

Stabila och säkra slagglinjetegel

Stable and safe slag line refractories in steel ladles

Johan Eriksson och Jimmy Gran, Swerea MEFOS
Voicu Brabie, Frank Hayford och Ismail Kasimagwa,
Högskolan Dalarna.

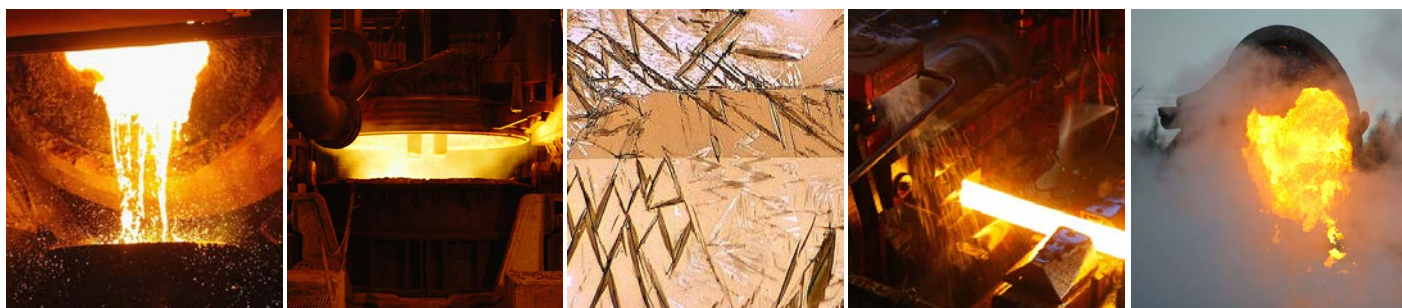


Foto: Stig-Göran Nilsson och Mats Hillert

Sammanfattning

Projektets övergripande målet har varit att minska konsumtionen av MgO-C-tegel för stålskänkars slagglinje. Huvudspåret i arbetet har varit försök att minska avkolningen av denna typ av tegel under torkning/förvärmning av stålskänkar. Metoden har varit att utprova ett antal skyddande skikt mot avkolning. Vid det första försöket, pilotförsök i kammarugn, täcktes provtegel med antingen stålplåt, aluminiumfolie, rostfri folie, coating för gjutrör eller pannkitt. Försöken utfördes vid ca 1100 °C med gasolbrännare. Resultaten från dessa försök visade att pannkitt uppvisade den bästa skyddande effekten.

I ett nästa steg utfördes s.k. korgförsök hos SSAB EMEA Luleå. Tegel skyddade med rostfri folie, coating samt pannkitt hängdes i stålkorgar vid slagglinjen under torkningen upp till 1000 °C. Ingen signifikant förbättring observerades för tegel täckta med coating och pannkitt medan tegel skyddade med rostfri folie var till synes opåverkade.

I efterföljande driftsförsök hos SSAB EMEA Oxelösund installerades rostfri folie vid murningen av slagglinjen. Efter avslutad förvärmning vid 1250 °C tilläts skänken svalna innan mätning. Mätningarna visade att tegel skyddade med rostfri folie hade ett genomsnittligt avkolningsdjup på ca 5 mm, att jämföra med ca 9.5 mm för oskyddade tegel.

Projektet har även studerat inverkan av slaggsammansättning, temperatur och effekterna av medföljande slag (innehållande "FeO") från föregående processteg. Både termodynamiska beräkningar samt rotationsförsök i experimentskala har utförts. Resultaten visar att slaggens initiala sammansättning m.a.p. halt MgO har stor betydelse för benägenheten att lösa upp infodringen. Detta framgår både från beräkningarna och laborieförsöken. Det visade sig även att slagger innehållande "FeO" kommer att oxidera kol i MgO-C-tegel under skänkraffineringen. Vid post-mortemundersökningar av stavar från rotationsförsök uppvisades en avkolad struktur samt förekomst av Fe-partiklar, vilket tyder på att "FeO" reduceras av tegelets kol.

Projektet JK23090 "Stabila och säkra slagglinjetegel" ingår i Strategiskt Stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012, finansierat av VINNOVA och Jernkontoret.

Nyckelord:

Magnesit, MgO-C, avkolning, skänkförvärmning, slagglinjetegel, elfast, ytskydd, infodrings slitage.

SUMMARY

The general objective of the project has been to reduce the consumption of MgO-C-bricks in the slag line of steel ladles. The main focus has been to reduce the oxidation of carbon in these types of bricks in the drying/pre-heat stage of the ladles after new-installation. The first pilot scale trial, using different protective layers on the bricks, were conducted in a propane fired chamber furnace. The tested protective materials were steel sheet, aluminum foil, stainless steel foil, coating for ladle shrouds and stove sealant. The trials were conducted at 1100 °C. The results showed that stove sealant had the best protective effect in the trials.

In the next step, field trials were conducted at SSAB EMEA Luleå where protected bricks were mounted in steel baskets at the level of the slag line during pre-heating at 1000 °C. The protective materials were stove sealant, stainless steel foil and ladle shroud coating. No improvements were observed for the stove sealant and the coating, while the bricks covered with stainless steel foil were unaffected.

In later full scale trials at SSAB EMEA Oxelösund, stainless steel foils were installed in the slag line during installation of the ladle. After pre-heating at 1250 °C, the ladle was cooled down for inspection. The results showed that protected bricks had a mean decarburized depth of 5 mm, while the unprotected bricks had a mean decarburized depth of about 9.5 mm.

The project has also studied the effect of slag composition, temperature and carry-over slag from the primary furnace (containing “FeO”) on the slag line refractory. Both thermodynamic calculations and high temperature rotating finger trials have been used for this purpose. The results show that the initial content of MgO in the refining slags has a large influence on the potential corrosion behavior. This was the result both from calculations and experiments. It was also shown that slag containing “FeO” will oxidize carbon in MgO-C refractories during service. Post-mortem examinations of samples from the rotating rod trials revealed a decarburized structure and presence of iron droplets, which suggests “FeO” reduction by carbon.

The project JK23090 "Stable and safe slag line refractories in steel ladles" belongs to the Strategic Steel Research Programme for Sweden 2007-2012 jointly funded by VINNOVA and Jernkontoret.

Keywords:

Magnesia, MgO-C, decarburization, steel-ladle pre-heat, surface protection, slag-line refractory, refractory corrosion.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	5
1.1	Orsaker till slitage i slagglinjeteget	6
1.2	State of the art.....	6
1.3	Nuläge.....	7
2	Mål	8
3	Metod	8
3.1	Undersökning av ytoxidering av slagglinjeteget	8
3.1.1	Kammarugnsförsök	8
3.1.2	Fältförsök vid SSAB EMEA Luleå.....	10
3.1.3	Fältförsök vid Ovako Hofors AB.....	12
3.1.4	Driftförsök vid SSAB EMEA Oxelösund.....	13
3.2	Undersökning av korrosionsreaktioner mellan MgO-C infodringsmaterial och CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -MgO-FeO slag.....	14
3.2.1	Termodynamiska simuleringar.	14
3.2.2	Experimentell metodik.....	15
4	Forskningsresultat och Diskussion	16
4.1	Undersökning av ytoxidering av slagglinjeteget	16
4.1.1	Kammarugnsförsök	16
4.1.2	Fältförsök vid SSAB EMEA Luleå.....	20
4.1.3	Fältförsök vid Ovako Hofors AB.....	21
4.1.4	Driftförsök vid SSAB EMEA Oxelösund.....	23
4.2	Undersökning av korrosionsreaktioner mellan slag och tegel	24
4.2.1	Korrosion mellan MgO-C infodringsmaterial och raffineringsslagg ..	24
4.2.2	Korrosion mellan MgO-C material och medföljande slag från ljusbågsugnen.....	30
5	Slutsatser	39
5.1	Slutsatser av ”Undersökning av ytoxidering av slagglinjeteget”	39
5.2	Slutsatser av ” Undersökning av korrosionsreaktioner mellan slag och tegel”	39
6	Förslag på fortsatta forsknings- och implementeringsinsatser	41
7	Referenser	42
	BILAGA 1 – PROJEKTORGANISATION OCH MEDVERKANDE.....	43
	BILAGA 2 – PUBLIKATIONER	45
	BILAGA 3 – ANNAN RESULTAT- OCH KUNSKAPSFÖRMEDLING	46
	BILAGA 4 – STÅLFORSKNINGSPROGRAMMET	47

1 INLEDNING

Allt dyrare råmaterial och ökade produktivitets-, säkerhets- och kvalitetskrav ställer krav på att minska och stabilisera förbrukningen av infodringsmaterial för slagglinjeteegel i stålskänkar. Därför såg stålindustrin ett behov att initialisera ett projekt med syftet att undersöka hur konsumtionen av slagglinjeteegel kan minskas och om möjligt stabiliseras.

En allt viktigare del av kvalitetsjusteringen av stål sker inom skänkmetsallurgin. Stålskänkarna, som transporterar stålet från primärugnen till gjutningen via skänkmetsallurgiprocessdelarna, har en central roll för ståltillverkningen. I stålskänken sker slutlig analysjustering, temperaturjustering och inneslutningsmodifiering. Skänkmetsallurgi har också en allt viktigare roll för framtidens stålkvaliteter med längre behandlingstider för att uppfylla allt högre kvalitetskrav.

Infodringen i skänkarna består av slitfoder, som utgör kontaktytan med slaggen och atmosfären och stålet, bakfoder (eller säkerhetsfoder) som utgör en säkerhetszon innanför slitfodret samt isolerfoder för termisk isolering av skänkens sidor och botten. Det keramiska slitaget sker i slitfodret. Om slitage sker i bakfodret är ett genombrott nära förestående.

Slitfodret kan delas in i tre principiella delar:

- Slagglinjen, den keramiska delen som är högst upp i skänken och innefattar stålets överyta och kontakten mellan slitfoder och slagg. Höjden på detta område kan variera mellan olika stålverk.
- Undervägg, den del av slitfodret som är mellan slagglinjen och botten.
- Botten, med nedslagsplatta, spolstenar och tapphål.

Beroende på vilken typ av stål som tillverkas och aktuella hållbarhetskrav på den keramiska infodringen används olika typer av material för slitfodret. Ett vanligt materialval är att använda kolmagnesittegel (MgO-C tegel) i slagglinjen och Al₂O₃-baserade keramiska material i undervägg och botten.

MgO-C teglen innehåller olika mängd fri grafit, magnesiumoxid (MgO) och ett bindemedel (tjära eller harts). P.g.a. arbetsmiljön i stålverken används framförallt hartsbundna MgO-C tegel. I reserapporten TO23-158 (Bilaga 2) finns en utförligare beskrivning av tillverkning av denna typ av tegel. De vanligaste formaten är SU-format och radialtegel (svagt koniska tegel).

Det keramiska slitaget har en direkt påverkan på stålkvaliteten genom bildningen av icke-metalliska (makro)inneslutningar. Dessa icke-metalliska inneslutningar i stålprodukterna kan orsakas av reaktionsprodukter när slitfodret korroderar genom kemiska reaktioner mellan keramiskt material och flytande stål eller slagg. Men inneslutningarna kan också ibland hänföras till mindre bitar som lossnar från slitfodret, s.k. spaltning.

Det keramiska slitaget påverkar direkt stålets produktionskostnad. Vid stort slitage måste skänkarna muras om ofta vilket innebär högre material- och arbetskostnader, samt en högre kostnad för att hålla ett större antal skänkar i drift. Ofta är slagglinjen det mest utsatta området i skänken och skälet till att skänkar tas ur drift.

1.1 Orsaker till slitage i slagglinjetege

Slitaget i slagglinjetege kan traditionellt delas in i två principiella huvudorsaker:

- Kemiskt slitage
- Spaltning

Det kemiska slitaget orsakas ofta av reaktion mellan en aggressiv slagg och infodringsmaterialet. Slaggens egenskaper, exempelvis kemiska sammansättning och viskositet påverkar reaktionsbenägenheten kraftigt. Omrörning av stål i skänken (gasomrörning och/eller elektromagnetisk omrörning) kan accentuera reaktions-förloppet och inducera ett punktslitage.

Spaltning: Expansion på grund av termisk inducerad expansion/krympning eller en kombination mellan termisk expansion/krympning och slaggenetration, som accelererar spaltningen.

En annan bidragande orsak till korrosion av MgO-C baserade slagglinjetege är oxidation av teglets kolinnehåll. Oxidation av kol i MgO-C baserade tege kan ske både under förvärmning och under drift. Oxidationen av kol i MgO-C-tege innebär att den fria grafiten samt det kolinnehållande bindemedlet oxideras och endast MgO-kornen finns kvar. Detta kan leda till en snabb erosion av delar av teglet, d.v.s. materialet pulveriseras när den första smältan hålls i den nymurade skänken.

1.2 State of the art

Olika internationella studier har genomförts på MgO-C baserade slagglinjetege för stålskänkar. Några av dessa har inriktats mot att minimera eldfast slitage p.g.a. avkolning vid torkning och förvärmning av nymurade stålskänkar. Det finns även ett antal EU projekt (ECSC/RFCs) som berör detta område. Exempelvis undersökte projekt 7210- PR/206[1] hur olika antioxidanter i dessa material påverkar stålets renhet. Projektresultaten indikerade att antioxidanter inte hade en uttalad positiv effekt på skänkens hållbarhet och att dessa tillsatser t.o.m. kunde bidra till bildningen av skadliga inneslutningar. Driftsförsök visade också att en reduktion av syreöverskottet under torkning och förvärmning inte minskade avkolningen av MgO-C teglen signifikant.

Ett flertal ECSC/RFCs projekt har undersökt bästa val av keramiska material för att motstå termisk eller termomekanisk sprickbildning i exempelvis krommagnesit tege (7210-CE/302[2]) eller nära spolelement i LD-konvertrar (7210-CB/807/601[3]). I projektet RFSR-CT-2006-00003[4] undersöktes olika metoder för att minska problemen med högt mekaniskt slitage i LD-konvertrarnas skrotnedslag.

Aslanolu[5] studerade den skyddande effekten mot ytoxidering genom keramiska beläggningar av borglas, zirkonium och aluminiumoxid på MgO-C tege. Försöken genomfördes dels i laboratorieskala dels genom industriella tester. Försöken visade att det gick att minska ytoxideringen med 5.9% jämfört med oskyddade tege.

Flera studier har genomförts för att undersöka den skyddande effekten mot ytoxidering genom tillsats av antioxidanter till MgO-C materialen. Campos et al.[6] studerade effekten av tillsats

av MgB_2 och B_4C i MgO-C tegel tillsammans med metalliska antioxidanter. Resultaten visade att den samtidiga tillsatsen verkar att vara fördelaktig för varmhållfastheten och motståndet mot ytoxidation. För stora tillsatser tros dock påverka tegelns prestanda negativt. I en studie av Gokce et al.[7] undersöktes tillsats av Al, Si, SiC och B_4C vid 1300°C respektive 1500°C. De bästa resultaten erhöles med B_4C , medan SiC var minst effektiv.

Korrosionsmekanismen i MgO-C tegel har studerats av flera forskningsgrupper. Jansson et al. [8] undersökte effekten av olika gassammansättningar och Nandy et al.[9] undersökte effekten av olika asksammansättningar. De flesta studier har undersökt reaktionsmekanismerna bakom koloxidationen vid olika förhållanden i laboratorieförsök, exempelvis effekt av antioxidanter eller beläggningar på koloxidationen i MgO-C material. Mycket litet av denna forskning har dock lett till industriella försök att reducera koloxidationen genom olika murningsarrangemang.

1.3 Nuläge

I förstudien Slagglinjetegel, som genomfördes av forskningskommittén JK23089 inom Jernkontorets Eldfasta block, har metoder för analys av eldfasta haverier tagits fram. I projektet har också jämförelser i handhavande vid olika verk gjorts. Jämförelserna visar på skillnader i praxis, som kan ha betydelse för avkolning av t.ex. slagglinjeteglet i stålskänkarna. Nästan alla nordiska stålverk använder kolmagnesitteglet, som består av 87-89 % MgO (smältnagnesit) och 10-12 % kol.

Generellt sett bestäms en skänks livslängd av slitaget i slagglinjen. Vid de olika deltagande verken används olika praxis för att avgöra när skänken ska tas ur drift. Några verk har ett förutbestämt antal charger medan andra arbetar med löpande bedömning av skicket på skänk i drift. Omställning vid bestämda intervall ger fördelen att produktionen kan planeras på ett bättre sätt, medan löpande bedömning maximerar livslängden.

Slitaget på slagglinjen som uppkommer och kan påverkas av processparametrar såsom slaggsammansättning och temperatur är någorlunda förutsägbart. Dessa parametrar är valda utifrån ett processperspektiv, d.v.s. kvalitet och produktivitet, men är samtidigt en kompromiss m.a.p. foderslitage. Förbättringar gällande det kontinuerliga slitaget kan alltså enbart påverkas genom processförändringar samt utveckling av det eldfasta materialet. En del i projektet har därför behandlat inverkan på initial MgO-halt i raffineringsslaggen för att påvisa hur eventuella förändringar i processen kan reducera korrosionen.

Alla deltagande företag torkar och förvärmer nyinstallerade skänkar innan idrifttagande. Olika praxis används, men generellt sker en slutlig uppvärmning av skänkarna vid temperaturer över 1100 °C. Beroende på planering och ev. oförutsägbara händelser kan skänkar stå långa tider under s.k. stand-by-brännare. Det har här observerats att avkolning av slagglinjeteglet är omfattande, vilket ökar konsumtionen. En stor del av projektet har därför ägnats åt åtgärder för att förhindra/minska denna typ av försvagning som uppkommer innan skänken tas i drift.

2 MÅL

Projektets mål har varit att förbättra hållbarheten för kolmagnesittegel i stålskänkens slagglinje med i genomsnitt 7 % (ca +5 charger/skänklivslängd). Dessa mål gäller för de deltagande verken som använder kolmagnesittegel i slagglinjen, framförallt SSAB EMEA i Luleå samt Oxelösund, Ovako Hofors och Ruukki Metals i Brahestad.

Dessutom skall keramiska haveriutredningar effektiviseras.

Projektet har fokuserats på att undersöka den inledande delen av skänkykeln, d.v.s. främst torkning och uppvärmning av nymurade skänkar och dess inverkan på avkolning och effekt på spaltningsproblematiken. Ett delmål har varit att utveckla teknik för att skydda slagglinjeteglet genom att minimera inverkan av ytavkolning och att genomföra försök i pilot- och fullskala.

För att undersöka spaltningens orsaker och ursprung vid SSAB EMEA utprovades en ny typ av slagglinjetegel. Här var målsättningen att minimera effekterna av horisontella skarvar i skänkens slagglinje.

För att undersöka orsakerna till högt keramiskt slitage vid Ovako Hofors studerades gränsskiktsreaktioner mellan stål, smält slagg, gas och infodringsmaterial. Målet var att ta fram slaggsammansättningar med mindre benägenhet att korrodera tegel av MgO-C-typ.

3 METOD

För att uppnå målet med 7% förbättring avseende slitaget av slagglinjetegel i skänk inriktades arbeten på framförallt två huvudspår. Det första området som undersöktes avsåg att undvika oxidation vid torkning/förvärmning av skänkar. Det andra området som undersöktes var effekten av olika slaggsammansättningar och dessas inverkan på korrosionen av slagglinjetegel.

3.1 Undersökning av ytoxidation av slagglinjetegel

3.1.1 Kammarugnsförsök

Två kampanjer med kammarugnsförsök utfördes med syftet att undersöka om teglets yta kunde skyddas mot ytoxidation genom att fysiskt täcka ytan med något material för att därigenom minimera möjligheterna för transport av syre till teglets yta.

Under försöket skyddades den exponerade ytan (hot-face) på utvalda provtegel med någon typ av material i syftet av att minska avkolning av teglen.

I kammarugnsförsök 1 utprovades:

- Stålblåt från DUROC (0.35 mm format plåt)
- Stålfolie, 0.15 mm från M-Tech®F
- Aluminiumplåt (0.5 mm)
- Al-folie

I kammarugnsförsök 2 utprovades:

- Rostfri folie 0.05 mm (AISI 309)
- Pannkitt (Soudal Calofer)
- Coating för gjutrör (hädanefter ”coating”)

Efter applicering av skyddande material lastades teglen in i kammarugnen. Ett antal olika tegelbuntar murades upp med ett prov- resp. referenstegel i varje bunt. Termoelement placerades även i två av buntarna i respektive försök före uppvärmningen startade. Ugnen är utrustad med en brännare, eldad med gasol.

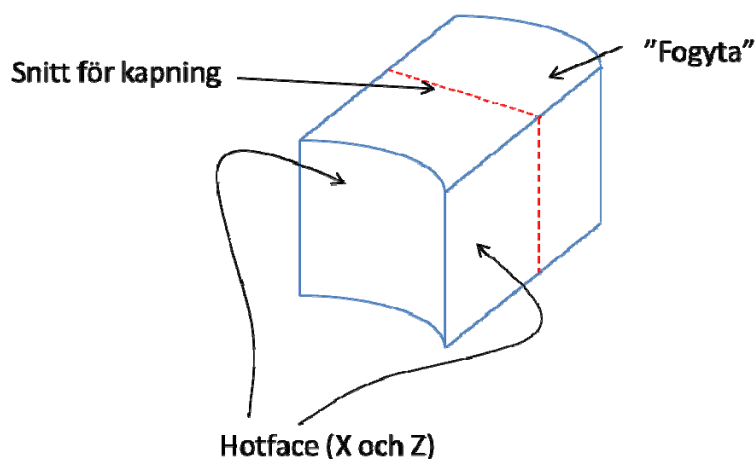
I figur 1 visas ett foto på en tegelbunt taget efter inlastningen av teglet i kammarugnsförsök 1.



Figur 1. Tegelbunt efter inlastningen av tegel i kammarugnsförsök 1.

Efter avslutat försök lastades teglen ut ur ugnen för vidare undersökningar. Teglen undersöktes och märktes systematiskt från A till F. Fram- och baksida skiljdes åt med en efterföljande bokstav X (framsida) eller Z (baksida). Referenstegel märktes med R. ”Fogytan”, d.v.s. sidan som angränsar mot närmaste sten i lodrät riktning (se illustration i figur 2), fotograferades för att uppskatta avkolningsdjupet. Djupet på den avkolade delen mättes och jämfördes med motsvarande referenstegel.

Proverna från det andra kammarugnsförsöket kapades med en tegelsåg vinkelrätt mot hotface. Därefter fotograferades och mättes avkolningsdjupet i snittytan för både prov- och referensteglen. En illustration av de ytor som mättes upp finns i figur 2.



Figur 2. Delning och uppmärkning av undersökt formattegel

3.1.2 Fältförsök vid SSAB EMEA Luleå

Hos SSAB EMEA Luleå utfördes försök, som hade det övergripande syftet att reducera konsumtionen av tegel i skänkens slagglinje. Det första försöket, "Avkolningsförsök", hade syftet att undersöka om ytoxidation av MgO-C tegel under torkning/förvärmning kan undvikas genom att täcka teglets yta med ett skyddande skikt.

Syftet med det andra försöket, "Utprovning av nytt slagglinjetegel", var att minimera effekten av horisontella skarvar i den murade konstruktionen.

3.1.2.1 Avkolningsförsök

Målet med försöket var att undersöka om avkolning helt eller delvis kan undvikas om ett skyddande skikt läggs på teglets exponerade ytor under driftslika förhållanden. Tanken med det skyddande skiktet är att det ska utgöra en fysisk barriär för gastransport till och från teglets yta.

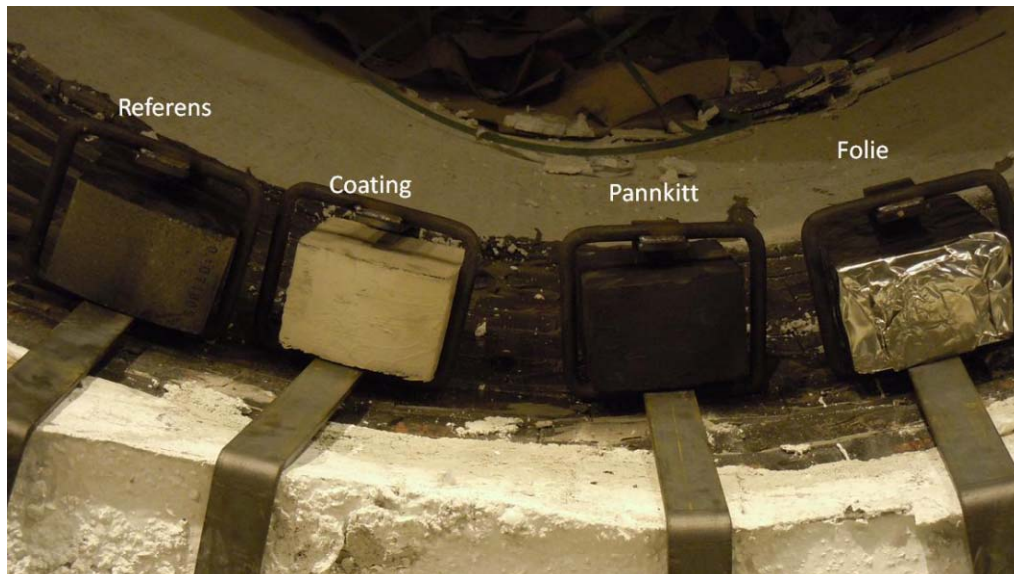
Teglet som användes i försöken var av typen SU (Semi-universal). Det är ett hartsbundet kolmagnesittegel med 10 vikt-% kol och inga tillsatta antioxidanter.

Under försöket skyddades hela den exponerade ytan på provteglet med någon typ av material i syftet av att minska avkolning av teglen. Materialen som testades som skydd var:

- Rostfri folie 0.05 mm (AISI 309)
- Pannkitt (Soudal Calofer)
- Coating (Vesuvius)

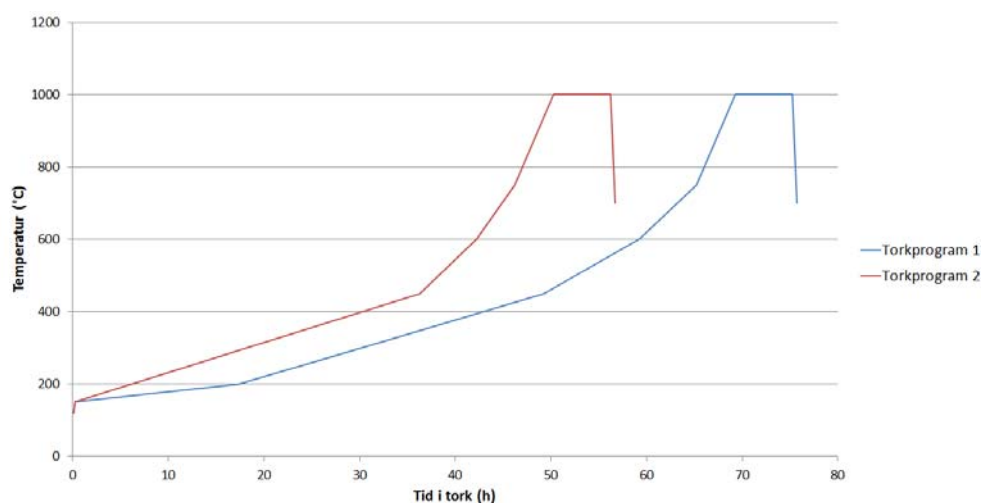
Den rostfria folien applicerades genom att först täcka teglets långsidor och sedan vika in kanterna omlott på teglets kortsidor. På detta sätt var teglet helt täckt av folien. Appliceringen av folien krävde inga verktyg p.g.a. foliens ringa tjocklek. Pannkittet och coatingen applicerades med en pensel ca 24 timmar innan försöken. Tjockleken på de härdade skikten av pannkitt och coating var ca 1-2 respektive <1 mm.

Speciella korgar tillverkades för att kunna hänga teglen mitt i slagglinjen på en nymurad skänk. I figur 3 framgår tydligt hur teglen hänger i den nymurade skänken. Ett referenstegel hängdes även in i försöken.



Figur 3. Upphängning av provtegel vid fältförsök

Torkning/förvärmning av skänken utfördes på torkstationen hos SSAB EMEA Luleå. Torkprogrammet följer en förutbestämd tid-temperaturkurva beroende på status på skänken som ska torkas. Två försök med olika torkprogram gjordes. Det första försöket, "Försök 1", genomfördes med torkprogram 2, avsett för skänkar som har nytt slitfoder vid antingen i botten, vägg eller slagglinje. Den totala torktiden för torkprogram 2 är ca 57 timmar. Det andra försöket "Försök 2" genomfördes med torkprogram 1, avsett för helt nyinstallerade skänkar med nytt bakfoder. Den totala torktiden för torkprogram 1 är ca 76 timmar. I figur 4 finns ett tid-temperaturdiagram som åskådliggör torkpraxis för de olika programmen. Koksgas används som bränsle vid torkningen.



Figur 4 Tid-temperaturdiagram för olika torkprogram

Direkt efter torktidens slut lyftes korgarna upp och teglen svalnade till rumstemperatur i luft. Värt att nämna är att korgarna hade gett vika vid försök 1 och proverna fick därför bärgas från botten av skänken efter försöket.

Efter avkylning kapades teglen i en såg försedd med diamantklinga. Inget vatten användes för att undvika destruktion av ytan. Teglen kapades i ett snitt vinkelrätt mot hot-face, se illustration i figur 2.

3.1.2.2 Utprovning av nytt slagglinjeteegel

För att utvärdera effekten av ett mindre antal horisontella skarvar murades slagglinjen med tegel av radialtyp. Normalt används tegel av typen SU (Semi-universal) som muras i 8 varv vid slagglinjen. Vid murning med tegel av radialtyp byggdes slagglinjen upp av tre varv tegel. Detta innebär således att antalet skarvar (inkl. skarv mot gjutmassa i vägg) reduceras från 8 till 3.

Totalt utfördes två försök (2 skänkar) med denna typ av slagglinjeteegel. I figur 5 finns ett foto taget på slagglinjen efter avslutad murning.



Figur 5. Slagglinjen efter avslutad murning.

3.1.3 Fältförsök vid Ovako Hofors AB

Avsikten med fältförsöken hos Ovako Hofors var att undersöka avkolning med respektive utan skyddande slaggsikt samt effekten av understökiometrisk förbränning vid förvärmning. Teglen som användes vid försök med skyddande slaggsikt kom från utrivningen av en uttjänt skänk. Slaggsiktet uppkommer vid tappning av sista chargin i skänken, s.k. ”glasyr”, eller ”ladle glaze”.

Brännaren vid förvärmningen är av typen oxyfuelbrännare med oljebränsle. Två effektlägen används. Det lägre (250 kW) används upp till 900 grader varefter högeffektläget (1100 KW) används upp till 1100 °C. Vid uppnådd måltemperatur alterneras effekten mellan hög och låg, vilket gör att temperaturen normalt varierar mellan 1060 och 1115 °C.

Vid båda studierna placerades provtegel i stålkorngar som hängdes från skänkens överkant.
Försök 1 - Syrgasöverskott

Två tegelbitar av jungfruligt material placerades i en ny skänk som kördes under överstökiometrisk atmosfär i 5 timmar vid 1100 °C. Det var uppskattningsvis minst 30 % fritt syre i brännaren under försöket (mätaren graderad upp till 25%). Provet förbereddes genom att kapa ett MgO-C-tegel av typen SU (Semi universal) på längden som sedan hängdes i korgar i skänken innan förvärmning. Provteglen vägdes både före och efter förvärmningsförsöket.

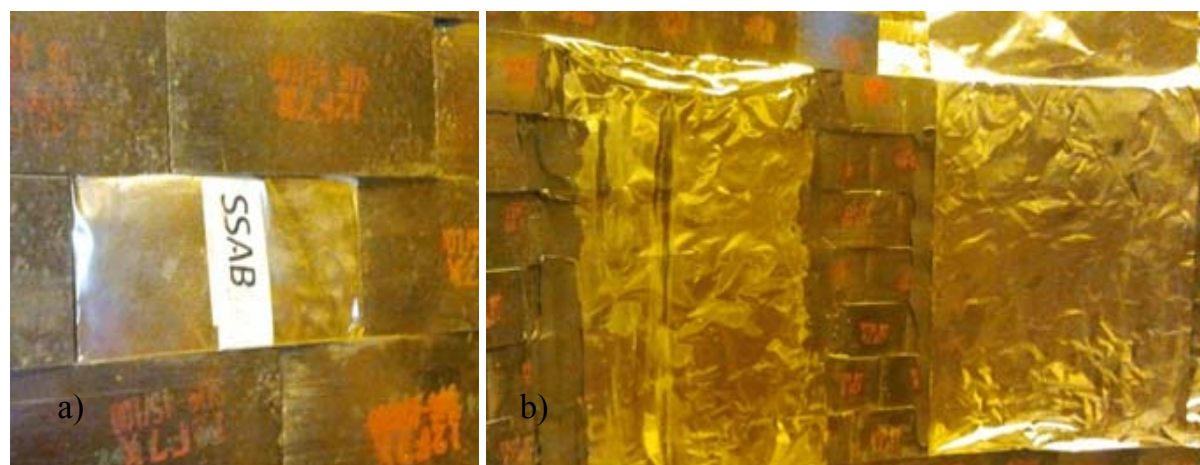
Försök 2 - Understökiometrisk förbränning samt slaggsikt.

I försök 2 användes ett provtegel av jungfruligt material samt två provtegel från en riven skänk. Provteglen från den utrivna skänken hade ett skikt av slagg på ena ytan. Försöket gick i understökiometrisk atmosfär, dvs. CO atmosfär och 0 % fritt syre i avgaserna. Det ska tilläggas att avgaserna fortfarande innehåller mycket H₂O och CO₂ och är därför att betrakta som oxiderande. Alla tegel vägdes före och efter försöken.

3.1.4 Driftförsök vid SSAB EMEA Oxelösund

Vid driftförsöken hos SSAB EMEA Oxelösund installerades rostfri folie (0.05 mm AISI 309) som skydd mot ytoxideration av MgO-C tegel i slagglinjen. I det här försöket installerades folien vid ordinarie murning för att uppnå samma förhållanden som under ordinarie drift.

Två olika installationsmetoder användes för att skydda teglen i slagglinjen. Den första metoden innebär att enskilda tegel kläddes med rostfri folie före murning. I den andra metoden ”tapetserades” våder av rostfri folie på redan murade delar. Vid installation enl. metod 2 användes även pannkitt (Soudal Calofer) för att fästa våderna mot teglets yta. I figur 6 a) syns tegel skyddade enl. metod 1 och i figur 6 b) syns tegel skyddade enligt metod 2.



Figur 6 a) Rostfri folie installerad enl. metod 1, b) Rostfri folie installerad enl. metod 2.

Torkningen av den installerade skänken utfördes i ett 24-timmars uppvärmningsprogram upp till 800 °C. Efter avslutad torkning gjordes en första visuell inspektion av de skyddade teglen.

Därefter värmdes skänken åter upp med driftsbrännare. Skänken eldades i 12 timmar vid 1250 °C med dubbelbrännare (alternerande). Bränslet i förvärmningen är koksgas. Efter avslutad

förvärmning tilläts skänken svalna till hanterbar temperatur. Avkolningsdjupet på skyddade respektive oskyddade tegel mättes sedan genom att slipa bort den avkolade delen och därefter mäta djupet med ett skjutmått.

3.2 Undersökning av korrosionsreaktioner mellan MgO-C infodringsmaterial och CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO-FeO slagg

För att klargöra inverkan av temperatur och slaggsammansättning på korrosionsbenägenheten för MgO-C-tegel, utfördes både termodynamiska beräkningar och rotationsförsök i laboratorieskala.

Initial MgO-halt i raffineringsslaggen, temperatur samt inverkan av medföljande ”FeO” studerades avseende korrosionsbenägenhet på MgO-C-tegel.

3.2.1 Termodynamiska simuleringar.

Thermo-Calc användes för att studera de reaktioner som äger rum mellan det eldfasta materialet i slagglinjen och den flytande slaggen under stålraffineringsprocessen. Simuleringarna utfördes vid 1873 K och 101 325 Pa.

Under simuleringarna av reaktionerna mellan slagg och eldfast material var förhållandet mellan de två faserna lika med 1. Den kemiska sammansättningen av slaggen och eldfasta materialet som används i beräkningarna visas i Tabell 1.

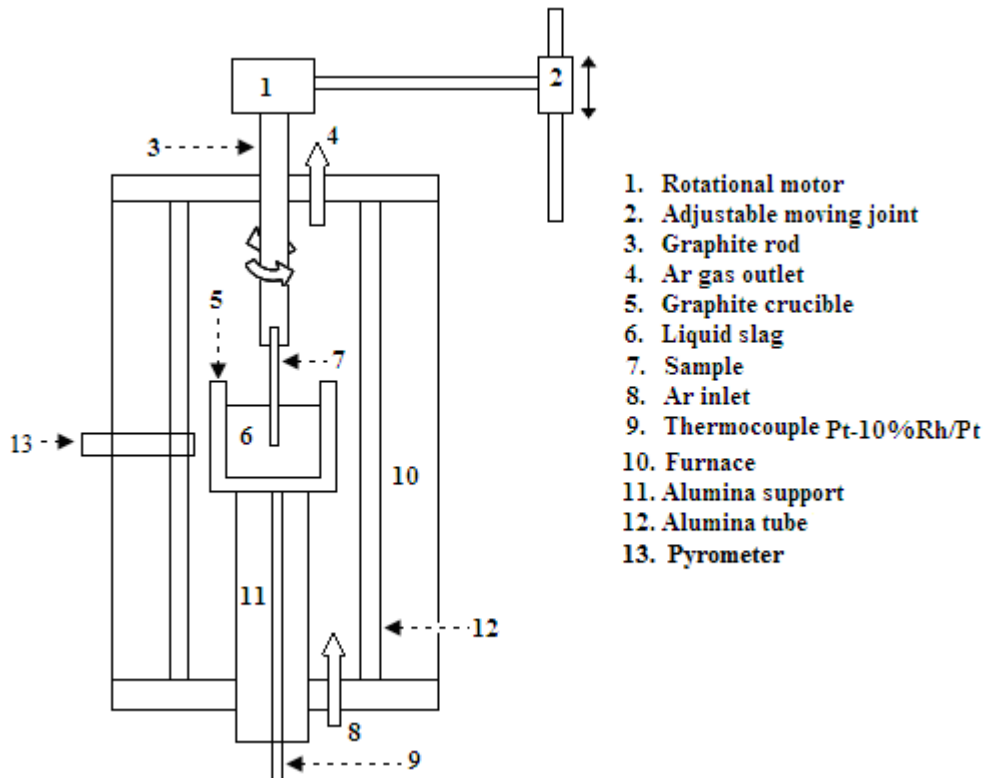
Slaggens sammansättning som används i de termodynamiska beräkningarna valdes med hänsyn till den slagg som används under raffineringsprocessen i skänk.

Tabell 1. Sammansättning av slagg och infodringsmaterial använda i studien.

Komponenter	Infodringsmaterial %	Raffineringsslag %				Ljusbågsugnsslag %	
		1	2	3	4	Slagg 1	Slagg 2
CaO	1.518	57.5	54	51.7	50.6	31.9	24.8
MnO						2.4	1.8
MgO	86.60	0	6	10	12	10	30
Al ₂ O ₃	0.18	33	32	30.6	30	25.1	19.5
SiO ₂	0.54	8.3	8	7.7	7.5	25.1	19.5
FeO	0.446	-	-	-	-	5.7	4.4
C	10.71	-	-	-	-	-	-
Porositet [Vol-%]	4						
Bulkdensitet [g/cm ³]	3.0						
CaO/SiO ₂	2.81	6.8	6.8	6.8	6.8	1.27	1.27

3.2.2 Experimentell metodik

Det experimentella arbetet påbörjades med borring av eldfasta stavar (prover) ur kommersiella tegel. Stavarna var ca 13 mm i diameter och 70 mm höga. Den syntetiska slaggen framställdes genom att blanda olika oxider i de förhållanden som visas i tabell 1. Den totala vikten av den syntetiska slaggen för varje experiment var alltid 0,060 kg. Figur 7 visar schematiskt den högtemperaturugn som används i laboratorieexperiment.



Figur 7. Experimentell uppställning

Måtten på den använda grafitdegeln var: 50 mm (OD) x 30 mm (ID) x 50 mm (djup). Efter initial smältning av slaggen sänktes stavarna och roterades med en konstant hastighet av 200 varv per minut. Rotationen syftade till att simulera omrörning i skånen under raffineringsprocessen. MgO-halten i slaggen varierade mellan 0 och 12 vikt-%, medan rotationstiden varierade mellan 2700 och 8100 s.

Efter en viss tid, lyftes MgO-C staven upp från den smälta slaggen och lämnades att svalna till rumstemperatur i argonatmosfär. Under hela experimentet spolades ugnen med argongas för att förhindra oxidation av grafit i provstavar och i degeln. Provstavarna uppmättes noggrant både före och efter försöken i flera nivåer. Proverna förbereddes sedan för SEM-EDS-undersökning.

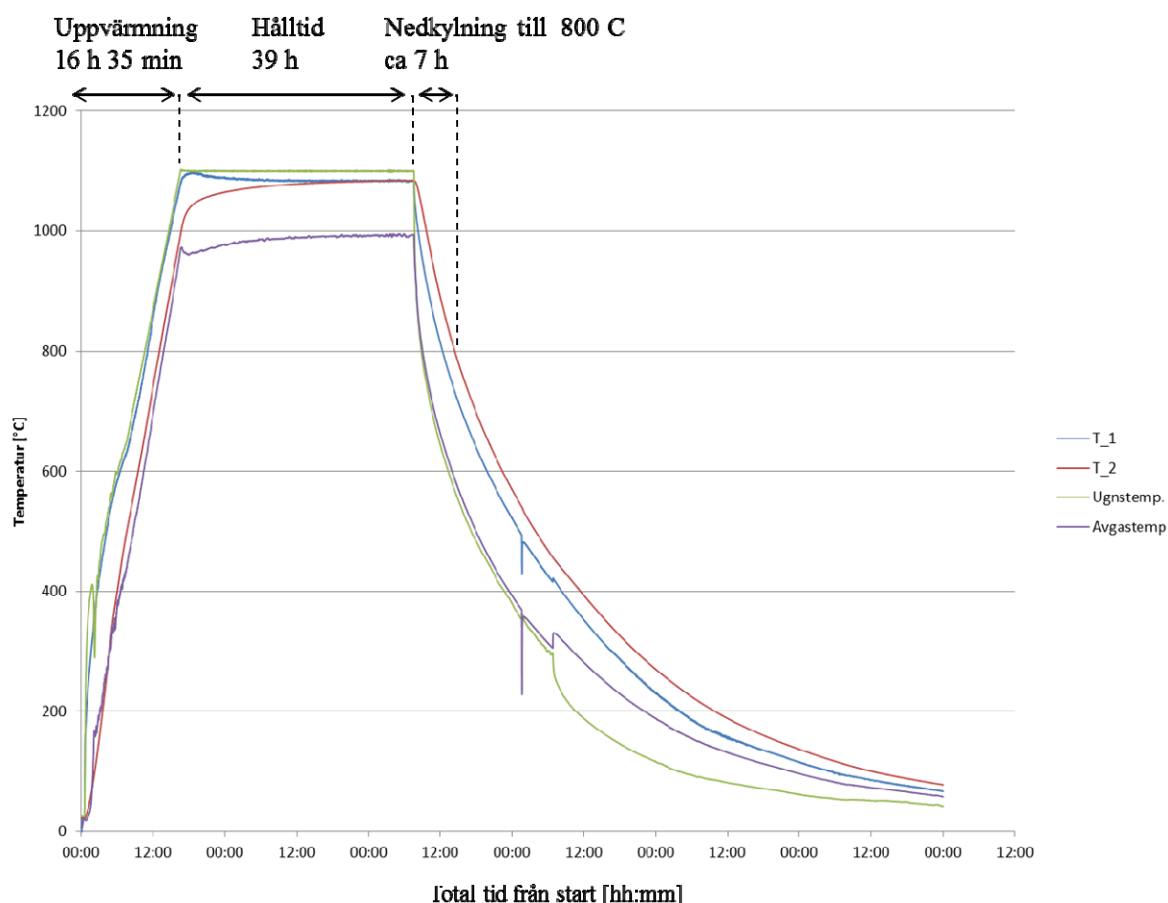
4 FORSKNINGRESULTAT OCH DISKUSSION

4.1 Undersökning av ytoxidering av slaglinjetegel

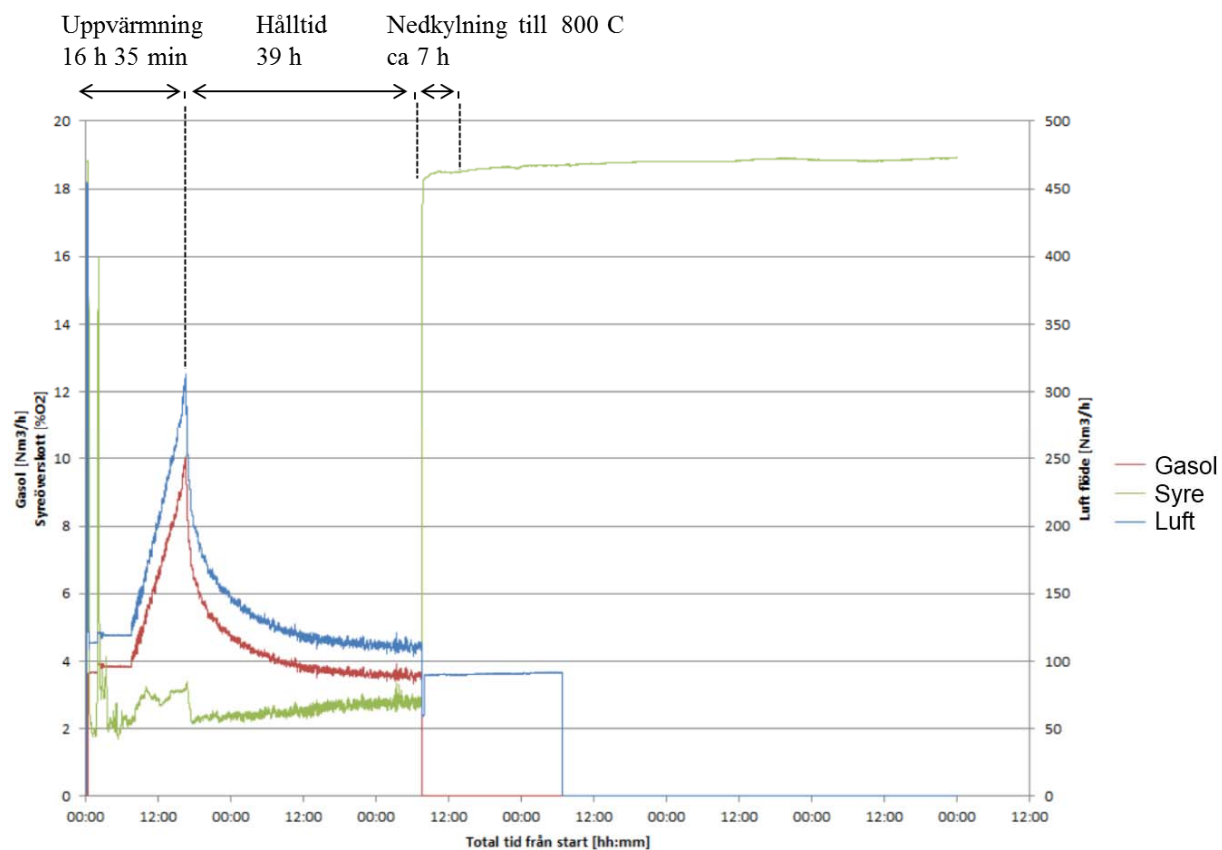
4.1.1 Kammarugnsförsök

I det första kammarugnsförsöket hade allt skyddande material påverkats (Aluminium plåt/folien hade smält och stålplåten hade oxiderats kraftigt). Reaktionsprodukter av stålplåt och atmosfären täckte hot-face av de skyddade teglen, men trots detta var teglen bakom hot-face avkolade. Inga signifikanta skillnader i avkolningsdjup mellan prov och referenstegel kunde fastställas. När de skyddade teglen togs ut från kammarugnen pulveriserades resterna av skyddsmaterialet.

Temperaturkurvor och gasflöden för hela försöksförloppet i kammarugnsförsök 2 visas i figur 8 respektive 9. I figurerna är tiderna för uppvärmning, hålltid och nedkylning till 800°C noterade.



Figur 8. Temperaturstyrning under kammarugnsförsök 2.



Figur 9. Variation av gasflöden och syreöverskott under försöket.

En sammanställning av djupet på den avkolade delen för alla tegel i kammarugnsförsök 2 finns i tabell 2. Observera att djupet på den avkolade zonen varierade kraftigt efter fogytan och detta försvårade därmed mätningen.

Tabell 2. Resultat från kammarugnsförsök 2. Djupet på den avkolade delen både från mätningar på fogytan och i det kapade tvärsnittet.

Märkning	Skydd	Djup avkolad del. Fogytan mm		Förbättring mm	Djup avkolad del. Kapat tvärsnitt mm		Förbättring mm
		Referens	Prov		Referens	Prov	
AX	Coating	26	26-27	0	1.9	1.9	0
AZ	Coating	25-30	25-40	0	1.9	1.9	0
AP	Helt i folie					1.9	
BX	Pannkitt	28-30	25	3-5	1.6	1.6	0
BZ	Pannkitt + folie	25-28	25	0-3	1.8	1.3	5
CX	Coating	35-40	40-42	0	2.3	2.3	0
CZ	Coating +folie	27-40	35	0	2.1	2.1	0
D	Rostfri folie	2	2	0	1.8	1.8	0
E	Rostfri folie	16-17	16-17	0	2.3	1.9	4
FX	Pannkitt	40	24	16	2.4	2.4	0
FZ	Pannkitt	3.5	2.5-3	5-10	2.2	1.9	3
FP	Helt i folie					2.4	

En jämförelse av avkolningsdjup mellan prov och referenstegel för mätningar i fogytan visar på försämringar för vissa provtegel, se tabell 2. Detta tyder på att instaplingen av teglet har mycket stor betydelse och att dessa resultat bör tas med försiktighet. Vid inspektionen efter försöken var det också uppenbart att avkolningsdjupet varierade kraftigt längs fogytan.

För det kapade tvärsnittet är gränsen mellan avkolat och intakt material mer distinkt och i en mer rät linje. I resultaten från mätningarna av det kapade snittet uppvisar inget provtegel sämre resultat än motsvarande referenstegel.

Av tabell 2 framgår tydligt att förbättringarna när skydd användes är begränsade. Indikationer på förbättringar hittas för proverna BX, BZ, E, FX och FZ. Sammantaget för de båda mätmetoderna (fogyta resp. kapat snitt) hittas de största förbättringarna i de fall pannkitt användes som skydd, både ensamt och tillsammans med rostfri folie. Sett från mätningarna på fogytan verkar pannkitt ha mest skyddande effekt, möjligtvis p.g.a. bra tätning av fogen mellan teglen.

Inget av skydden visar upp entydiga förbättringar avseende avkolningsdjup. Exempelvis verkar den rostfria folien inte ha någon effekt på tegel D, samtidigt som resultaten från tegeltyp E visar på förbättringar (mätningar från kapat snittet). Samma sak observeras då enbart pannkitt används som skydd. Ingen märkbar skillnad då man tittar på det kapade snittet för framsidan (X) på tegeltyp F, däremot finns förbättringar på baksidan (Z). Ingen förbättring observerades för teglen helt inklädda i folie (AP och FP) om man jämför med referenstegel av samma fabrikat.

Enbart coating eller i kombination med rostfri folie gav inga förbättringar för något av proverna jämfört med referensteglet.

Det bör också nämnas att tegelstaplarnas placering i förhållande till brännare och avgaskanal kan ha påverkat resultaten.

De observerade avkolningsdjupen kan anses något extrema jämfört med tidigare observationer efter förvärmning. Detta kan bero på att tillförseln av förbränningsluft fortsätter efter det att gasolbrännaren släckts, se figur 9. I figur 8 framgår tydligt att nedkylningstiden till 800 C är ca 7 timmar, samtidigt som figur 9 visar en hastigt ökande syrenivå då brännaren släckts. I och med detta är det möjligt att en kraftig oxidation sker efter att ugnen stängts av.

I en efterföljande SEM-EDS undersökning analyserades de skyddande skikten som användes i kammarugnsförsök 2. I tabell 3 och 4 finns sammansättningar för pannkitt respektive coating före och efter försöken.

Tabell 3. EDS analys av pannkitt (Calofer) före och efter användning som skyddsmaterial mot avkolning.

Element	Atom-% (före)	Atom-% (efter)	Förening	Vikt-% (före)	Vikt-% (efter)
Na K	5.11	-	Na ₂ O	7.86	1.6
Mg K	0.07	0.70	MgO	0.15	1.80
Al K	2.10	1.01	Al ₂ O ₃	5.33	3,6
Si K	28.87	31.48	SiO ₂	86.19	92.0
K K	0.11	0.07	K ₂ O	0.25	0.2
Ca K	0.08	0.76	CaO	0.23	1.2
O	63.66	65.98			

Tabell 4. Analysen av coating före och efter användning som skyddsmaterial mot avkolning.

Element	Atom-% (Före)	Atom-% (Efter)	Förening	Vikt-% (Före)	Vikt-% (Efter)
Na K	1,6	0,4	Na ₂ O	2,5	0,7
Mg K	0,3	0,6	MgO	0,5	1,2
Al K	24,1	35,1	Al ₂ O ₃	59,9	88,0
Si K	2,1	2,8	SiO ₂	6,1	8,2
P K	8,3	0,3	P ₂ O ₅	28,8	1,0
Ca K	0,3	0,1	CaO	0,7	0,2
Zr L	0,2	0,1	ZrO ₂	1,4	0,8
O	63,1	60,2			

SEM-undersökning av reaktionsprodukterna av rostfritt stål visade att de innehöll mest en blandning av järnoxid, kromoxid samt nickeloxid.

4.1.2 Fältförsök vid SSAB EMEA Luleå

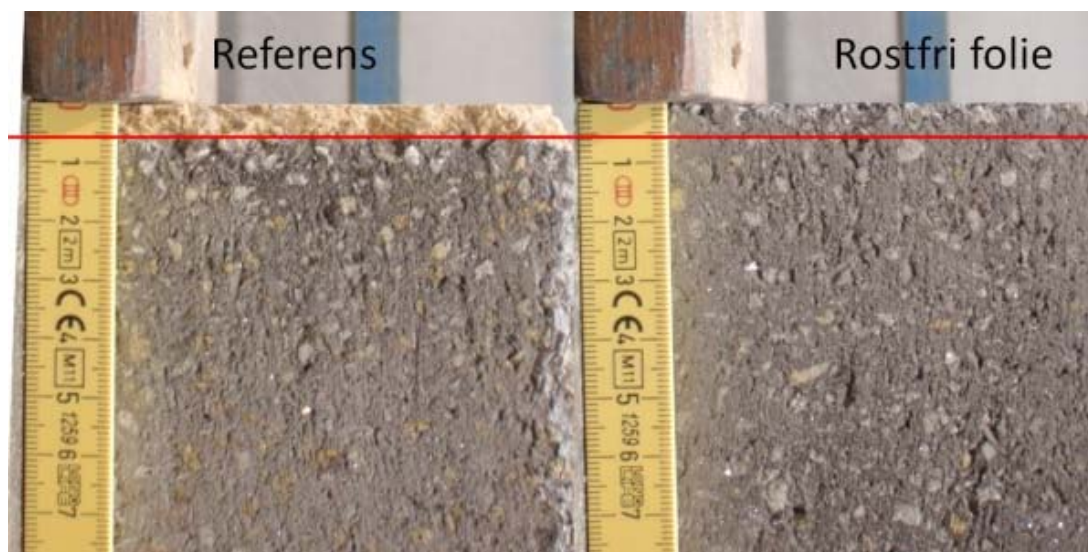
4.1.2.1 Avkolningsförsök

Vid utlastningen av teglet ur skänken noterades att den avkolade ytan var mycket porös och av sandliknande karaktär för vissa av provteglén.

En sammanställning av djupet på den avkolade delen för alla tegel finns i tabell 5. I figur 10 syns jämförelsen mellan referensförsöket och teglet täckt med rostfri folie från försök 2.

Tabell 5. Sammanställning av resultaten. Djupet på den avkolade delen sett från ytan och i det kapade tvärsnittet.

Försök	Skydd	Djup på avkolad del Fogytan mm		Förbättring mm
		Referens	Prov	
1	Coating	9	9	0
1	Pannkitt	9	6-7	2-3
1	Rostfri folie	9	0-1	8-9
2	Coating	5	5	0
2	Pannkitt	5	4	1
2	Rostfri folie	5	0	5

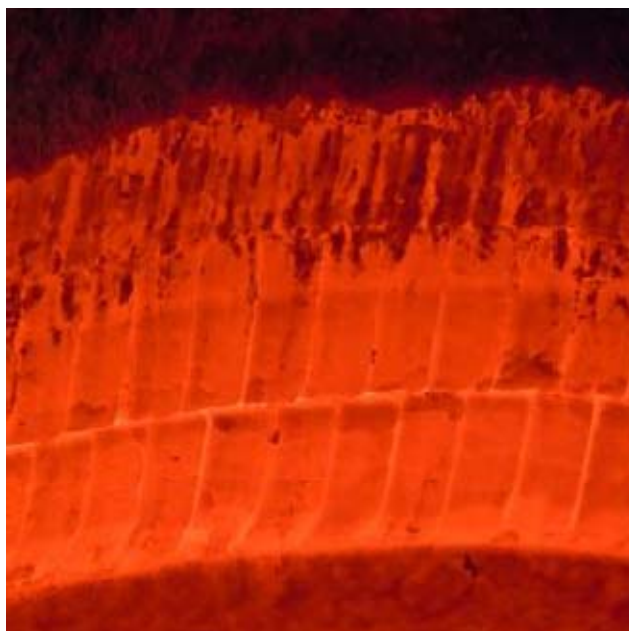


Figur 10. Jämförelse av avkolningsdjup för referenstegel (t.v.) och tegel skyddat med rostfri folie (t.h.) från försök 2.

4.1.2.2 Utprovning av nytt slagglinjetegel

P.g.a. problem med gjutmassan för skänkens nedre del kunde öppna fogar observeras vid visuell inspektion efter 15 körda charger i skänken, se figur 11. Anledningen till detta tros vara dålig expansion/krympning i gjutmassan. Vid första försöket med tegel av radialtyp havererade slagglinjen vid slagdragning efter charge 83. Vid andra försöket fick skänken tas ur drift p.g.a. travershaveri. Trots bristen på kvantitativ information från dessa försök kan det konstateras att det reducerade antalet horisontella skarvar ger ökad känslighet i underväggens

prestation m.a.p. expansion (samma expansion/kontraktion ska tas upp av ett färre antal skarvar).



Figur 11. Foto taget efter 15 charger med tegel av radialtyp.

4.1.3 Fältförsök vid Ovako Hofors AB

4.1.3.1 Försök 1. Syrgasöverskott.

Avsikten med fältförsöken på Ovako Hofors var att undersöka avkolning med/utan skyddande slaggskikt samt effekten av understökiometrisk förbränning vid förvärmning.

Provteglens sammanlagda vikt var 8,9 kg före försöken.

Efter försöket kapades stenarna utan vatten på mitten. Det ljusa avkolade skiktet uppskattades då till 8 mm. Stenarna skrapades rena för hand tills de upplevdes hårda, en stor del av det bortskrapade materialet var svart, se figur 12. Därefter vägdes stenarna. Vikterna efter försöken finns redovisade i tabell 6.

Tabell 6. Utvägda stenar efter försök 1 (sammanlagd invikt 8,9 kg)

Tegelbit	Vikt efter (kg)
1	1,34
2	1,04
3	1,15
4	1,06
Totalt:	4,59

Vikten på provteglens minskade från totalt 8,9 kg till 4,6 kg dvs. 48,4 % av initial massa försvann under förvärmningen. Det kan påpekas att denna siffra inkluderar avdriven fukt, flyktiga kolväten förutom oxiderat kol.



Figur 12. Bild på nytt tegel (t.h.) och tegel efter försöket (mitten) samt en närbild på en tegelbit som borstats ren från löst material (t.v.).

Försök 2- Understökiometrisk förbränning samt slaggsikt.

Stenarna skrapades rena för hand tills de upplevdes hårda, en stor del av det bortskrapade materialet var svart. På tegel utan skyddande slaggsikt kunde ca 2 mm avkolat material avlägsnas från ytan. För teglen skyddade med slagg syntes inget ljusare avkolat tegel under slaggsiktet. Det var även mycket lite av den fortfarande svarta delen som upplevdes som porös.

Tabell 7. Resultat av försök 2

Tegelbit	Vikt före (kg)	Vikt efter (kg)	Förlust (kg)	Förlust (%)
Oskyddad	2,75	1,97	0,78	28
Slagg 2	3,82	2,01	1,81	47
Slagg 3	2,25	1,13	1,12	50

Bilder på oskyddat tegel och tegel med slaggsikt före och efter försöken finns i figur 13 resp. 14.



Figur 13. Oskyddat tegel (t.v.) Tegel med en sida täckt med slagg (t.h)



Figur 14. Försök 2. Oskyddat tegel (t.v.) och tegelbit 2 skyddad med slagg på ena sidan (mitten) samt tegelbit 3 skyddad med slagg på ena sidan (t.h.)

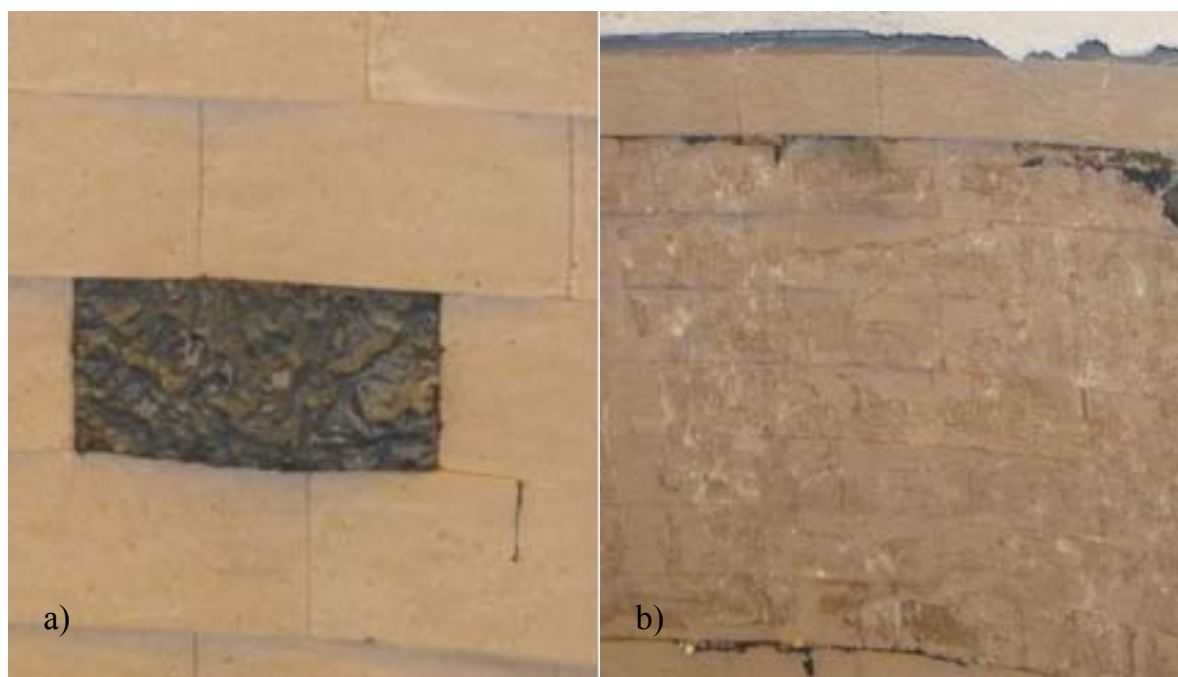
Dessa två försök (1 och 2) kan ses som orienterande för fortsatta försök med respektive utan slaggsikt samt varierande av avgassammansättning. Det bör noteras att teglens form spelar en stor roll i försöken i och med olika ytarea. I och med detta bör inte oskyddade tegel från försök 1 jämföras med motsvarande i försök 2. Däremot finns indikationer på förbättringar med skyddande slaggsikt, vilket noterades vid den visuella inspektionen efter försöken. I och med att 5 sidor av teglen med slaggsikt är oskyddade bör dess totala viktsförändring inte jämföras kvantitativt med andra provtegel. Dessutom var teglen täckta med slagg mer oregelbundna i formen, vilket ytterligare ökar ytarean. Det är dessutom sannolikt att dessa tegel kan ha varit delvis avkolade redan innan försöken.

4.1.4 Driftförsök vid SSAB EMEA Oxelösund

Fullskaleförsök utfördes med syftet att undersöka om avkolning av MgO-C tegel kan undvikas genom att täcka ytan med rostfri folie.

Efter den inledande torkningen (800 °C) hade det oskyddade teglets yta ljusnat något, dock fanns inga tecken på någon omfattande avkolning. Ytan på den rostfria folien hade mörknat något, men var i övrigt intakt.

Efter avslutad förvärmning (1250 °C i 12 timmar) kunde kraftig oxidation av den rostfria folien observeras. Det fanns även klart synliga tecken på avkolning i den oskyddade delen. Figur 15 a) och b) visar foton på tegel skyddade enligt metod 1 resp. 2 efter avslutad förvärmning.



Figur 15. Skyddade tegel efter avslutad förvärmning a) enligt metod 1 och b) enligt metod 2.

Uppmätning av avkolningsdjup utfördes på 7 olika positioner. Dessa är utmärkta i figur 16. Vid varje position uppmättes djupet på skyddat respektive oskyddat material.



Figur 16. De olika positionerna för mätning av avkolningsdjup.

Resultaten från mätningarna återfinns i tabell 8.

Tabell 8. Uppmätta avkolningsdjup vid de olika positionerna.

Position	Oskyddat tegel (U) mm	Skyddat tegel (P) mm	U-P mm	% Red.
1	9,72	3,94	5,78	60,06
2	10,18	5,64	4,54	44,60
3	8,97	4,65	4,32	48,16
4	9,77	3,55	6,22	63,66
5	9,43	5,87	4,32	48,16
6	10,26	7,5	2,76	26,90
7	8,68	4,32	4,36	50,23
Medelvärde:	9,57	5,07	4,61	48,82

4.2 Undersökning av korrosionsreaktioner mellan slagg och tegel

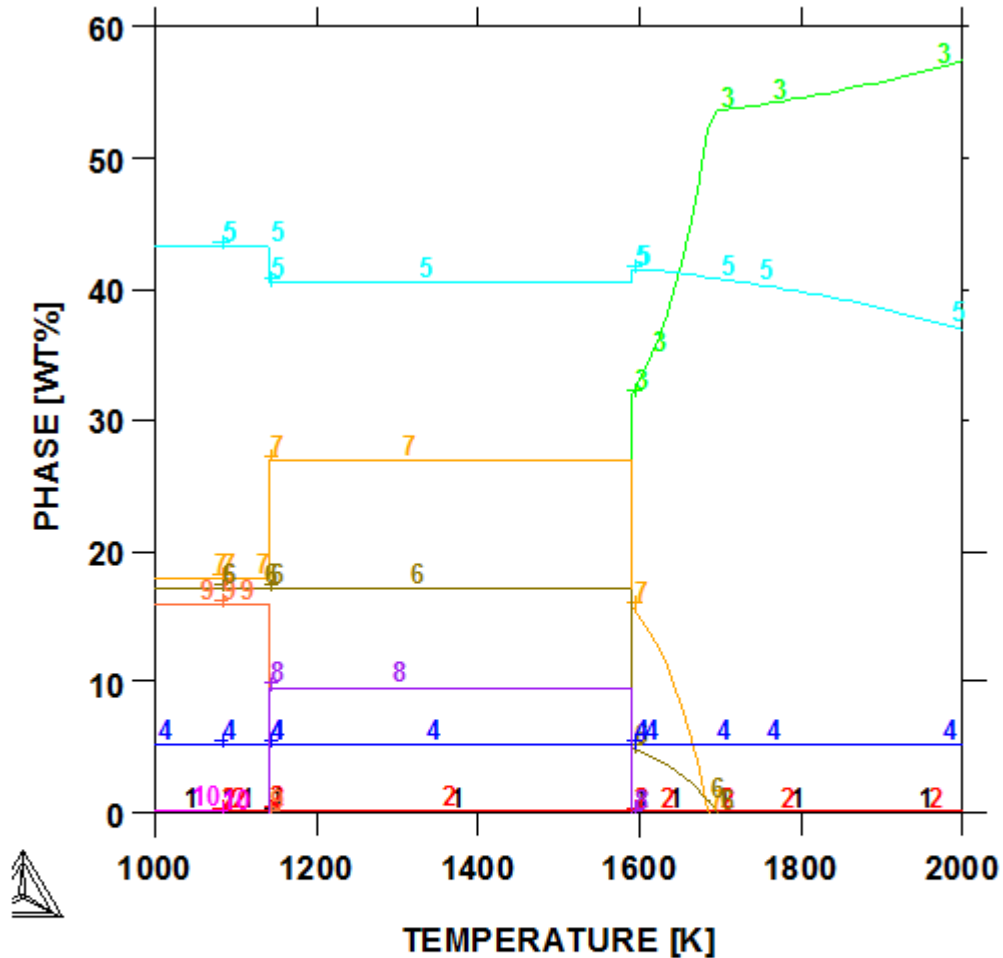
Inverkan av slaggens sammansättning och raffineringstemperatur på korrosionsbenägenheten har studerats både m.h.a. laboratorieförsök och termodynamiska beräkningar. Dels har rena raffineringsslagger undersökts (4.2.1), dels effekten av medföljande slagg från ljusbågsugnen (4.2.2).

4.2.1 Korrosion mellan MgO-C infodringsmaterial och raffineringsslagg

4.2.1.1 Beräkningsresultat

Simulering av reaktionerna mellan slagg och MgO-C-tegel utfördes. Under stålraffineringprocessen kommer slaggen och det eldfasta materialet (MgO-C) att reagera med varandra. Detta kan leda till reaktionsprodukter som förändrar egenskaperna på det ursprungliga eldfasta materialet.

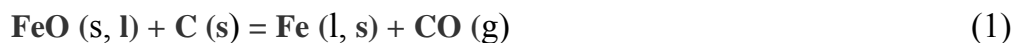
Fig. 17 visar produkterna av reaktionerna mellan en typisk slagg som användes vid stålraffinering (Tabell 1, slagg 2) och MgO-C-tegel i skänkens slagglinje.



- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1:T,BP(GAS) | 6:T,BP(CA3O3_SIO2) |
| 2:T,BP(Fe_LIQUID) | 7:T,BP(CA3O3_AL2O3) |
| 3:T,BP(SLAG) | 8:T,BP(MGO_AL2O3) |
| 4:T,BP(GRAPHITE) | 9:T,BP(CAO_AL2O3) |
| 5:T,BP(MGO) | 10:T,BP(WUSTITE) |

Figur 17. Simuleringsresultat av interaktionen mellan MgO-C-eldfast material och raffineringslagg innehållande 6% MgO (Tabell 1, slagg 2)

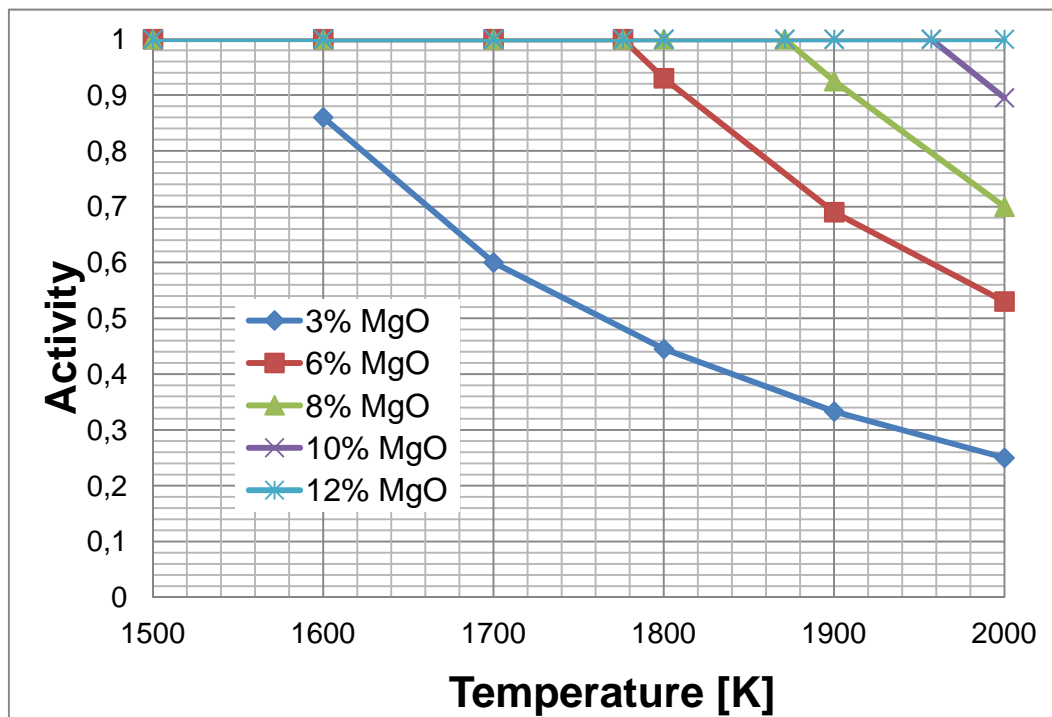
Enligt resultaten från beräkningen, se figur 17, leder denna interaktion huvudsakligen till bildning av $MgAl_2O_4$ spineller (MA), kalciumaluminater och kalciumsilikater. Eftersom $MgAl_2O_4$ spinell har en hög smältpunkt, är det möjligt att den eventuellt upplöses av den silikatrika flytande slaggen i systemet under stålraffineringen. Mängden flytande slagg som visas i figur 17 är högre än det initiala värdet på 0,050 kg. Detta tyder på att upplösningen av produkterna från reaktionerna mellan slaggen och det eldfasta materialet sker i den flytande slaggen. Vid sidan om detta hittar man även en smält Fe-fas. Denna fas uppkommer från reaktioner mellan järnoxid och grafit i det eldfasta materialet enligt reaktionen:



Simuleringsresultaten har också visat att lättreducerade oxider såsom "FeO" i slaggen eller i det eldfasta materialet ökar oxidationen av grafit i det eldfasta teglet enligt reaktion 1.

Under stålraffineringsprocessen är slagglinjeteglen kontinuerligt attackerad av flytande slag. Denna process fortsätter tills slaggen är mättad med komponenterna i det eldfasta materialet. Kunskap om mättnadshalter av MgO i stålraffineringsslaggar är viktigt för att kunna minimera slitaget av MgO-C tegel. När aktiviteten hos MgO i slaggsfasen är lika med 1 är slaggen mättad med MgO och detta skyddar det eldfasta från upplösning.

MgO-halten i slaggen varierades mellan 1 och 12 viktsprocent i beräkningarna. Enligt simuleringsresultaten i figur 18, kommer en typisk slag ($\sim 6\%$ MgO) som används vid stålraffineringen att vara mättad på MgO (aktivitet av MgO = 1) tills något under 1800 K. Ovanför denna temperatur måste magnesiumoxidhalten i slaggen öka successivt med temperaturen för att upprätthålla mättnad. Om inte, kommer det eldfasta materialets MgO att konsumeras för att kompensera för den ökande mättnadslösligheten för magnesiumoxid i slaggsfasen. Simuleringsresultaten visar att slaggen måste mättas med MgO i syfte att minska risken för upplösning av det eldfasta materialet.



Figur 18. Simuleringsresultat från inverkan av temperatur och slaggsammansättning på MgO-aktiviteten i slaggsfasen under stålraffinering. Slaggsammansättningen baseras på slag 2 från tabell 1. (54% CaO, 6% MgO, 32% Al₂O₃, 8% SiO₂)

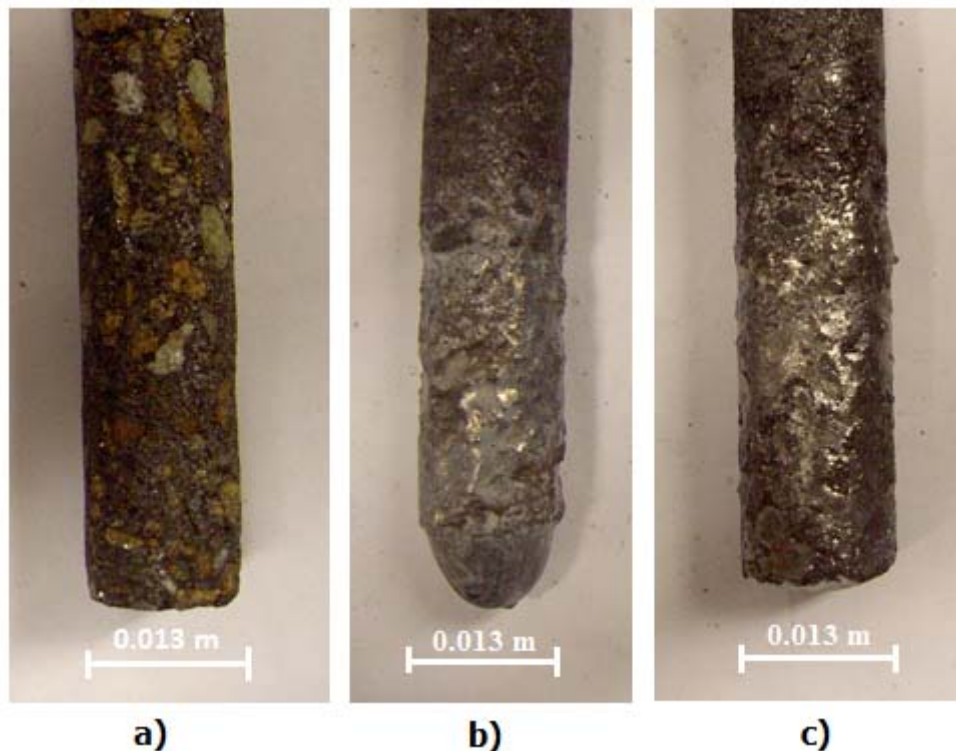
4.2.1.2 Experimentella resultat - raffineringsslagg

Huvudsyftet med experimenten var att undersöka kinetiken för korrosion av MgO-C-tegel i slagglinjen under stålraffineringsprocessen genom att variera slaggsammansättningen. Från uppmätningen av proverna beräknades den genomsnittliga minskningen i radie såsom visas i tabell 9. Medelradien användes senare vid beräkning av massöverföringskoefficienten för upplösningssprocessen.

Tabell 9. Experimentella resultat.

T [Kelvin]	Δr [cm]	C_m [wt-%]	C_s [wt-%]	$C_s - C_m$ [wt-%]	t [s]	$-dr/dt$ [cm/s]	K [cm/s]
1873	0.014	0	9.71	9.71	2700	5.31×10^{-6}	5.88×10^{-5}
1873	0.026	0	9.71	9.71	5400	4.77×10^{-6}	5.28×10^{-5}
1873	0.034	0	9.71	9.71	8100	4.15×10^{-6}	4.59×10^{-5}
1873	0.008	6	9.71	3.71	2700	3.07×10^{-6}	8.91×10^{-5}
1773	0.009	6	7.85	1.85	5400	1.67×10^{-6}	9.69×10^{-5}
1823	0.014	6	8.78	2.78	5400	2.66×10^{-6}	1.03×10^{-4}
1873	0.020	6	9.71	3.71	5400	3.66×10^{-6}	1.06×10^{-4}
1923	0.028	6	10.98	4.98	5400	5.19×10^{-6}	1.12×10^{-4}
1873	0.028	6	9.71	3.71	8100	3.49×10^{-6}	1.01×10^{-4}
1873	0.007	10	9.71	Övermättad	2700	2.65×10^{-6}	Övermättad
1873	0.010	10	9.71	Övermättad	5400	1.85×10^{-6}	Övermättad
1873	0.012	10	9.71	Övermättad	8100	1.48×10^{-6}	Övermättad
1873	-	12	9.71	Övermättad	2700	-	Övermättad
1873	-	12	9.71	Övermättad	5400	-	Övermättad
1873	-	12	9.71	Övermättad	8100	-	Övermättad

Figur 19 visar slaggsammansättningens betydelse för korrosion av MgO-C-stavarna. Minskningen i stångdiameter ökar med en minskad halt MgO i slaggen. Detta är i god överensstämmelse med de termodynamiska simuleringsresultaten i fig. 18. Dessutom leder en ökning av rotationen till mer erosion av det elffasta materialet. Minskningen i diameter hos provstavarna visade en linjär relation med tiden för experimentet. Detta innebär att en ökning av stålets raffineringstid med en hög konvektion i skänken leder till en större förslitning i slagglinjzonen i skänkarna vid industriella betingelser.



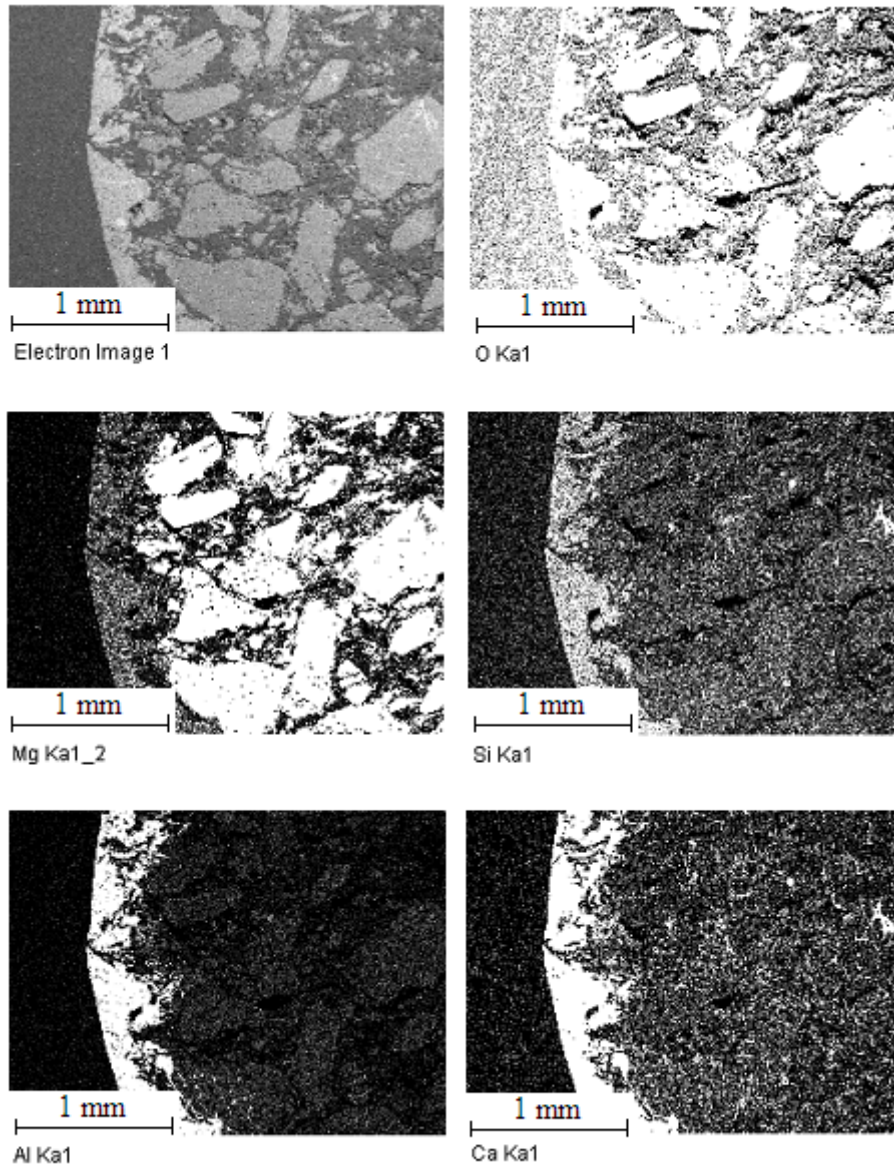
Figur 19. Provtuseende efter laboratorieförsök vid 1873 K, 200 rpm rotationshastighet, och rotationstiden 5400 s. a) Oanvänt prov, b) i kontakt med slagg innehållande 6 % MgO, i kontakt med slagg innehållande 12 % MgO.

Såsom framgår av figur 19, är upplösningshastigheten av MgO-C-eldfast påverkad av innehållet av MgO i slaggfasen. En lägre upplösningshastighet uppnås när MgO-halten i slaggen ökas från det nuvarande medelvärde av 6 viktprocent till 12 viktprocent. Dessutom kan den eldfasta upplösningen hållas vid mycket låga nivåer eller möjligen förhindras vid en ökande kontakttid med slaggen med 12 % MgO. Efter försöken fann man även att teglets yta var täckt av glasyr, eller ”ladle glaze”. Detta var mest påfallande i proverna med initialt 12 vikt-% MgO.

För verkliga industriella förhållanden kan uppbyggnaden av glasyren spela en viktig roll när det gäller förslitning av skänkens foder. Detta är speciellt sant för de efterföljande chargerna, där det kan leda till en ökad livslängd. I och med häftig konvektion under experimenten, är det möjligt att glasyren uppkom då provet avlägsnades från ugnen. Det är också troligt att den större mängden glasyr på provet med 12 vikt-% MgO kan ha uppkommit p.g.a. högre viskositet eftersom provet är mättat på MgO.

4.2.1.3 Post-mortem undersökningar av raffineringsslag

Post-mortemstudier av MgO-C-provstavar efter laboratorieexperiment visade att slagg hade trängt in så djupt som 0,4 mm i den eldfasta strukturen som visas i figur 20.



Figur 20. Kartläggning av gränssnittet slagg/eldfast efter nedsänkning av MgO-C-stav i en slagg innehållande 0% MgO under 5400 s vid 200 rpm och 1873 K. Figuren illustrerar slaggens inträngning i det eldfasta materialet.

Penetrationen av slagg i den eldfasta mikrostrukturen skedde främst vid gränsen mellan MgO-partiklarna. De mekanismer som är involverade i korrosionsprocessen är penetration, upplösning och reaktioner mellan det eldfasta materialet och slaggen. Detta leder till en omvandling av mikrostrukturen i det eldfasta materialet med samtidig erosion som bryter ned materialet.

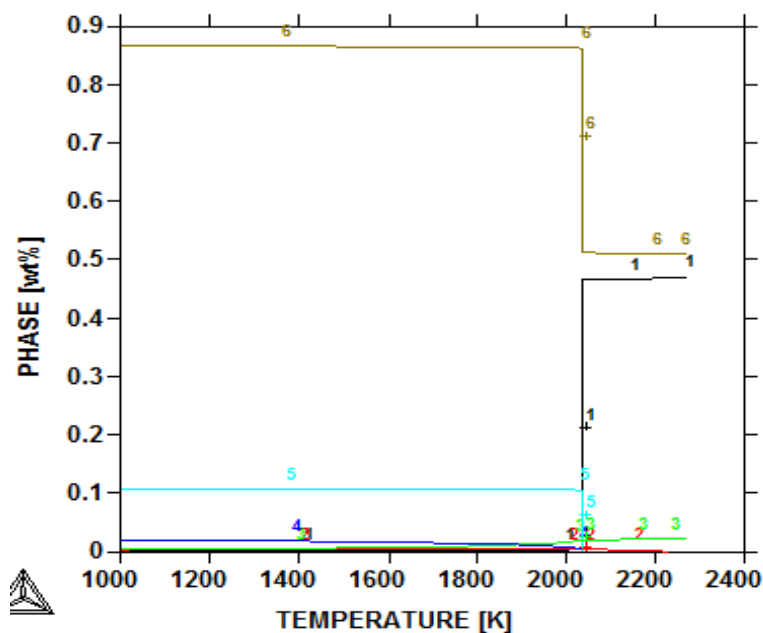
En närmare studie av MgO-C-stavarnas mikrostruktur efter laboratorieexperiment visade närvaro av $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (MA) spineller, kalciumaluminater och kalciumsilikater i slaggfasen. Dessa spineller är möjligen produkter från reaktionerna mellan MgO (infodring) och aluminiumoxid i slaggfasen. Emellertid kunde inga MA spineller observeras mellan den vidhäftade slaggfasen och ytan av MgO-C-staven efter experimenten.

Frånvaron av MA spineller på ytan samt inuti de öppna porerna hos MgO-C-stavarna indikerar att upplösningsprocessen var direkt, och leder därför till en hög upplösnings-hastighet av det eldfasta materialet.

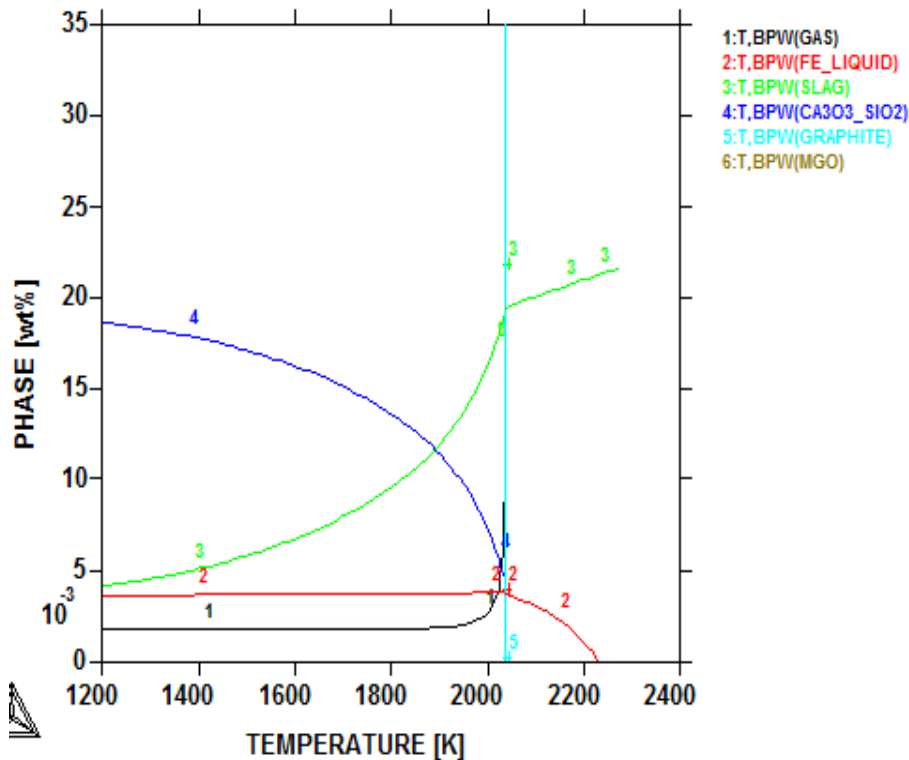
4.2.2 Korrosion mellan MgO-C material och medföljande slaggl från ljusbågsugnen

4.2.2.1 Termodynamiska beräkningar

Resultatet av termodynamiska simuleringar för det eldfasta materialet som används för studien ges i figur 21 och 22 (sammansättning visad i tabell 1). Det eldfasta materialet innehåller föroreningar som genomgår förändring när materialet tas i drift. De föroreningar som inkluderar CaO, Fe₂O₃ och SiO₂ reagerar för att bilda en fas med låg smältpunkt i det eldfasta materialet.



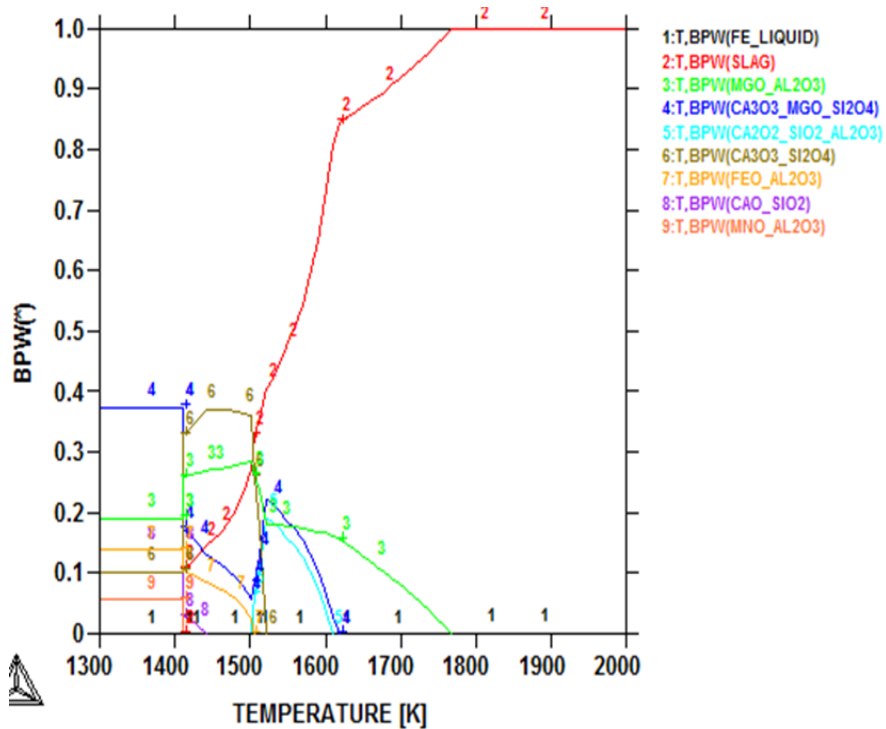
Figur 21. Simuleringsresultat av den omvandling som sker i tegel med ökande temperatur.



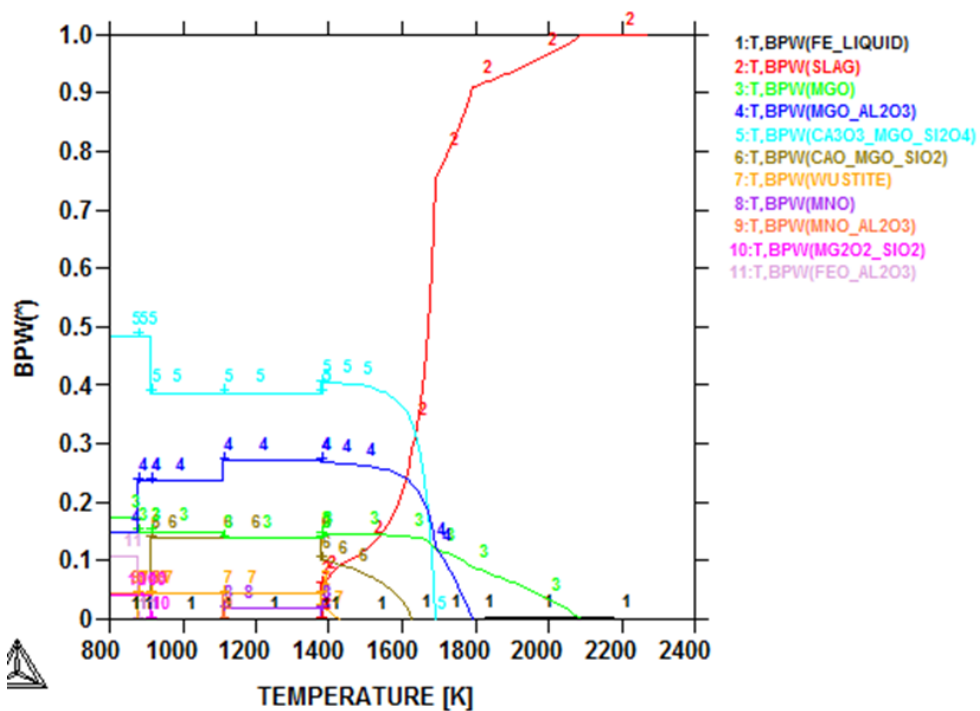
Figur 22. Simuleringsresultat som visar omvandlingar i tegel vid olika temperaturer. Visar förstora resultat av den nedre delen av figur 21.

Resultatet av beräkningarna visar bildningen av olika faser i det elffasta teglet med ökande temperatur. Sex faser är närvarande över 1800 K. En gradvis upplösning av trikalciumsilikatfasen in i slaggfasen observeras, vilket resulterar i en ökning av mängden flytande fas inne i det elffasta materialet.

Figur 23 och figur 24 visar termodynamiska simuleringar av de två typerna av ljusbågsugns slag (sammansättningarna visas i Tabell 1) som användes för undersökningen. Som framgår av figurerna innebär MgO-mättnad av slaggen vid raffineringstemperatur en minskad upplösning av MgO från infodringen. Den låga halten av MgO i slag 1 ökar alltså tendensen av upplösning till slaggfasen.



Figur 23. Simuleringsresultat av den omvandling som sker i slagg 1 med ökande temperaturer.



Figur 24. Simuleringsresultat av den omvandling som sker i slagg 2 med ökande temperaturer.

4.2.2.2 Experimentella resultat – LB-slagg.

Laborarieexperiment utfördes för att simulera effekten av de två slaggsammansättningarna (slag 1 och slag 2 enl. Tabell 1) på MgO-C stavar. Figur 25 visar utseendet på provstavarna efter experimenten i jämförelse med en oanvänd referensstav.

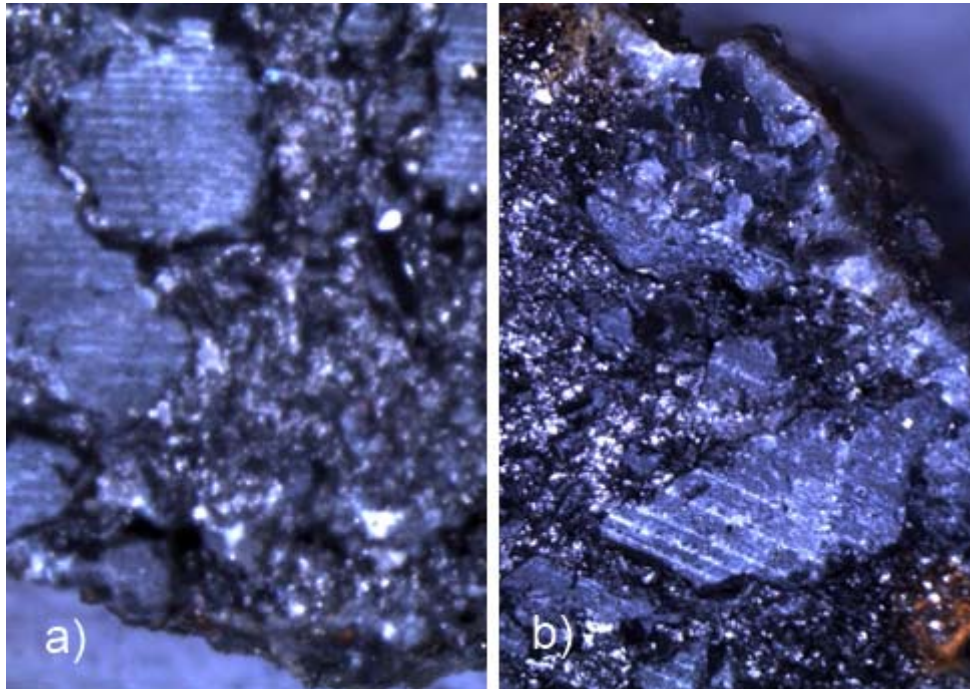


Figur 25. Utseende på provets yta efter nedsänkning i slaggen vid 1650°C i 60min och med en rotations hastighet på 200 rpm.

I figur 25 observeras korrosion på de stavar som varit nedsänkta i båda slaggtyperna. Bilden visar relativt likformig upplösning på ytan av provet nedsänkt i slag 1. Likaså har ett relativt likformigt tunt slaggsikt bildats på det nedsänkta provet i slag 2. Tjockleken hos det tunna bildade slaggsiktet var mindre än 1 mm.

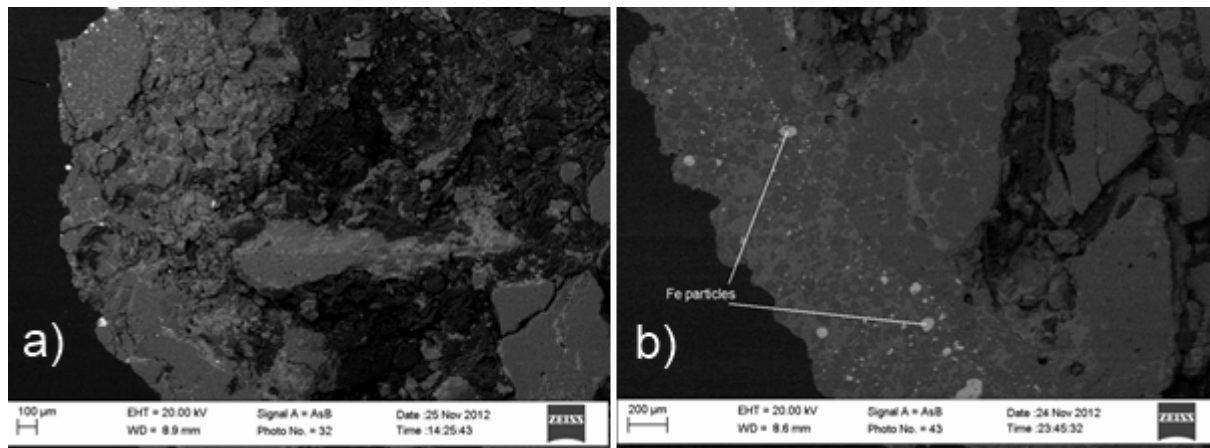
4.2.2.3 Post-mortem studier av prover.

Ett tvärsnitt av proverna visas i figur 26. Man ser att ytan på provet nedsänkt i slag 1 (figur 26 a) är mycket mer avkolad än ytan på provet nedsänkt i slag 2 (figur 26 b). Vissa avkolningseffekter kan också observeras i den inre delen av provet. Det var också i viss utsträckning en slaggenpenetration in i porerna hos det eldfasta materialet till följd av låg viskositet hos slaggen för provet nedsänkt i slag 1. Inträngning av slag i provet ökar graden av avkolning vid den inre delen av provet. Provet nedsänkt i slag 2 har låg avkolning i tvärsnittsytan jämfört med provet nedsänkt i slag 1. Avkolning i prov nedsänkt i slag 2 skedde främst vid gränssiktet slag/eldfast. Avkolade zoner observeras precis under slaggsiktet. Detta kan förväntas eftersom liten eller ingen slaggenpenetration in i materialet observerades för provet nedsänkt i slag 2. Detta kan bero på mättnad av MgO i slag 2 samt en högre viskositet som kan ha hämmat penetrationen.



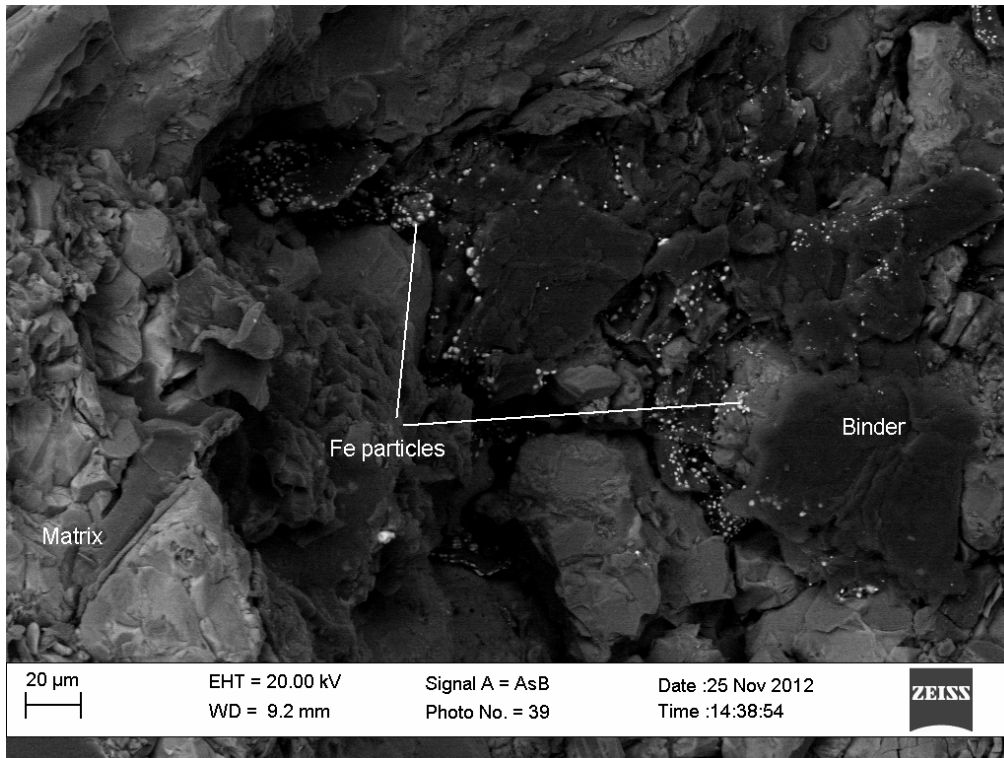
Figur 26 Tvärsnitt av prov nedsänkt i slagg 1 (a) och slagg 2 (b).

SEM-EDS analyser genomfördes på provstavarna efter experimenten. Resultaten visar skillnader i utseende och mikrostruktur vid den varma ytan av proverna i kontakt med slagg 1 och slagg 2, såsom visas i figur 27.



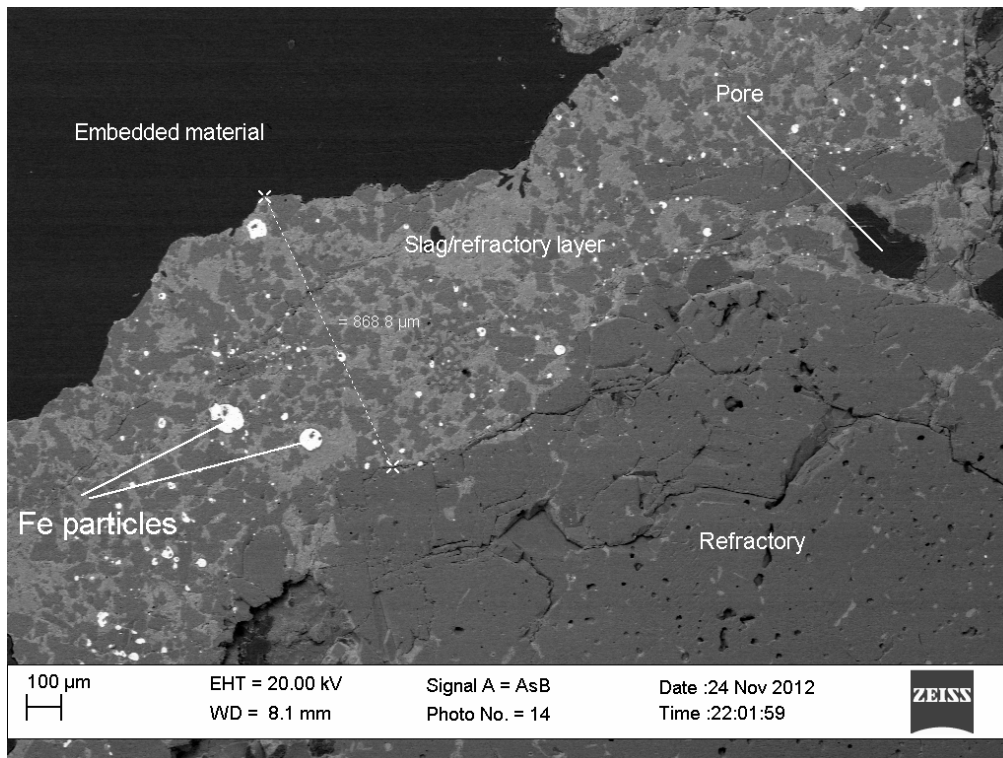
Figur 27. BSE bilder av den varma ytan av prover nedsänkta i slagg 1 (a) och slagg 2 (b).

I figur 27 a) observeras inget tunt slaggsikt på ytan av provet som varit i kontakt med slagg 1. Omfattande avkolning observeras i områden nära den heta ytan av provet. Fe partiklar sågs både vid den heta ytan av provet och längre bort mot centrum av provet, såsom visas i figur 28. Detta kan vara en indikation av graden av avkolning av provet som antas ske enligt reaktion 1 (sid 29).



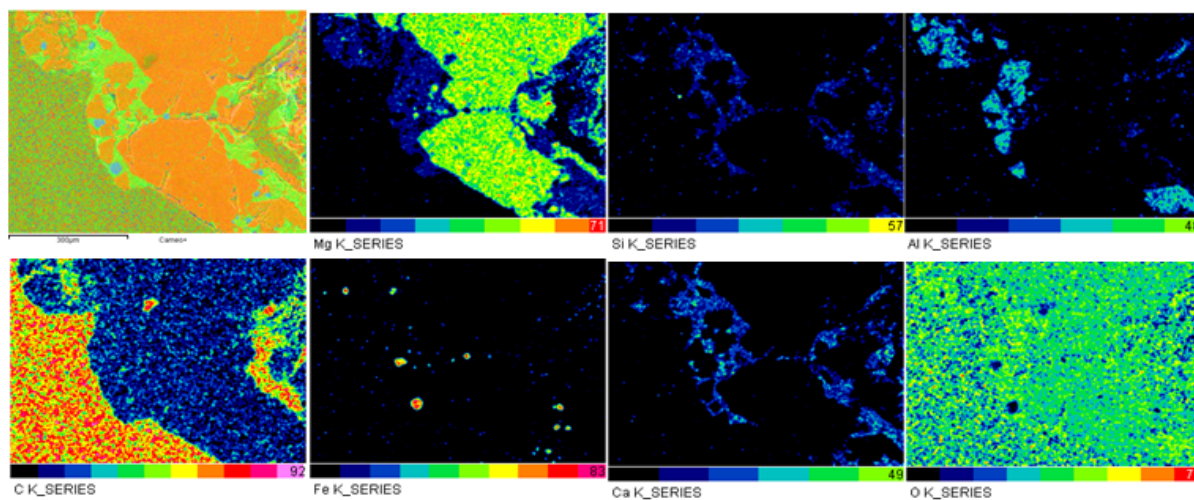
Figur 28. BSE bild av provet nedsänkt i slagg 1, visande Fe partiklar mot centrum av provet.

Ett tunt slaggsikt rikt på Fe partiklar (vit färg) och spinell observerades vid ytan av provet i kontakt med slagg 2. Fe partiklar observerades vid gränssytan mellan det tunna slaggsiktet och det eldfasta materialet, såsom visas i figur 27 b och figur 29. De utfällda Fe- partiklarna vid gränssytan mellan det eldfasta materialet och slaggsiktet visar att avkolning skett vid gränssytan. Inga Fe partiklar observerades längre bort från provets heta yta.

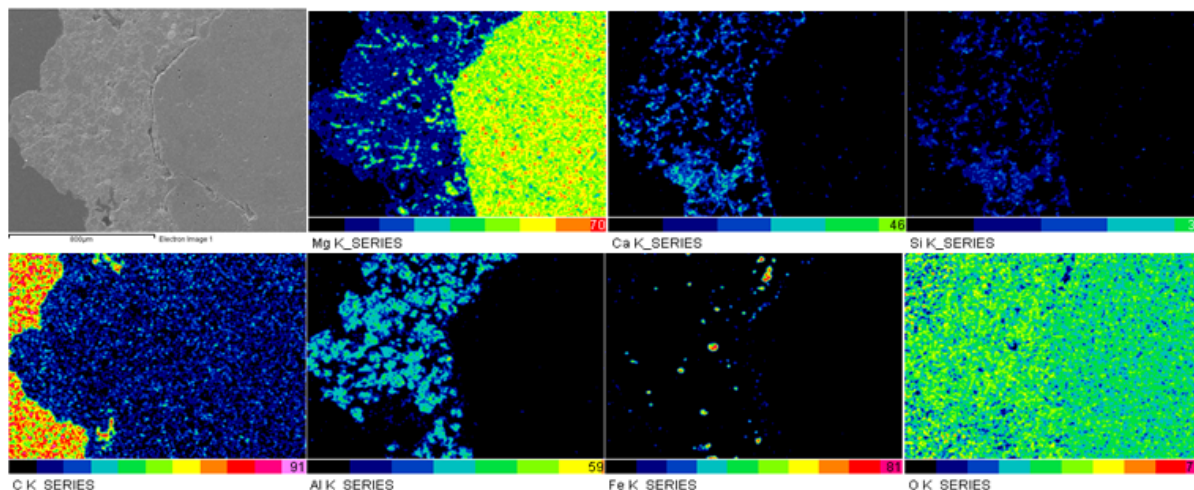


Figur 29. BSE bild av den varma ytan av provet nedsänkt i slag 2 som visar Fe i slagskiktet vid den varma ytan.

Faskartläggning av den varma ytan av proverna utfördes. Kartläggningen i figur 30 och 31 visar den varma sidan av proven nedsänkt i slag 1 respektive slag 2. Man kan observera slaggenetration genom korngränserna i matrisen och i bindefasen. Fe partiklar observeras längs korngränserna och i bindefasen. Detta är ett resultat av reaktionen mellan "FeO" från slaggen och kolet i det eldfasta materialet enl. reaktion (1).



Figur 30. Faskartläggning av gränssnittet slag/infodring efter nedsänkning av MgO-C stav i slag 1.

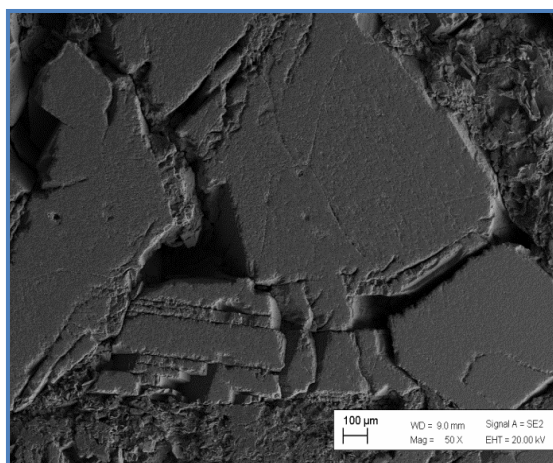


Figur 31. Kartläggning av gränssnittet slagg/infodring efter nedsänkning av MgO-C teststången i slagg 2. Figuren visar strukturen vid gränssytan tegel/slagg 2.

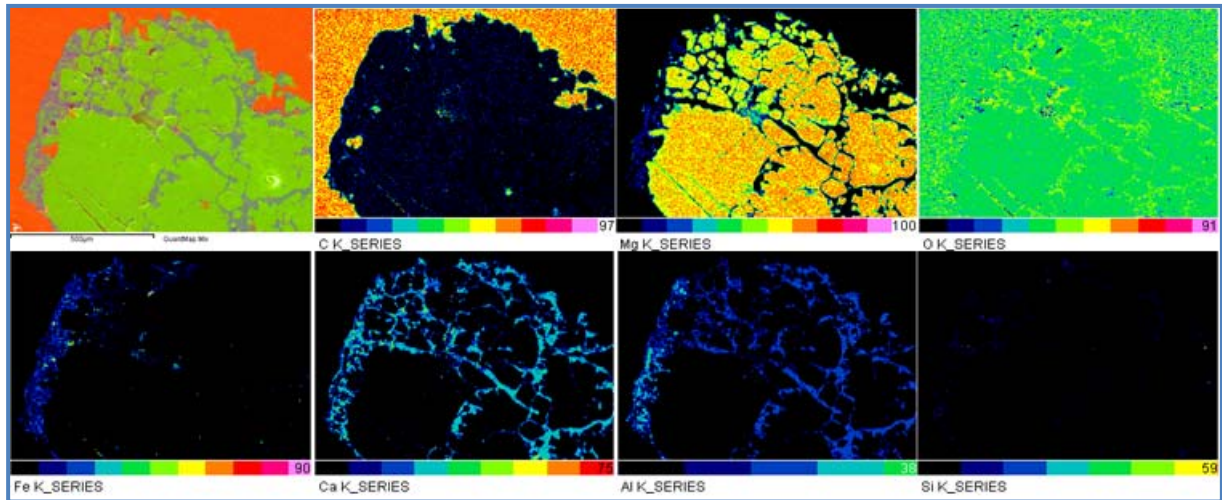
4.2.2.4 Post- mortemstudier av använda MgO-C eldfasta material från industrin

Resultatet av SEM-analyser av de industriella proverna av MgO-C tegel tagna från slaggzonen presenteras i detta avsnitt. Figur 32 visar en deformationerad struktur av ett använt MgO-C tegel. Deformationen kan bero på utmattningspåkänning på grund av den cykliska belastningen av skänken. Deformationen resulterar i bildning av makrosprickor som underlättar inträngning av slagg i den eldfasta infodringen.

En kartläggning av strukturen i använt tegel visas i figur 33. Det finns penetration av slagg i teglen. Slaggen består huvudsakligen av kalciumaluminatföreningar.



Figur 32. Struktur för använt MgO-C tegel från slagglinjen i industriell stålskänk.



Figur 33. Kartläggning av strukturen av de använda teglen.

5 SLUTSATSER

Slitaget av tegel i stålskänkars slagglinjer är en kombination av ett antal olika korrosionsmekanismer. Vissa av dessa mekanismer kan direkt härledas till de förhållanden som råder vid skänkbehandlingen såsom temperatur och slaggsammansättning. Dessa är valda utifrån ett processperspektiv där hög kvalitet och optimal produktivitet är de främsta målsättningarna. Samtidigt kan man se att valet av processtemperaturer och slaggsammansättningar oftast är en sund kompromiss mellan produktivitet, acceptabelt foderslitage och energiförbrukning. Några exempel är att användandet av flussmedel (t.ex. CaF_2) anses så aggressivt mot slagglinjeteglet att den ökade produktiviteten inte uppvägs. Andra exempel är s.k. freeze-lining där slagglinjen kyls till sådan grad att ett stelnat slaggsikt fungerar som slitfoder under processen. Här anses inte minskningen i foderslitage uppväga den ökade energiförbrukningen.

I och med detta fanns anledningar att undersöka hur andra ”sidoprocesser” påverkar konsumtionen av MgO-C tegel i skänkars slagglinje, och hur denna påverkan kan minimeras. Stora delar av projektet har därför koncentrerats till hur teglet kan skyddas under förvärmningen av skänkar. Vid sidan av detta har det även undersökts hur medföljande slagg från primärugnen (i detta fall EAF) kan komma att påverka slitaget i skänkens slagglinje.

5.1 Slutsatser av ”Undersökning av ytoxidation av slagglinjetegel”

- Vid torkning/förvärmning av MgO-C-tegel konsumeras en betydande del av materialet. Under driftlika förhållanden har det visat sig att upp till 10 mm har oxiderats under förvärmning/torkning efter 12 timmar vid 1250 °C. Vid försöken i kammarugn uppmättes oxiderat material t.o.m. på ca 25 mm djup.
- Projektet har visat att oxidation vid torkning (upp till 1000 °C) helt kan undvikas då teglet täcks med rostfri folie (AISI 309, 0.05 mm)
- Projektet har visat att oxidationen vid förvärmning (upp till 1250 °C) kan minskas med upp till 60 % då rostfri folie (AISI 309 0.05 mm) används som ytskydd.
- Beräkningar utifrån en initial tjocklek på 7” (≈ 180 mm) och ett tillgängligt slitskikt på 130 mm innebär att användandet av rostfri folie ger en potentiell förbättring på 6-7 % (9 mm observerad förbättring) vid torkning av skänkar upp till 1000 °C. Vid förvärmning vid 1250 °C observerades en förbättring på ca 5 mm. Detta innebär en potentiell förbättring på ca 3-4 %. Detta innebär således att projektets mål delvis är uppfyllt.

5.2 Slutsatser av ” Undersökning av korrosionsreaktioner mellan slagg och tegel”

- Initial halt MgO i raffineringsslaggen har stor betydelse för slagglinjeteglets livslängd. Vid rotationsförsök med slagger innehållande 12 vikt-% MgO uppmättes ingen korrosion efter 87 min reaktionstid vid 200 rpm och 1873 K.
- Medföljande FeO från primärugnen (EAF i detta fall) kan oxidera kol i MgO-C-tegel. Post-mortemundersökningar av prover från rotationstester i FeO-innehållande slagger påvisade avkolning och närvaro av järndroppar.

Vid sidan om de undersökningar som gjorts i projektet har frågan om praxis vid olika "sidoprocesser" sett nytt ljus hos de deltagande företagen. Förvärmningspraxis och oxidation av kol i MgO-C-tegel, effekten av "glasyr" eller "ladle glaze" på avkolning under drift är exempel på områden som kan vara intressanta. Dessa insikter tillsammans med de resultat som uppnåtts möjliggör en minskad konsumtion av MgO-C tegel. Effekterna av detta är då:

- Minskade kostnader per ton producerat stål.
- Minskad förbrukning av naturresurser.
- Fler antal charger per skänk ger färre nyinstallationer och därigenom minskad energiförbrukning för torkning/förvärmning.

6 FÖRSLAG PÅ FORTSATTA FORSKNINGS- OCH IMPLEMENTERINGSINSATSER

Inga implementeringsinsatser annat än utförda fullskaleförsök har gjorts.

Under projektets gång har det blivit tydligt att materialvalet för skyddande material vid torkning/förvärmning av stålskänkar har en avgörande betydelse för dess verkan. Det är tydligt att oxidation under torkning (1000 °C) helt kan undvikas med den rostfria folie som använts i försöken. Och andra sidan klarade inte samma folie att helt skydda teglet vid driftsförsöken vid 1250 °C. Det är helt klart att prestationen skulle förbättras om en mer temperaturbeständig folie kunde användas. Just AISI 309 är, oss veterligen, det mest temperaturbeständiga folie som serietillverkas i dagsläget. Intressanta kandidater för ändamålet är folie av AISI 310 samt 253 MA. Dessa kan enligt uppgift från en tillverkare köpas i hela rullar.

Gällande målsättningen med ”effektivisering av keramiska haveriutredningar” så återstår detta arbete. Svårigheterna med den typen av undersökningar är att havererade skänkar måste återtas i drift omgående. Omfattande undersökningar av havererade skänkar skulle i många fall innebära långa tider ur drift.

7 REFERENSER

- [1] Treadgold C.J., Bain K.J., Boue-Bigne F., Tonelli M., Cirelli J., Pötschke J., Deinet T., Betlehem-Seidel S., *The determination and elimination of the effect of antioxidants in magnesia-carbon bricks on steel composition and inclusion formation*. ECSC 7210-PR/206, rapport EUR 21446 (2006).
- [2] *Steel ladle refractories Étude du comportement thermomécanique des revêtements réfractaires de poches à acier*. ECSC 7210-CE/302, rapport EUR 12137.
- [3] Normanton A.S., Walker F., Butter J.A.M., Mink P., *Thermal stressing in stirring elements used in basic oxygen furnaces*. ECSC 7210-CB/807,601, rapport EUR 12962 (1990).
- [4] Eriksson J., Wahlberg H., Isokääntä S., Mizelli H., Retschnig A., *Strengthened scrap impact area in BOF converters*. RFCS RFSR-CT-2006-00003, rapport EUR 25349 (2013).
- [5] Aslanolu Z., *Performance of a ceramic frit anti-oxidation coating on a MgO-C refractory brick*, Ceramics International, Volume 37, Issue 8, December 2011, Pages 3419-3423.
- [6] Campos K.S., Lenz E Silva G.F.B., Nunes E.H.M., Vasconcelos W.L., *The influence of B4C and MgB2 additions on the behaviour of MgO-C bricks*, Ceramics International, Volume 38, Issue 7, September 2012, pages 5661-5667.
- [7] Gokce A.S., Gurcan C., Ozgen S., Aydin S., *The effect of antioxidants on the oxidation behaviour of magnesia-carbon refractory bricks*, Ceramics International, Volume 34, Issue 2, March 2008, Pages 323-330.
- [8] Jansson S.A., Brabie V.B., Jönsson P.G., *Corrosion mechanism of commercial MgO-C refractories in contact with different gas atmospheres*, ISIJ International, Volume 48, Issue 6, 2008, Pages 760-767.
- [9] Nandy S.K.A. , Ghosh N.K.B., Das G.C.C., *“Oxidation kinetics of MgO-C in air with varying ash content”*, Advances in Applied Ceramics, Volume 104, Issue 6, December 2005, Pages 306-311.

BILAGA 1 – PROJEKTORGANISATION OCH MEDVERKANDE

Forskningskommitté

JK23090 Stabila och säkra slagglinjeteget

Projektperiod

2011-01-05 till 2012-12-31

Ordförande

Fredrik Dahl SSAB EMEA Oxelösund

Projektkoordinator

Johan Eriksson Swerea MEFOS AB

Forskningschef

Lars-Henrik Österholm Jernkontoret

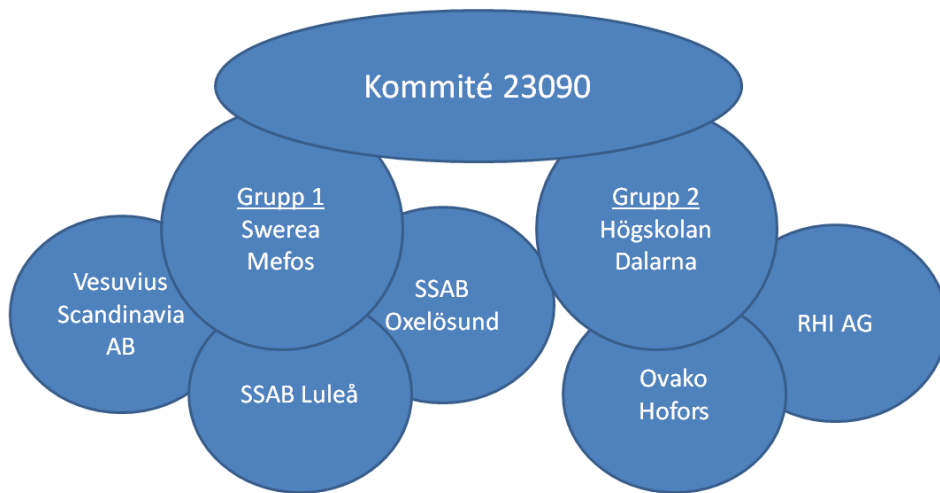
Industrimedlemmar

Robert Eriksson	Ovako Hofors AB
Marcus Svadling	Ovako Hofors AB
Christer Juntti	RHI Refractories Nord AB
Jukka Vatanen	Ruukki Metals Oy
Håkan Wahlberg	SSAB EMEA Luleå
Patrik Wikström	SSAB EMEA Luleå
Karin Steneholm	Uddeholms AB
Timo Kettunen	Vesuvius Scandinavia AB

Adjungerade forskare

Voicu Brabie	Högskolan Dalarna
Frank Hayford	Högskolan Dalarna
Ismail Kasimagwa	Högskolan Dalarna
Jimmy Gran	Swerea MEFOS AB

Huvudinriktningen på arbetet och dess tidsplan har beslutats inom kommittén (23090). Det huvudsakliga arbetet har bedrivits av två arbetsgrupper. Arbetsgrupperna har i detalj utformat försöken tillsammans med respektive målverk och infodringsleverantör. De två forskningsutförarna, Swerea Mefos och Högskolan Dalarna, har organiserat arbetet i respektive grupp. Grupperna utformades till stor del efter leverantör av infodringsmaterial. En illustration om projektorganisationen finns i figuren nedan. Deltagande företag vid sidan om målverken har framförallt fungerat som diskussionsparter och rådgivande i kommittén.



Figur. Schematisk figur över projektorganisationen.

BILAGA 2 – PUBLIKATIONER

Tekniska rapporter

D 859 Eriksson J., Gran J., Brabie V., Hayford F., Kasimagwa I., *Stabila och säkra slagglinjetegel*. Slutrapport Jernkontoret (2013).

TO23-158 Eriksson J., Gran J., *Tillverkning av MgO-C tegel i Liaoningprovinsen, Kina*, Teknisk delrapport Jernkontoret (2013).

TO23-159 Gran J., *Avkolning av skyddade MgO-C tegel under förvärmning hos SSAB EMEA Luleå - En fältstudie*. Teknisk delrapport Jernkontoret (2013).

TO23-160 Gran J., Kasimagwa I., *Stabila och säkra slagglinjetegel. Kammarugnsförsök hos Swerea MEFOS i Luleå*. Teknisk delrapport Jernkontoret (2013).

TO23-161 Gran J., Hayford F., *Full scale trials of stainless steel protective layers on MgO-C Refractories during pre-heat of steel ladles*. Teknisk delrapport Jernkontoret (2013).

TO23-162 Kasimagwa I., Brabie V., *Laboratory studies on the slag corrosion of MgO-C Refractories during steel refining*. Teknisk delrapport Jernkontoret (2013).

TO23-163 Hayford F., Brabie V., *Slag corrosion of MgO-C slag line in contact with EAF slag*. Teknisk delrapport Jernkontoret (2013).

Vetenskapliga artiklar

Kasimagwa I., Brabie V., Jönsson P.G., *Slag corrosion of MgO-C refractories during steel refining*. Publicerad i Ironmaking and Steelmaking. April 2013.

Hayford F. et al., *Slag corrosion of MgO-C slag line refractories in contact with EAF slag*. Under arbete.

Kasimagwa I., Gran J., Brabie V., Jönsson P.G., *Decarburization of MgO-C Refractories with and without protective coatings*. Insänd till Ironmaking and Steelmaking.

Avhandlingar

Kasimagwa I., *A study of slag corrosion of oxides and oxide-carbon refractories during steel refining*. Licentiatavhandling 2010 baserad på förstudie till föreliggande projekt.

Ismail Kasimagwa planerar att framlägga sin doktorsavhandling, som delvis baseras på undersökningar i detta projekt vid KTH 2013.

BILAGA 3 – ANNAN RESULTAT- OCH KUNSKAPSFÖRMEDLING

Johan Eriksson presenterade projektet vid Stålforskningsprogrammets programkonferens 4-5 september 2012.

Johan Eriksson presenterade projektet vid Jernkontorets Metallurgmöte, KTH, 5 februari 2013.

Bilaga 4

Strategiskt Stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012

Svensk stålindustris marknadsledande position inom ett antal högt specialiserade nischer har sin grund i en konsekvent och långsiktig satsning på forskning. VINNOVA och Jernkontoret utarbetade 2006 på regeringens uppdrag ett gemensamt forskningsprogram, Strategiskt stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012 (Stålforskningsprogrammet), som syftar till att behålla och stärka denna position och samtidigt förbättra miljöprestationen. Programmet är ett branschforskningsprogram vars mål är att förbättra den svenska stålindustrins konkurrenskraft, vilket också är skälet till att programmet administreras av Jernkontoret.

Stålforskningsprogrammet omfattar 245 miljoner kronor varav VINNOVA finansierar hälften. Resterande medel kommer från industrin, som kontanta medel eller i form av naturinsatser, t.ex. personal, forskningsresurser och experiment i produktionsanläggningar.

Branschens inflytande över programmet utövas genom en programstyrelse bestående av representanter för stålföretagen, Jernkontoret och VINNOVA. Programstyrelsen tar beslut om vilka projekt som ska beviljas medel. Prioritering av projektförslagen och den vetenskapliga granskningen av dessa handläggs av en grupp bestående av ordförandena i Jernkontorets teknikområden och adjungerade representanter från forskningsutförarna. Dessutom görs en extern utvärdering av ansökningarna som är vägledande för beslutet. Utlysningprocessen administreras av Jernkontoret.

Sammanlagt 30 projekt har beviljats anslag inom programmet. Forskningen genomförs i nära samarbete mellan järn- och stålindustrin, stålbranschens forskningsinstitut Swerea MEFOS och Swerea KIMAB, samt universitet och högskolor med utbildning och forskning inriktad på ståltillverkning och handlar såväl om att utveckla nya produkter som att effektivisera och miljöanpassa produktionsprocesserna. I vissa projekt deltar även kunder och leverantörer till stålindustrin. Det praktiska arbetet utförs inom forskningskommittéer inom Jernkontorets gemensamma forskning. I forskningskommittéerna deltar representanter för industriföretagen och forskningsutförarna. I arbetet tillämpas Jernkontorets regler för den gemensamma forskningen.

Programmets projekt täcker fyra ämnesområden:

- **Utveckling för hållbar tillväxt**
från minskade utsläpp till högpresterande stål med minskad materialåtgång.
- **Morgondagens material och tillverkningsmetoder**
från utveckling av lättare och starkare stål till hur materialet formas och sammansätts.
- **Avancerad modellering**
från modellering på atomär nivå till studier av hur stålet beter sig i olika applikationer.
- **Förbättrad processteknik**
från förbättrade mätmetoder till effektivare processteg.

Kraven på projekten inom Stålforskningsprogrammet är en tydlig förankring i industrin, och att programmet som helhet täcker hela värdekedjan, från råvaror till produkter. Huvuddelen av forskningsmedlen är avsedd för projekt med en tydlig anknytning till konkreta industriella behov, vars resultat relativt snabbt kan implementeras i produktionen. Resterande del av forskningsmedlen kan användas för så kallade innovativa forskningsprojekt med betydligt högre risk både vetenskapligt och i fråga om de kommersiella möjligheterna för stålindustrin på kort och medellång sikt.

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Organisationen grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt skatter och avgifter. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

JERNKONTORET

Box 1721, 111 87 Stockholm • Kungsträdgårdsgatan 10
Telefon 08 679 17 00 • Fax 08 611 20 89
E-post office@jernkontoret.se • www.jernkontoret.se

