materialen enligt Alstel (Cr 72, Ni 27, Si 1), APMT (Fe 65, Cr 22, Mo 2, Si 1) och KSF (Cr 52, Ni 42), där sammansättningen ges enligt tabell 5, varifrån man kan få uppfattningen kromhalten har en positiv betydelse i sodasmältamiljön vid ca 850 °C. Att APMT kommer före KSF i rangordning skulle kunna ha att göra med att höga halter av Ni inte skulle ha en positiv effekt i nämnda miljö, något som stöds av att C-276 (Ni 61, Cr 20, Mo 11, Fe 7, W 1) inte haft oangripet material kvar ens efter en vecka, se tabell 6. Utifrån detta resonemang skulle höga halter av Co inte heller ha någon positiv effekt med anledning av att Stellite (Co 57, Cr 30, W12, C 2) inte haft något oangripet material kvar efter 1-veckas isotermiska exponeringen eller 6-veckors termochockexponeringen. Visserligen uppges av Duroc att deras prov som inte testades (se 4.5; Co 63, Cr 29, Mo 5 och Ni 3) klarar sig mycket bra som påsvetsat skikt, men det är för kylda löprännor där temperaturen inte kommer upp till 850 °C.

Utifrån SEM/EDS-analysen för de tre metalliska materialen kan ses att det korroderade skiktet efter den isometriska exponeringen har sekvensen Na/O/S/basmaterial. Samtidigt kan det utifrån analysen av Alstel fås uppfattningen att Ni har en preferens för att binda mot S. Detta ger en utarmning av Ni i basmaterialet, och om detta medför en försämrad motståndskraft skulle det kunna förklara varför Ni skulle kunna vara till nackdel som legeringselement för smältamiljön.

Det måste dock betonas att det inte endast är den enskilda halten av ett elelement i legeringen som är av betydelse, utan också de övriga elementens halter vilket påverkar fassammansättningen. Likaså kan framställningsförfarandet påverka fassammansättningen. Detta gör att den här utförda bedömningen är ytterst osäker, framför allt som den grundar sig på så pass få prover.

5.3 SEM/EDS-analys av exponerade prover

Utifrån SEM/EDS-analysen för de tre metalliska materialen kan ges uppfattningen att inträngningsfronten av korrosionsprodukter är mer jämn för isotermisk exponering. Detta skulle möjligen kunna förklaras genom att termochockexponeringen lättare skapar sprickor i materialet som sedan fylls med reaktionsprodukter.

För APMT kan vid termochockexponeringen ses att signalerna för syre, Al och Na sammanfaller. Detta skulle kunna utgöras av natriumaluminat, $NaAlO_2$, för övrigt den enda kemiska förening mellan syre, Al och Na som hittats vid utnyttjande av det termodynamiska beräkningsprogrammet programmet HSC och dess databas. Däremot sammanfaller inte signalerna för syre, Al och Na för 6-veckors isotermisk exponering. men vad detta beror på har vi ingen förklaring till.

5.4 Effekt av termochockexponeringen

Utifrån tjockleksminskningen, figur 7, kan ses att den isotermiska 6-veckors exponeringen gett större tjockleksminskning än termochockexponeringen för APMT, Alstel, Stellite, KSF och Al_2O_3, där skillnaden är stor framför allt för Stellite, medan det för de övriga 5 materialen inte går att dra några slutsatser med anledning av att inget oangripet material funnits kvar, varken efter 6-veckors exponeringen eller termochockexponeringen. Utifrån SEM/EDS-mätningarna enligt 5.3, kan göras bedömningen att inträngningsfronten av korrosionsprodukter är mer jämn för isotermisk exponering, och att detta orsakar sprickor som fylls med korrosionsprodukter. På vilket sätt detta skulle kunna bidra till att förstärka materialets motståndskraft relativt den jämnare inträngningsfronten för isotermisk exponering har vi dock ingen förklaring till.

Att termisk chockexponering ger ett mindre angrepp i form av lägre minskning av godstjocklek än vid termisk exponering kan tyckas skilja sig mot uppfattningen att termisk sprickbildning är en av huvudorsakerna till den relativt korta livslängden hos löprännor i svenska massabruk. Det måste dock betonas att de löprännor som används i svenska massabruk är kylda vilket ger en termisk gradient över materialet, något som mycket väl skulle kunna vara en nödvändig förutsättning för den termiska sprickbildningen.

5.5 Volymförändring saltsmälta

Utifrån tabell 6 kan konstateras att saltsmältavolymen i deglarna i vissa fall kraftigt avvikit i förhållande till varandra efter exponeringstidens slut samtidigt som saltvolymen vid jämförelse mellan de olika exponeringsförhållanden för ett visst material varit ungefär densamma. Vad detta beror på har vi ingen förklaring till. Visserligen skulle man kunna ha tänkt sig att ha kompletterat saltet med ytterligare salt för de deglar där saltsmältan tydligt minskat i volym. Detta skulle dock antingen ha inneburit att den isotermiska exponeringen inte skulle ha kunnat utföras eftersom deglarna behöver tas ut i samband med påfyllning eller så skulle man ha fyllt på enbart för termochockexponeringen men då skulle exponeringen av saltmängd inte varit likvärdig relativt den isotermiska.

5.6 Massförändring

Utgångsmassan för pulvret för 1-veckorsexponeringen av R41 är tydligt större än de övriga, medan utgångsmassan för pulvret för termochockexponeringen av C276 är tydligt mindre än de övriga. I och med att det salt som lagts i degeln ska ha gett ungefär samma höjd i degeln för samtliga prov, och att storleken på samtliga prov varit ungefär desamma är dessa värden svårförklarliga på annat sätt än att det blivit någon felaktighet vid invägningen. Det har dock inte haft någon betydelse för de slutsatser som dragits i rapporten då dessa främst byggts på de metallografiska resultaten. Dessutom är utgångsmassan av pulvret för 6-veckorsexponeringarna av Alstel marginellt mindre än viktminskningen. Någon uppenbar förklaring till detta har ej kunnat påvisas, men skulle kunna bero på att prov- eller degelmaterial lösts upp i smältan och sedan lämnat degeln tillsammans med smältan. Uppmätt avvikelse bedöms dock samtidigt ligga inom onoggrannheten för provningen.

6 Slutsatser

- Varken 1.4835/253MA(varmvalsad), Stellite 6, 253MA(gjuten), R41, UNS N10276/C-276 eller SiC (tätsintrad) har gett stöd för att de skulle kunna vara lämpliga som konstruktionsmaterial för okylda löprännor.
- För Al_2O_3 (tätsintrad 99.5%), ALSTEL, Kanthal APMT och KSF 50-50 (gjutet) har erhållits resultat som har gett stöd för att de skulle kunna vara lämpliga som konstruktionsmaterial för okylda löprännor med avseende på motståndskraft mot sodapannesmälta, och då rangordnade i nämnd ordning med det tåligaste materialet först.
- Termochockexponering har inte visat sig ge värre angrepp än isotermisk exponering, snarare tvärtom.

7 Förslag på fortsatt verksamhet

De material som i denna rapport visat sig ha goda förutsättningar som konstruktionsmaterial har dock endast exponerats under 6 veckor. Ett trovärdigare resultat skulle därför erhållas av en längre tids exponering, förslagsvis 6 månader. Samtidigt skulle dessa material kunna kompletteras med eventuellt ytterligare material som framkommit efter det att denna rapport färdigställts, exempelvis Duroc C21.

De mest användbara resultaten vid en provning av ett material tänkt för en viss miljö är förstås att exponera materialet under verkliga förhållanden. Här föreligger dock en risk att det kan bli driftstörningar om materialet inte klarar sig tillräckligt bra. För att undvika mer omfattande problem för test av löprännor av ett oprövat material skulle en löpränna av det oprövade materialet kunna testas hos en sodapanna vilken har flera löphål, där alla inte används samtidigt. Uppstår problem med den löpränna som är under test kan då dess löphål stängas, och samtidigt ett annat löphål öppnas. Alternativt skulle den testade löprännans löphål kunna stängas innan problem uppträder för att granska konditionen hos löprännan, och därigenom undvika oplanerade driftstörningar.

- Exponera materialen Al_2O_3 (tätsintrad 99.5%), ALSTEL, Kanthal APMT och KSF 50-50 (gjutet) i högtemperaturugnar med representativ sodasmälta under en längre period, förslagsvis 6 månader, och då med flera prov för att bättre säkerställa resultaten. I första hand då med fokus på tjockleksminskning och eventuell sprickbildning.
- Komplettera de ovan nämnda materialen med ytterligare material för vilka det har framkommit visat sig vara tåliga i miljöer med sodasmälta, exempelvis ”Duroc C21”.
- Komplettera de ovan nämnda materialen med material som inte prövats i miljöer med sodasmälta men som av tillverkare hävdas kunna klara denna miljö, samtidigt som legeringssammansättningen inte strider mot vad som i denna rapport framkommit vara fördelaktigt i fråga om tålighet mot sodasmälta.
- Komplettera de ovan nämnda materialen med nya metalliska material för vilka lämplig sammansättning bestämts utifrån resultat i denna rapport kopplad till analys av fassammansättning med ett termodynamiskt beräkningsprogram, exempelvis Thermo Calc. Materialen skulle lämpligen exponeras som gjutna eller påläggssvetsade.
- Exponera löpränna i drift för vilka nya material undersöks, antingen som konstruktionsmaterial av hela löprännan eller applicerat på löprännans yta, exempelvis som påläggssvets eller i form av fastsvetsade provbitar.

8 Tillkännagivanden

Materialleverantörerna Outokumpu, Kanthal, Kennametal, Kihlbergs Stål AB, Duroc Laser Coating AB, Harald Pihl och Keranova tackas för tillhandahållande av material att exponera.

Massabruken BillerudKorsnäs Frövi, BillerudKorsnäs Skärblacka, SCA Obbola, Stora Enso Skoghall och Smurfit Kappa tackas för tillhandahållande av sodasmälta.

Massabruken BillerudKorsnäs Frövi, BillerudKorsnäs Gävle, BillerudKorsnäs Karlsborg, BillerudKorsnäs Skärblacka, Metsä Board Husum, SCA Munksund, SCA Obbola, Smurfit Kappa Kraftliner, Stora Enso Skoghall, Södra Cell Mönsterås och Södra Cell Värö tackas för välbehövlig information i samband med erfarenhetsinsamlingen.

Slutligen ett stort tack riktat till Ångpanneföreningens forskningsstiftelse samt RISEs medlemsprogram CPPI (Korrosion inom massa- och pappersindustrin) vilka finansierat detta projekt.

9 Referenser

9.1 Litteratur

1. ”Material i kontakt med sodapannesmälta”, Andersson U, Jacobsson D, uppdragsrapport Swerea KIMAB, 2010.
2. ”Smältarusningar – orsaker och Erfarenheter”, Rosenqvist K, ÅForsk.
3. ”Löprännestudie”, Good D, Sodahuskommittén, 2016-2.

10 Bilagor

10.1 Erfarenhetsinsamling; tabellsammanställning

	Kontaktp	Bränsle	Åter	SP	Pannlev	Belastning	Smälta	Löp	Rusning	Spettning
BK-F	Mattias Carlsson	Bland[69]	Aska[70]	1	Valmet	1150		2	Ej längre [71]	Manuell
BK-G	Therese Jansson	Bland[55]	[5]	SP4		1260[56]	[6]	3	Ibland	Manuell [63]
				SP5		1970[56]		4		
BK-K	Isak Vikström	Barr	Aska[92]	1	Valmet	1950		4	2 ggr/år	M/R[14]
BK-S	Linn Jäderberg	Bland[81]	Aska[82]	1	Valmet[83]	2060	-[84]	4	Nej	Manuellt
MBH	Patrik Wiklund	Bland[98]	Aska[99]	2	Valmet				Nej[100]	Manuell[101]
SCA-M	Peter Wikström			1						
SCA-O	Per Wiklund	Tall	Aska	1	Andritz	1000[40]	-[85][104]	3	Nej	Manuell[41]
SKK	Urban Lundmark	Bland [52]	Aska	1	Valmet	2000		4	Sällan [64]	Robot
SE-S	Mikael Forseryd	Barr		1	Valmet					Robot
SC-M	Patrik Nänzen	Bland[4]	Aska	1	Valmet	4200		3+3[8]	Sällan	Manuell
SC-V	Eric Birkfeldt	Barr	Aska	1		5000		7	Ibland	Manuell

	Tillv	Löptyp	Bas[32]	Pålägg	Åter	Byte	Skada	Besiktning	LR övr
BK-F	STS [75]	Ej insticks, [74],[75]	253MA	Ja [76][88]	Ja [77]	1g/år	[68]		[19],[72]
BK-G	Andritz	Ny typ [47][57]	Kolstål	Alloy 625	Ja [65]			Själva[60]	[66]
	Valmet [58]	Insticks [49][58]	304L	Ja[9]		2g/år[46]	[48]		
BK-K	Valmet [38]	Krage in i hål (=?)	Kolstål [96]	Ja[38]	Ja[32]	1g/år		Kiwa	
BK-S		Ej insticks, [45]	Vitt (2333)	-	-	1g/år	[15]	Själva	
MBH		Insticks		Ja[12]	Ja	1g/år	[16]	Decra	[23],[24]
SCA-M									
SCA-O	Andritz	Insticks	Compound[54]	-	Nej	1g/år	[42]	Kiwa	[53],[86]
SKK	Valmet(?)	B	P265GH	Ja [93]	Nej	1g/år		Kiwa	
SE-S		Insticks (?)				1g/år		Kiwa	
SC-M		Ej insticks,B	Svart	Ja[13]		1g/2år[97]	[17]	Kiwa	[18]
SC-V	Andritz	Insticks, B	P265GH [90]	Svets [91]	Nej	1g/år	Nej[95]	Kiwa	

Tabell bilaga 10.1. BK-F= BillerudKorsnäs Frövi, BK-G= BillerudKorsnäs Gävle, BK-K= BillerudKorsnäs Karlsborg, BK-S= BillerudKorsnäs Skärblacka, MHB= Metsä Board Husum, SCA-M= SCA Munksund, SCA-O= SCA Obbola, SKK= Smurfit Kappa Kraftliner, SE-S= Stora Enso Skoghall, SC-M= Södra Cell Mönsterås, SC-V= Södra Cell Värö. Allmänna förkortningar: SP= Sodapanna, LR= Löpränna, Bland= blandat bränsle exempelvis både barrträ och björkträ. tTS/dygn= ton torrsubstans per dygn. Förkortningar tabellhuvuden: Kontaktp= huvudsaklig kontaktperson, Åter= det som återförs från något i den senare processen som återförs till lut innan det går in i SP, SP= antal sodapannor, Pannlev= pannleverantör, Smälta= något som uppges vara unikt för smältan, Löp= antal löprännor," /ränna"= belastning per ränna, Rusning= förekomst av smältarusning, Tillv= tillverkare av LR, Löptyp= typ av löpränna, Bas= löprännans basmaterial (d v s under ev beläggning), Pålägg= beläggning, Åter= huruvida LR återförs efter reparation och återanvänds, Byte= hur ofta LR byts, Skada= huruvida LR byts p g a skada (eller mer av "rutin").

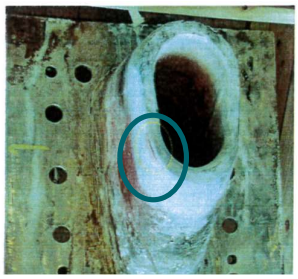
10.2 Erfarenhetsinsamling; kommentarer

4) 1/3 löv, 2/3 barr
5) Filtrat från blekeriets EO-filter till indunstningen. Ej nåot fr aska?
6) 4-5 ggr högre kloridhalt än normalt. Samma för båda. Bara en indunstning före de två sodapannorna.
7) 8-kantig "rotofire", Lutande/dekanterande botten
8) 2 sidor, vanligen en sida.
9) Påläggssvets eller termisk sprutning
12) Påläggssvets. Lagt på stellit vid "läppen", ingen påläggssvets någon annan stans.
13) Påläggssvets "stellit 6" hela, metalliserat/keramskikt ovanpå i ränndalen
14) Skador med manuellt, byter t robotisering aug 2021
15) Sprickor, klarar sig. Dal mot panna men framförallt närmast nosen.
16) Ser "knäckmärken" (v läppen?). Sprickindikerar v läppen o v insticket.
17) Stelliten spricker
18) Test Alloy 625 en ränna, uttagen, ska granskas "nästa v", Hans Jörgensen (Valmet)
19) Ny sodapanna 2023.
23) Ny SP 2022, 2 SP ersättas med en.
24) Hade tidigare dåligt kylvatten, gav beläggning.
32) Oftast så kan dom repareras åtminstone en gång. Bedömningen görs i samråd med Kiwa och MH engineering .
34) Sprickor under läppen. Metalliseringen lossnar innan driftsäsong slut, men "det gör inget" (varför metallisering?).
36) Max
38) Termisk spsprutning av MH Engineering. Också gör hela LR?
40) Ganska kontinuerligt maxlast
41) Hade robotspettning men bytte. "Bra gå runt och titta".
42) Typskada är sprickor genom ca halva materialtjockleken under en driftsäsong. I området där vätskenivån varierar och därigenom får hastiga temperatursvängningar.
Sprickorna orsakade av spänningskorrosion (ej termisk sprickbildning då?).
45) Götaverkenränna (= ej insticks?)
46) Två gånger under de senaste 10 månaderna (mail 200625) har löprännor spruckit redan efter tre månaders drift.
47) Bredare löpöppning och med säkrare huvar.
48) Termisk sprickbildning ("även efter bara ½ år")/ termisk spänningskorrosion. Och erosionskorrosion.
49) Valmets modell m vissa modofieringar
52) Normalt 68% tall och gran som kokas vid kappa 80, och 32% björk som kokas till kappa 17 och "bleks i ett TCF blekeri" (=?).
53) Mäter smältatemperaturen varje skift, vill ligga mellan 800-850 grader, blir det varmare fås problem med korrosion.
Även sulfiditeten hålls det koll på, mål är under 38 i sulfiditet (varför?).
54) Kompound, ej lasersvetsade. Leverantören behöver lite tid att hitta informationen (210407). Troligen på utgång.
55) Skiftar varje dygn mellan björk och tall på den största av våra tre kokare.
56) Vid full produktion
57) Tidigare som sp5 men smalare ränna.
58) Till hösten 2021 sätter in snarlika löprännor som f sp4 (och också Andritz)
60) I vanliga fall byts de ut, vilket gör att dom inte behöver besiktas (dom repareras och läggs i förråd om det är så att man inte hunnit få hem nya löprännor innan det blivit nya sprickor).
64) Under hösten var det smältarusningar ungefär en gång per vecka, men efter att ha jobbat med förbränningen (=?) det senaste kvartalet har det inte varit en enda smältarusning.
65) Förhoppning är att de löprännor som plockas ut på de nya löpen på Sp4 ska kunna återanvändas efter genomgång och rep på verkstad.
66) "Förlängningarna" togs bort. Tanken från början var troligen att förlängningen skulle kunna öka livslängden på löprännorna, det har dom inte gjort
68) Lokal flödesbegränsning under "läppen", kunde konstateras sprickor här vid provtryckning.
69) Fifty-fifty.
70) Från elfiltret, görs för kemikaliebehovet.
71) För 6-7 år sedan, då högt belastad. Efter att ha byggt om luftregistren samt ändrat riktlinjer till driften om hur pannan skulle köras har problemen uteblivit.
Har även ökat lasten på pannan sedan dess utan att få tillbaka rusningarna.
72) Ny panna hösten 2023. Den gamla ska stå kvar men inte utnyttjas.
74) Egenutveckling. 253MA. Hade bekymmer med Valmets.
75) SST Slitskyddsteknik tillverkar o belägger. Tidigare beläggning av "Karlstad Metallisering AB"?
77) Rännan (dvs "övre delen") "skärs ut" o byts. "Separat del" även som nytillverkad? Ej luftspalt?
81) Ena linjen (6 batchkokare) svingar mellan löv och barr (björk och gran+ tall), den andra linjen (en kontkokare) kör barr (gran + tall).
82) Något mindre än andra bruk. Blöder en del elfilteraska från sodapannans elfilter för att hålla nere sulfiditeten
83) Dåvarande Götaverken
84) Ej så vitt man vet
85) Inget speciellt med sammansättningen vad man kunnat få fram.
86) Mäter temperaturen varje skift för att hålla koll på löprännan, vi vill ligga mellan 800-850 grader, blir det varmare får vi problem med korrosion.
Mäter temperaturen på smältan troligen ("99% säker") med en IR/laser termometer när den rinner i löprännan.
87) Helt normal smälta sammansättning för att vara på en sulfatfabrik som kör både barr och löv lut.
89) Det har provats lite olika under åren men vet ej vad som beläggs med nu.
90) Troligen
91) Lasersvets med robot. Beläggningen är okänd. Leverantören specificerar inte detta.
92) Askåterföring till tjockluten.
93) Påläggssvets, vanligt austenitiskt rostfritt av typ 18-8 material
95) Brukar inte vara skadade
96) Sandviks konstruktionsstål Domex
97) Tidigare hade man byte efter 12 månaders drift. Började för några år sedan kontrollera rännorna väldigt noga och utifrån den historiken beslutades att prova med att köra LR i 24 månader.
De rännor som togs ut v49 2020 hade då gått i 26 månader och man är övertygade om att de hade kunnat gå 12 månader till.
98) Blandning från löv- och fura linjer, TS-halt 75-76 %.
99) Ask- och elfilterstoft i brännluten (=?).
100) Mkt sällsynta
101) Den nya pannan ska ha robot.
104) Haft lite problem med att vi fått in vitlut i systemet på ett okontrollerat sätt vilket gjort att sulfiditeten ökat ("som jag förstått det", mål är under 38 i sulfiditet),
vilket i sin tur kan leda till ökat slitage på sodapannan i form av korrosi

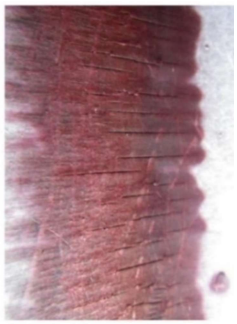
Tabell bilaga 10.2. Allmänna förkortningar: SP= Sodapanna, LR= Löpränna.

10.3 Löprännebilder

Figur bilaga 10.3. BK-F= BillerudKorsnäs Frövi, BK-G= BillerudKorsnäs Gävle, BK-K= BillerudKorsnäs Karlsborg, BK-S= BillerudKorsnäs Skärblacka, MHB= Metsä Board Husum, SCA-M= SCA Munksund, SCA-O= SCA Obbola, SKK= Smurfit Kappa Kraftliner, SE-S= Stora Enso Skoghall, SC-M= Södra Cell Mönsterås, SC-V= Södra Cell Värö.

Figur 1. BK-G. Kontrollrapport Kiwa, 2019-08-30. SP5. Spricka på inloppsdel för LR 1. Kunde ej ses för de andra tre LR.	 Figur 2. BK-G. Kontrollrapport Valmet 170413, LR1. Sprickbildning på öppningens utsida intill ”toppringen”/ ”inloppsringen” (som försluter ytter- och innerplåt). Troligen bristfällig svetsning huvudorsak.	Figur 3. BK-S. 2019. Nedre del av utloppssida för LR2. Det röda är penetrant.
Figur 4. BK-S. Närbild av figur 3. Tvärgående sprickor kan ses. För LR1 kunde inga sprickor ses, och för LR 3 och 4 kunde sprickor ses endast vid löprännans nedre ände. Det röda är penetrant.	Figur 5. SC-M. Löprännas utloppssida.	Figur 6. SC-M. Närbild av löprännа i figur 5. Påläggssvets kan ses på löprännans ände.
Figur 7. SC-V. Kiwa Inspektionsrapport v34 2020, SP2. Tippen mot sodalösatanken på några rännor visade på erosion från rinnande smälta.	Figur 8. SC-V. Närbild figur 7, eroderat spår där kolstålet är synligt i botten.	Figur 9. SC-V. Inspecta Inspection Report, 160914. För en av LR hål på båda sidoplattorna, förmodas vara orsakade av rinnande sodasmälta.

Figur 10. SCA-O. Relativt stora mängder kraftiga sprickor på LR invändigt. Kunde ses på alla LR. I stort sett som vid tidigare års besiktningar. Byte utfördes av samtliga LR.



Figur 11. SCA-O. Närbild av sprickor i figur 10. Det röda är penetrant.

Figur 12. MBH. Utloppssida för insticksränna. Det röda är penetrant.

Figur 13. SKK. Underlag enligt figur 14. Utloppssida av nedre delen av LRs inre mantel.

Figur 14. SKK. Kontrollrapport Inspecta 2017-10-09, LR1. Kraftiga sprickliknande indikationer mellan längs- och tvärgående påläggssvetsar. Indikationerna ligger på löprännan utloppssida. På den sidan som är inuti sodapannan kunde inga sprickliknande indikationer noteras. Ungefär motsvarande gällde för LR2 och RL4. Det röda är penetrant.

Figur 15. SKK. Underlag enligt figur 14. LR3. På den sidan som är inuti sodapannan kunde även ett antal stora och djupa indikationer noteras. På löprännans utloppssida kunde ses väldigt kraftiga indikationer både längs- och tvärgående över den påsvetsade ytan. LR3 hade tydligare och fler indikationer än de tre övriga LR.

Figur 16. BK-K. Kontrollrapport Kiwa 2018-04-02, ”Kontroll av Löprännor”, 4 st. Släppningar/genomslag i det påsprutade skiktet i princip hela längden för samtliga rännor, och det påsprutade skiktet uppvisade sprickliknande indikationer, dock inga relevanta. Tjockleksmätning utfördes men inga lågvärden kunde noteras.

Figur 17. BK-K. Underlag enligt figur 16. Släppningar i metalliseringen.

10.4 Smältaprover

Figur bilaga 10.4. BK-F= BillerudKorsnäs Frövi, BK-G= BillerudKorsnäs Gävle, BK-K= BillerudKorsnäs Karlsborg, BK-S= BillerudKorsnäs Skärblacka, MHB= Metsä Board Husum, SCA-M= SCA Munksund, SCA-O= SCA Obbola, SKK= Smurfit Kappa Kraftliner, SE-S= Stora Enso Skoghall, SC-M= Södra Cell Mönsterås, SC-V= Södra Cell Värö. Inom parantes anges första respektive andra provtagningen.

BK-F/R(1)	BK-F/R(2)	BK-S(1)
BK-S(2)	SCA-O(1)	SCA-O(2)
SK(1)	SK(2)	SE(1)
SE(2)		

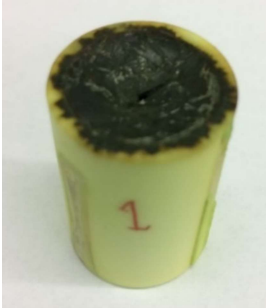
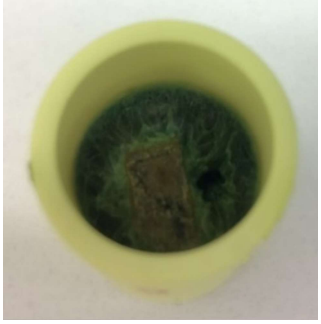
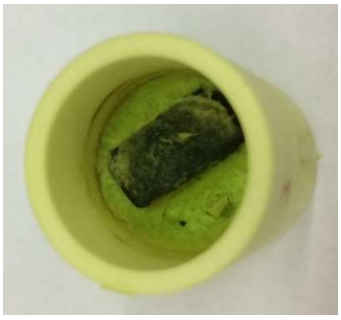
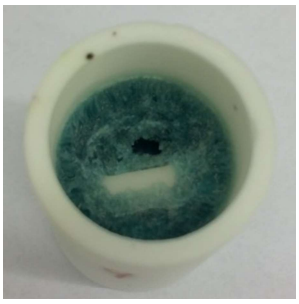
10.5 Smältpunktbestämning

Figur bilaga 10.5. Foton tagna på smältaprover i deglar under successiv temperaturhöjning. Proverna är uppställda per rad enligt rad 1 (SE-S(1), SE-S(2),SCA-O(1)), rad 2 (BK-S(1), BK-F(1), BK-F(2)) och rad 3 (SK(1), SK(2), SCA-O(2)).

600	650	700
750	800	850
900	950	1000 (allt blåfärgat då svalnat)

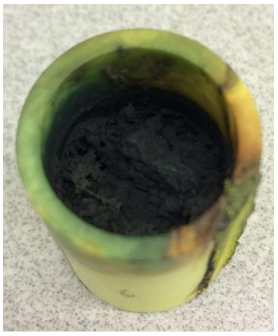
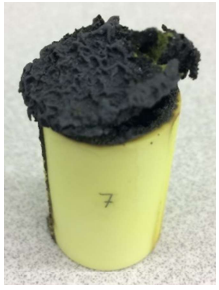
10.6 Smältaprover efter en veckas exponering

Figur bilaga 10.6. Förtydliganden av materialbenämningar kan ses i tabell 5 (4.2 i huvudtext).

 1. 253MA(v)	 2. APMT	 3. Alstel
4. Stellite	5. 253MA(g)	6. KSF
7. R41	8. C-276	 9. Al_2O_3.
10. SiC		

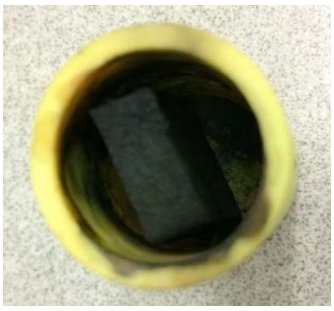
10.7 Smältaprover efter 6 veckors isotermisk exponering

Figur bilaga 10.7. Förtydliganden av materialbenämningar kan ses i tabell 5 (4.2 i huvudtext).

1. 253MA(v)	2. APMT	3. Alstel
4. Stellite	5. 253MA(g)	 6. KSF
 7. R41	8. C-276	9. Al_2O_3
10. SiC		

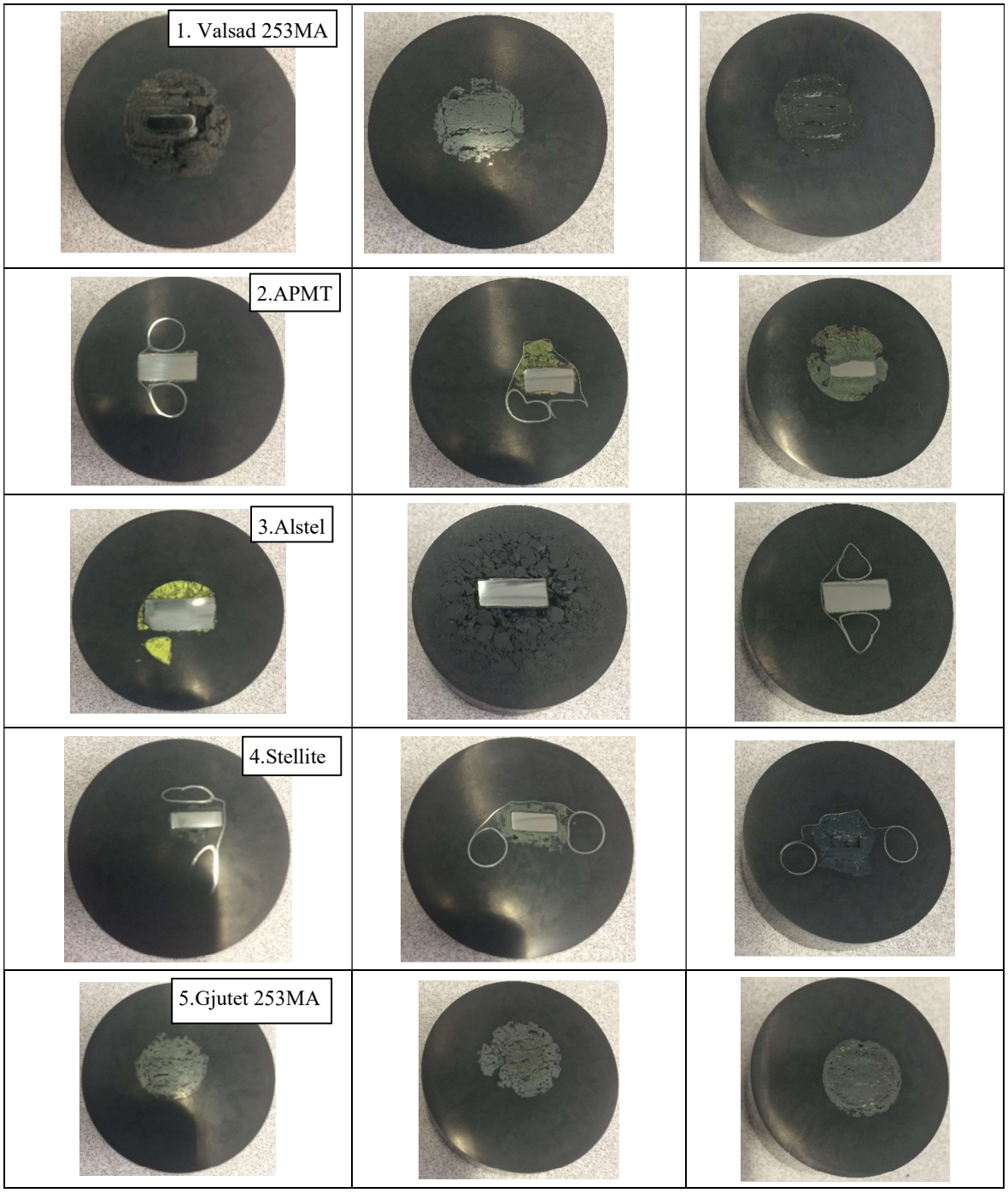
10.8 Smältaprover efter 6 veckors termochockexponering

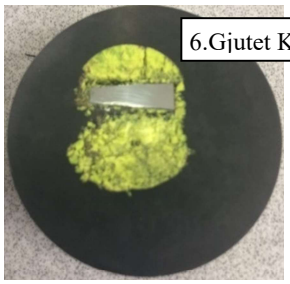
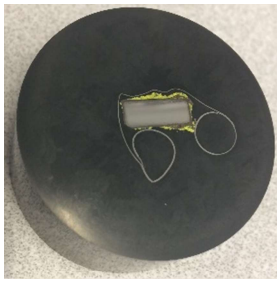
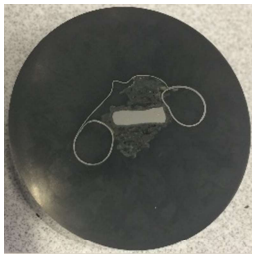
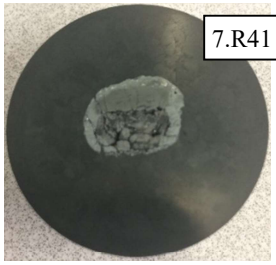
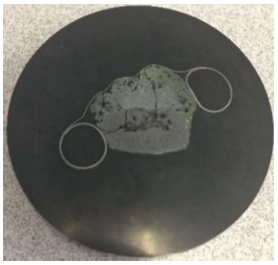
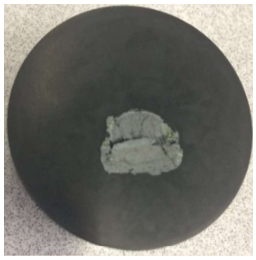
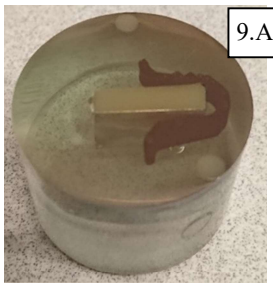
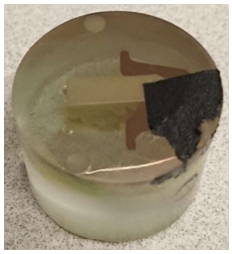
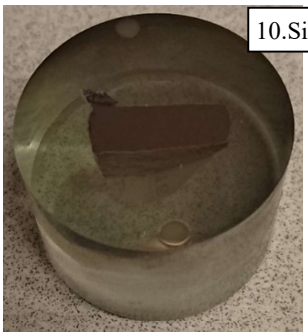
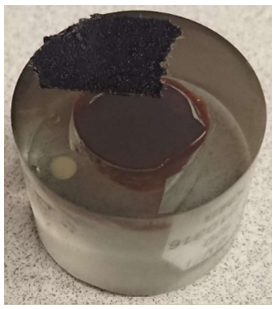
Figur bilaga 10.8. Förtydliganden av materialbenämningar kan ses i tabell 5 (4.2 i huvudtext).

1. 253MA(v)	2. APMT	 3. Alstel
4. Stellite	5. 253MA(g)	6. KSF
7. R41	8. C-276	9. Al_2O_3
10. SiC		

10.9 Tvärsnittsyta av prov efter inbakning

Från vänster till höger i en rad; 1-veckas exponering, 6 veckors termoschockexponering och 6 veckors isotermisk exponering. Den ”glasögonformade” enheten som kan synas på ett antal prover är en stödenhet som används för dom prover som har svårt att stå rakt vid inbakningen. Siffrorna före materialbenämningen hänför sig till materialspecificeringen i tabell 5, huvudtexten.



 6.Gjutet KSF		
 7.R41		
8.C276	Inget material kvar som gick att baka in.	
 9.Al_2O_3		
 10.SiC		

10.10 Massförändring

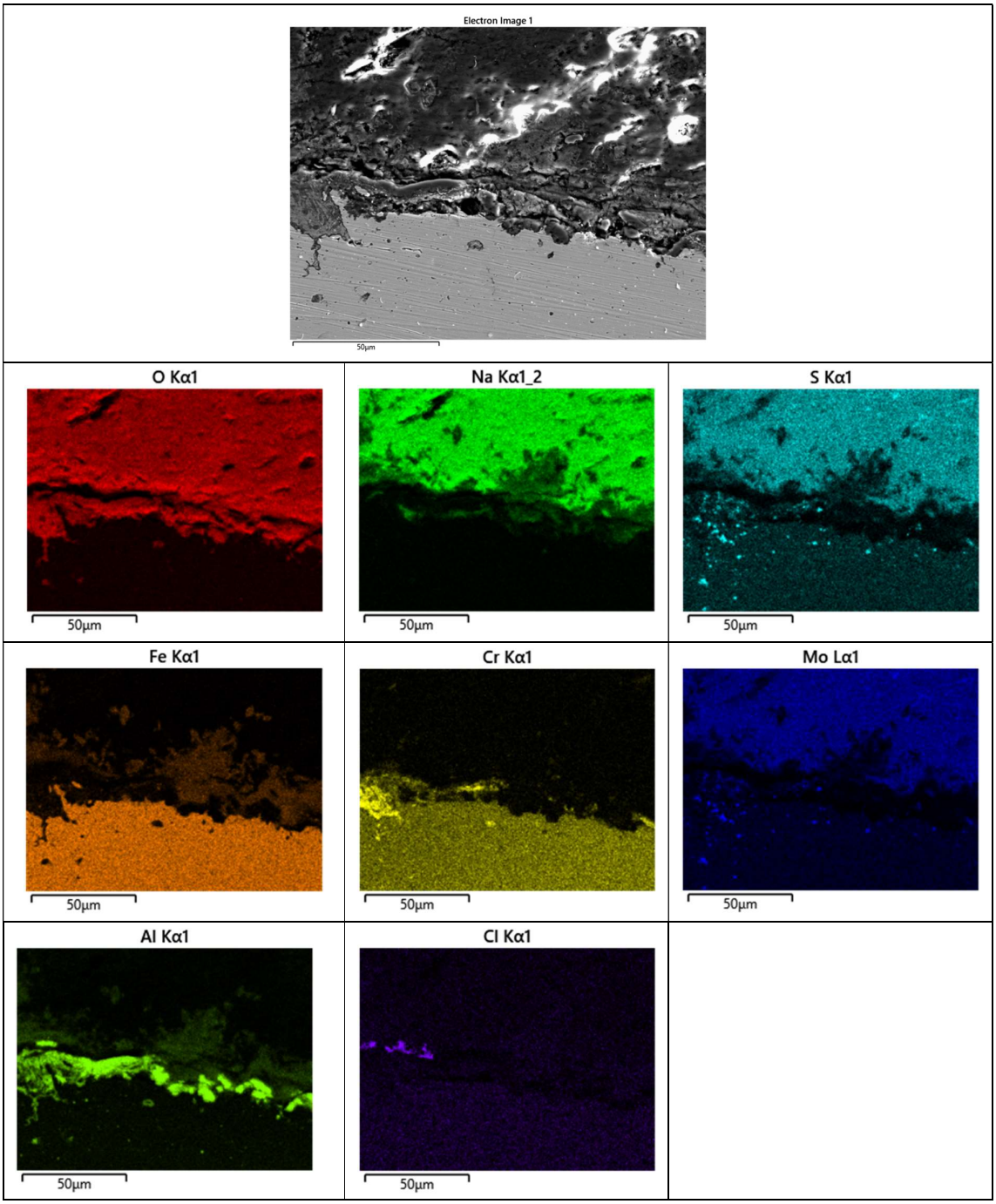
		6v Termochock													
		v0(salt)	v0	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v1-v0	v2-v0	v3-v0	v4-v0	v5-v0	v6-v0
1	253MA(v)	5,8	27,8	31,0	31,7	30,4	29,5	29,8	30,1	3,2	3,9	2,6	1,7	2,0	2,3
2	APMT	6,1	27,1	27,0	29,1	24,3	23,8	24,0	24,2	-0,1	2,0	-2,8	-3,4	-3,2	-2,9
3	Alstel	5,0	31,5	30,5	26,0	25,8	25,8	25,8	25,7	-0,9	-5,4	-5,6	-5,7	-5,7	-5,7
4	Stellite	6,0	29,0	26,7	26,0	24,6	25,7	25,6	25,6	-2,3	-3,1	-4,4	-3,3	-3,4	-3,4
5	253MA(g)	6,0	26,3	29,2	29,5	28,4	28,8	28,7	28,5	2,9	3,2	2,1	2,5	2,4	2,2
6	KSF	5,9	26,8	26,3	26,8	27,4	26,5	25,5	24,3	-0,4	0,1	0,7	-0,3	-1,2	-2,4
7	R41	5,6	30,0	33,9	34,0	34,6	34,7	34,7	35,0	4,0	4,1	4,6	4,7	4,7	5,0
8	C-276	4,0	26,4	27,9	27,1	26,9	26,7	26,5	26,4	1,5	0,7	0,6	0,3	0,1	0,0
9	Al_2O_3	5,7	23,9	24,9	25,9	24,7	24,3	24,2	24,2	1,0	2,0	0,8	0,4	0,3	0,3
10	SiC	5,4	24,3	22,8	22,9	23,0	23,0	23,1	23,2	-1,5	-1,4	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1

		1v Isotermisk						6v Isotermisk			
		v0(salt)	v0	v1	v1-v0			v0(salt)	v0	v6	v6-v0
1	253MA(v)	5,0	28,0	31,2	3,2			6,0	27,7	31,7	4,0
2	APMT	5,7	26,3	25,6	-0,7			5,8	26,2	27,6	1,4
3	Alstel	5,3	28,9	27,2	-1,6			5,4	30,0	24,0	-6,0
4	Stellite	6,1	29,1	23,9	-5,3			5,9	29,1	30,7	1,6
5	253MA(g)	6,1	27,3	29,2	1,9			6,1	27,3	29,8	2,5
6	KSF	6,4	27,6	26,2	-1,4			5,9	26,4	23,2	-3,2
7	R41	9,6	30,9	34,8	3,9			5,4	30,1	35,3	5,2
8	C-276	5,5	30,8	32,2	1,4			6,0	28,1	26,8	-1,3
9	Al_2O_3	5,8	23,8	24,0	0,2			5,7	23,7	26,2	2,5
10	SiC	5,4	24,0	22,1	-1,9			5,7	24,6	23,1	-1,5

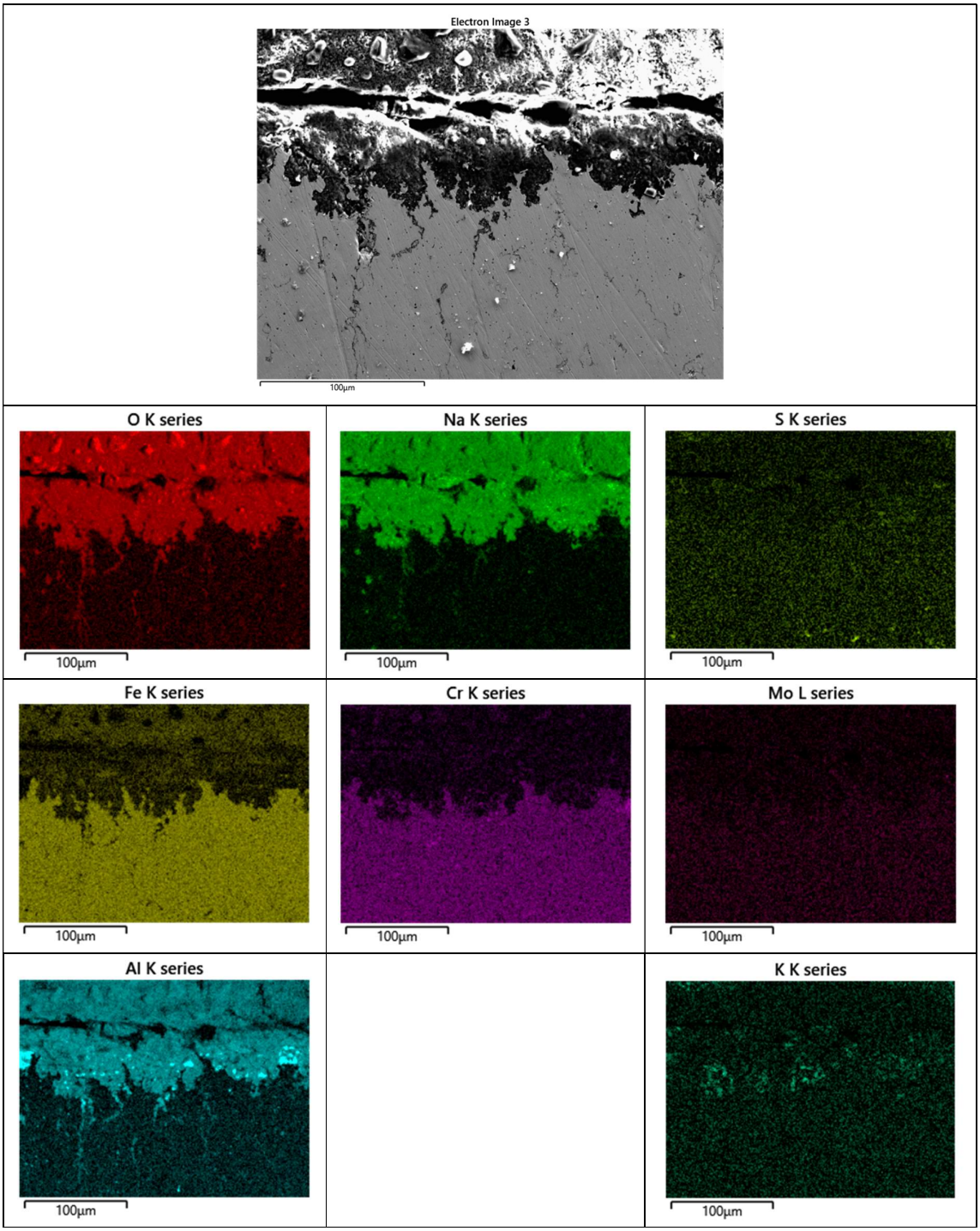
Figur bilaga 10.10. Data för massa och massförändring av totalvikt av degel, smälta och prov (där ej annat anges) efter en veckas isotermisk exponering (1v isotermisk), 6 veckors isotermisk exonering (6v Isotermisk) och 6 veckors termochockexponering (6v Termochock). Dessutom anges utgångsvikten av det tillsatta saltsmältapulvret (v0(salt)). Värdena anges i gram.

10.11 SEM/EDS-mätningar APMT

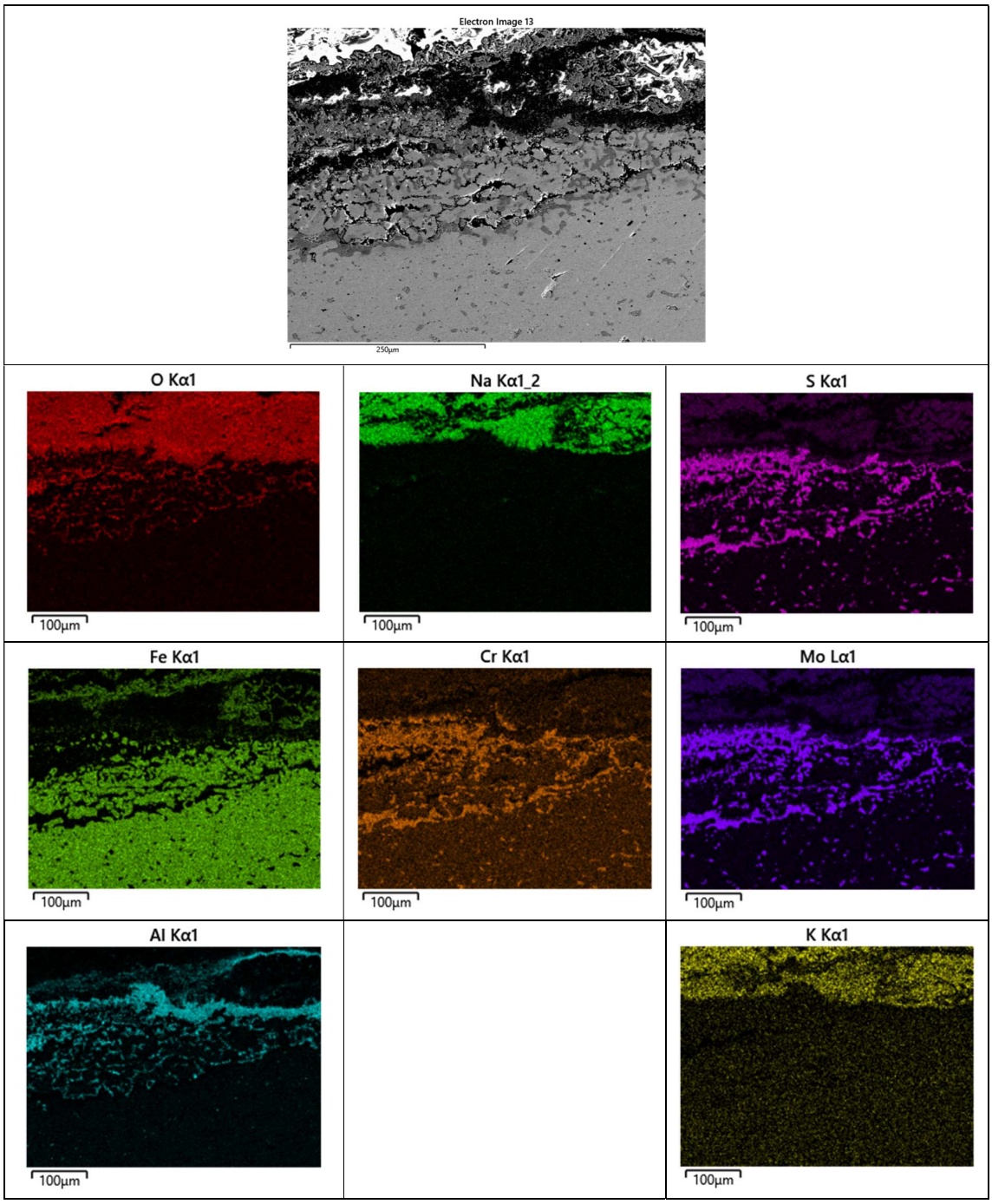
10.11.1 1-veckasexponering (APMT)



10.11.2 6-veckors termochockexponering (APMT)

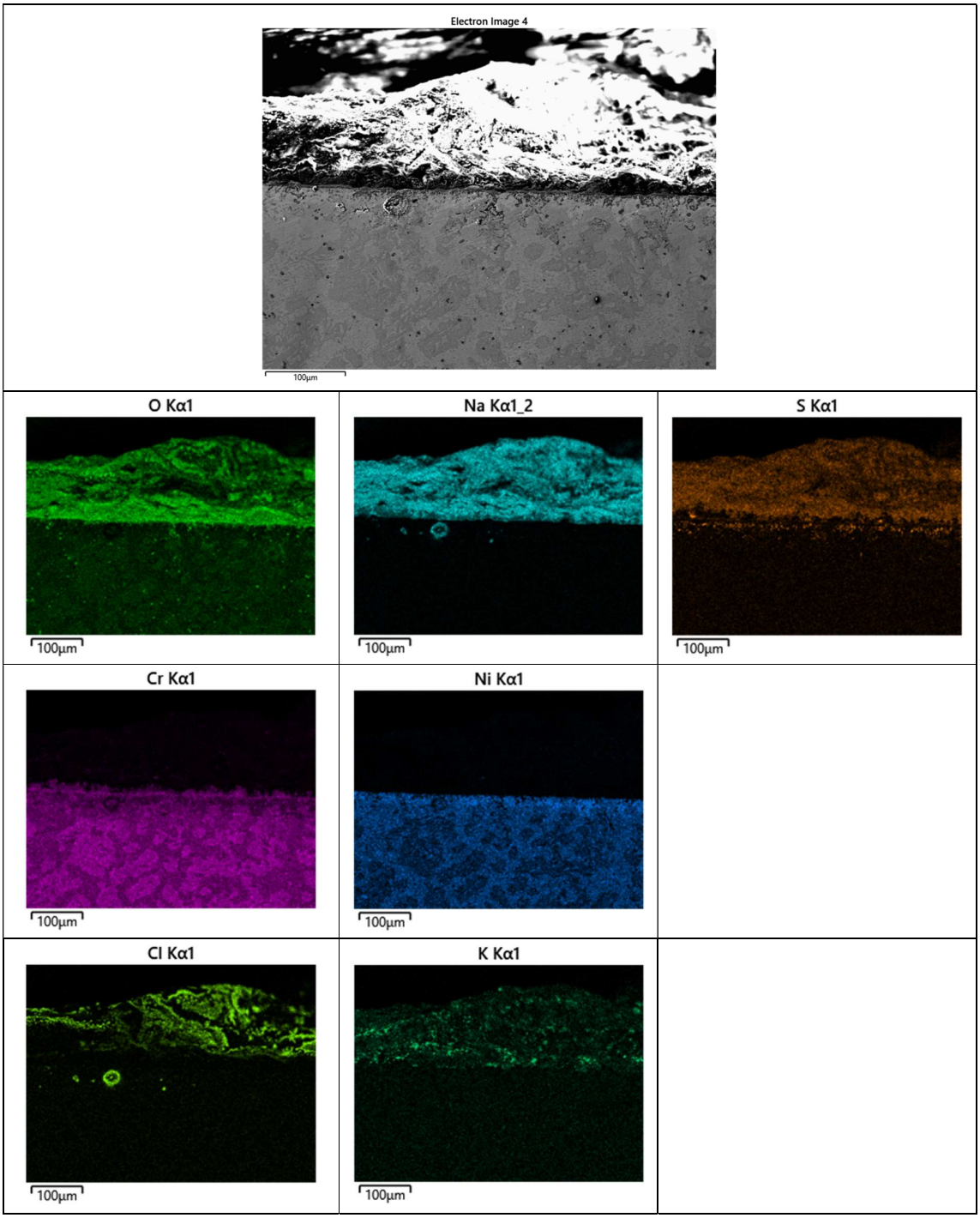


10.11.3 6-veckors isotermisk exponering (APMT)

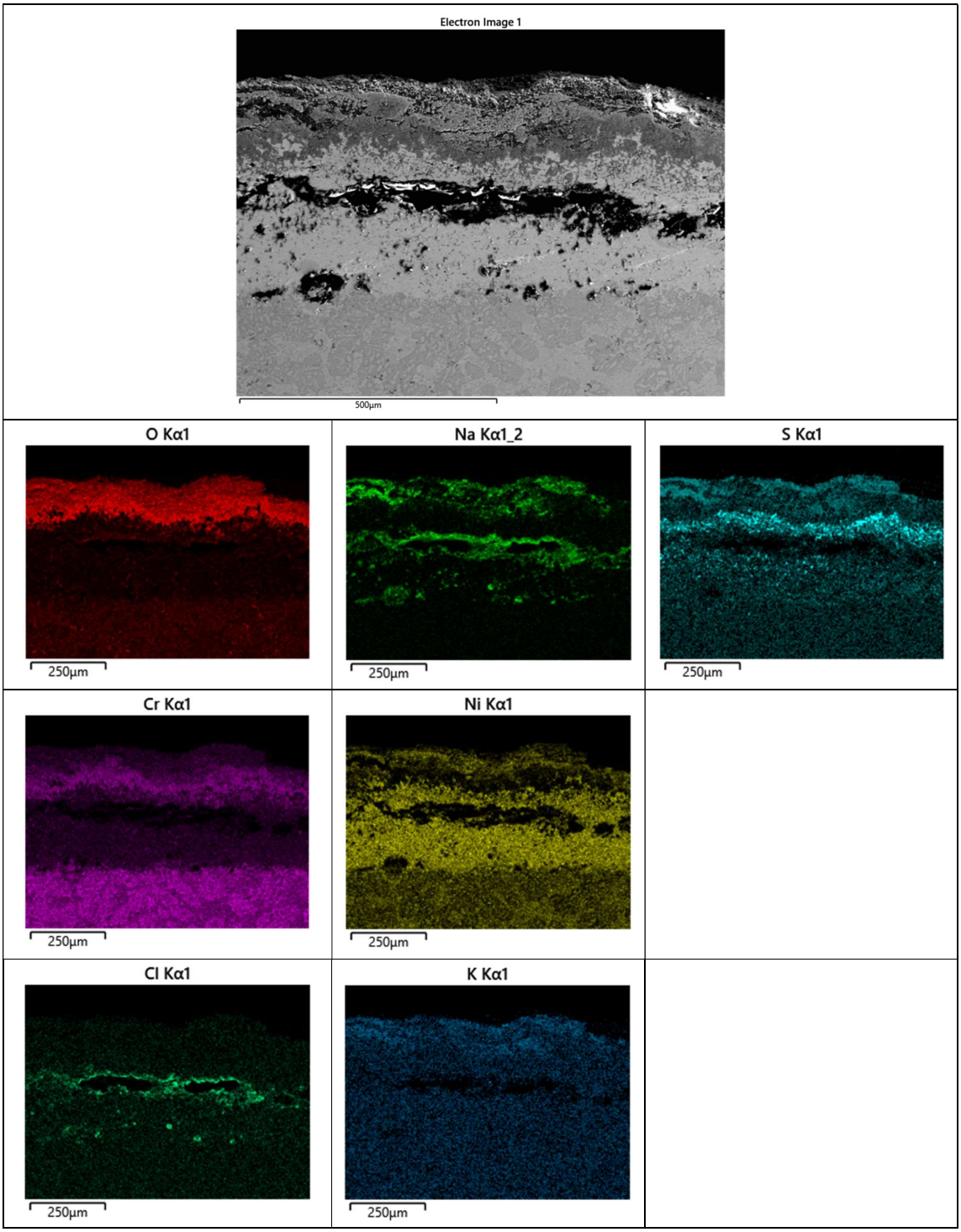


10.12 SEM/EDS-mätningar Alstel

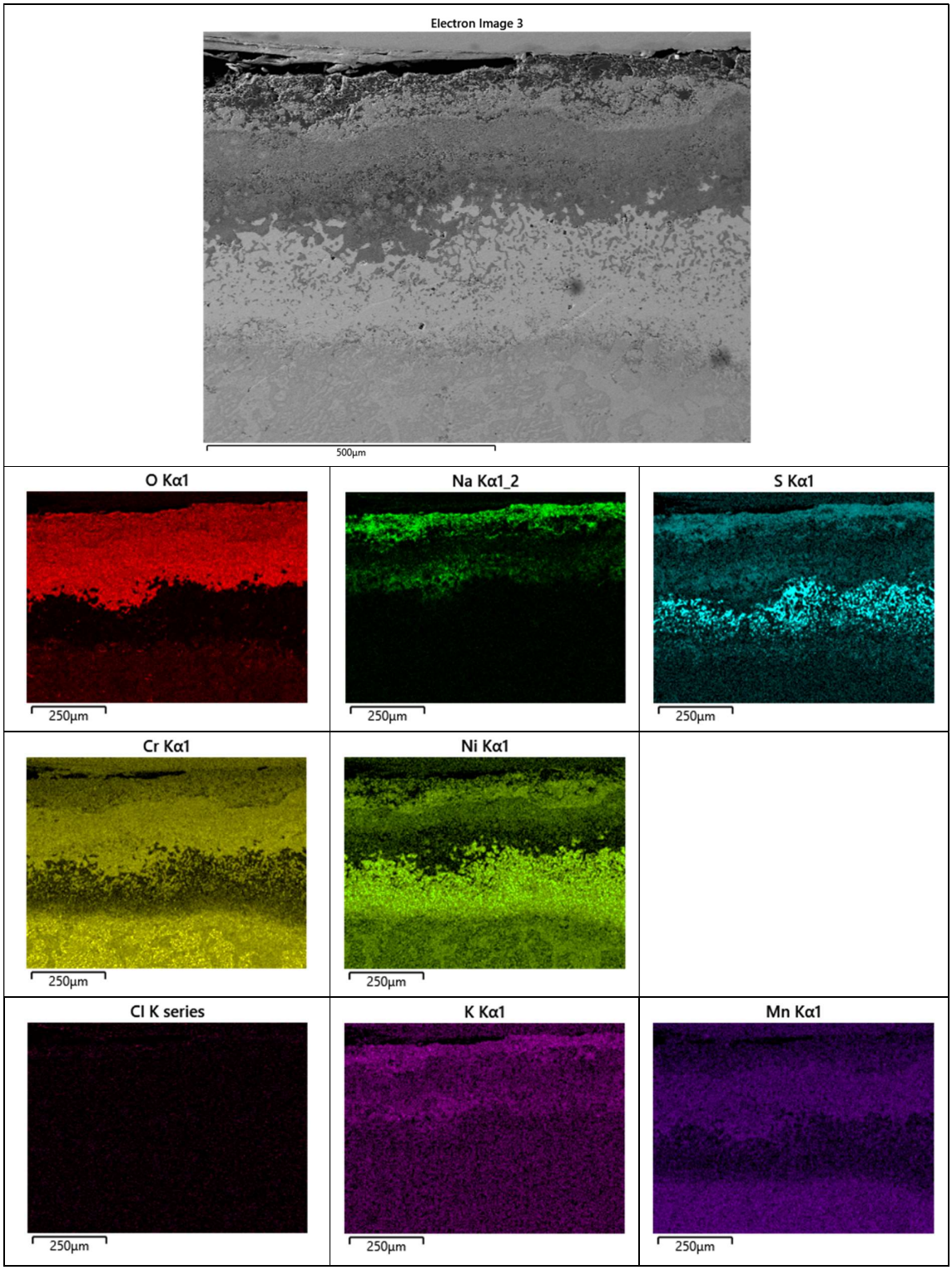
10.12.1 1-veckasexponering (Alstel)



10.12.2 6-veckors termochockexponering (Alstel)

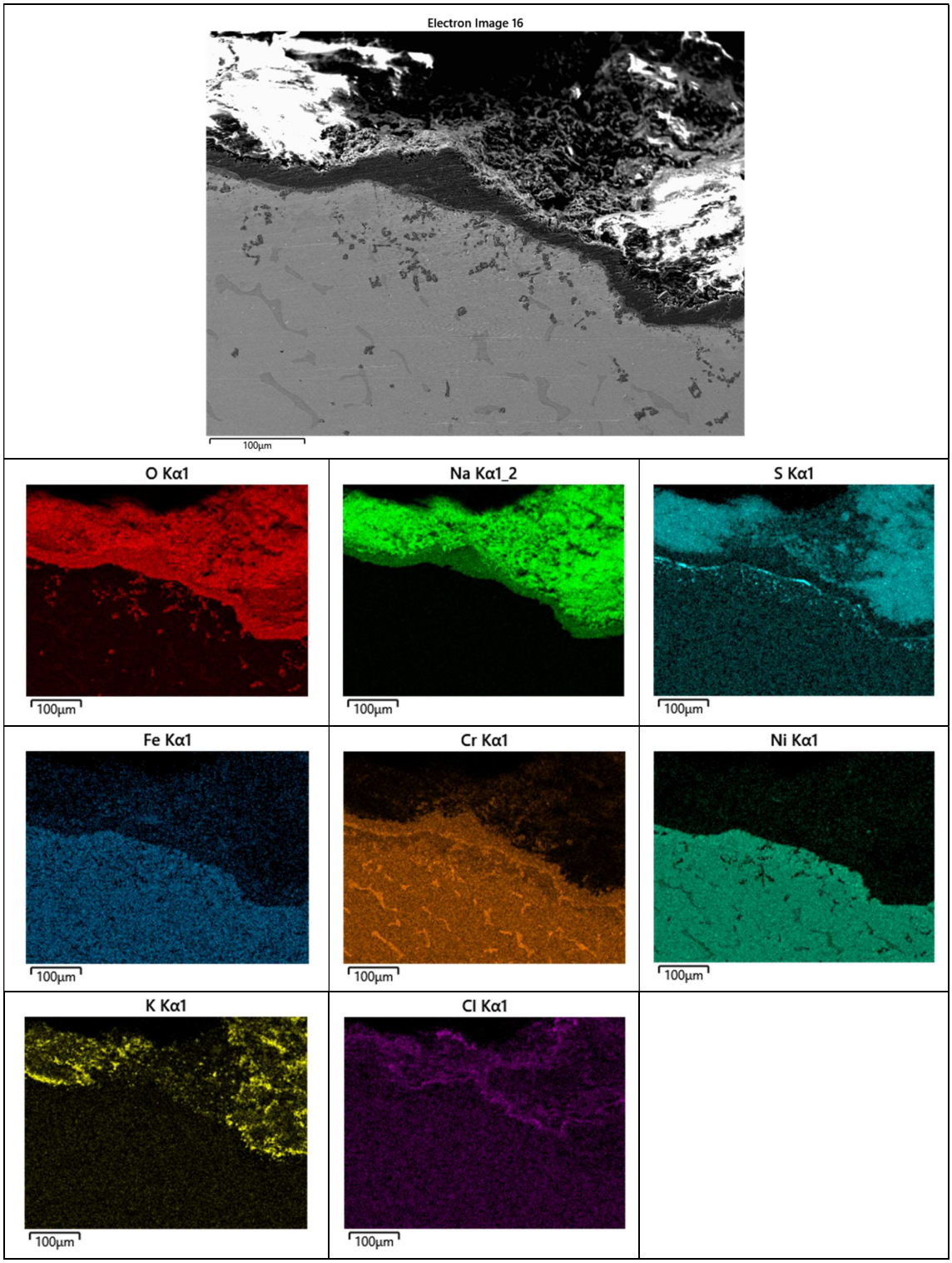


10.12.3 6-veckors isotermisk exponering (Alstel)

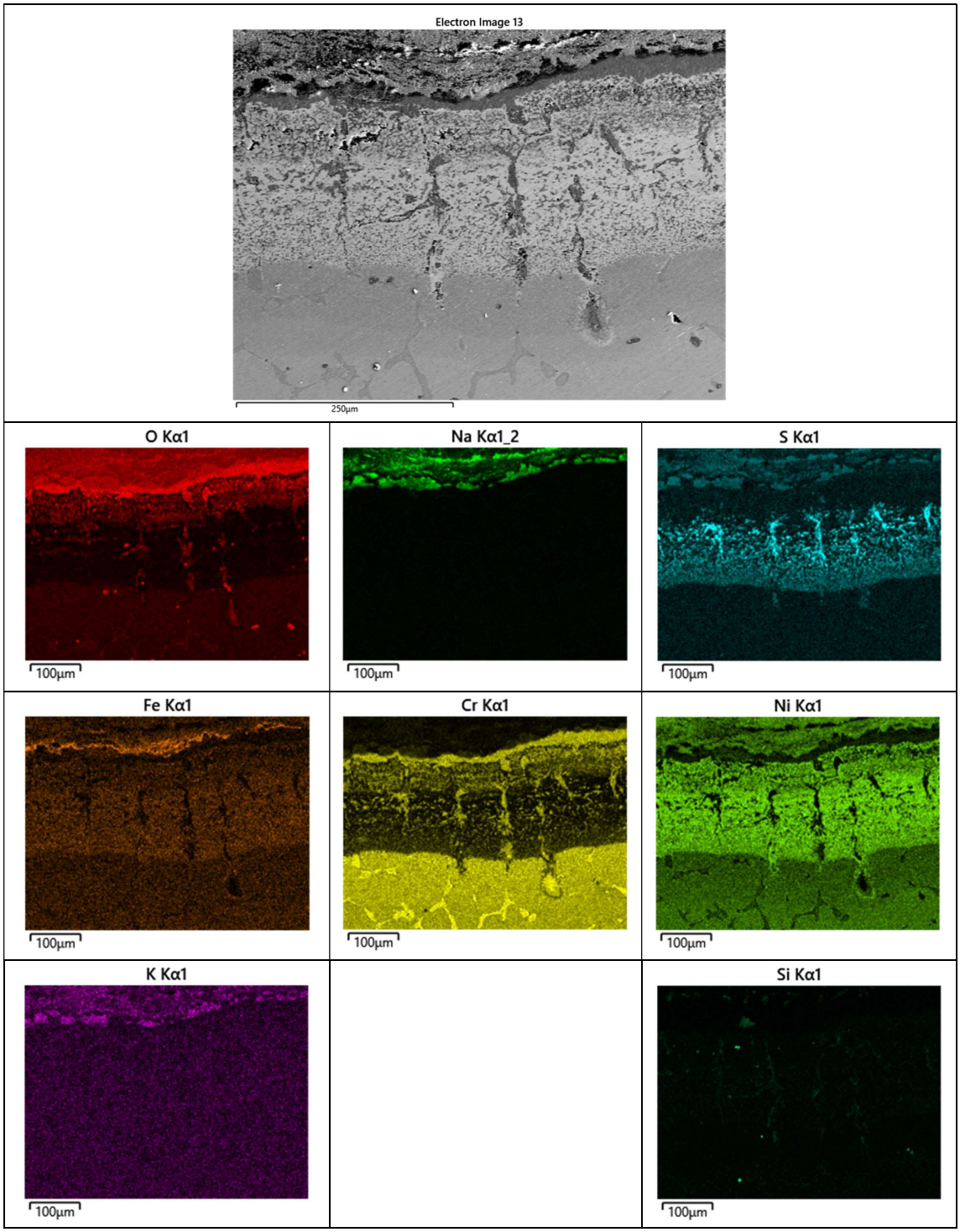


10.13 SEM/EDS-mätningar KSF

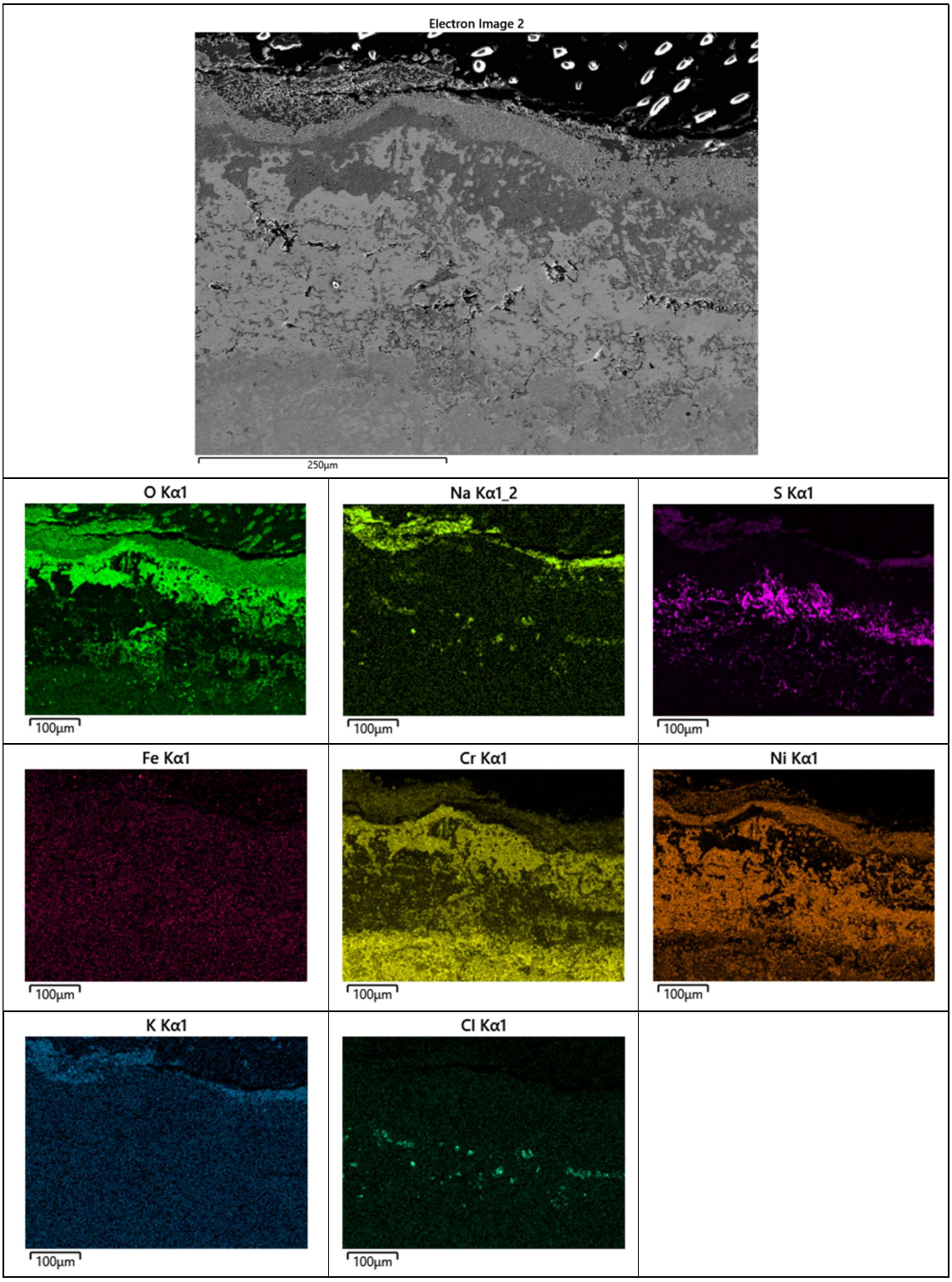
10.13.1 1-veckasexponering (KSF)



10.13.2 6-veckors termochockexponering (KSF)

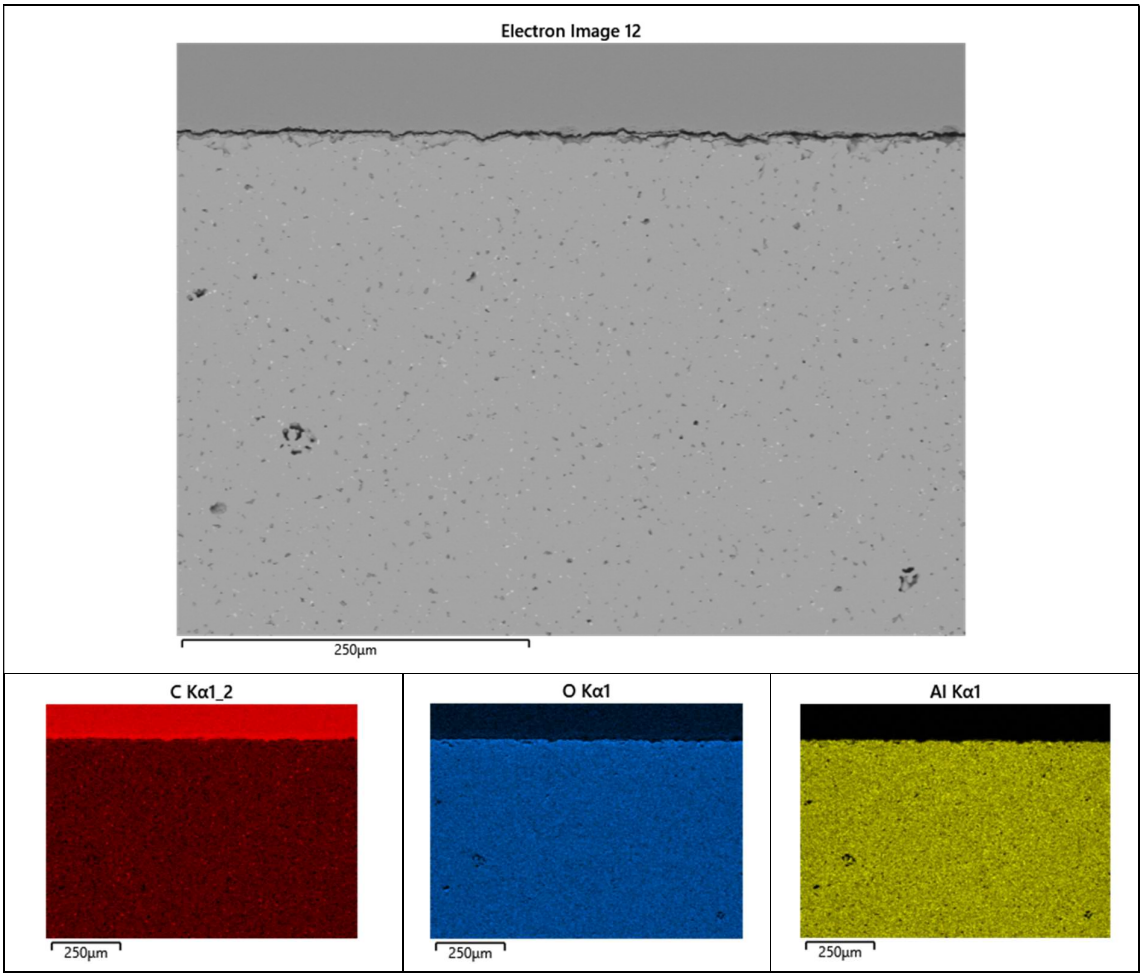

Electron Image 13
250µm
O Kα1
100µm
Na Kα1_2
100µm
S Kα1
100µm
Fe Kα1
100µm
Cr Kα1
100µm
Ni Kα1
100µm
K Kα1
100µm
Si Kα1
100µm

10.13.3 6-veckors isotermisk exponering (KSF)

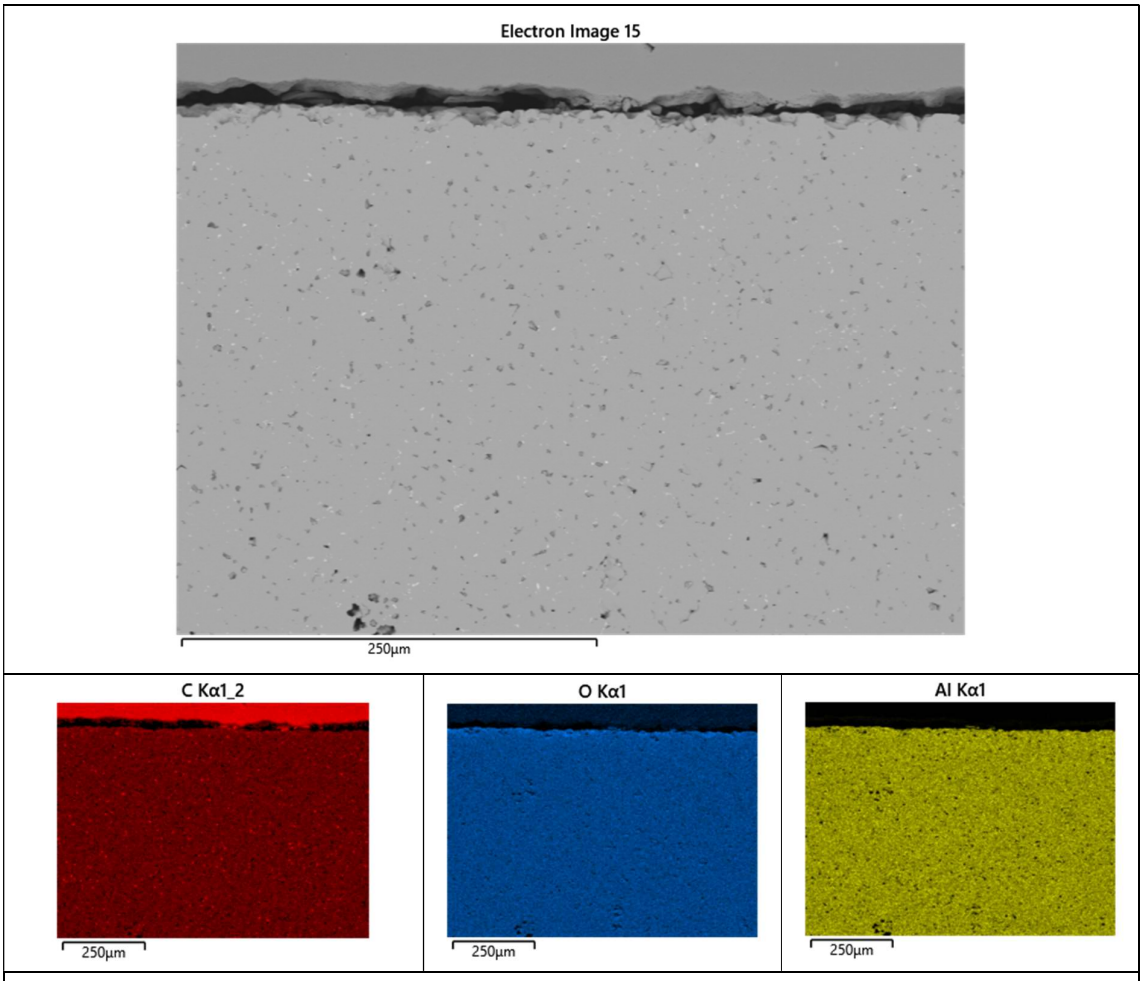


10.14 SEM/EDS-mätningar Al_2O_3

10.14.1 1-veckasexponering (Al_2O_3)

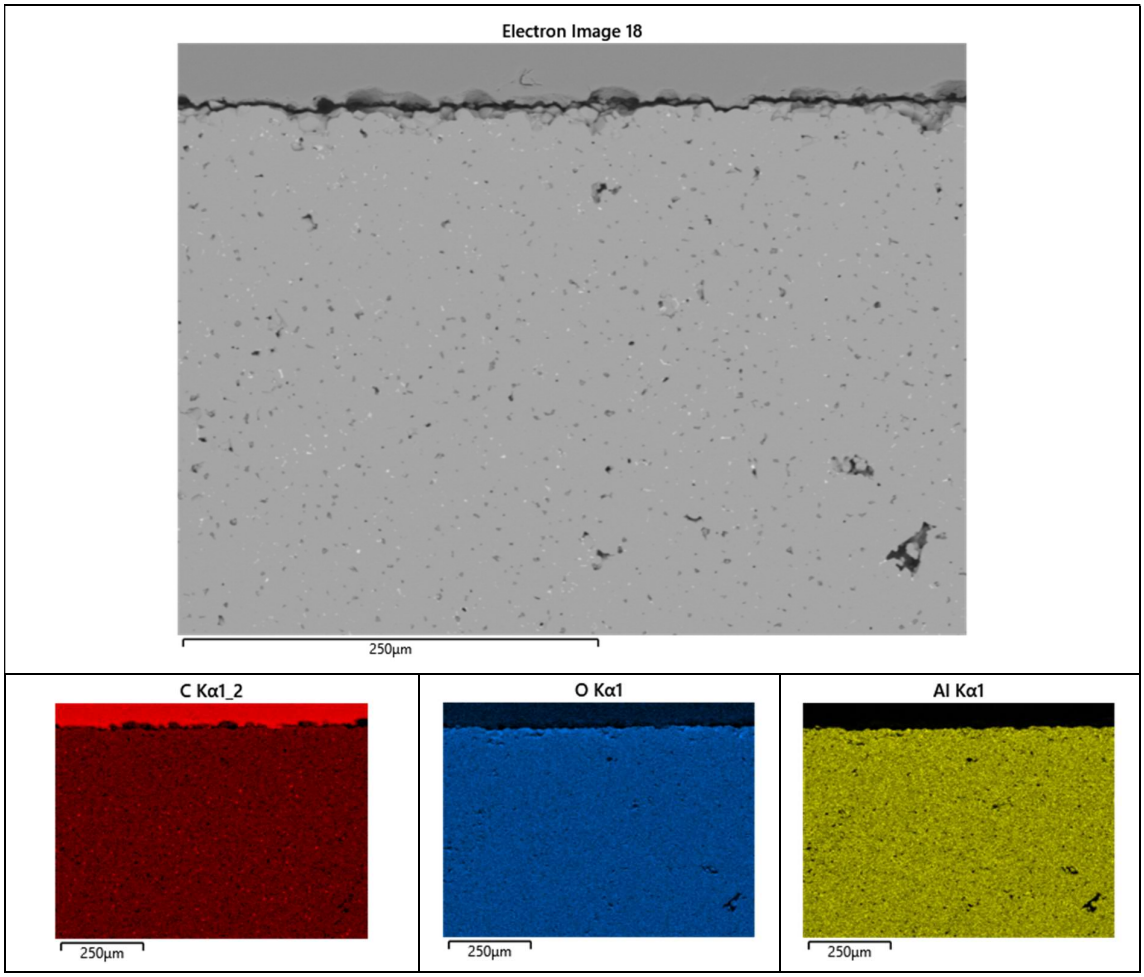


10.14.2 6-veckors termochockexponering (Al_2O_3)



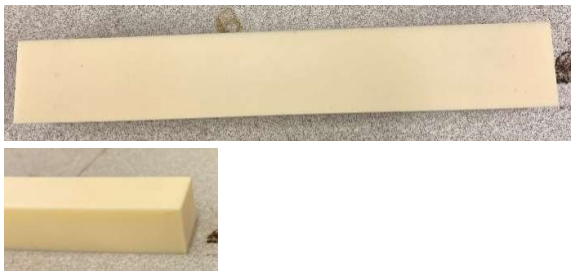
Al_2O_3; 6v termochockexponering

10.14.3 6-veckors isotermisk exponering (Al_2O_3)



10.15 Erhållna materialprover

Figur för bilaga 10.15. Siffrorna före materialbenämningen hänför sig till materialspecificeringen i tabell 5, huvudtexten.

1. 253MA(v). Ca 29x18 cm.	2. APMT. 100 x 100 mm.
3. Alstel. 33x33x12 mm.	4. Stellite. Ca 3x2 cm.
5. 253MA(g). Ca 22x(2-2.5)x0.5 cm.	6. KSF. Ca 23x(2-2.5)x0.5 cm.
7. R41. Ca 5.5x4.5x(0.3-0.6) cm.	8. C-276. 5.0x50x200 mm.
 9. Al_2O_3. 20 × 20 × 130 mm.	10. SiC. Hylsa med fläns, Ø46/31/11.5×L51 mm.