

Utveckling av gjutpulver för nischstål

Carl-Åke Däcker, Line Hallgren och Johan Lönnqvist, Swerea KIMAB
Tianming Sun och Lidong Teng, KTH Materialens processvetenskap
Pavel Ramirez Lopez och Pooria Nazem Jalali, Swerea MEFOS
Anders Lagerstedt och Tomas Sohlgren, SSAB EMEA, Oxelösund
Jesper Janis, Outokumpu Stainless, Avesta
Christer Nilsson, SSAB EMEA, Luleå
Arashk Memarpour, Sandvik Materials Technology

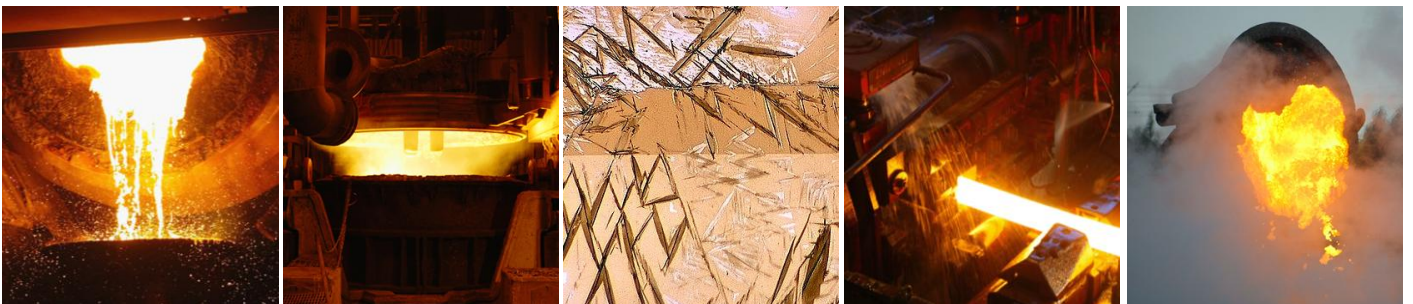


Foto: Stig-Göran Nilsson och Mats Hillert

Sammanfattning

Projektets övergripande mål var att generellt öka kunskapen om gjutpulver samt hur man på ett systematiskt sätt kan utveckla dess funktion för samtliga stränggjutande stålverk i Sverige; SSAB EMEA Oxelösund, SSAB EMEA Luleå, Sandvik Materials Technology (SMT) samt Outokumpu Stainless Avesta. Målsättningen var också att skapa förutsättningar för förbättrad tillverkning av ett nischfall för de fyra ståltillverkarna där val och design av gjutpulvers sammansättning är en viktig processparameter.

Projektarbetet har bedrivits enligt följande:

- Referensförsök hos samtliga verk, två charger hos SSAB i Oxelösund, fyra charger hos SSAB i Luleå, en charge hos vardera SMT och Outokumpu Stainless.
- Optimeringsförsök hos tre av verken, 13 charger hos SSAB i Oxelösund, 12 charger hos SSAB i Luleå, 4 charger hos SMT i Sandviken. På grund av ändrat nischfall och låg beläggning av det nya nischstålet fanns inte tid för att genomföra det planerade optimeringsförsöket hos Outokumpu Stainless.
- Bestämning av fysikaliska egenskaper genom viskositetsmätning, DCS/TG av KTH samt beräkning av termodynamiska utbytesreaktioner mellan stål och slagg.
- Simulering av skaltillväxt i kokill utförd av Swerea MEFOS.
- Bestämning av smälthastighet med Swerea KIMAB:s metod.

Den omfattande försöks- och provningsverksamheten har lett till hög grad av måluppfyllnad beträffande uppbyggnad av systematik för framtida gjutpulverforskning och att samtliga nischfall har god potential till förbättrat processutfall på kort eller lång sikt.

Projektet ingår i Strategiskt stålforskningsprogram för Sverige 2007-2012, finansierat av VINNOVA och administrerat av Jernkontoret.

Nyckelord:

Gjutpulver, stål, stränggjutning, ytsprickor

Summary

The overall goal of the project was to generally increase the knowledge of mould powders and how it is possible, in a systematic way, to develop its function for all continuous casting steel plants in Sweden; SSAB EMEA in Oxelösund, SSAB EMEA in Luleå, Sandvik Materials Technology (SMT) and Outokumpu Stainless in Avesta. The goal was also to create conditions for improved casting process for one chosen niche case per steel plant, where choice and design of mould powder composition is of high importance.

The project work has been performed in the following way:

- Reference plant trials at all steel plants, two heats at SSAB in Oxelösund, four heats at SSAB in Luleå, one heat at SMT and Outokumpu Stainless.
- Optimization plant trials at three of the steel plants, 13 heats at SSAB in Oxelösund, 12 heats at SSAB in Luleå, 4 heats at SMT in Sandviken.
- Characterization of mould powder properties by measurements of viscosity and DSC/TG at KTH and thermo dynamic calculations of reactions between steel and slag.
- Computer simulations of shell formation performed by Swerea MEFOS.
- Determination of melt speed of mould powders with the method developed by Swerea KIMAB.

The extensive activity with plant trials and mould powder testing have resulted in a fulfillment of the overall goal and that all studied niche cases have good chances for successful improvements in a short or long run.

The project belongs to the Strategic Research Programme for Sweden 2007-2012 funded by VINNOVA and administrated by Jernkontoret.

Keywords:

Mould powder, steel, continuous casting, surface cracks

JERNKONTORET

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	6
1.1	Vetenskapligt nyhetsvärde	7
1.2	Projektets plats inom programmet.....	8
2.	MÅL.....	8
2.1	SSAB EMEA - Oxelösund	8
2.2	Sandvik Materials Technology.....	8
2.3	SSAB EMEA, Luleå	9
2.4	Outokumpu Stainless AB	9
3.	METOD.....	9
4.	FORSKNINGSRESULTAT	10
4.1	SSAB EMEA, Oxelösund	10
4.2	Sandvik Materials Technology.....	14
4.3	SSAB EMEA, Luleå	17
4.4	Outokumpu Stainless AB, Avesta.....	19
4.5	Fysikalisk karakterisering av gjutpulver utförd av KTH	20
4.6	Simulering av skaltillväxt utförd av Swerea MEFOS	24
5.	SLUTSATSER.....	26
5.1	SSAB EMEA, Oxelösund	27
5.2	Sandvik Materials Technology.....	30
5.3	SSAB EMEA, Luleå	30
5.4	Outokumpu Stainless, Avesta	33
6.	FÖRSLAG PÅ FÖRSATTA FORSKNINGS- OCH IMPLEMENTERINGS- INSATSER.....	34
6.1	SSAB EMEA, Oxelösund	34
6.2	Sandvik Materials Technology.....	34
6.3	SSAB EMEA, Luleå	34
6.4	Outokumpu Stainless, Avesta	34
7.	REFERENSER.....	35
	BILAGA 1 – PROJEKTORGANISATION OCH MEDVERKANDE	37
	BILAGA 2 – Publikationer	38
	BILAGA 3 – ANNAN RESULTAT- OCH KUNSKAPSFÖRMEDLING.....	39
	BILAGA 4 – STÅLFORSKNINGSPROGRAMMET	40
	BILAGA 5 – Resultat från försök med mätning av gjutpulvers smälthastighet med Swerea KIMAB:s provmetod.....	41

JERNKONTORET

1. INLEDNING

Gjutpulver är ett komplext material då det vid stränggjutning ska uppfylla ett antal olika funktioner som:

- Isolera överytan termiskt för att förhindra frysningar.
- Skydda menisken från oxidation.
- Absorbera inneslutningar som tar sig till stålytan.
- Minska friktion mellan skal och kokill genom smörjning.
- Ge ett optimalt värmeövergångstal för den horisontella värmeöverföringen mellan skal och kokill.

Val av gjutpulver spelar också en mycket stor roll för utfallet av stränggjutning vad avser:

- Produktivitet och gjutsäkerhet.
- Ytsprickor och utbyte.
- Stålets renhet.

Det finns därför en stor drivkraft inom den svenska stålindustrin att driva vidare det långsiktiga utvecklingsarbete som pågått inom området gjutpulver. Detta har inneburit en uppbyggnad av hög kompetens hos Swerea KIMAB, KTH (Materialens Processvetenskap) och hos processingenjörerna vid de svenska stålverken. Detta kunde tas tillvara och användas i projektet för att skapa ökad kunskap och förbättrad tillverknings säkerhet för avancerade stål, med högt förädlingsvärde, där svårigheten att gjuta dessa stålsorter ofta är en begränsning för dess tillverkning.

Gjutning av avancerade stålsorter s.k. nischstål ställer stora krav på stränggjutningsmaskin och gjutteknik. Optimering av gjutpulver och dess sammansättning är därvid av stor vikt för att dessa stålsorter överhuvudtaget ska vara gjutbara med följande påverkan på gjutprocessen:

- Ökad produktivitet/gjutsäkerhet; Innebär exempelvis att undvika gjutstörningar som genombrott på grund av tunt skal eller fastbränna. Viktigt är då att stärka stålskalet genom val av gjutpulver som ger ökat värme flöde i kokillen. Viktiga egenskaper i gjutpulvret för detta är smälttemperatur, smälthastighet och kristallisationstemperatur.
- Färre ytsprickor och ökat utbyte: Innebär att lära sig att gjuta stålsorter med hög grad av peritektiskt stelningssätt. För detta fall är det aktuellt att utveckla gjutpulver som ger lägre värme flöde i kokillen vilket exempelvis uppnås genom ökad kristallisationsgrad och viskositet.
- Kontroll över slagg-stålreaktioner: Utbytesreaktioner mellan stål- och gjutslag kan leda till många oönskade effekter som t.ex. förhöjd slagviskositet vilket förändrar gjutslaggens egenskaper och medför försämrade ämnesytor och gjutavbrott.

När man började med kommersiell stränggjutning i början på 1950-talet skedde detta i små billetsmaskiner med fri tappstråle och rapsolja som smörjmedel. När man uppfann metoden att gjuta med gjutrör i ökade dimensioner ställdes krav på en isolerad stålbadyta varför man började använda enkla gjutpulver, som användes vid göt gjutning, bestående av kolaska från koleldade kraftverk. Sedan dess har kraven på gjutpulver och dess egenskaper ökat betydligt vilket medfört en utveckling av kunskap och tillverkningsmetoder hos leverantörerna av gjutpulver vilket lett till framtagning av syntetiska gjutpulver och sedermera granulerade gjutpulver. Forskning utförd av tillverkarna har kompletterats med en omfattande forskning hos institut, universitet och stålindustri. Inom Sverige har denna forskning främst bedrivits på

JERNKONTORET

Swerea KIMAB (ref. 1-14) och KTH, Avdelningen för Materialens processvetenskap (ref. 15-26) och blivit uppskattat som ett komplement och en objektiv part till det kunnande stålföretagen har tillgång till genom kontakt med sina leverantörer.

Internationellt samarbete har i detta arbete etablerats med Imperial College, London (Professor K.C. Mills) samt med Carnegie Mellon University i USA (Prof. S. Sridhar) samt via RFCS-projekt med andra ståltillverkare i Europa främst då Tata steel (f.d. Corus). En omfattande forskningsverksamhet vid gjutmaskinerna hos de olika stålverken har sedan länge etablerats genom arbetet inom Jernkontorets forskningspaket och Swerea KIMAB:s medlemsprogram. Goda kontakter i detta arbete har också etablerats med de största leverantörerna av gjutpulver i Europa; Stollberg, Metallurgica och Prosimet.

Inom Jernkontorets ram avslutades 2010 projektet JK 24051 "Utveckling av beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill med hänsyn tagen till gjutpulvrets egenskaper" inom VINNOVAs strategiska stålforskningsprogram med Swerea KIMAB, KTH (Materialens processvetenskap) och Swerea MEFOS som forskningsutförare (ref. 27). I detta projekt var kunskap angående gjutpulvrets egenskaper samt metoder för fysikalisk bestämning en viktig del som indata till beräkningsmodellerna. Arbetet i projektet gav, utöver ökad kunskap angående gjutpulver, en god grund för fortsatt samverkan mellan Swerea KIMAB, KTH och de deltagande stränggjutande ståltillverkarna.

1.1 Vetenskapligt nyhetsvärde

Förutsättningen för den svenska stålindustrin konkurrenskraft, och på sikt överlevnad, är ett fortsatt fokus på produktutveckling av alltmer avancerade stålprodukter. Betecknande för dessa produkter är att de har högre lönsamhet men också att de är svårare att tillverka vilket i sig ökar dess konkurrenskraft. Utvecklingen av nya stålprodukter är naturligt inriktad på att ge dessa optimala egenskaper vad gäller hållfasthet, formbarhet, svetsning etc. och man brukar sällan fundera på dess gjutbarhet vilket lämnas åt processingenjörerna på stålverken att lösa. I många fall är de nya produkterna mycket svårare att gjuta än forna produkter vilket innebär nya utmaningar vad gäller processteknik och utveckling av gjutmaskinerna. Exempel på detta är SSAB:s peritektiska mikrolegerade stål, Outokumpu Stainless' duplexa rostfria stål samt Sandvik Material Technologys (SMT) nya inriktning mot nickelbaslegeringar.

Denna stora svårighetsgrad har ställt krav på ökad utveckling av kunskap om gjutpulver på högsta internationella nivå samt ett behov av att samla och katalogisera befintlig kunskap. Då svensk stålindustri i många avseenden är på framkant vad gäller denna utveckling har de tillämpade erfarenheterna stort internationellt nyhetsvärde men av konkurrensskäl är man restriktiv med att sprida detta kunnande.

I projektets slutskede konkretiserade projektgruppen ett behov av att generellt samla kunskapen om gjutpulver genom ett initiativ att skriva den första samlade boken inom området. Genom samverkan med professor Ken Mills på Imperial College i London, som är allmänt erkänd som nestor inom gjutpulverforskningen, och finansiering från Hugo Carlssons stiftelse har ett tvåårigt bokprojekt startats med titeln "How mould powder works". Titeln ger en tydlig signal till att detta inte är ett rent akademiskt bokverk utan har en stark koppling till gjutpulvers egenskaper i stålverken.

JERNKONTORET

1.2 Projektets plats inom programmet

Projektets mål och innehåll faller inom följande kategorier inom det Strategiska Stålforskningsprogrammet för Sverige 2007-2012:

- Utveckling av stål för hållbar tillväxt i samhället – genom längre livslängd på produkter, större materialutbyte och minskat behov av omsmältningsprocesser.
- Förbättrad processteknik - högre utbyte, minskad götjutning samt möjliggörande av att överhuvudtaget kunna gjuta vissa avancerade stålsorter.
- Avancerad modellering genom Swerea MEFOS arbete med simulering av slagnedmatning och bildning av oscillationsmärken.

2. MÅL

Det övergripande målet för projektet var att generellt öka kunskapen om gjutpulver samt hur man på ett systematiskt sätt kan utveckla dess funktion.

I projektet har ingått fyra stränggjutande stålverk i Sverige vilket utgör samtliga verk förutom Ovako Bar AB i Smedjebacken. För projektet har alla deltagande stålverk valt att delta som målverk för processutveckling och driftsförsök där man inriktat sig på extra svåra processfall och valt ut ett processfall ur sitt nischsortiment: SSAB EMEA Oxelösund, SSAB EMEA Luleå, Sandvik Materials Technology och Outokumpu Stainless Avesta.

Följande processfall valdes för respektive stålverk:

2.1 SSAB EMEA - Oxelösund

Stålsort och problemställning: Peritektisk stålsort som är känslig främst för hörnsprickor på 290-formatet. Vald stålsort har en kraftig peritektisk omvandling men okulärsynas (dvs. inga kontrollstråk med hyvel för att kolla dolda tvär- och hörnsprickor) vilket gör att man inte har några registrerade fel på ämnena. Skälet till okulärsyningen är en säkerhetsfråga då stålet är sprickkänsligt och helslipas i ämnesstadiet. Statistik för 2009 från plåtsyningen i valsverket visar dock på 16.5 % fel pga. ytsprickor från gjutningen, varav 15 % är hörnsprickor.

Mål: Att med förändrat gjutsätt med avseende på gjutpulver och kokillens oscillationsrörelse halvera mängden plåt med ytfel som kan härledas till ytsprickor från gjutningen.

2.2 Sandvik Materials Technology

Stålsort och problemställning: Det nischfall som SMT valt ut att studera inom projektet är att skaffa ökad kunskap om utbytesreaktioner mellan gjutpulver och stål för en rostfri stålsort med 1 vikts-% aluminium.

Mål: Ökad kunskap om gjutpulverreaktioner och med den kunskapen ta fram ett bättre gjutpulver för att:

- Förbättra ytkvaliteten och därmed minska slipning och höja utbytet.
- Möjliggöra sekvensgjutning.
- Höja det gjutna utbytet.

Utebliven slipning innebär förbättrat utbyte på 5.4 % och sekvensgjutning ökar utbytet med 4.5 %. Totala potentialen av detta är 1.5 MSEK/år och förväntningen är att halva potentialen ska kunna uppnås genom projektets arbete.

JERNKONTORET

2.3 SSAB EMEA, Luleå

Stålsort och problemställning: Vald stålsort har en kraftig peritektisk omvandling och man har problem med sprickor i hörnen och 100-150 mm in på breddsidorna. Sprickorna är ofta funna i oscillationsmärkena och upptäcks endast av kontrolldrag som sedan tas bort med syrgashyvlning.

Målsättning: Ta fram de parametrar som är styrande/viktiga för gjutpulver vid stränggjutning av nischstål. Stort avseende skall tas till gjuthastighet, då produktionskrav finns att kunna tillverka dessa stål med högre gjuthastighet och bibehållen ytstandard. Utifrån utförda försök förbättra erhållna resultat på dessa stål enligt följande:

1. Minska antalet ämnessprickor med minst 50 %.
2. Minska antalet ytdefekter som skapar flagor på valsat material med 30 %.
3. Ovanstående ska kunna uppnås med bibehållen gjuthastighet, alternativt öka denna med 12.5 till 15 %.

2.4 Outokumpu Stainless AB

Stålsort och problemställning: I Avesta drabbas den misch-behandlade stålsorten 253 MA frekvent av gjutdefekter som kan relateras till val av gjutpulver. Då 253 MA är en stålsort med reaktiva tillsatser, avsedd att användas vid krav på korrosionsmotstånd vid höga temperaturer, så beter den sig lite speciellt vid gjutningen. I dagsläget är de största orsakerna till ämnesytfel troligtvis relaterade till uppstarten av gjutningen, uppsmältningen av pulvret, och reaktionen mellan gjutpulver och stål. Feltyper så som pulverfläckar, gasblåsor och inneslutningar drabbar därför ofta första och eventuellt andra ämnet i en charge. Stålsorten är dess värre även relativt känslig för långsgående sprickor och igensättningar. Igensättningarna och skänkbehandlingstiden för denna stålsort leder till att den aldrig gjuts i sekvens, vilket i sin tur gör att skrotandelen blir hög.

Målsättning: Genom en kombination av ändrad processföring och framtagning av nya gjutpulver på sikt minska sprickbildning och andelen skrotade ämnen med hälften.

3. METOD

För varje processfall som valts ut av respektive verk har följande systematiska arbete genomförts:

1. Problemgenomgång och fastställande av utfallsparametrar.
2. Kartläggning av befintlig processituation genom ett referensförsök med provkörning i drift med noggrann processuppföljning och provtagning av gjutslag.
3. Delrapportering av kartlägningsarbetet.
4. Med ledning av kartlägningsarbetet togs ett förslag fram omfattande två eller tre alternativa gjutpulversammansättningar eventuellt kombinerat med förändringar av processparametrar. Förslaget arbetades fram med gemensamma överläggningar där även leverantörernas synpunkter inhämtades.
5. Försöksgjutpulver togs fram och fysikaliska egenskaper bestämdes vilket kunde medföra eventuella justeringar i analysen. Fysikaliska bestämningar gjordes beträffande följande egenskaper:
 - Kemisk sammansättning för slag och pulver.
 - Viskositet.

JERNKONTORET

- Kristallisationsegenskaper, bl.a. bryttemperatur.
- Exoterma och endoterma reaktioner vid värmning- och svalning.

Om utbytesreaktioner är ett problemområde kompletterades den fysikaliska undersökningen med:

- Studier av slag/bad reaktioner i laboratorieskala.
 - Teoretisk beräkning av utbytesreaktioner mellan stål och gjutslag.
6. Driftsförsök med detaljerad uppföljning av process, slaggens tjocklek och sammansättning samt utfallsparametrar från uppföljning av gjutprocess, ämnes- och plåtytor.
 7. Sammanfattande rapport med analys.

Ansvarsfördelningen för arbetet mellan industriföretagen och utförarna hos Swerea KIMAB och KTH ges av Tabell 1.

Tabell 1. Ansvarsfördelning

	Företagen	Swerea KIMAB	KTH
Processuppföljning, processanalys	D	H	D
Fysikalisk bestämning av gjutpulver		D	H
Beräkning av utbytesreaktioner			H
Rapportering	D	H	D

H= Huvudansvar D=Delansvar

4. FORSKNINGRESULTAT

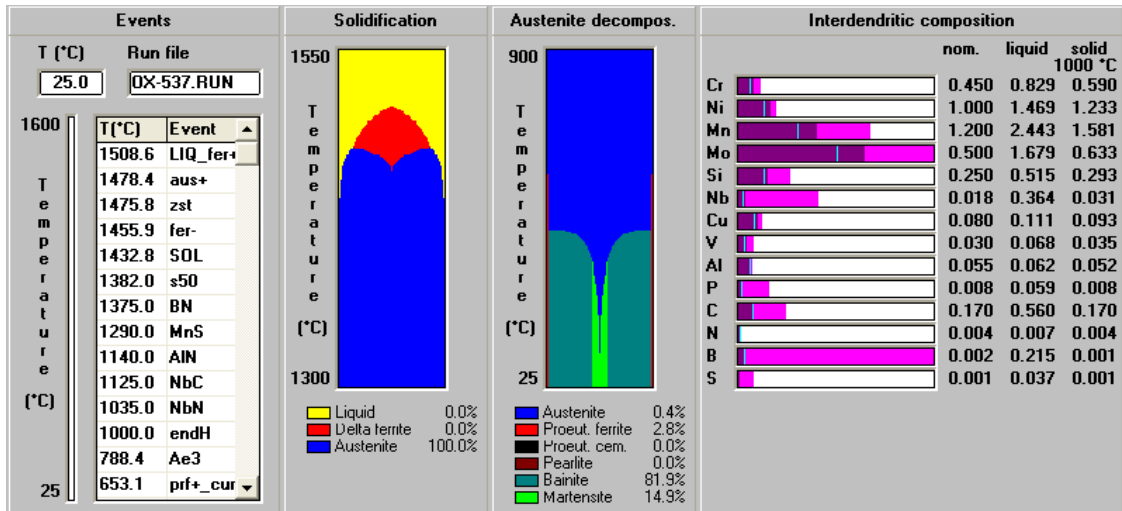
Referens- och optimeringsförsöken för de deltagande målverken har avrapporterats i form av tekniska rapporter, ref 1-11, bilaga 2. I detta kapitel sammanfattas resultaten från de genomförda försöken.

4.1 SSAB EMEA, Oxelösund

Sammanfattning av referensförsöket [ref. 1 – Bilaga 2]

Referensförsöket kördes den 2 februari 2011 och omfattade två charger på sträng 2 med slabsdimensionen 290*1680 mm. En simulering med programvaran IDS av stålets stelning ges i Figur 1.

JERNKONTORET



Figur 1. Stelningssimulering av Oxelösunds försöksstål.

- Stålsorten, som kan klassas som låglegerad, används för tillverkning av grovplåt och har en sammansättning som innebär en mycket kraftig peritektisk omvandling inom ett temperaturintervall av endast 23 grader, vilket bidrar till dess sprickkänslighet, se Figur 1.
- Ca 15 vikt-% av de valsade plåtarna hade ytdefekter kopplade till gjutningen som alla utgjordes av hörnsprickor.
- Uppföljning av gjutslaggens tjocklek i kokill gav en tjocklek på 10 mm (gjutror) och 4 mm (smalsida). En rekommenderad tjocklek på gjutslagen är 15-20 mm, vilket man inte uppnår vare sig vid gjutror eller smalsida som verkar underkritisk vad gäller slaggdjup.

Resultat från optimeringsförsöket [ref. 2 – Bilaga 2]

Med ledning från referensförsöket och diskussioner inom projektgruppen togs en försöksmatrix fram enligt Tabell 2.

Tabell 2. Försöksmatrix för optimeringsförsöket

Gjutfpulver	Slagamplitud	
	Normal, ± 3.4 mm	Sänkt amplitud, ± 2.9 mm
Referens	X	X
Ökad smälthastighet	X	X
Ökat värmeflödesmotstånd	X	X
Ökat värmeflödesmotstånd + ökad smälthastighet	X	X

Följande variabler studerades:

- Ökad smälthastighet för gjutfpulver genom minskad andel fritt kol (se Bilaga 5).
- Ökat värmeflödesmotstånd genom ökad basicitet.
- Kombination av ovanstående.
- Ändrad oscillationsrörelse för kokillen, sänkt amplitud för att minska nedmatningen av gjutslag.
- Inverkan av liknande gjutfpulver från två leverantörer.

JERNKONTORET

Försöken genomfördes under vintern/våren 2012 omfattande 6 sekvensgjutningar och 13 charger enligt Tabell 3.

Tabell 3. Genomfört försöksprogram

Sekvens	Charge	Gjuttid	Slagamplitud	Gjutpulver	Beteckning
21994	68679	24/2	± 3.4	A - OX	Referens
”	68680	”	± 2.9	”	”
22091	68851	9/3	± 2.9	A - OX-2	Höjd smälthastighet
”	68852	”	± 3.4	”	”
22381	69493	5/4	± 3.4	A - OX/B	Höjd basicitet
”	69494	”	± 2.9	”	”
22520	69809	18/4	± 2.9	A - OX-2/B	Höjd smälthastighet+bas.
”	69810	”	± 3.4	”	”
22689	70182	4/5	± 3.4	B - HVI	Höjd basicitet
”	70183	”	± 2.9	”	”
22780	70367	16/5	± 2.9	B - HMS	Höjd smälthastighet+bas.
”	70368	”	± 3.4	”	”
”	70369	”	± 3.4	”	”

Några erfarenheter från försöksuppföljningarna:

Gjutpulverförbrukning:

- Med endast två undantag (A – OX-2/B och B - HMS) amplituden 3.4 mmhögre pulverförbrukning jämfört med 2.9 mm för respektive sekvens vilket stämmer med tidigare erfarenheter [ref. 31].
- Gjutpulvret från leverantör B har genomgående lägre förbrukning än pulver från leverantör A.

Gjutslaggtjocklek:

- Generellt kan man förvänta sig ett mindre smältdjup för 290-formatet jämfört med 220-formatet beroende på lägre smälthastighet för gjutpulvret p.g.a. låg strömningshastighet i stålytan till följd av bred kokill och låg gjuthastighet. Den lägre gjuthastigheten medför också kraftigare skalbildning i menisknivå som medför större spalt mellan stålskal och kokill vilket leder till högre förbrukning av gjutslagg.
- Generellt har smalsidan lägre djup p.g.a. högre stålnivå i denna del av kokillen.
- Generellt är smältdjupet underkritiskt på smalsidan och höjd smälthastighet på pulvret verkar inte höja nivån, särskilt inte i kombination med höjd basicitet.
- Pulver B har trots sin snabbare smälthastighet en lägre smältnivå särskilt för den högre basiciteten där även gjutrörsnivån är underkritisk för den högre amplituden.
- En svag positiv inverkan kan skönjas beträffande smältdjup och den lägre slagamplituden.

Värmefflöde i kokill – breddsida:

- Lössidan har genomgående högre värmefflöde än fastsidan.
- Genomgående har den högre slagamplituden, som också inneburit högre pulverförbrukning, haft lägre värmefflöde utom för pulver A – OX-2/B där också pulverförbrukningen var omvänd.
- A-OX och A-OX-2 som skulle haft samma slaggsammansättning uppvisar stora skillnader i värmefflöde.

JERNKONTORET

- Detta gäller också för A-OX/B och A-OX-2/B som också har samma slaggsammansättning.
- För A- pulvren har man inget tydligt samband mellan ökad basicitet och sänkt värme-flöde, som normal konstateras för 220-formatet med högre gjuthastighet [ref. 31].
- Genomgående hade pulver B lägre värmefflöde, lägst hade charge 70368 som logiskt också hade högst gjutpulverförbrukning av B-pulvren.

Värmefflöde i kokill – smalsida:

- Vilken smalsida som har högst värmefflöde växlar mellan chargerna.
- Ingen tydlig koppling mellan slagamplitud och värmefflöde.
- Chargerna med lägst beräknad Cuspidineandel och därmed kristallisationsgrad (68679 och 68680) har också högst värmefflöde.
- Lägst värmefflöde, analogt med bredsidorna har B-pulvren.

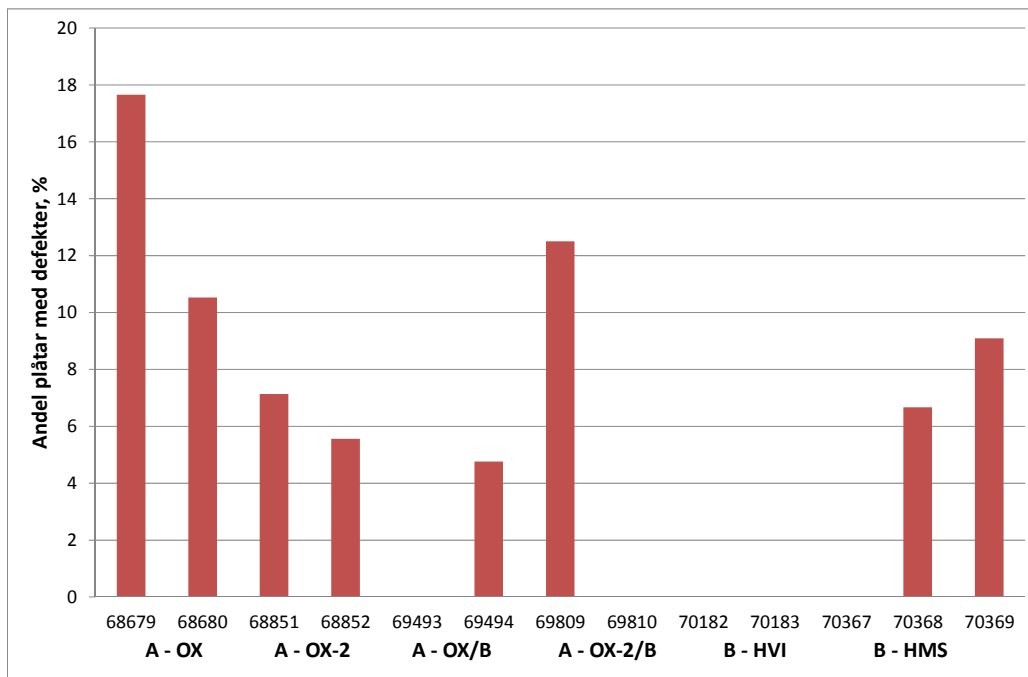
Friktion:

- Östra smalsidan har genomgående högre friktion än västra.
- Genomgående lägre friktion för den lägre slaglängden.
- Stor likhet i friktion för A-pulver med samma slaggsammansättning och slaglängd.
- Ingen tydlig inverkan av ökad basicitet.
- Ojämnheter i värmefflödet återspeglas i friktionsvariationer.
- En viss, men inte fullständig, koppling mot pulverförbrukningen.

Resultat från plåtsyningen:

Resultaten från plåtsyningen visas grafiskt i Figur 2 från vilken följande slutsatser kan dras:

- Höjd basicitet är genomgående positivt, referenspulvret ger sämst resultat.
- Ingen tydlig effekt av skillnad i slaglängd.
- Bäst utfall för A-OX/ B och B-HVI.
- B-HVI som har lägst och stabilast värmefflöde är enda gjutsekvens helt utan plåtdefekter.



Figur 2. Resultat från plåtsyningen.

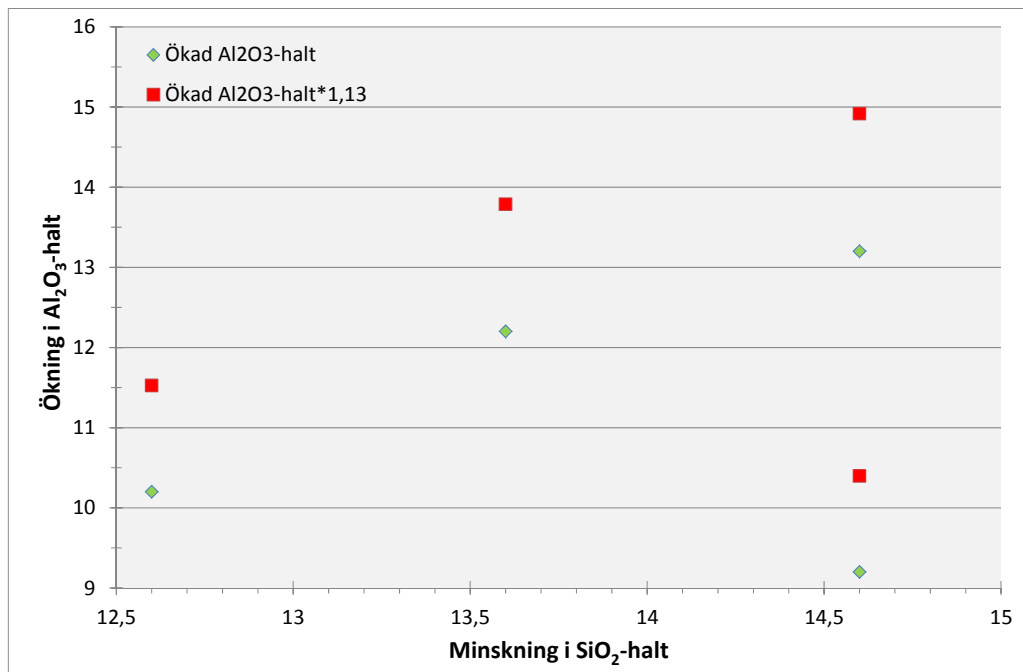
JERNKONTORET

4.2 Sandvik Materials Technology

Sammanfattning från referensförsöket [ref. 3 – Bilaga 2]

Referensförsöket kördes som singelcharge på sträng 3 den 10 november 2011 med blooms-formatet 365*265 mm. Den rostfria stålsort som valts att studeras inom projektet genomgår också en peritektisk omvandling om än inte lika kraftig som för Oxelösundsfallet. Huvudproblemet med stålsorten är att denna innehåller ca.1 % aluminium som reagerar kraftigt med gjutslaggens höga innehåll av SiO₂. Resultatet blir en förhöjd viskositet i gjutslagen som innebär kvalitetsproblem och omöjliggör sekvensgjutning av stålsorten. Detta illustreras av Figur 3 från referensförsöket där utöver sista slagprovet ett klart samband kan skönjas mellan minskning i SiO₂ och ökning i Al₂O₃ genom reaktionen $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Si}$.

Stökiometriskt innebär en minskning av en vikt-% SiO₂ en ökning med 1.13 vikt-% Al₂O₃ varför detta är inlagt som röda fyrkanter i Figur 3.



Figur 3. Jämförelse mellan minskad SiO₂-halt och ökad Al₂O₃-halt.

Övriga erfarenheter från försöket:

- Tjockleken på gjutslagen var tillfredställande med 11 mm som medelvärde.
- Gjutpulverförbrukning 0.21 kg/m² strängyta.
- Högt värmefflöde i kokill, upp mot 1400 kW/m².
- Enstaka blödnings på ämnesytorna.

Resultat från optimeringsförsöket [ref. 4-Bilaga 2]

Baserat på resultat från referensförsöket, diskussioner i projektgruppen, samt studier av senaste tidens publikationer [ref. 28-30] angående utveckling av gjutpulver för så kallade TRIP-stål, som är kolstål med extrema mekaniska egenskaper bl.a. till följd av ett aluminiuminnehåll på 1-2 vikt-%, lades en brett upplagd försöksserie upp omfattande fyra

JERNKONTORET

försökspulver enligt följande motiveringar:

Pulver S: Baserat på erfarenheterna i [ref. 28-30] ville man prova ett gjutpulver med extremt låg halt av SiO_2 , i princip ett kalciumaluminat där SiO_2 i stor utsträckning bytts ut mot Al_2O_3 . Enligt erfarenheterna från [ref. 29] var det svårt att få en slagg helt utan polymeriserade aggregat att matas ner i kokillen varför man tillsatt en mindre mängd B_2O_3 för att underlätta detta.

Pulver B: Egentligen ett olämpligt pulver p.g.a. högt $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -förhållande. Då pulvret fanns tillgängligt på stålverket för gjutning av andra stålsorter ansågs det värt att studera om utbytesreaktionen kunde dämpas genom slaggens höga viskositet.

Pulver C: Sammansättningen för detta pulver har utarbetats genom diskussioner inom projektgruppen. Ett lågt $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -förhållande har uppnåtts genom såväl en sänkt halt av SiO_2 som en höjd halt av Al_2O_3 . Basiciteten har höjts för att uppnå en högre kristallisationsgrad för att dämpa värmeflödet i kokill. För att inte få en alltför hög basicitet har en del av CaO -innehållet ersatts av MgO som inte bidrar i uppbyggnaden av den dominerade kristalluppbyggnaden i slaggsfilmen, Cuspidine med sammansättningen $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot \text{CaF}_2$.

Pulver D: Även detta pulver fanns tillgängligt på stålverket och har utöver en hög slagviskositet ett fördelaktigt $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -förhållande p.g.a. sitt höga innehåll av Al_2O_3 .

Resultaten kan kortfattat sammanfattas:

Pulver S med försök genomfört den 14 oktober 2012

- Gjutpulverförbrukning tillfredställande, 0,28 kg/m².
- Nivåreglering tillfredställande.
- Högt värmeflöde i kokill.
- Kraftig rimbildning i kokill vilket illustreras i Figur 4.
- Dåliga ämnesytor med insjunkningar och blödningar.



Figur 4. Slaggrim efter gjutning från försök med gjutpulver S.

JERNKONTORET

Pulver B med försök genomfört 1 och 11 november 2012

- Något låg nivå på gjutslaggen, 5.6 mm i medel.
- Låg gjutpulverförbrukning, 0.13 kg/m² strängyta.
- Högt värmeflöde i kokill, temporärt över 1400 kW/m².
- Mycket kraftiga utbytesreaktioner mellan slagg och stål, ca. 53 % av slaggens SiO₂ har reagerat med aluminiumet.
- Dåliga ämnesytor med insjunkningar och blödningar vilket illustreras i Figur 5.



Figur 5. Ämnesyta från försök med gjutpulver B.

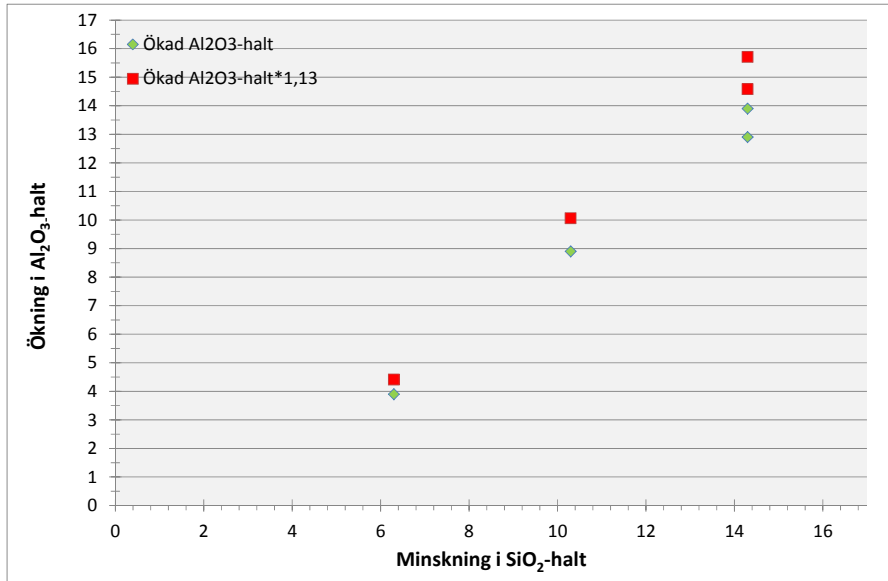
Pulver C

Försök med detta gjutpulver som rekommenderats av projektgruppen hann inte köras inom projekttiden men har beställts och är planerat att provköras i januari 2013.

Pulver D med försök genomfört 8/12 2012

- Måttlig utbytesreaktion, ca. 40 % av SiO₂ har reagerat med stålets Al. Nästan helt stökiometrisk omvandling, som ses av Figur 6.
- Gjutpulverförbrukning densamma som för referensen, 0.21 kg/m².
- Högt värmeflöde i kokill, upp mot 1500 kW/m².
- Ämnesytorna följdes upp varvid man kunde konstatera en bra och jämn oscillationsmärkesbildning även om man kunde se insjunkningar på några ställen på norra och södra sidorna. Fast och löst sidorna klarade sig väldigt bra.

JERNKONTORET



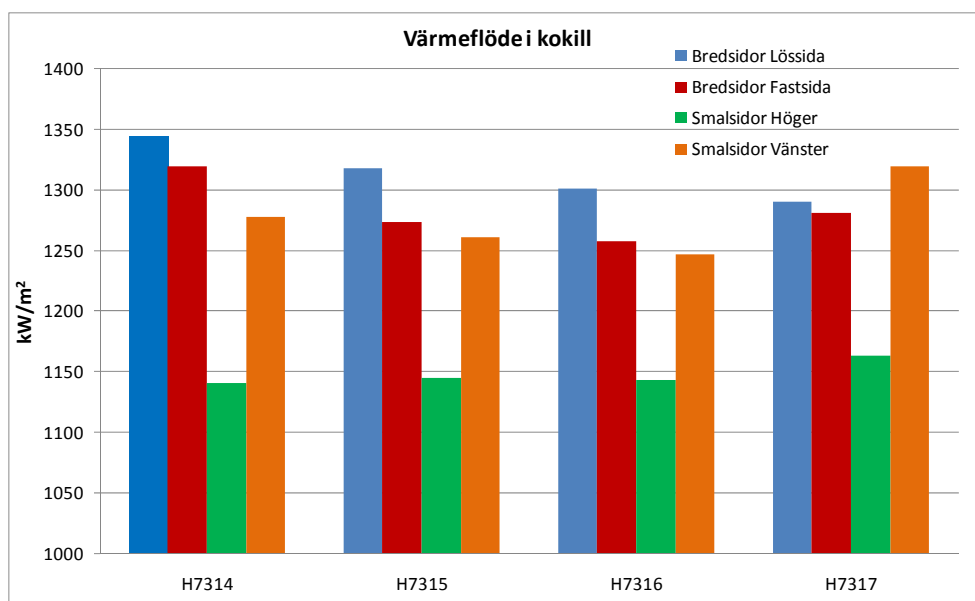
Figur 6. Jämförelse mellan minskning i SiO₂-halt och ökning av Al₂O₃-halt.

4.3 SSAB EMEA, Luleå

Sammanfattning från referensförsöket [ref. 5 – Bilaga 2]

Stålsorten är ett mikrolegerat kolstål med stelningssätt liknande Oxelösundsfallet i Figur 1. Ett referensförsök kördes den 3 juni 2010 på sträng 4 med slabsformat 1230*220 mm omfattande 4 charger med en gjuthastighet på 1.2 m/minut.

- Bra nivå på gjutslaggens tjocklek, 25 mm vid gjutröret och 19 mm vid smalsidan.
- Intressanta iakttagelser vad gäller värmeflödet i kokill (Figur 7):
 - Ganska lika värmeflöden för de olika chargerna med en trend mot minskande värmeflöden under försöksperioden.
 - Genomgående har breddsidans lössida högre värmeflöde än fastsidan.
 - Genomgående mycket stor skillnad i värmeflöde för vänstra och högra smalsidan.



Figur 7. Värmeflöde i kokill.

JERNKONTORET

Resultat från optimeringsförsöket [ref. 6 – Bilaga 2]

De sprickor stålsorten är behäftad med finns på fastsidan omkring 10 – 150 mm från hörnet. Sprickorna ligger oftast i oscillationsmärkena och framträder när man drar kontrolldrag med syrgaslans. Parametrar som påverkar bildandet av sprickor i hörnregionen är:

- Oscillationsmärkesdjup.
- Gjutpulverförbrukning.
- Värmefflöde i kokill.
- Kokillgeometri (konicitet).

Mot bakgrund av omfattande studier som gjorts i Oxelösund [ref. 31] och erfarenheter från försök med icke sinusformad kokillrörelse [ref. 32] utarbetades ett försöksprogram enligt Tabell 4.

Tabell 4. Försöksmatris för försök hos SSAB EMEA Luleå.

Nr.	Gjutpulver		Oscillationsparametrar	
	Beteckning	Viskositet, η_{1300} , Poise	Slaglängd, mm	Sinusfaktor
1	Referens	1.0	6	0.5
2	Referens	1.0	7	0.5
3	Referens	1.0	8	0.5
4	Referens	1.0	7	0.6
5	STEP 1	1.7	6	0.5
6	STEP 1	1.7	7	0.5
7	STEP 1	1.7	8	0.5
8	STEP 1	1.7	7	0.6
9	STEP 2	2.5	6	0.5
10	STEP 2	2.5	7	0.5
11	STEP 2	2.5	8	0.5
12	STEP 2	2.5	7	0.6

Variablerna med påverkan på hörnsprickors uppkomst man ville studera var således:

- Slaggens viskositet
- Oscillationsparametrar som slaglängd och sinusfaktor (avvikelse från sinusformad oscillationsrörelse där 0.5 är sinusformen).

Försöken genomfördes den 23 och 24 augusti 2011, några resultat sammanfattas nedan.

- Olyckligtvis måste referenschargerna, av produktionskäl köras vid neddragen gjuthastighet, 1.0 istället för 1.2 m/minut.
- Studier gjordes av pulvrens fraktionsfördelning på KIMAB varvid det framkom att både STEP 1 och STEP 2 pulverkornen var grövre, vilket var en bidragande orsak att framförallt STEP1 pulvret rann bättre genom doseringssystemet.
- Tjockleken på gjutslagen var genomgående hög och bra.
- STEP1 och STEP2 pulvren hade högre gjutpulverförbrukning.
- Värmefflödet i kokill var mycket starkt kopplat till smältans övertemperatur.
- Temperaturmätning i kokill, utvärderat genom mould expert systemet, följde för de lägre termoelementraderna väl värmefflöde i kokill.

JERNKONTORET

- Uppföljning av ämnesytorna visade på noll fel för referenschargerna som var mycket bättre än normalt vilket förklarades av den neddragna gjuthastigheten.
- Chargerna med försökspulvret STEP1, som kördes med normal hastighet, var också samtliga felfria. Chargerna med STEP 2 pulvret uppvisade långsgående sprickor på alla ämnen i första och fjärde chargen, ett ämne i andra chargen, samt inga sprickor i tredje chargen.
- Då STEP1 pulvret rann bra, uppträdde lugnt i kokillen, samt gav felfria ämnen beslöt stålverket att göra ett större försök omfattande 11 ton gjutpulver. Detta försök gav också felfria ämnen vad gäller hörnsprickor, men gav ökad mängd längdsprickor.

4.4 Outokumpu Stainless AB, Avesta

Sammanfattning från referensförsöket [ref. 7 – Bilaga 2]

Outokumpu Stainless hade ursprungligen valt ett annat fall för projektet med ämnessprickor i ett duplex rostfritt stål men det visade sig att problemet inte var gjutpulverrelaterat och man löste det genom annan processoptimering. Man valde därför, i ett sent skede av projektet, ett annat angeläget nischfall, men av tidsskäl kunde inget optimeringsförsök genomföras inom projekttiden. Utvecklingsarbetet, med ledning av resultaten från referensförsöket fortsätter i företagets egen regi under 2013.

Nuvarande gjutpulver fungerar inte optimalt för det värmebeständiga stålet 253MA. Första och delvis andra ämnet, drabbas undantagslöst av s.k. pulvergropar, djupa defekter fyllda med osmält gjutpulver. Orsaken tros vara dålig uppsmältning av gjutpulvret. En viss förbättring har skett sedan startpulver infördes och mängden ämnesytfel har gått ner, men feLEN kvarstår dock och kräver tidsödande räddningsoperationer i kallslipen. En ytterligare ändring av processen, som har förbättrat ämnesytornas kvalitet, är att gjuttemperaturen har höjts. Gasblåsor förekommer även på ämnesytorna. En annan vanlig defekt är att ämnena får långsgående sprickor. Detta kan även delvis förklaras av att gjutpulvret inte är rätt för denna stålsort, som kräver kraftig kylning i kokillen.

Försök på en singelcharge med slabsformatet 2050*140 mm genomfördes den 21 februari 2012:

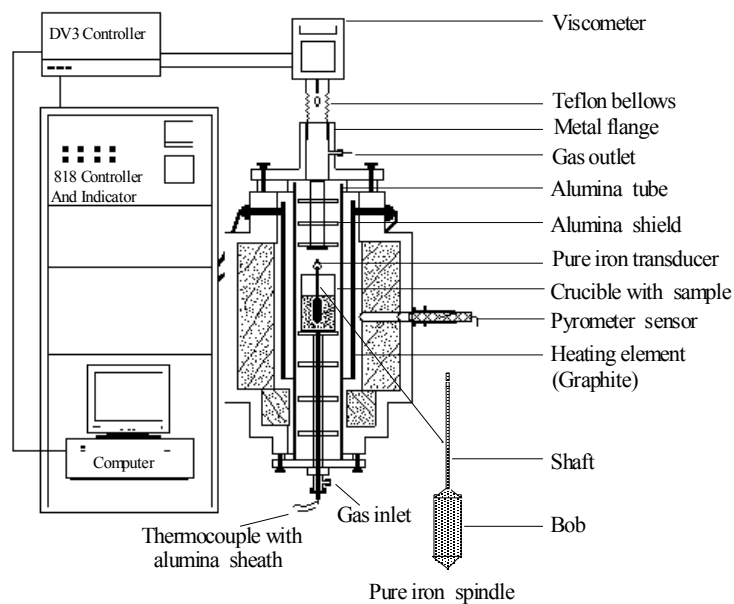
- Stålsorten stelnar helt austenitiskt.
- Svårt med slaggbildning i kokillen, endast i startläget kunde man få en acceptabel tjocklek på gjutslaggen.
- Stabilt värmefflöde runt 1200 kW/m².
 - Eftersom det är främst de första två ämnena som drabbas av defekter är problemet antagligen ett uppstartsproblem. Anledningen till att gjutstarten är svår är att:
 - Misch-legeringarna fungerar som kärnbildningspunkter och stålet stelnar mycket snabbt med minimal underkylning. Vid stålytan, under gjutslaggen, bildas därför ett område med delvis stelnat stål i en slags ”mushy-zone”. Detta blir extra utmärkande vid gjutstart eftersom gjutlåda och kokill är kall och även stålet får en lägre temperatur.
 - Vid en långsam upprampning av gjuthastigheten hinner denna ”mushy-zone” växa och skapar en kall zon som hindrar smältning av gjutpulver.
 - Denna massa kan tillsammans med gjutpulver fastna i menisken och kanske bidra till de ytdefekter som är problemet med denna stålsort

JERNKONTORET

- Ett ytterligare problem med 253MA är att det är sprickkänsligt och det yttrar sig i att ämnena får längsgående sprickor. En anledning till detta är att stålet stelnar helt austenitiskt och får då en kraftig mikrosegning vilket gör stålet varmsprickkänsligt.

4.5 Fysikalisk karakterisering av gjutpulver utförd av KTH

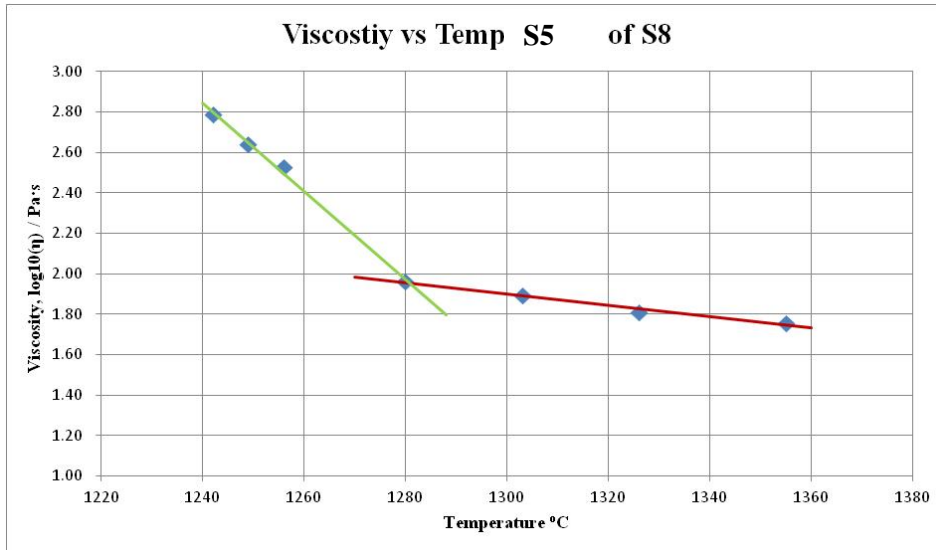
Under delar av arbetet med referens- och optimeringsförsök har KTH backat upp med fysikaliska provningar främst av gjutpulverviskositeter [ref. 8 och 9 – Bilaga 2]. Under 2012 har detta arbete förstärkts med DSC/TG mätningar samt termodynamiska beräkningar av utbytesreaktionerna för SMT:s nischfall [ref. 10 – Bilaga 2]. Den experimentella utrustningen för viskositetsprovning visas schematiskt i Figur 8 och exempel av resultat visas i Figur 9-11 från försök med Luleås gjutpulver från optimeringsförsöket.



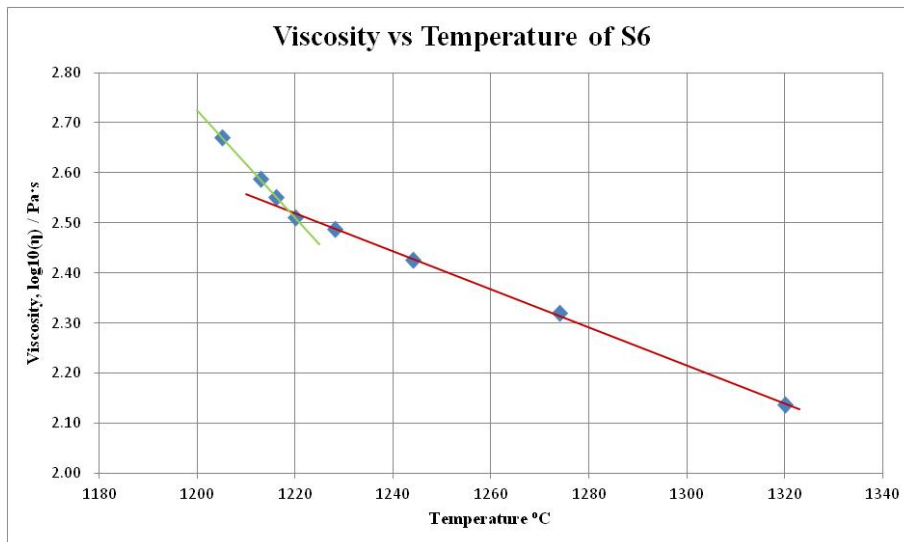
Figur 8. Schematisk bild av KTH:s utrustning för viskositetsprovning.

Tanken med val av gjutpulver för Luleås optimeringsförsök var att i två steg öka viskositeten jämfört med det normalt använda referensförsöket med ambitionen att inte påverka kristallisationsgraden. Resultatet från viskositetsprovningen ges av Figur 9-11.

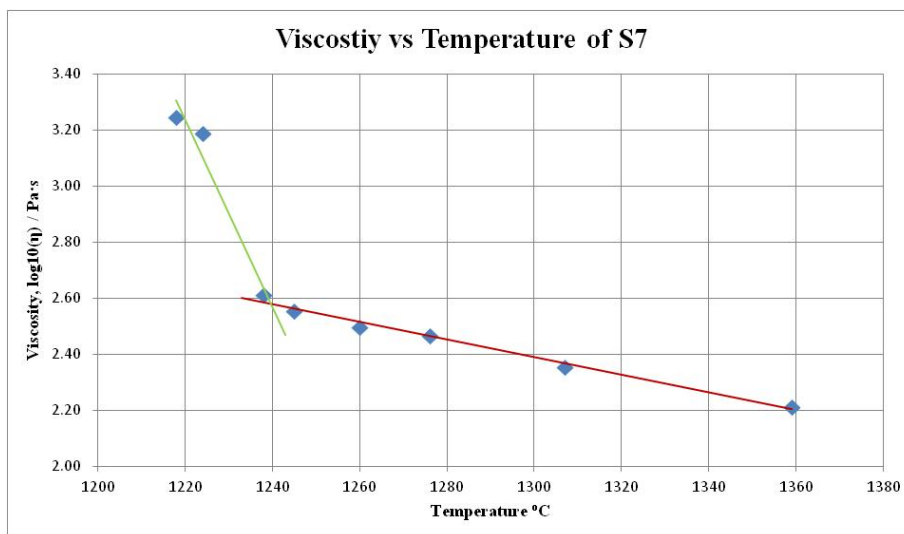
JERNKONTORET



Figur 9. Resultat från viskositetsprovning av Luleås referenpulver.



Figur 10. Resultat från viskositetsprovning av Luleås STEP 1 pulver.



Figur 11. Resultat från viskositetsprovning av Luleås STEP 2 pulver.

JERNKONTORET

En sammanställning av KTH:s viskositetsprovning ges i Tabell 5.

Tabell 5. Sammanställning av viskositetsprovning för Luleås optimeringsfall

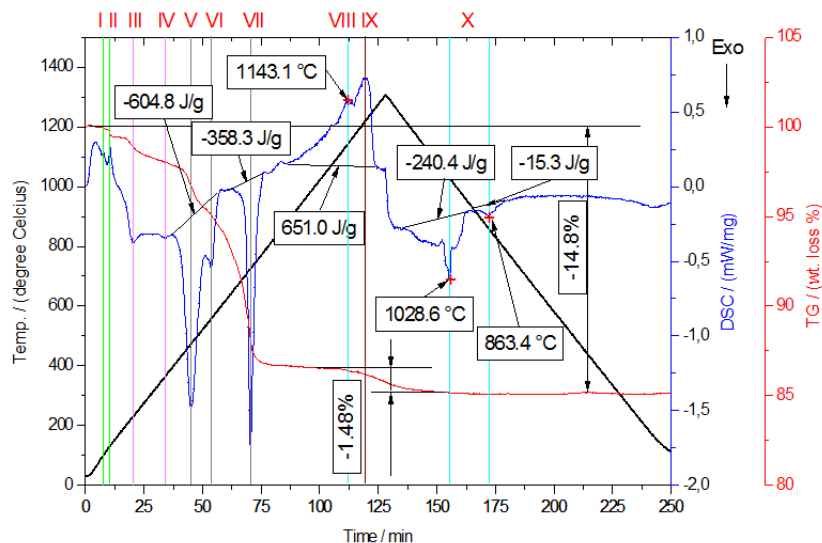
Gjutpulver	Viskositet, η_{1300} , Poise	Bryttemperatur, °C
Referens	1.90	1275
STEP 1	2.22	1220
STEP 2	2.39	1235

Den planerade gradvisa höjningen kunde säkerhetsställas från viskositetsprovningen även om den var mindre än den beräknade. Bryttemperaturen, som är ett mått på kristallisationstemperatur, var inte helt oförändrad utan var lägre för STEP 1 och STEP 2.

Utrustningen för DSC/TG visas i Figur 12 och exempel på resultat från DSC/TG experiment av Oxelösunds pulver OX, OX-2 och OX-2/B visas i Figur 13-15.

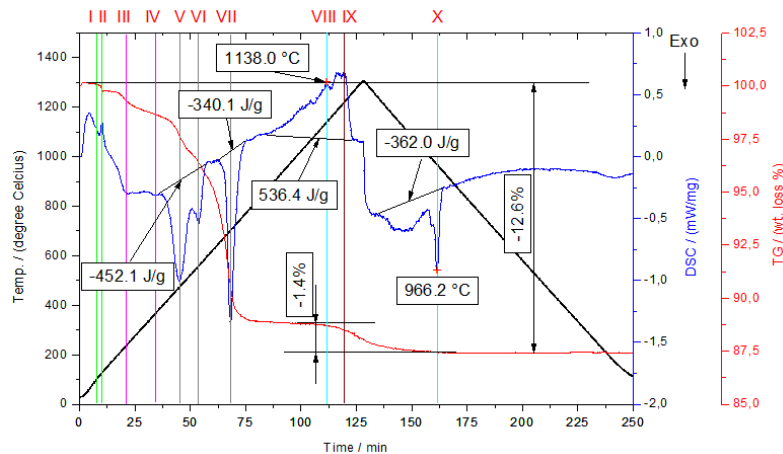


Figur 12. DSC/TG utrustning Netzsch STA 449C Jupiter©.

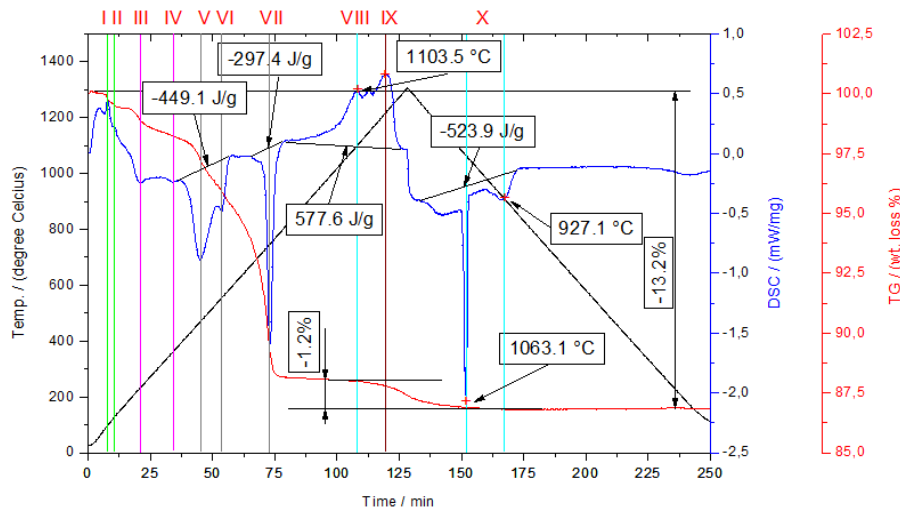


Figur 13. Resultat från DSC/TG för Oxelösunds referenspulver.

JERNKONTORET



Figur 14. Resultat från DSC/TG för Oxelösunds försökspulver OX-2 (höjd smälthastighet).



Figur 15. Resultat från DSC/TG för Oxelösunds försökspulver OX-2/B (höjd smälthastighet+basicitet).

Slutsatser:

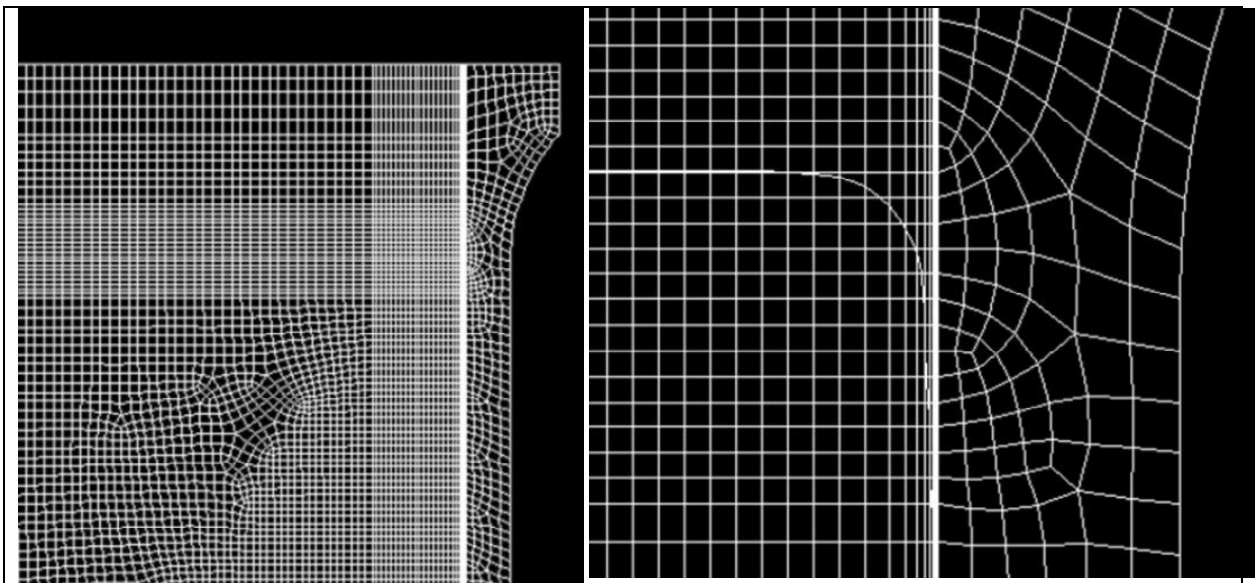
- Den första uppåtgående (endoterma) puckeln i diagrammen beror på energi för vattenavgång och är likvärdigt för alla tre gjutpulver.
- Den nästa nedåtgående (exoterma) puckeln beror på förbränning av kol i form av kimrök som har låg förbränningstemperatur. Försökspulvren OX/B och OX-2/B har förhöjd smälthastighet genom minskad andel fritt kol. Figur 14-15 visar att detta har åstadkommit genom sänkt halt av kimrök, vilket har lett till lägre exoterm energi jämfört med referenspulvret.
- Den tredje puckeln som också är exoterm beror på kolförbränning, i detta fall med en kolsort med högre förbränningstemperatur, troligen koks. Det exoterma värmets har varit likvärdigt för alla tre fallen, vilket tyder på att denna tillsats varit likvärdig för de tre fallen.
- Nästa puckel är beroende på en endoterm reaktion som indikerar smältning av ingående mineraler. Denna topp är i stort sett likvärdig för referens och OX-2 vilket inte är förvånande då enda förändring dem emellan är halten av fritt kol. OX-2B uppvisar ett avvikande utseende beroende på förändringar av övriga råvaror för att uppnå en högre basicitet.

JERNKONTORET

- Den sista puckeln sker i samband med svalning och är en exoterm reaktion i samband med att gjutslaggen delvis kristalliserar. Här visar referens och OX-2 ett likvärdigt uppträdande medan OX-2/B, med höjd basicitet, får en både förhöjd kristallisations-temperatur och kraftigare endoterm reaktion vilket innebär högre grad av kristallisationsgrad vilket eftersträvas med den högre basiciteten.

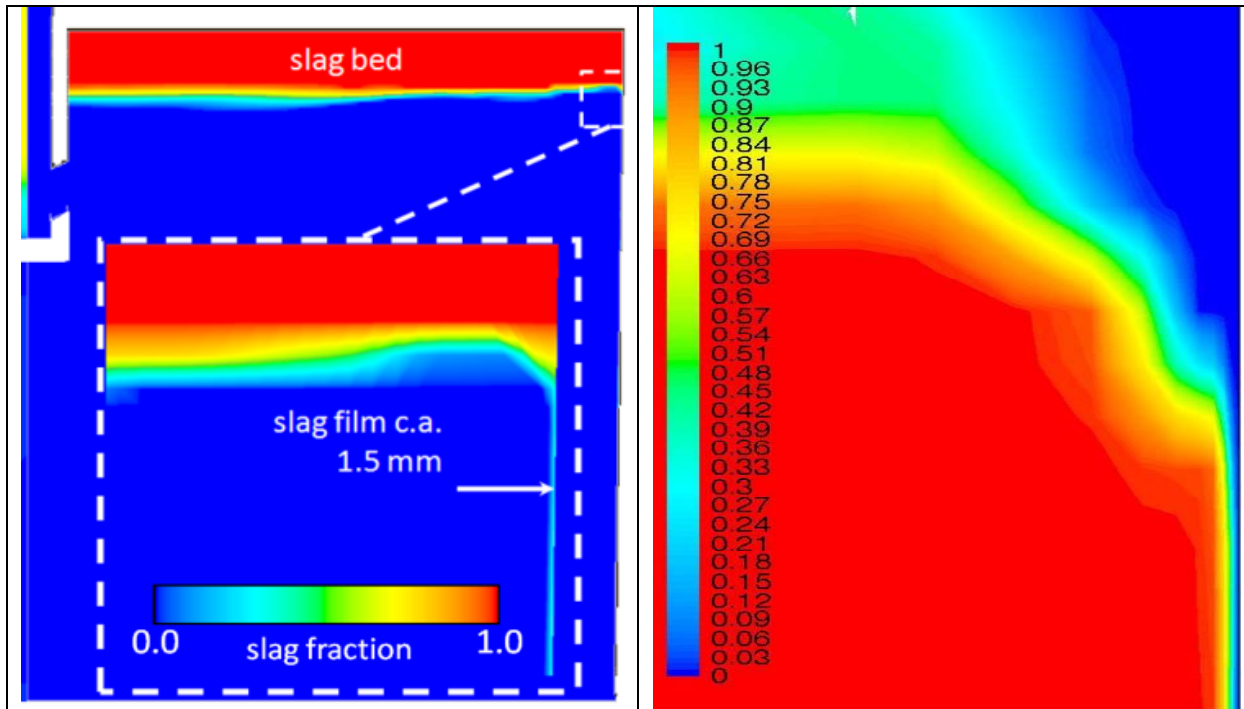
4.6 Simulering av skaltillväxt utförd av Swerea MEFOS

För att öka förståelsen för det omfattande optimeringsförsöket i Luleå har Swerea MEFOS gjort en tvådimensionell modellering av samtliga processfall [ref. 11 – Bilaga 2] med hjälp av sin utvecklade modell i Fluent där gjutslaggsnedmatning och bildning av oscillationsmärken kan simuleras. Detta möjliggörs tack vare en avancerad meschning särskilt i området runt den primära skaltillväxten vilket illustreras av Figur 16-18.

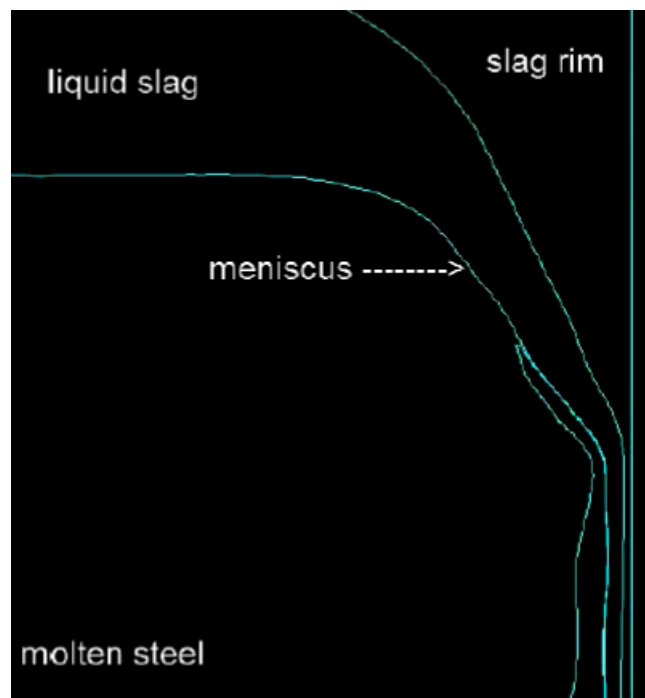


Figur 16. Meschning i området där skaltillväxten sker.

JERNKONTORET



Figur 17. Temperaturfördelning i menisknivå där slaggen matas ned.

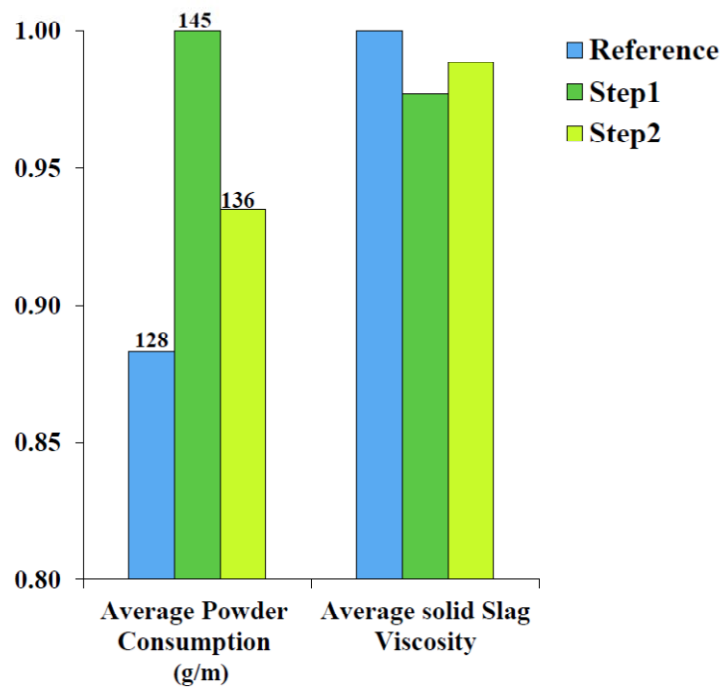


Figur 18. Beräkning av skaltillväxt i menisknivå.

Med denna modelleringsteknik kan ett antal utdata beräknas såsom:

- Tjocklek på gjutslaggen mellan skal och kokill.
- Värmefflöde i kokill.
- Temperaturfördelning i skal och kokill.
- Gjutpulverförbrukning.
- Index på smörtjande egenskaper hos gjutslaggen.
- Gjutpulverförbrukning som visas i Figur 19.

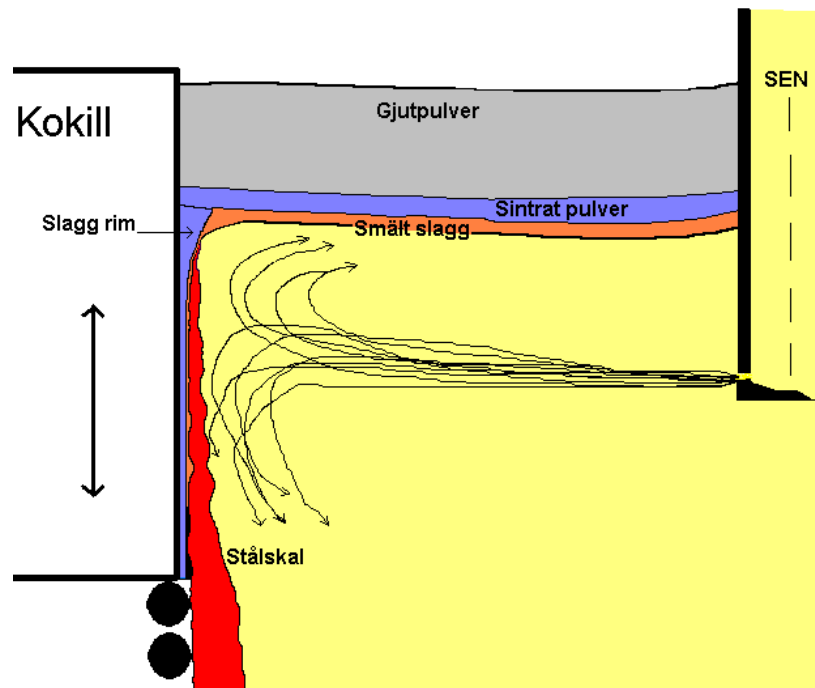
JERNKONTORET



Figur 19. Resultat från beräkning av gjutpulverförbrukning för referens- och försökpulver.

5. SLUTSATSER

Förmågan att gjuta ämnen med god kvalitet är inte endast en fråga om att utveckla ett optimalt gjutpulver för varje stålsort, ämnesdimension och gjuthastighet. Det är en kombination av andra gjutparametrar som oscillationsrörelse, flödes hastighet (gjutrörsutformning), ytbeläggning på kokillen, geometrisk form på kokillen vilket illustreras av Figur 20.



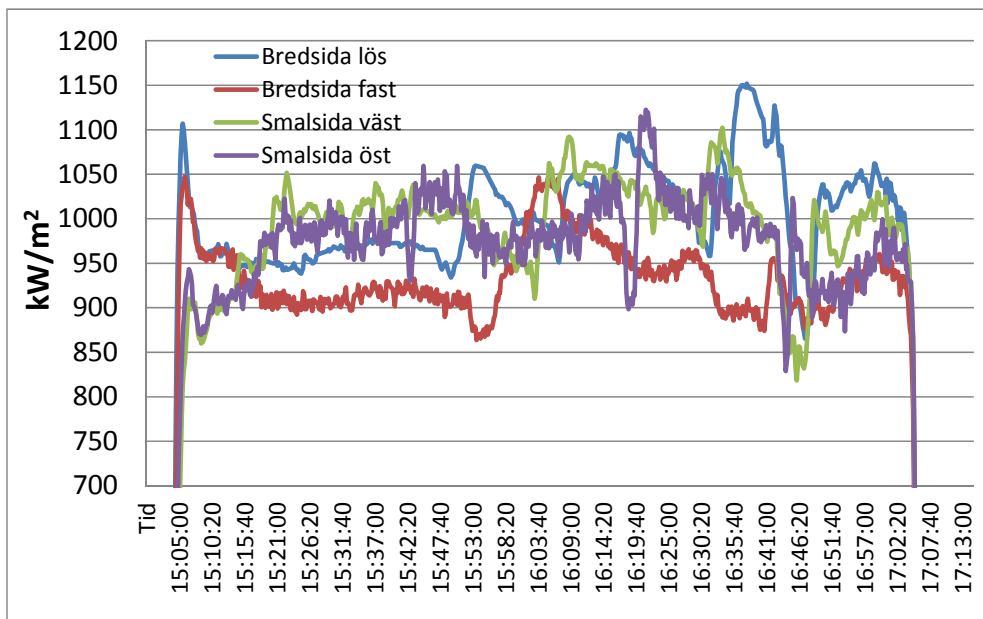
Figur 20. Schematisk bild av stränggjutningskokillen från gjutrör till smalsida för en slabsmaskin.

JERNKONTORET

I SSAB-fallen har vi gjort försök med nya gjutpulver i kombination med förändrade rörelsemönster för kokillen och lämnat övriga parametrar oförändrade. I fallet med SMT har vi koncentrerat oss på utveckling av gjutpulvrets sammansättning.

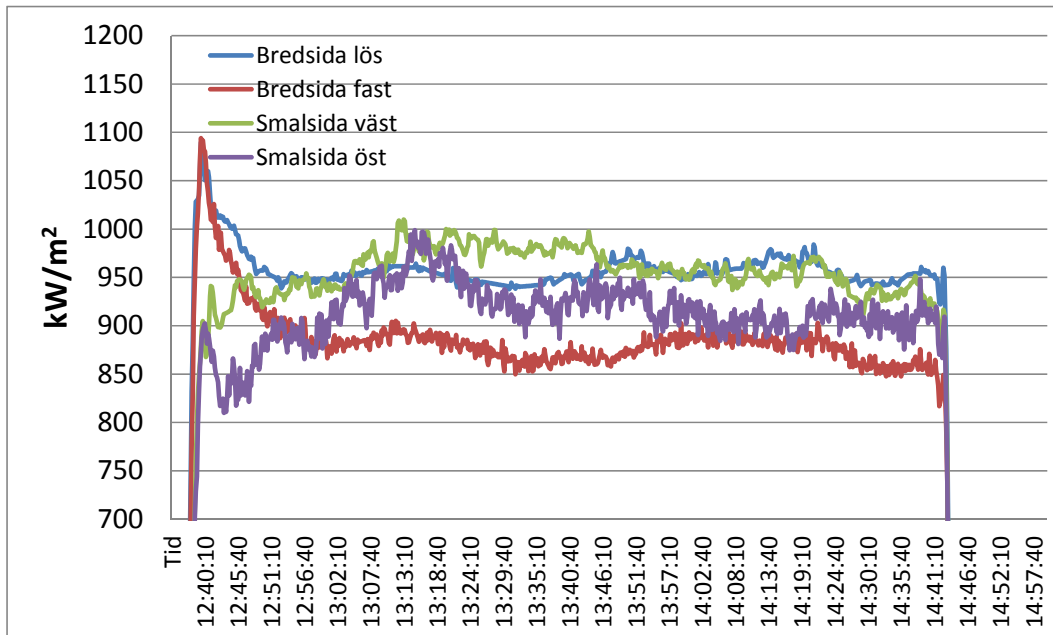
5.1 SSAB EMEA, Oxelösund

Resultaten från Oxelösund var uppmuntrande där fem av chargerna blev helt felfria som ses av Figur 2 varav samtliga charger hade höjd basicitet. Man såg dock en tydlig skillnad mellan gjutpulvers uppträdande mellan A- och B pulver där B-pulvren visade ett betydligt stabilare värmefflöde i kokill vilket illustreras av Figur 21 och 22. B-HVI som har lägst och stabilast värmefflöde är den enda sekvensen helt utan plåtdefekter. Detta innebär goda förutsättningar för fortsatt framgångsrikt arbete att minimera plåtytfel för denna stålsort.



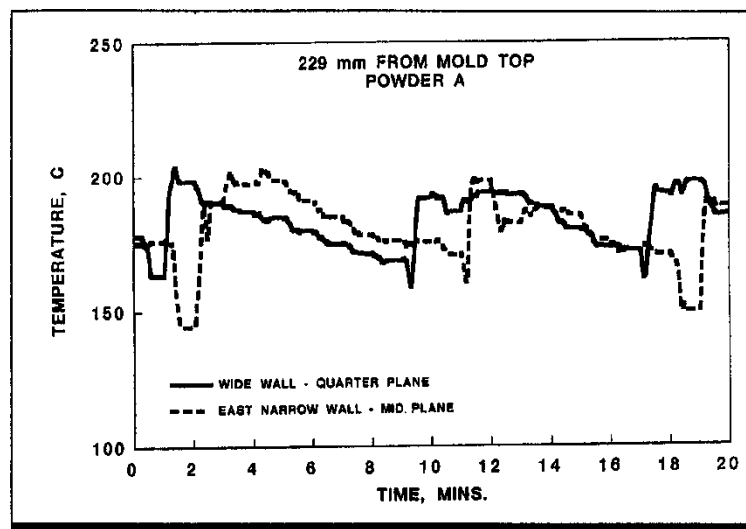
Figur 21. Värmefflöde i kokill för sekvens 22520 med gjutpulver A – OX-2/B.

JERNKONTORET



Figur 22. Värmefflöde i kokill för sekvens 22689 med gjutpulver B – HVI.

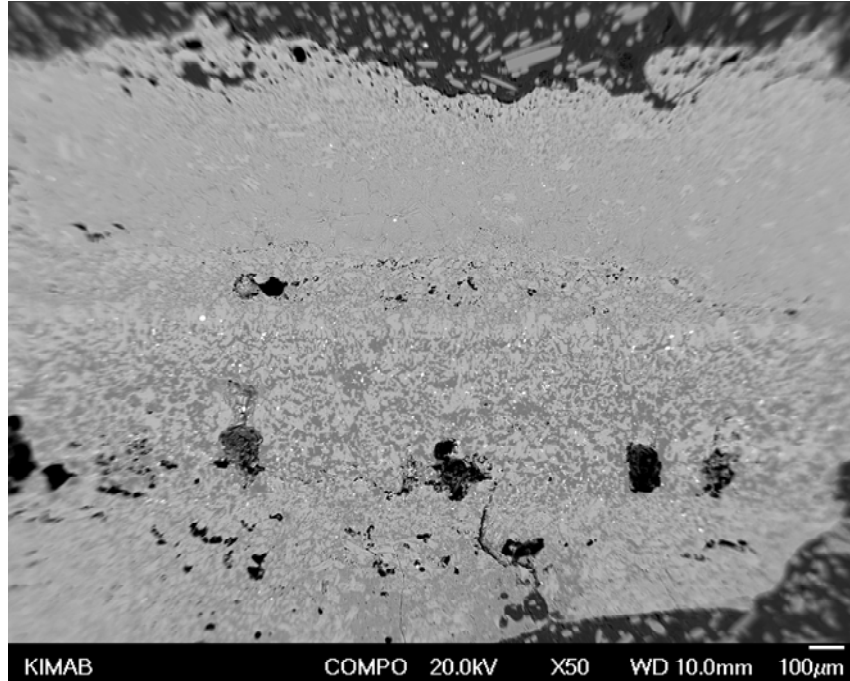
Värmefflödet för samtliga A-pulver uppvisar ett oregelbundet värmefflöde enligt Figur 21 som beror på att den bildade slagghfilmen blivit för spröd och periodvis går av och dras med ämnet varpå ny icke-kristalliserad slaggh fylls på från slagghskiktet på kokillens överyta varpå värmefflödet ökar. Detta är beskrivet i litteraturen [ref. 33] från en undersökning i USA med en slaggh med basiciteten 1.6 enligt Figur 23.



Figur 23. Kokilltemperaturer från försök med gjutslaggh med basicitet 1.6 [ref. 32].

Frågan är då varför gjutslaggh från tillverkare B klarar sig bättre än A. Förklaringen är troligen att slagghfilmen är segare. I Figur 24 visas ett exempel på en slagghfilm från Outokumpu Stainless uttagen med en håv direkt under kokillen. Filmen är ca. 2 mm tjock och har en kristallisationsgrad av ca. 50 % Cuspidine.

JERNKONTORET



Figur 24. Slagfilm från uttag direkt under kokill.

Cuspidine är den dominerande kristalltypen i de slaggsystem som studerats i projektet och har sammansättningen $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot \text{CaF}_2$. Kristallerna är spröda så det som håller ihop slaggsfilmen är den amorfa fasen mellan kristallerna som består av vad som blir över efter Cuspidine-bildningen. I Tabell 6 visas en beräkning av Cuspidine-andel och sammansättning på den återstående amorfa fasen för gjutslaggen.

Tabell 6. Cuspidin-andel och sammansättning av amorf fas för gjutslaggen.

	A-OX	A - OX-2	A - OX/B	A - OX-2/B	B - HMS	B - HVI
CaO, vikt-%	25,2	5,1	8,2	0,9	0,1	0,1
SiO ₂ , ”	42,7	48,9	31,4	31,2	39,4	39,3
Al ₂ O ₃ , ”	16,0	20,7	37,2	42,2	34,9	33,2
Na ₂ O, ”	12,7	18,9	17,6	19,5	14,4	13,6
CaF ₂ , ”	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	6,2
K ₂ O, ”	0,2	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7
MgO, ”	2,0	4,4	3,8	4,2	4,1	4,6
FeO, ”	1,2	1,7	1,4	1,6	2,0	2,3
Cuspidine, %	48,31	65,64	65,44	69,27	71,10	70,00
Restsmälta, %	51,69	34,36	34,56	30,73	28,9	30

Man kan konstatera att B-pulvren har högst Cuspidine-andel men också att den amorfa fasen skiljer sig en hel del i sammansättning jämfört med de högbasiska A-pulvren. SiO₂-halten är högre, Al₂O₃- och Na₂O-halterna är lägre och slaggen innehåller CaF₂ då det är kalcium som är begränsande för Cuspidine-bildningen till skillnad mot A-pulvren där fluor är begränsande.

5.2 Sandvik Materials Technology

Arbetet i Sandviken gav mycket bra information inför det fortsatta arbetet som kan sammanfattas enligt följande:

- Stålsorten stelnar peritektiskt och behöver mjukkylas. Dagens pulver har för låg basicitet för att dämpa värmeflödet optimalt.
- Försök med ett i princip kiselfritt gjutpulver (4 vikt-%) var ett extremförsök, troligen aldrig tidigare gjort i Sverige, som var mycket intressant att genomföra. Som förväntat gav det små förändringar i slaganalysen under gjutningen men också bättre slaggnedmatning än vi hade trott. Problemet var en extremt kraftig och djup slaggrim som innebar problem vid skaltillväxt och en chockkyllning under slaggrimen vilket ledde till dåliga ämnesytor.
- Utbytesreaktionerna mellan stålets aluminium och slaggens SiO_2 -innehåll gick inte att dämpa med en slag med högre viskositet som enbart ledde till högre kylning i kokillen till följd av minskad kristallisation.
- Lägre SiO_2 i slaggen leder också till mindre utbytesreaktioner med Al och därmed mindre förändringar av gjutslaggens viskositet.
- Minskningen i SiO_2 ger i allmänhet den stökiometriska viktökningen med 1.13 Al_2O_3 . Detta borde inte ha så stor negativ inverkan på slaggviskositeten då aluminiumoxid är en amfotär oxid men i slaggsystem (som gjutslag) med hög andel av både CaO och Na_2O kommer den att vara nätverksbildare [ref. 34]. Katjonen Al^{3+} bildar en AlO_4^{5-} tetraeder som lätt passar in i SiO_4^{4-} nätverket. En komplikation är att aluminiumoxid-tetraedern med fyra bryggande syrejoner har ett överskott på negativ laddning av -1 som måste bindas mot en associerad katjon i närhet av tetraedern för att upprätthålla lokal spänningsneutralitet. Med Na ger detta tetraedern NaAlO_4^{4-} . Man kan visualisera aluminiumoxid-jonen som en stor anjon med laddningen -1 fördelat över hela jonen. Den associerade katjonen kan vara lokaliserad varsomhelst i närheten av denna anjon för lokal laddningskompensation. Laddningskompensering med Ca^{2+} innebär att två anjoner laddningskompenseras av en Ca. Då syrejoner i form av Na_2O eller CaO konsumeras vid bildandet av aluminiumoxid-tetraeder kan de inte längre vara nätverksbrytande. Varje ny aluminiumoxid-jon tar bort en NBO (Non Bridging Oxygen) från strukturen. På detta sätt medför en ökning av Al_2O_3 att graden av polymerisation ökar på två sätt;
 - Genom att bygga nätverk med SiO_4^{4-} tetraederna.
 - Reparation av nätverket genom minskning av NBO.

Detta förklarar den kraftiga effekt en ökad aluminiumoxid-halt har på smältans viskositet.

Vi har därför stora förhoppningar på det planerade försöket med gjutpulver C som kommer att genomföras i januari 2013. Detta pulver har både sänkt SiO_2 -halt och höjd basicitet.

5.3 SSAB EMEA, Luleå

Resultatet från optimeringsförsöket i Luleå var till en början succéartat då gjutpulvret med svagt höjd viskositet, STEP1 fungerade mycket bra processtekniskt med bra flytbarhet i den automatiska gjutpulvermataren vilket förklarades av större kornfraktion samt ett lugnt smältförlopp i kokillen. Detta gjorde pulvret populärt bland stränggjutningsoperatörerna.

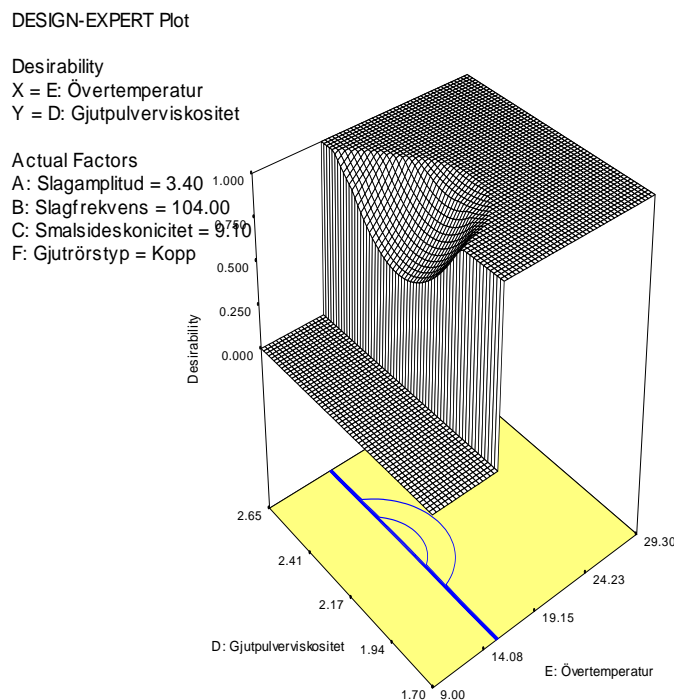
JERNKONTORET

Resultatet från ämnessyningen var också positiv med alla ämnen felfria. Mot den bakgrunden beställde stålverket hem 11 ton pulver för ett långtidstest. Det visade sig då att hörnsprickorna försvann, vilket var det ursprungliga målet, men att man istället fick ökad andel längdsprickor.

Det är allmänt känt att för dessa stålsorter är det en balansgång mellan hörnsprickor och längdsprickor vilket kräver ett stort arbete att göra en totaloptimering. Vid ett tidigare arbete hos SSAB EMEA i Oxelösund [ref. 31], med en sprickkänslig peritektisk stålsort, genomfördes en optimering med statistisk försöksplanering omfattande inte mindre än 30 charger. I det arbetet lyckades man minimera både hörnsprickor och längdsprickor genom en totaloptimering som också omfattade försök med två olika gjutrör. En optimeringsanalys ledde fram till följande rekommenderade processföring för att minimera både andelen längs- och öppna hörnsprickor:

- Gjutror kopp med låg flödes hastighet.
- Slagfrekvens: Medel.
- Slagamplitud: Medel.
- Smalsideskonicitet: Hög.
- Gjutpulverviskositet: Hög eller låg.
- Gjuttemperatur: Hög.

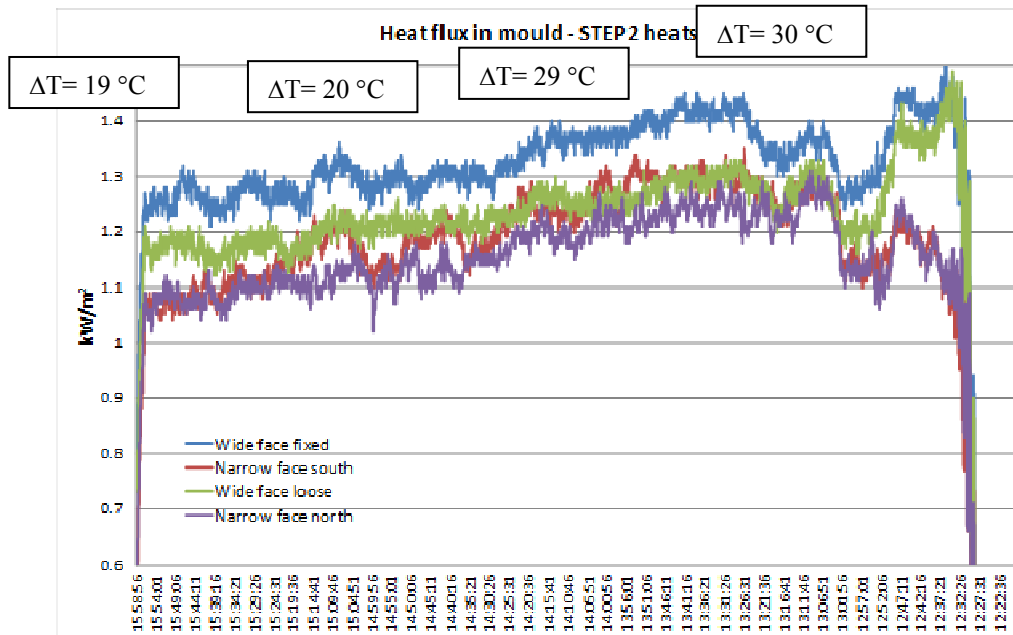
I Figur 25 ses en ”desirability” (önskvärhetsgraf) av detta processfall där 1.0 betyder inga vare sig hörn- eller längdsprickor. Som ses finns en stabil plattå utan sprickor men det kräver höjd overtemperatur på stålet, en åtgärd som genomfördes efter projektet tillsammans med de övriga optimala åtgärderna.



Figur 25. Totaloptimering gjutrörstyp kopp.

JERNKONTORET

För Luleås fall har vi kunnat konstatera att värmeflöde i kokill, och därmed skaltillväxt, följer ståltemperatur och kokilltemperatur mycket tydligt vilket illustreras av Figur 26, vilket tyder på en stark strömningshastighet. En komplexitet, vad gäller processoptimering, är de stora ändringar man gör på breddformatet under en sekvensgjutning vilket kraftigt ändrar strömningsbild och förutsättningarna i kokillen. I Tabell 7 visas bredderna som tillverkades under försöksserien och som ses ändras från 1550 mm till 1215 mm vilket har stor inverkan på strömningshastigheten i kokillen.



Figur 26. Värmeflöde i kokill för STEP2 chargerna.

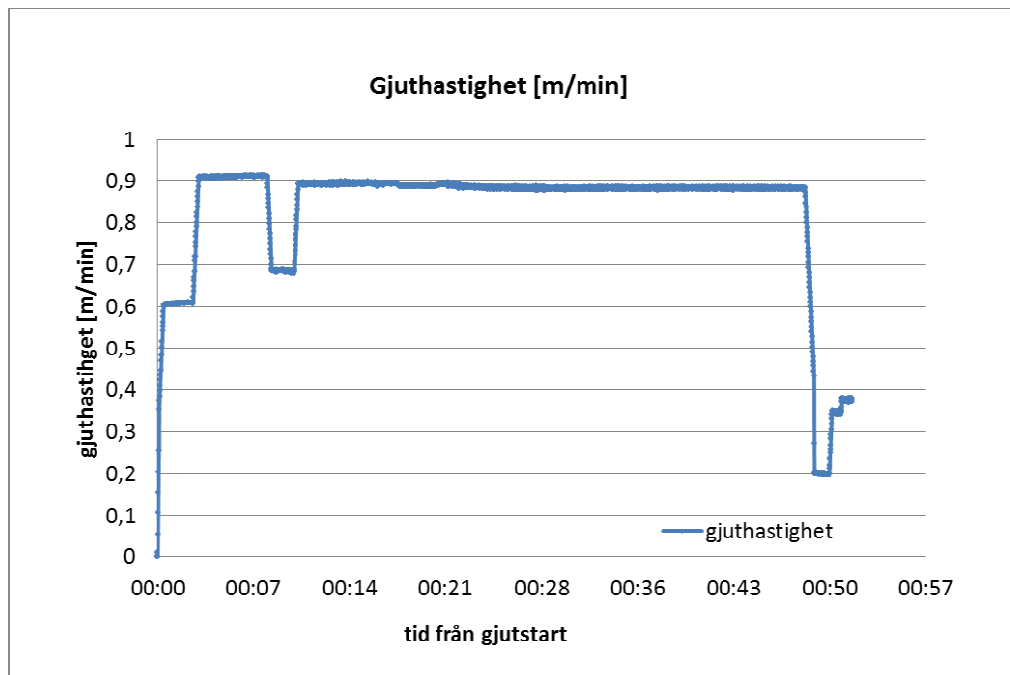
Tabell 7. Medelgjuthastighet och ämnesbredder.

Charge	Gjuthastighet m/minut	Hastighetsreduktion	Ämnesbredd medel, mm
S9254	1.0	Vid uppstart	1550
S9255	1.0	Nej	1490
S9256	1.0	Nej	1420
S9257	1.0	Skänkbyte vid avslut	1405
S9258	1.2	Skänkbyte vid start	1405
S9259	1.2	Skänkbyte vid avslut	1405
S9260	1.2	Skänkbyte vid start	1405
S9261	1.2	Skänkbyte vid start och avslut	1325
S9284	1.1	Vid start och under gjutning	1310
S9286	1.2	Nej	1280
S9287	1.2	Nej	1250
S9288	1.2	Vid avslut	1215

5.4 Outokumpu Stainless, Avesta

Slutsatserna från arbetet i Avesta kan kortfattat sammanfattas:

- Besvärlig stålsort där tillsatsen av mischmetaller innebär att dessa fungerar som kärnbildare och man får ett stelningsförlopp med minimal underkylning. Detta medför frysning i kokillen särskilt under startförloppet då stålet är kallt vilket i sin tur ger dåliga ämnesytor på startämnena.
- Uppstartsörfarandet med ett hejdat startförlopp vid 0.6 m/minut som ses i Figur 27 riskerar också att förvärra situationen då det bidrar till att kyla ner stålet i kokillen.
- Då stålsorten inte stelnar peritektiskt borde man inte använda ett högbasiskt startgjutpulver som man gör i dag.



Figur 27. Gjuthastighet för referenschargen.

6. FÖRSLAG PÅ FORTSATT FORSKNINGS- OCH IMPLEMENTERINGSINSATSER

6.1 SSAB EMEA, Oxelösund

- Implementeringen är redan igång då processutvecklarna i Oxelösund driver fortsatta försök vidare då framförallt med fortsatta längre försök med gjutpulver från leverantör B.
- Goda möjligheter finns att redan under nästa år nå upp till målsättningen.
- De mycket intressanta resultat som framkom vad gäller hållfasthet i slaggfilm är värda att forska vidare i. Swerea KIMAB planerar att skriva en RFCS-ansökan våren 2013 med målsättning att fördjupa kunskap om kristallisation i gjutlagssystem samt slaggfilmers hållfasthet.

6.2 Sandvik Materials Technology

- Fortsatt arbete avvaktar resultaten från försök med gjutpulver C i januari 2013.
- Goda förutsättningar finns att uppnå målsättningen men troligen behöver ytterligare försök göras efter C-försöket med eventuella justeringar följt av ett långtidstest.

6.3 SSAB EMEA, Luleå

- De omfattande resultaten från optimeringsförsöket och modelleringen utfört av Swerea MEFOS behöver djup penetreras gemensamt med forskare på instituten och processutvecklarna på stålverket.
- Baserat på en fördjupad analys behöver man göra ytterligare optimeringsförsök med målsättningen att kunna minimera både hörn- och längssprickor.
- En sådan optimering bör också innefatta användning av STEP1 gjutpulvret som uppvisade många processfördelar.
- Efter ett andra optimeringsförsök följt av långtidstest bör målsättningen kunna uppfyllas.

6.4 Outokumpu Stainless, Avesta

- Försök kommer att göras i januari 2013 med ett lågbasiskt startgjutpulver.
- Eventuellt gör man också försök med snabb upprampning av gjuthastigheten vid gjutstart.
- För att höja värmnet i gjutpulverbädden vill man också prova att förlänga tiden med tillsats av det exoterma startgjutpulvret och eventuellt fortsätta gjutningen med en blandning av ordinarie gjutpulver och det exoterma startpulvret.
- Efter att dessa försök är gjorda kan man ta ställning om fortsatt utvecklingsarbete.
- Det är möjligt att detta processfall är extremt svårt och man kan troligen uppnå rejäla förbättringar, men det är i dagsläget svårt att bedöma om hela målsättningen är möjlig att uppnå.

7. REFERENSER

1. Däcker C-Å, *Case study mould powder – Final report*, IM-2003-534.
2. Andersson S. P., *Beräkningshjälpmedel – Skaltillväxt*, TO24-144.
3. Däcker C-Å, Andersson P., *Förstudie mjukkyld kokill*, IM-2005-543.
4. Andersson S.P., *Metodutveckling av icke stationär varmtrådsmetod för mätning av värmeledningsförmågan i gjutslag*, IM-2002-546.
5. Andersson S.P., *Utveckling av experimentell teknik för bestämning av värmeledningsförmåga i isolermaterial vid hög temperatur*, IM-2003-528.
6. Sundh J., *Characterisation of heat transfer in mould powder slags in terms of heat conduction and radiation*, IM-2003-530.
7. Andersson S.P., *Utveckling av experimentell teknik för bestämning av tidsberoende värmeövergångstal i gjutslag*, IM-2002-558.
8. Riddar F., *Utveckling av experimentell metod för bestämning av den kritiska stelningshastigheten för peritektiska stål*, IM-2005-112.
9. Rostro R., *Development of a "mould simulator" for the study of heat flux through mould slags*, KIMAB-2006-531.
10. Däcker C-Å. *Optimering av gjutpulverfunktion och kokillrörelse vid förhöjda gjuthastigheter*, JK – TO24-163, 2006.
12. Däcker C-Å, Görnerup M., Andersson P., *Gjutpulverkaraktisering – datablad för gjutpulver*, JK TO24-166, 2006.
13. Däcker C-Å, Glaes M., Andersson P., Salwén A., Eggertsson C., *Influence of slag rim formation on initial solidification of stainless steel*, 6th European Continuous Casting Conference, Riccione, Italy, June 2008.
14. Däcker C-Å, Eggertsson C., Lönnqvist J., *Development of a laboratory method for characterisation of mould powder melting rate*, to be published at MOLTEN 2009, Santiago, Chile.
15. Taishi Matsushita, Miyuki Hayashi, Seshadri Seetharaman; *Thermochemical and thermophysical property measurements in slag systems*, International Journal of Materials and Product Technology (IJMPT), Volume 22 - Issue 4 – 2005, p.351 – 390.
16. Taishi Matsushita, Takehiko Ishikawa, Paul-François Paradis, Kusuhiro Mukai and Seshadri Seetharaman; *Density Measurements of Mould Flux Slags by Electrostatic levitation method*, ISIJ International, Vol. 46, No. 4 (2005) p. 606-610.
17. Taishi Matsushita, Mårten Görnerup, Yasushi Sasaki and Seshadri Seetharaman, *Stress relaxation behavior of molten slags*, accepted for publication on April 21, 2006, ISIJ International.
18. S. Seetharaman, K. Mukai and Du Sichen. *Viscosities of Slags-An Overview*. Steel Research, 2005, vol.76, pp.267-278.
19. K. C. Mills and S. Seetharaman. *Review of Viscosities of Slags, Glasses and Fluxes*. Professor T. Iida Special Issue of Thermophysical Properties, Osaka Univ. 2003.
20. F-Z. Ji, Du Sichen and S. Seetharaman. *Viscosities of multi-component silicate melts at high temperatures*. International Journal of Thermophysics, 1999, vol.20, pp.309-322.
21. F. Shahbazian, Du Sichen, K.C. Mills and S. Seetharaman. *Experimental studies of the viscosities of some CaO-CaF₂-SiO₂ slags*. Ironmaking & Steelmaking, 1999, vol.26, pp.193-99.
22. A.Yamauchi, T. Emi and S. Seetharaman. *A Mathematical Model for Prediction of Thickness of Mould Flux Film in Continuous Casting Mould*. ISIJ International, 2002, vol. 42.
23. M. Hayashi, R. Abas and S. Seetharaman. *Thermal diffusivities of mould powders for the*

JERNKONTORET

- continuous casting of steels*. ISIJ International, 2004, vol.44(4), pp.691-697
24. J. Björkvall, Du Sichen, V. Stolyarova and S. Seetharaman. *Model Description of the Thermodynamic Properties of Multicomponent Slags and Its Application on Slag Viscosities*. International Conference on Thermodynamics and the Chemical Structure of Melts and Glasses, Sept. 7-9, 1999, St. Petersburg, Russia.
 25. M. Görnerup, M. Hayashi, C-Å Däcker and S. Seetharaman. *Mould Fluxes in Continuous Casting of Steel-Characterisation and Performance tuning*. Presentation in International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, Cape Town, South Africa, 25-28 Jan. 2004.
 26. T. Matsushita, Däcker C-Å, Seetharaman S., *Thermophysical Properties of Mould Flux from Swedish Steel Companies*, ICS 2008, Japan.
 27. Däcker C-Å, Salwén A., Andersson P.S, Sjöström U., Nyström R., Lundqvist M., Jonsson T., Seetharaman S., Matsushita T., Ooppelstrup J., Hansson Antonsson K., *Utveckling av Beräkningsmodell för skaltillväxt i kokill med hänsyn tagen till gjutpulvrets egenskaper*, TO24-176, Maj 2010.
 28. Blazek K., Yin H., Skoczylas G., McClymonds M., Frazee M., *Comparison of the Reactivity of Lime-Silica and Lime-Aluminium Based Mold Fluxes when Casting High-Aluminium TRIP Steel Grades*, ECCO 2011, Dusseldorf, Tyskland.
 29. Blazek K., Yin H., Skoczylas G., McClymonds M., Frazee M, *Development and Evaluation of Lime-Alumina-Based Mold Powders for Casting High-Aluminum TRIP Steel Grades*, Iron & Steel Technology, August 2011, sid. 232-240.
 30. Cho J-W, Blazek K., Frazee M., Yin H., Park J.H., Moon S-W., *Development of CaO-Al₂O₃ Based Mold Flux System for High Aluminium TRIP Casting*, 9th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, Beijing, China May 2012.
 31. Däcker C-Å, Sohlgren A., Sohlgren T., *Minimering av längssprickor på Nb-Ti-B stål vid slabsgjutning hos SSAB Oxelösund AB*, JK-rapport TO24-168.
 32. Däcker C-Å, Luo C., Andersson P., *Utvärdering av icke sinusformad oscillationsrörelse vid stränggjutning*, KIMAB-2010-535.
 33. Ozgu M.R, Kocatulum B., *Thermal Analysis of the Burns Harbor No.2 Slab Caster Mold*. Iron and Steelmaker, Vol.21 (1994) No. 5, sid. 77-84.
 34. Mills K.C., *The structure of silicate melts*, NPL Report DMM(A) 43 (1991).

JERNKONTORET

BILAGA 1 – PROJEKTORGANISATION OCH MEDVERKANDE

Forskningskommitté

JK 24052

Projektperiod

2010-01-01 till 2012-12-31

Ordförande

Anders Lagerstedt

SSAB EMEA, Oxelösund

Projektledare

Carl-Åke Däcker

Swerea KIMAB AB

Forskningschef

Lars-Henrik Österholm

Jernkontoret

Industrimedlemmar

Christer Nilsson

SSAB EMEA, Luleå

Patrik Wikström

SSAB EMEA, Luleå

Arashk Memarpour

Sandvik Materials Technology

Jesper Janis

Outokumpu Stainless, Avesta

Tomas Sohlgren

SSAB EMEA, Oxelösund

Adjungerade forskare

Fatemeh Shahbazian

Swerea KIMAB AB

Line Hallgren

Swerea KIMAB AB

Lidong Teng

KTH, Materialens processvetenskap

Seshadri Seetharaman^a

KTH, Materialens processvetenskap

Richard Andersson^a

KTH, Materialens processvetenskap

Jessica Elfsberg^b

KTH, Materialens processvetenskap

Zhaleh Elahipanah^c

KTH, Materialens processvetenskap

Tianming Sun^d

KTH, Materialens processvetenskap

Pavel Ramirez Lopez^e

Swerea MEFOS

Pooria Halale^e

Swerea MEFOS

^a Deltog under projektets första år

^b Deltog huvudsakligen under 2011

^c Deltog i slutet av 2011 t.o.m. maj 2012

^d Deltog juni-december 2012

^e Deltog i en avgränsad del juli-nov 2012

JERNKONTORET

BILAGA 2 – Publikationer

Tekniska rapporter

- [1] Däcker C-Å, *Delrapport från referensförsök hos SSAB EMEA Oxelösund i februari 2011*, TO 24-181.
- [2] Däcker C-Å, Lagerstedt A., Sohlgren T., *Rapport från optimeringsförsök hos SSAB EMEA i Oxelösund, våren 2012*, TO 24-189.
- [3] Däcker C-Å, *Delrapport från referensförsök hos Sandvik Materials Technology i november 2011*, TO-24-180.
- [4] Däcker C-Å, Memarpour A., *Rapport från optimeringsförsök hos Sandvik Materials Technology, hösten 2012*, TO 24-190.
- [5] Däcker C-Å, *Delrapport från referensförsök hos SSAB EMEA Luleå i juni 2010*, TO 24-179.
- [6] Däcker C-Å, Nilsson C., Wikström P., *Report from optimisation trials at SSAB EMEA in Luleå, August 2011*, TO24-188.
- [7] Hallgren L., *Delrapport från referensförsök hos Outokumpu Stainless AB, Avesta i februari 2012*, TO24-182.
- [8] Elfsberg J., *Early Solidification in Continuous Casting*, Doktorsavhandling vid KTH 2010.
- [9] Elahipanah Z., *Thermo-physical Properties of Mould Flux Slags for Continuous Casting of Steel*, Examensarbete vid KTH, maj 2012.
- [10] Sun T., Hu X., Hallgren L., Teng L. *Physical property measurements and thermo-dynamic evaluations of mould powder for continuous casting*, dec. 2012. TO24-192.
- [11] Ramirez Lopez P.E., Nazem Jalali P., *Analysis of Different Continuous Casting Mould Powders Through Numerical Modelling at Swerea MEFOS*, dec. 2012. TO24-191

JERNKONTORET

BILAGA 3 – ANNAN RESULTAT- OCH KUNSKAPSFÖRMEDLING

Ogranskade konferenspublikationer

Däcker C-Å, Salwén A, Andersson P., Eggertsson C., *The history of mould slag films downwards the mould and how it affects heat flux and shell growth in continuous casting of steels*, 7th European Continuous Casting Conference, Dusseldorf, Germany, June 2011.

Däcker C-Å, *Selection and process behaviour of mould powders for ingot casting and continuous casting – comparison and explanation of the differences*, 1st International Conference on Ingot Casting, Rolling and Forging, Aachen, Germany, June 2012.

Seminarier

Vid uppstarten av projektet (15/4- 2010) anordnades ett seminarium med Professor Ken Mills från Imperial College och 26 deltagare från stålindustrin, Swerea KIMAB och KTH.

Programkonferens på Jernkontoret, 4-5 september 2012

Metallurgmötet, 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.

BILAGA 5 – Resultat från försök med mätning av gjutpulvers smälthastighet med Swerea KIMAB:s provmetod

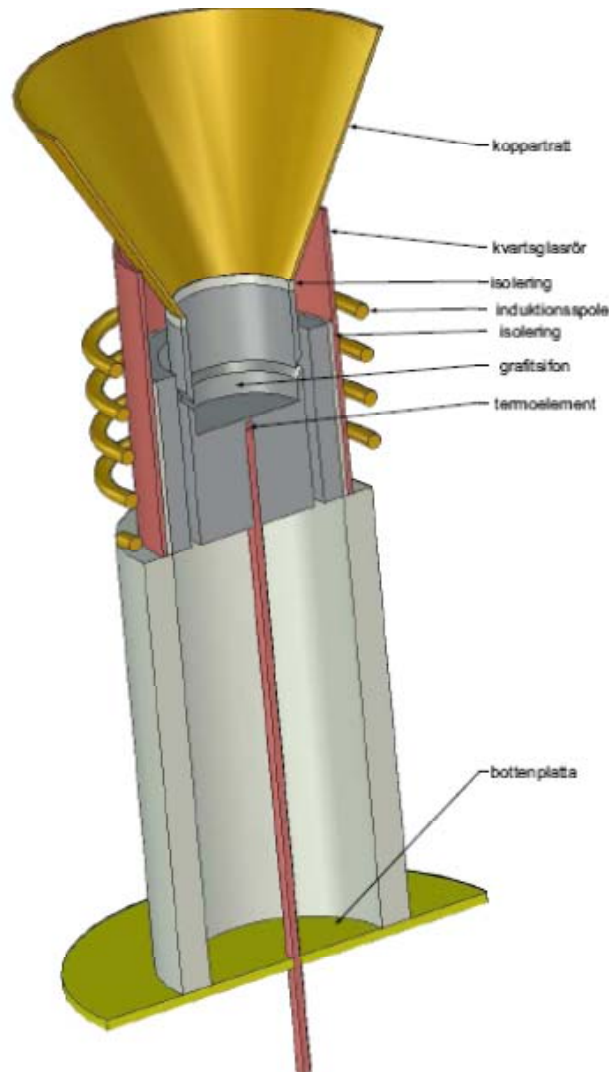
Som ett komplement till arbetet med fysikalisk bestämning av gjutpulver beslöts i juni 2012 att även göra försök att mäta smälthastighet av SSAB:s gjutpulver med den mätmetod som utvecklats av Swerea KIMAB där princip och teori beskrivs utförligt i referens 14. Detta arbete har utförts i ett mycket sent skede av projektet (december 2012) av Johan Lönnqvist på Swerea KIMAB och rapporteras därför som bilaga i denna slutrapport.

1. Beskrivning av mätmetod

Gjutpulver fylls genom tratten i uppställningen. Pulvret smälter i sifonen och rinner ut genom hålen, allt eftersom pulver förbrukas tillförs nytt pulver för att hålla en konstant höjd nivå av pulver enligt principskiss i Figur 1. Slaggskiktet var 10 mm högt, från botten av sifonen till överkant på utrinningshålen. Mellan nytt pulver och slagg bildades ett tunt kolskikt och ett avkolat, delvis sintrat skikt. Ett 30 mm högt tätsintrat aluminiumoxidrör satt mellan sifon och tratt. Nytt gjutpulver fylldes upp till toppen på aluminiumoxidröret. 6 l/min luft tillfördes vid botten av tratten under försökens gång. Temperaturen hölls konstant vid 1500°C i botten på sifon. Om avståndet mellan botten på sifonen upp till nytt gjutpulver var för hög avstannade förbrukningen, varför detta kontrollerades under försökens gång.

Tiden för varje gång en ny mugg med 25 g började tillsättas registrerades i Tabell 1. Medelvärden av tiderna för respektive gjutpulversort delades med tiden för SSAB OX-2, som förekom i båda försöken. På detta sätt kan båda försöken jämföras i Figur 2.

JERNKONTORET



Figur 1. Skiss av experimentuppställning

2. Resultat

Provmetoden använder principen att smältning sker mot en grafitkopp med sifonutlopp där en kontinuerlig smältning kan ske vid en kontrollerad temperatur på 1500 °C. För att efterlikna verkligheten tillförs syre ovanför gjutpulverbädden via ett kontrollerat luftflöde. Resultaten visar att den dominerande styrparametern för smälthastighet är halten av fritt kol.

JERNKONTORET

Tabell 1. Försök 121212 och försök 121214

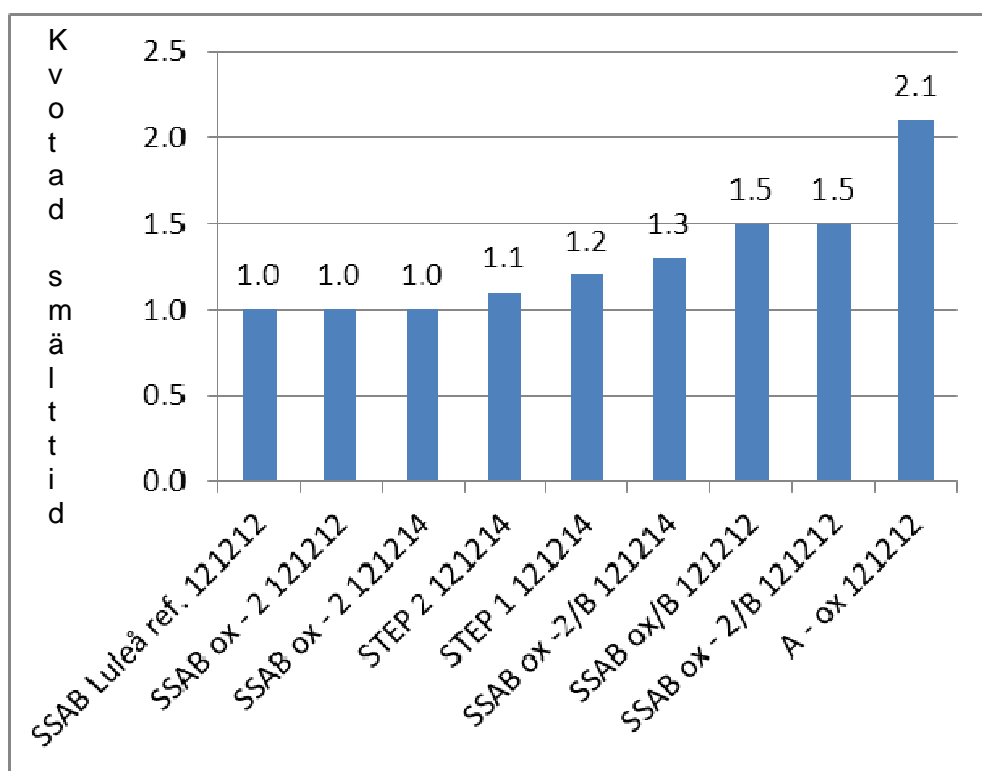
Tid	Försök 121212	tillsatt pulver	medeltid	kvotad medeltid
16:32		SSAB Lul. ref. 121212	00:06:00	1.0
16:38	00:06:00			
16:44	00:06:00			
16:50	00:06:00			
16:59	00:09:00	SSAB ox/B 121212	00:09:00	1.5
17:08	00:09:00			
17:18	00:10:00			
17:26	00:08:00			
17:38	00:12:00	A - ox 121212	00:12:20	2.1
17:50	00:12:00			
18:03	00:13:00			
18:15	00:12:00	SSAB ox - 2/B 121212	00:09:15	1.5
18:25	00:10:00			
18:33	00:08:00			
18:40	00:07:00			
18:47	00:07:00	SSAB ox - 2 121212	00:06:00	1.0
18:50	00:03:00			
18:57	00:07:00			
19:04	00:07:00			
tid	Försök 121214	tillsatt pulver	medeltid	kvotad medeltid
14:10		SSAB ox -2/B 121214	00:08:30	1.3
14:18	00:08:00			
14:28	00:10:00			
14:36	00:08:00			
14:44	00:08:00			
14:50	00:06:00	SSAB ox - 2 121214	00:06:20	1.0
14:56	00:06:00			
15:03	00:07:00			
15:10	00:07:00	STEP 1 121214	00:07:45	1.2
15:18	00:08:00			
15:26	00:08:00			
15:34	00:08:00			
15:41	00:07:00	STEP 2 121214	00:06:45	1.1
15:49	00:08:00			
15:55	00:06:00			
16:01	00:06:00			

Sammantaget har 7 gjutpulver provats för Luleå referens och STEP1 och STEP2 som hade ändrad sammansättning för att öka viskositeten men oförändrad sammansättning vad gäller

fritt kol som har störst inverkan på smälthastigheten. I Oxelösunds-fallet provade man fyra pulver där utöver referenspulvret två pulver hade förändrad sammansättning (OX-2) med lägre halt fritt kol för att öka smälthastigheten enligt Tabell 2.

Tabell 2. Beskrivning av gjutpulver för Oxelösundsförsöken

Gjutpulver	Beteckning
A - OX	Referens
”	”
A - OX-2	Höjd smälthastighet
”	”
A - OX/B	Höjd basicitet
”	”
A - OX-2/B	Höjd smälthastighet+basicitet
”	”



Figur 2. Jämförelse av smälthastighet för olika gjutpulver.

Slutsatser:

- För Luleå-fallen har försökspulvren STEP1 och STEP2 något långsammare smälthastighet troligen till följd av ändrad mineralogisk sammansättning.
- Beträffande Oxelösunds pulver är det tydligt att OX-2 pulvren med lägre halt av fritt kol har högre smälthastighet jämfört med referenspulvret.
- Ökad basicitet medför förändrad mineralogisk sammansättning vilket verkar ha negativ effekt på smälthastigheten.

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

