2010-009

Kontroll av föroreningar i skrot

Lars Pettersson, Ralf Lisell

swerea | SWECAST

Swerea SWECAST AB

Box 2033, 550 02 Jönköping

Telefon 036 - 30 12 00

Telefax 036 - 16 68 66

swecast@swerea.se

http://www.swereaswecast.se

© 2010, Swerea SWECAST AB

Sammanfattning

Dålig skrottillgång medför att allt ”sämre” skrot kommer ut på marknaden. Följande rapport behandlar de metallurgiska riskerna med förorenat skrot vid framställning av segjärn och gråjärn. Olika ämnen påverkar järnets struktur på olika sätt. Ämnen kan delas in i tre kategorier, de som främjar perlitbildning, de som främjar ferritbildning och de som inte har någon nämnvärd påverkan på strukturen. Till perlitbildarna hör antimon, arsenik, bly, koppar och mangan med flera. Zink är ett exempel på ett ämne som främjar ferritbildning.

En del föroreningselement orsakar degenerativa grafitformer. Ett exempel är bly som kan orsaka bildning av Widmanstättengrafit i gråjärn. I segjärn orsakar bland annat bly och tellur bildning av lamellär grafit. Risken för förekomst av ”chunky grafit” ökar med ökande kalcium och ceriumhalt.

Raffinering av järn är möjligt att utföra för minskning av flera olika ämnen, raffineringsmetoder för fosfor och svavel är välkända och beskrivs i flera referenser [14, 15, 16].

I vissa tillämpningar är ett ferritiskt segjärn lämpligt som materialval. För att uppnå önskade materialegenskaper måste manganhalten hållas låg, lämpligen under 0,3 %. Manganraffinering beskrivs i ett Kanadensiskt patent från 1992 [19] och är utvecklad för att tillverka as-cast ferritiskt segjärn utan användning av tackjärn. Försök med denna metod, kallad wilmanprocessen har utförts. Manganhalten sänktes från 0,8 % till 0,15 % på ungefär två timmar. Denna tidsåtgång är orimligt lång för att kunna implementeras i produktion, men processen har potential att utvecklas.

Nyckelord:

Gråjärn, Segjärn, Raffinering, Wilmanprocessen

Summary

Poor scrap availability means that more "bad" scrap enters the market. The following report outlines the metallurgical risks of contaminated scrap, in the manufacture of ductile and gray iron. Different substances affect the iron structure in different ways. Elements can be grouped into three categories, those that promote pearlite formation, those that promote ferrite formation and those who do not have any significant impact on the structure. Antimony, arsenic, lead, copper and manganese and others are pearlite formers. Zinc is an example of a substance that promotes formation of ferrite.

Some residual elements cause formation of degenerative graphite forms. One example is lead, which can cause formation of Widmanstätten-graphite in gray iron. In ductile iron lead and tellurium formation among others cause formation of lamellar graphite. The risk of occurrence of "chunky graphite" increases with increasing calcium and cerium content.

Refining of iron is possible to carry out for reduction of some elements; refining methods for phosphorus and sulphur are well known and described in several references [14, 15, 16].

In certain applications, ferritic ductile irons are preferable. In order to achieve desired material properties, manganese content is kept low, preferably below 0.3%. Manganese refining described in a Canadian patent from 1992 [19] and is designed to produce as-cast ferritic ductile iron without the use of pig iron. A test of this method, called the wilman-process has been performed. Manganese concentration was lowered from 0.8% to 0.15% in about two hours. The process is not possible to implement in production because the process time is too long, but the process has the potential to be developed and implemented in the future.

Keywords:

Grey iron, Ductile iron, refining, Wilman-Process

Innehållsförteckning

1 INLEDNING 1

2 PÅVERKAN PÅ JÄRNETS STRUKTUR OCH EGENSKAPER 1

3 PÅVERKAN PÅ GRAFITSTRUKTUR 5

3.1 GRÅJÄRN (LGI) 5

3.2 SEGJÄRN (SGI) 7

4 VAD HÄNDER MED FÖRORENINGSELEMENT VID OMSMÄLTNING 10

5 RAFFINERING AV JÄRN 10

5.1 WILMANPROCESSEN 11

6 FÖRSÖK MED WILMANPROCESSEN 12

6.1 FÖRSÖKSBESKRIVNING 12

7 RESULTAT 13

8 DISKUSSION 14

9 SLUTSATS 14

10 FORTSATT ARBETE 14

10.1 FÖRSÖK MED VARIERANDE KISELHALT 14

10.2 FÖRSÖK MED MEKANISK OMRÖRNING 14

10.3 FÖRSÖK MED GASSPOLNING 15

10.4 UTVÄRDERING AV MIKROSTRUKTUR 15

11 REFERENSER 15

1 Inledning

Dålig skrottillgång medför att allt ”sämre” skrot kommer ut på marknaden. ”Forskningsgrupp järn” har lyft frågan kring renhet på och i skrot och risker med eventuella föroreningar. De risker som diskuteras är metallurgisk påverkan, miljöpåverkan i form av utsläpp samt arbetsmiljömässiga. Följande rapport behandlar de metallurgiska riskerna med förorenat skrot.

2 Påverkan på järnets struktur och egenskaper

De olika ämnens påverkan på grundmassans struktur är likartade oavsett vilken grafitform gjutjärnet har. Denna del av rapporten delas av denna anledning inte upp i olika delar för gråjärn och segjärn.

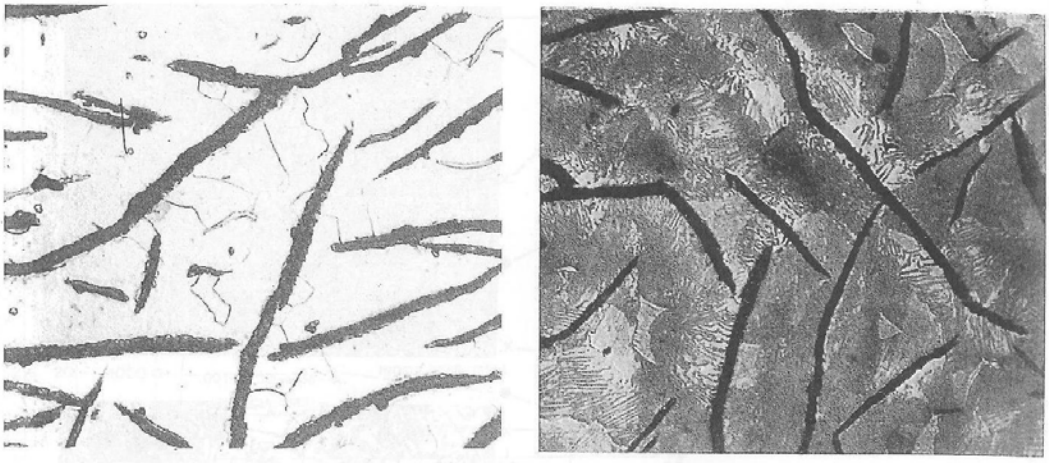
Spårämnena kan grovt delas in i två grupper, de som leder till att perlit bildas samt de som leder till att ferrit främjas.

Tabell 1: Uppdelning av ämnen mellan perlitbildare och ferritbildare.

Perlitbildare	**Ferritbildare**
Antimon	Bor
Arsenig	Zink
Bly	
Koppar	
Mangan (svag)	
Svavel	
Tenn	
Vismut	

Antimon (Sb)

Antimon främjar perlitbildning genom att hindra diffusion av kol i grundmassan [1,5]. I figur 1 visas hur grundmassans struktur i gråjärn påverkas då antimon tillsätts till järnet.

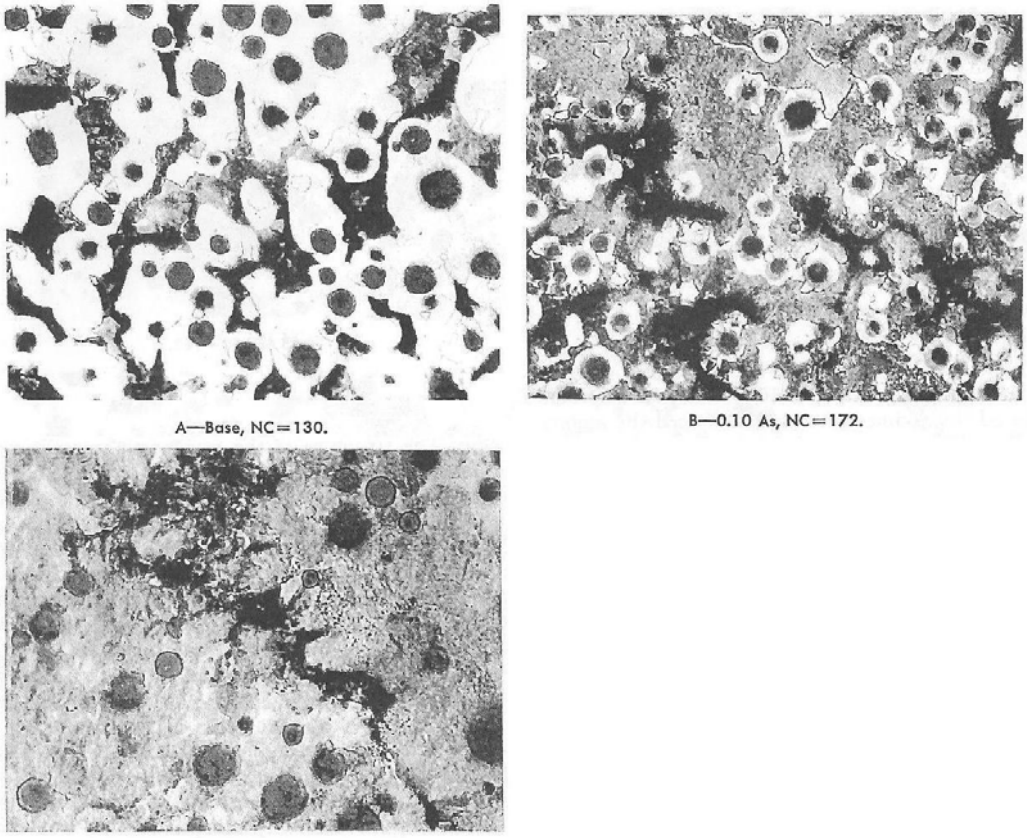


A—Base. B—Base + 0.05 Sb.

Figur 1 Påverkan av antimon för gråjärnets struktur [5].

Arsenik (As)

Arsenik främjar perlitbildning genom att hindra diffusion av kol i grundmassan [1]. Arsenik är inte en lika stark perlitbildare som antimon, 0,20 % tillsattes i ett segjärn för att uppnå fullständig perlitisk grundmassa, jämfört med en tillsats på 0,05 % av antimon för att uppnå samma effekt, se figur 2 [5].



A—Base, NC=130. B—0.10 As, NC=172.

C—0.20 As, NC=77.

Figur 2 Effekt på mikrostruktur vid tillsats av arsenik [5].

Bly (Pb)

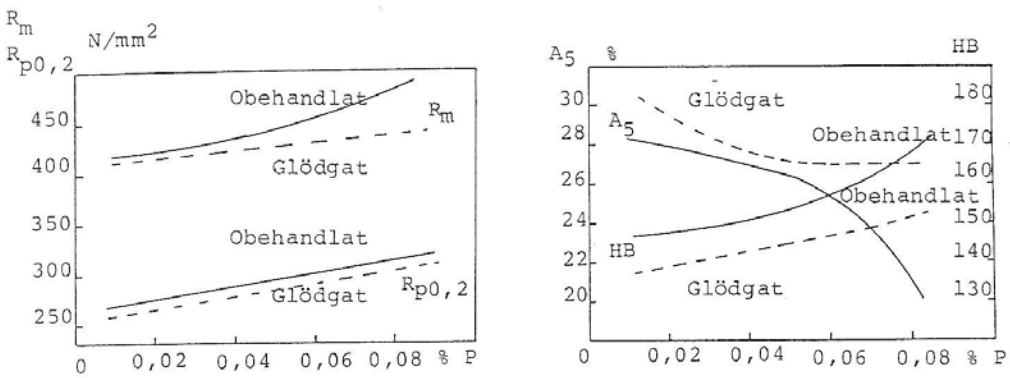
Bly främjar perlitbildning genom att hindra diffusion av kol i grundmassan, dvs. samma effekt och mekanism som för antimon och arsenik [1,5].

Bor (B)

Bor reducerar perlitbildningen. Maximalt acceptabel halt är 0,002 %, 0,0006 % för perlitiskt segjärn [9].

Fosfor (P)

Fosfor sänker slagseghet och duktilitet, samtidigt som brottgräns och hårdhet ökar [2].



Figur 3 Inverkan av fosfor i glödgat respektive obehandlat segjärn [2].

Fosfor segrar till de sist stelnande områdena där fosfideutektikum kan bildas. Detta eutektika är binärt och består av austenit och järnfosfid (Fe_3P). Fosfor ökar smältans flytbarhet, men ökar även risken för bildning av porositeter. För låg fosforhalt leder till att gjutgodsets ytor blir sämre på grund av ökad inträngning av metall i formmaterialet [3].

Koppar (Cu)

Koppar främjar perlitbildning redan vid relativt låga halter, cirka 0,1 % [3].

Mangan (Mn)

Mangan stabiliserar karbider och är en svag perlitbildare. Vid höga manganhalter bildas bainit och vid mycket höga halter kan martensit bildas. Mangan fördröjer omvandlingen från austenit till ferrit [17].

Svavel (S)

Svavel och mangan bildar mangansulfider vid stelningen, dessa verkar som kärnbildare för grafiten. Av denna anledning balanseras svavelhalten med tillsats av mangan vid tillverkning av gråjärn enligt följande formel [17]:

$$\%Mn = 1{,}7 \times \%S + 0{,}3$$

Då svavelhalten inte är balanserad med manganhalten, hindrar svavel diffusion av kol och gynnar av denna anledning perlitbildning vid stelningen. Hindrar tillväxt av eutektiska celler [1].

Tellur (Te)

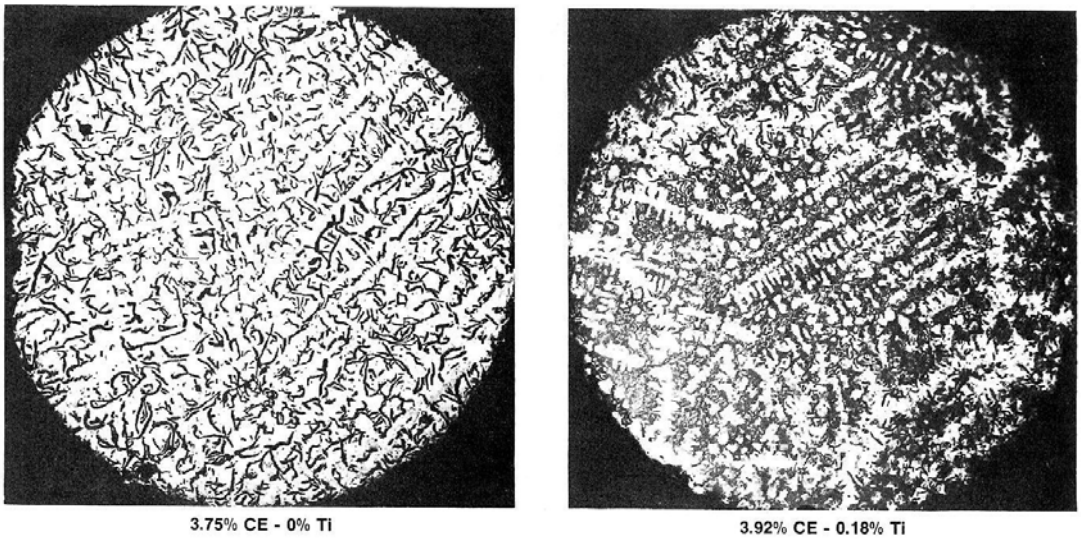
Tellur hindrar tillväxt av eutektiska celler [1], men påverkar inte grundmassans struktur nämnvärt [5].

Tenn (Sn)

Tenn stabiliserar perlit genom att hindra diffusion av kol i det stelnade järnet, det vill säga samma mekanism och effekt som för arsenik och vismut. Tennets perlitstabiliserande egenskaper leder till att brottgräns och hårdhet ökar med ökande tennhalt [1].

Titan (Ti)

Titan ger en kornförfinande effekt vid bildningen av austenit genom att titankarbonitrider bildas som verkar kärnbildande [1]. Dessa karbonitrider har dock en negativ effekt på skärbarheten.



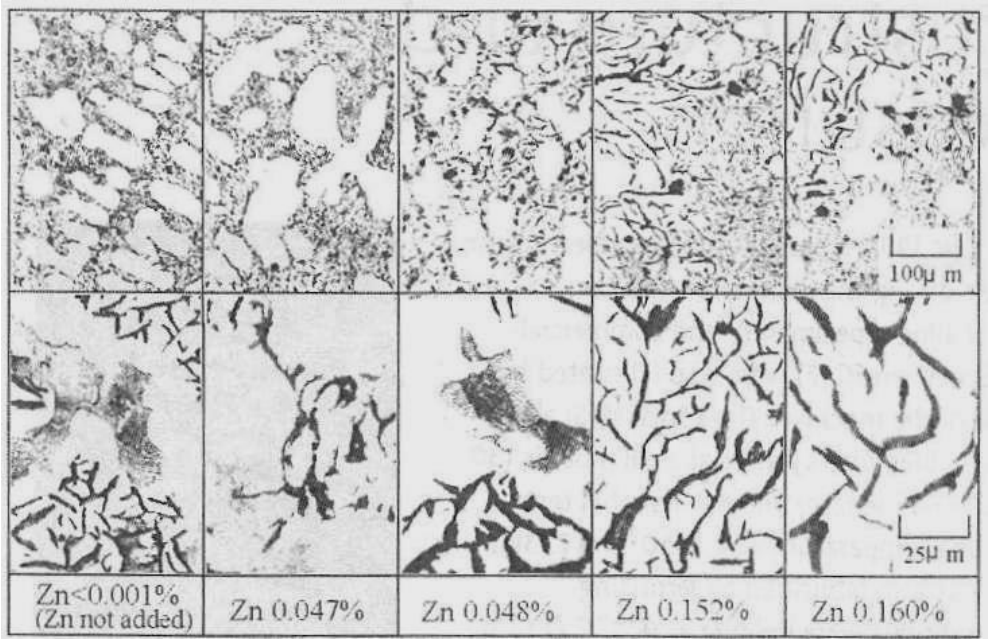
Figur 3 Kornförfinande effekt av Ti-tillsats, etsad i nital [1].

Vismut (Bi)

Vismut hindrar tillväxt av eutektiska celler, och främjar perlitbildning genom att förhindra diffusion av kol i grundmassan, det vill säga samma effekt och mekanism som för Arsenik [1].

Zink (Zn)

Zink främjar ferritbildning. Brottgränsen minskar och denna minskning orsakas främst av ökningen av ferrit. Zink har mycket liten effekt på ferritiskt gjutjärn. Perlitfrämjande ämnen dämpar zinks ferritisering av grundmassan [4].



Figur 4 Påverkan på mikrostruktur vid tillsats av zink [4].

Zirkon (Zr)

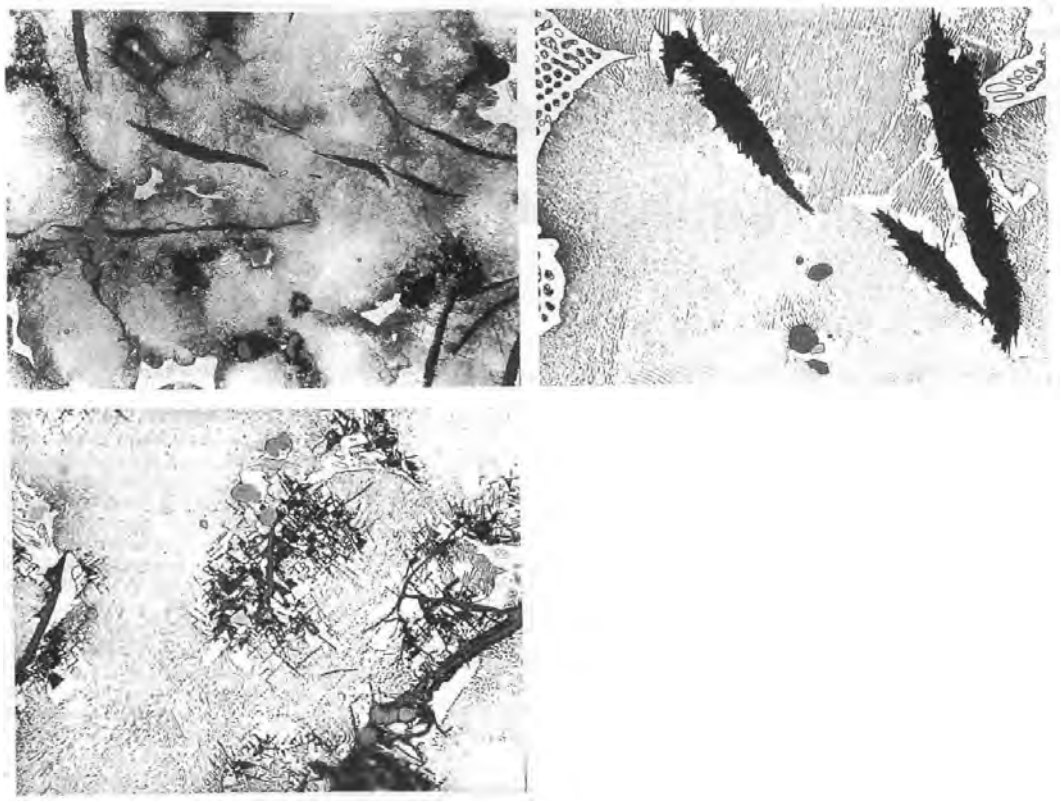
Zirkon har samma effekt som titan.

3 Påverkan på grafitstruktur

3.1 Gråjärn (LGI)

Bly (Pb)

Redan förekomst av spårmängder av bly i gråjärn påverkar gråjärnets struktur och mekaniska egenskaper negativt. Orsakar bildning av Widmanstättengrafit. Bly ökar underkylningen under stelningen, vilket leder till att grafit typ D alternativt karbider bildas. [1,7]. Vid förekomst av väte i järnet förstärks effekten av bly [7].



Figur 5 Blys påverkan på grafitformen i gråjärn, övre bilden tillvänster visar sotig grafit i gråjärn med 0,001 % bly 300x, den högra bilden visar taggig grafit i gråjärn med 0,003 % bly 400x, den nedre bilden visar Widmanstättengrafit i gråjärn 400x [7].

Cerium (Ce)

Då ceriumhalten inte är balanserad med svavelhalten hindras tillväxt av eutektiska celler. Cerium ökar underkylningen under stelningen, vilket leder till att karbider kan bildas [1].

Fosfor (P)

Fosfor främjar grått stelnande [3]. Fosfor kan i kombination med bland annat bly, orsaka degenerering av grafiten. Grafiten blir en aning grövre, kärnbildningen av grafit ökar lite och antalet eutektiska celler ökar. [6]

Koppar (Cu)

Koppar gör, framförallt vid höga halter, grafiten grövre [8].

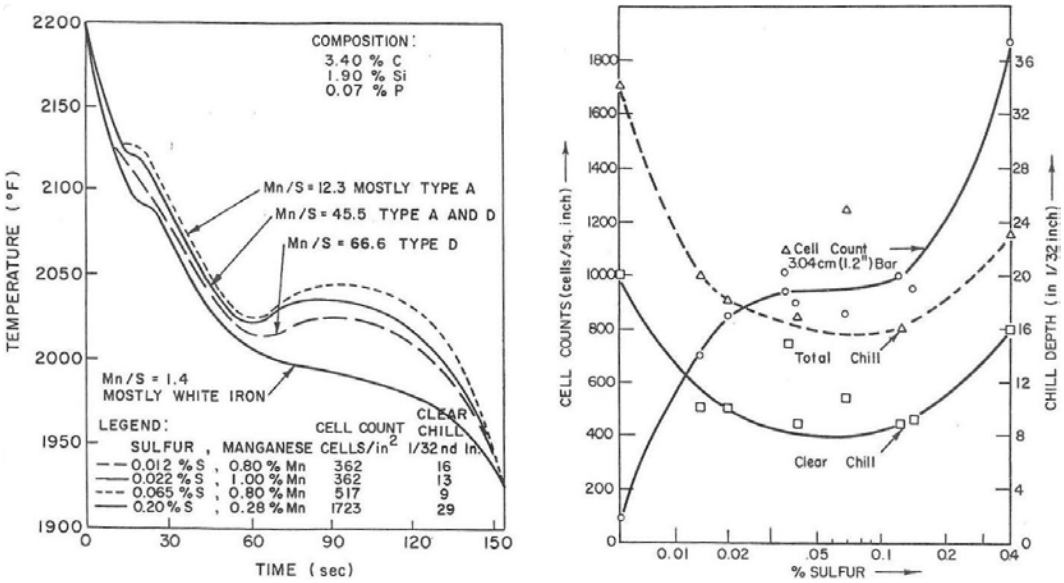
Mangan (Mn)

Mangan stabiliserar karbider. Då manganhalten är balanserad med svavelhalten gynnas bildning av typ A-grafit, då halten inte är balanserad med svavelhalt bildas typ D-grafit. [17]

Svavel (S)

Då svavelhalten inte är balanserad med manganhalt, hindras diffusion av kol och karbidbildning vid stelningen gynnas av denna anledning. Svavel hindrar tillväxt av eutektiska celler [1]. I figur 6 nedan visas svavlets effekt på järnets stelning och

svalning samt effekten på antal eutektiska celler och vitdjup. I den högra delen av bilden har manganhalten varit 0,75 % för hela svavelintervallet.



Figur 6 Svavels effekt på grafitform och vitdjup [1].

Tellur (Te)

Tellur har liknande effekt på gråjärn som bly. Tellur hindrar tillväxt av eutektiska celler. Tellur ökar underkylningen under stelningen, vilket leder till att grafit typ D alternativt karbider bildas. Bildningen av karbider på grund av tellur är starkt förknippad med vätehalt, mängden karbider ökar med ökande vätehalt då mängden tellur är konstant [1].

Titan (Ti)

Titanhalten har en komplex påverkan på gråjärnets struktur. Vid låga halter kan titan förhindra bildning av underkyld grafit, D-grafit, genom att titanet binder kväve som är ett karbidstabiliserande ämne. Vid högre halter finns risk för att underkyld grafit och karbider bildas eftersom titan dels är karbidstabiliserande och även binder sig till svavel, vilket kan resultera i att balansen mellan svavel och mangan störs [3]. I figur 3 visas denna effekt av tillsats av titan till gråjärn [1].

Vismut (Bi)

Vismut har liknande effekt på gråjärn som bly och tellur. Vismut ökar underkylningen under stelningen, vilket leder till att grafit typ D alternativt karbider bildas. Vismut hindrar tillväxt av eutektiska celler [1].

Zink (Zn)

Vid tillsats av zink minskar bildningen av karbider. Detta indikerar att zink har en grafitiserande effekt [4]. Zink har mycket liten effekt på grafitstrukturen för ferritiskt gjutjärn [4,6].

3.2 Segjärn (SGI)

Effekten av de ämnen som hindrar tillväxten av sfärisk grafit ökar med ökande koncentration, ökande atomvikt (atomnummer) och minskande löslighet i järnet för respektive ämne [1].

Antimon (Sb)

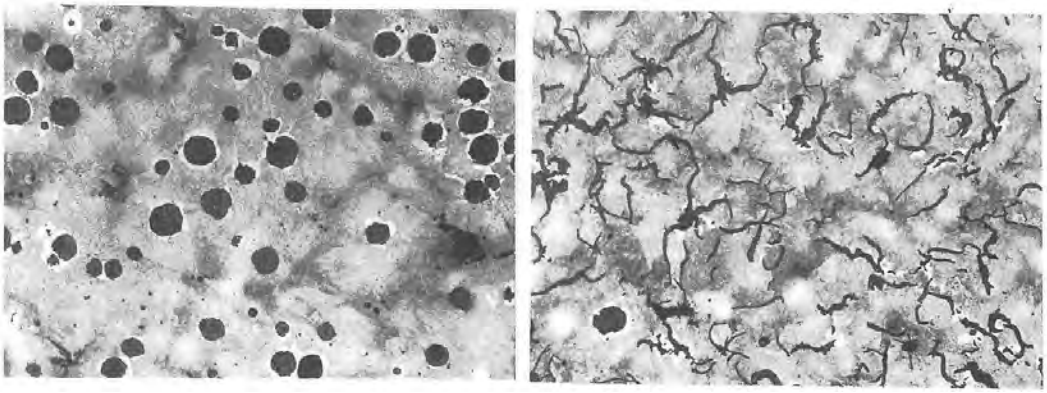
Antimon orsakar förekomst av lamellär grafit, men denna effekt kan begränsas genom tillsats av cerium. [5]. Maximalt acceptabel halt är 0,003 % [9]. Antimon kan minska risken för bildning av ”chunky grafit” [12].

Arsenik (As)

Arsenik orsakar förekomst av lamellär grafit, men denna effekt kan begränsas genom tillsats av cerium [5]. Arsenik minskar förekomsten av noduler [5]. Maximalt acceptabel halt är 0,01 % [9].

Bly (Pb)

Bly orsakar förekomst av lamellär grafit, men denna effekt kan begränsas genom tillsats av cerium [5,7]. Tillsats av cerium och bly i rätt förhållande till varandra kan ge positiv effekt på grafitformen [5]. Bly orsakar minskning av nodulantalet [5]. Bly reducerar slagseghet, maximalt acceptabel halt är 0,002 % [9].



Figur 7 till vänster segjärn utan bly, till höger samma basjärn som till vänster men med 0,015 % bly [7].

Cerium (Ce)

Cerium ökar risken för kantvitt och ”chunky grafit”. Maximalt acceptabel halt är 0,025 % [9].

Kadmium (Cd)

Kadmium kan orsaka bildning av intercellulära grafitformer. Maximalt acceptabel halt är 0,002 % [9].

Kalcium (Ca)

Kalcium ökar risken för förekomst av ”chunky graphite”. Maximalt acceptabel halt är 0,01 % [9].

Mangan (Mn)

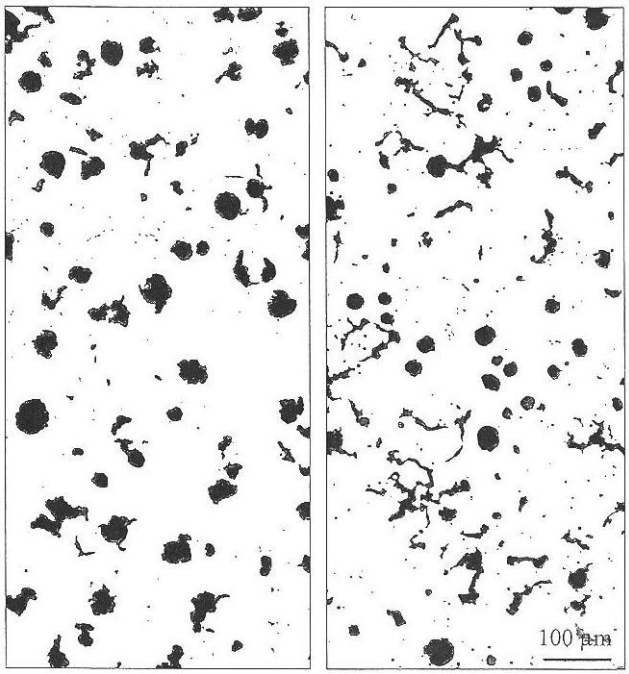
Mangan påverkar inte grafitformen i någon större utsträckning [18].

Tellur (Te)

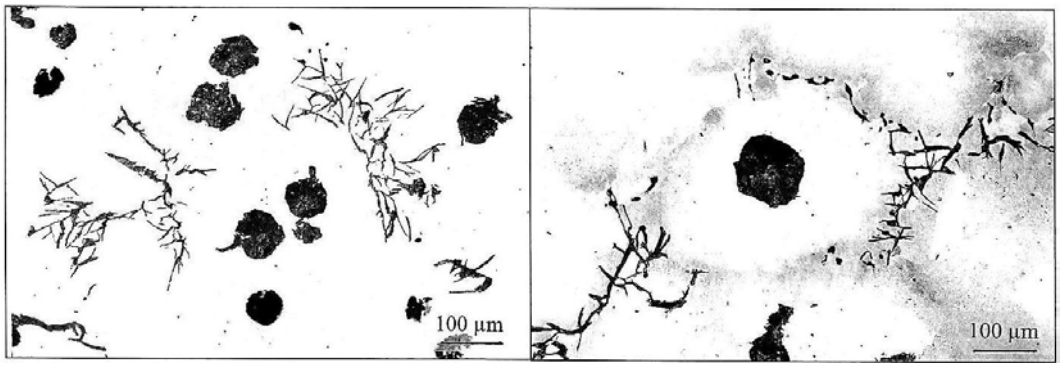
Tellur försämrar, redan vid låga halter, nodulformen, och den effekten förstärks av närvaro av titan. Vid låg kolekvivalent, alternativt vid låg gjuttemperatur kan tellur ha positiv effekt på nodulform och nodulantal [5]. Maximalt acceptabel halt är 0,003 % [9].

Titan (Ti)

Titan försämrar nodulformen genom att störa magnesiumets bindning till svavel och syre, men den nodulförstörande effekten kan begränsas genom en ökning av magnesiumhalten eller en tillsats av cerium [11]. Halter upp till 0,10 % kan accepteras om inga andra föroreningselement förekommer [5]. Titan ökar effekten av andra grafitdegenererande ämnen; bly, vismut, antimon, tellur och arsenik [1]. Maximalt acceptabel halt är 0,02 % [9].



Figur 8 Degenerativa grafitformer i segjärn med titan, till vänster 0,16 % titan 0,047 % magnesium, till höger 0,17 % titan 0,039 % magnesium [11].



Figur 9 Degenerativa grafitformer i titanhaltigt segjärn [11].

Vismut (Bi)

Vismut orsakar förekomst av lamellär grafit redan vid mycket låga halter. Vid samtidig förekomst av titan och vismut blir effekten än mer markant. Vismuts effekt på segjärn kan neutraliseras genom tillsats av cerium [5]. Vid låg

kolekvivalent, alternativt vid låg gjuttemperatur kan vismut ha positiv effekt på nodulform och nodulantal [5,10]. Maximalt acceptabel halt är 0,0015 % [9].

4 Vad händer med föroreningselement vid omsmältning

Vid omsmältning av skrot finns tre möjliga scenarier för vad som händer med ett föroreningselement. Ämnen som är lösliga i järn hamnar i järnbadet och följer med till slutprodukten. De element som lätt reagerar med syre formar oxidföreningar och bildar en slagg som specifik fas vid smältningen om det finns tillräcklig tillgång av syre. Ämnen med låg smältpunkt och högt ångtryck kan förångas och försvinna med rökgaserna [13].

Tabell 2: Fördelning mellan järn, slagg och gas för några element som kan förekomma som spårämnen i skrot [13].

Till järnbadet		**Till slagg**		**Till gaser**	
Sb	B	Al	B	Ca	Pb
As	Nb	Be	Cr	Zn	
Bi	P	Ca	Nb		
Co	Se	Hf	P		
Cu	S	Mg	Se		
Mo	Te	Si	S		
Ni	V	Ti	Te		
Ag	Zn	Zr	V		
Ta					
Sn					
W					
Cr					
Pb					

Till största del	Delvis

5 Raffinering av järn

För en del av de föroreningsämnen som förekommer i skrotet finns raffineringsmetoder utvecklade för att reducera mängden av dem i järnsmältan. Raffineringsmetoder för fosfor och svavel är välkända och beskrivs av denna anledning inte närmare här [14,15,16].

Då manganförekomsten har större påverkan på möjligheterna att framgångsrikt gjuta ferritiskt segjärn än de andra nämnda grundämnen, koncentrerades uppmärksamheten på det legeringsämnet.

5.1 Wilmanprocessen

För att tillverka segjärn behövs stålskrot med låg manganhalt eftersom mangan kraftigt anrikas i korngränserna. För perlitiska kvaliteter bör manganhalten maximeras till 0.4 %. För ferritiska kvaliteter bör manganhalten inte överstiga 0.2%. Stålskrot med så pass låg manganhalt är svårt att få tag på och därför tvingas gjuterierna att använda en hög andel kostsamt specialtackjärn med låg manganhalt.

Prisskillnaden mellan ”vanligt skrot” med manganhalter på ca 0,8-1,4 % och lågmanganhaltigt skrot ligger idag, 2010, på ca 600 Kr per ton stålskrot, en skillnad som kan tänkas öka i framtiden med tanke på stållegeringarnas prisutveckling. Alternativt kan i sammanhanget exklusivt tackjärn med låg Mn-halt användas. Prisskillnaden är här ännu större. Med den beskrivna Wilman-metoden är det möjligt att reducera manganhalten. Detta gör att andelen tackjärn kan reduceras eller helt slopas vilket kraftigt minskar materialkostnaden för gjutgodset.

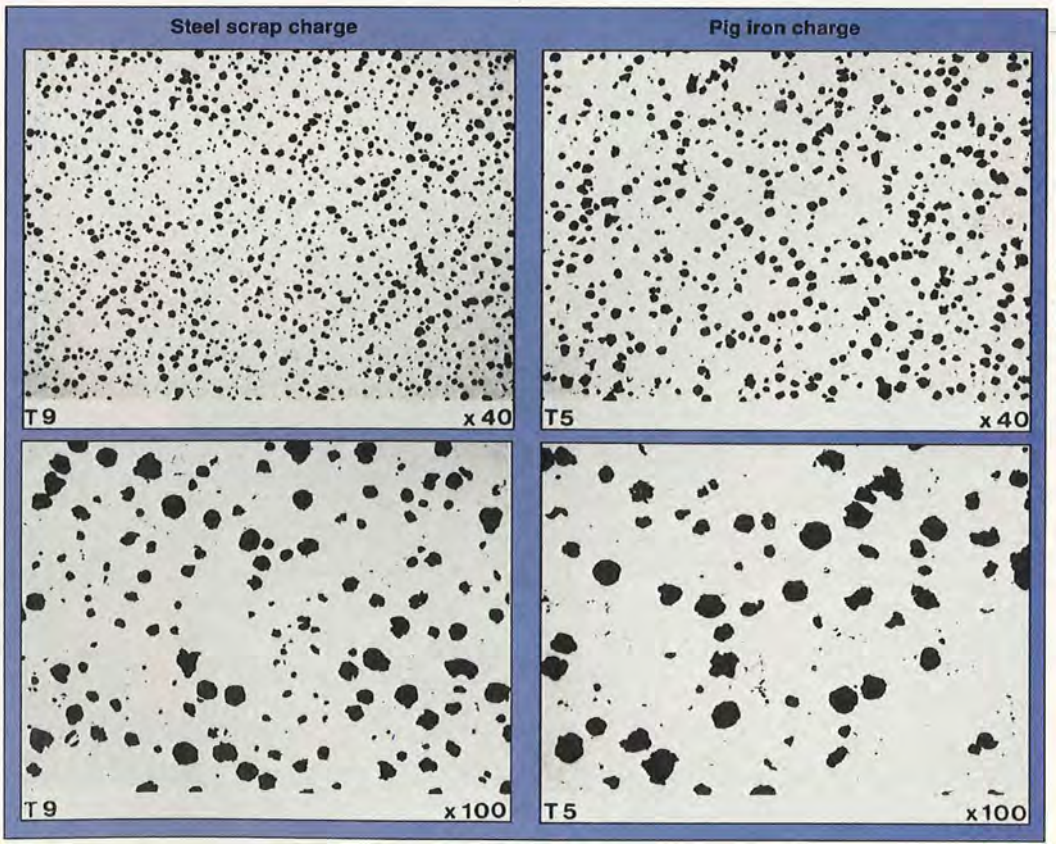
Wilmanmetoden beskrivs i ett Kanadensiskt patent från 1992 [19] och är utvecklad för att tillverka as-cast ferritiskt segjärn utan användning av tackjärn. Metoden baseras på att oxidera mangan i en smälta med låg kiselhalt. Kiselhalten på stålskrotet bör helst inte överstiga 0.3%. Metoden baseras på att oxidera mangan så att manganoxid bildar slagg. Gibbs energi är lägre för kiseldioxid än för manganoxid, och därför måste kiselhalten i stålet vara låg (<0.5 %). Behandlingstemperaturen måste ligga under jämviktsreaktionen för kiseldioxid, vilket i praktiken betyder lägre än 1380 ºC, vid en kolhalt av ca 3 %.

Metodens tillvägagångssätt [19]:

1. Chargera ugnen med stålskrot med hög manganhalt och uppkolningsmedel motsvarande en slutlig kolhalt på ca 3 %. Detta motsvarar en likvidustemperatur om ca 1280 ºC.
2. Anpassa smältans temperatur till ca 1300 ºC.
3. Håll några minuter. Öka effekten i ugnen till max för att åstadkomma en kraftig omrörning. Tillse att temperaturen stiger till max 1380 ºC. Slå av ugnseffekten under 3-5 minuter.
4. I slaggen finns nu överskottet av mangan i form av en slagg, rik på manganoxid. Slagga av noggrant.
5. Kontrollera den kemiska sammansättningen, speciellt mangan- och kiselhalterna.
6. Tillsätt ev. återgångsskrot och/eller tackjärn samt kisel och grafit så att den önskade slutanalysen uppnås.
7. Öka temperaturen till tapptemperatur och slagga av.
8. Järnet är nu klart för segjärnsbehandling på normalt sätt.

Enligt patentet kan ett ferritiskt segjärn tillverkas utan tillsats av tackjärn även om manganhalten är upp mot 0.4%. Metoden lär även ge ett högt nodultal vilket minskar risken för sugningar se figur 10 [19]. Behring drog slutsatsen att det högre

nodulantalet som uppnås vid användning av Wilman-processen bidrar till att grundmassans struktur får en högre ferrithalt än förväntat vid en given manganhalt [19]



Figur 10 Till vänster segjärn tillverkad med Wilmanmetoden, till höger segjärn tillverkat på traditionellt vis med tackjärn [19].

6 Försök med wilmanprocessen

6.1 Försöksbeskrivning

En charge bestående av ca 200 kg stålskrot och 3 kg grafit smältes och varmhölls vid temperaturer mellan ca 1300-1380ºC under totalt ca 2 timmar. Ugnen var en induktionsugn med maximal chargevikt på 250kg.

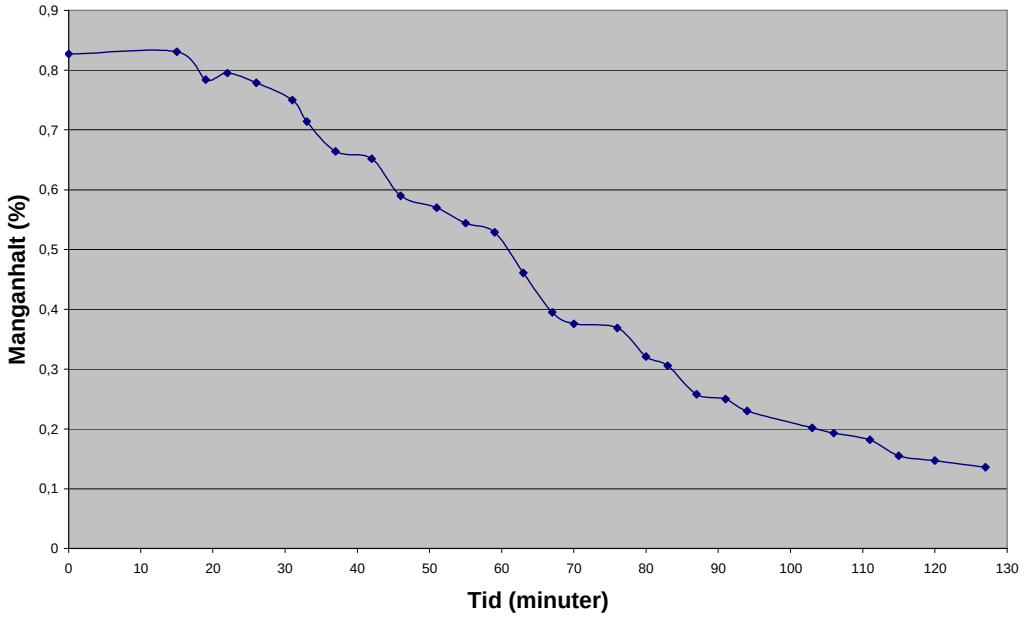
Prover på sammansättningen togs och temperaturmätning genomfördes med intervaller om 5-10 minuter. Proverna analyserades i efterhand i en spektrometer.

Avslaggning skedde fem gånger under varmhållningstiden.

Ugnens effekt slogs av och på ett flertal gånger för att åstadkomma omröring i smältan, varvid manganföreningarna lättare samlades i slaggen på smältans badyta.

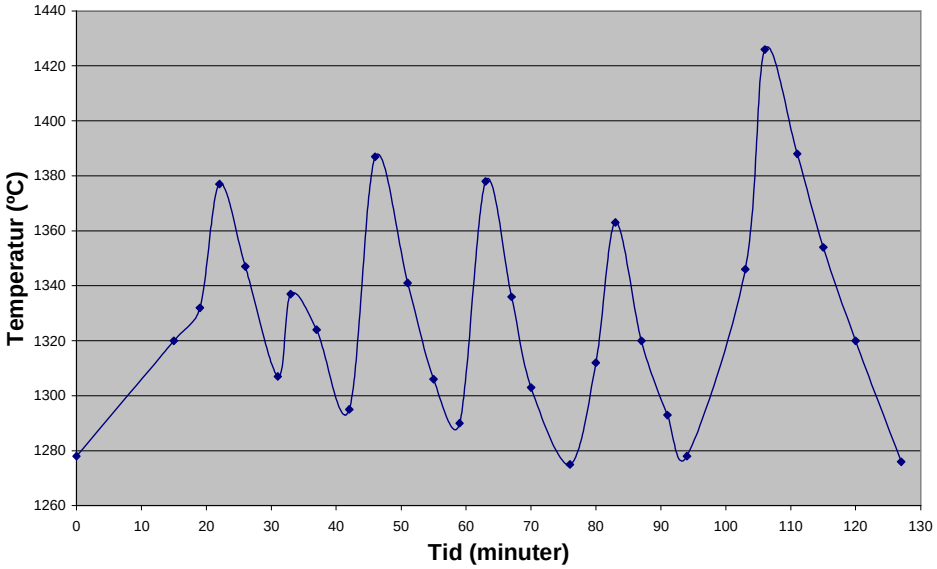
7 Resultat

Manganhalten sänktes från 0,8% till 0,13% på drygt två timmar. I figur 11 visas sänkningen av mangan som en funktion av tiden.



Figur 11 Manganhaltens förändring med tiden.

I figur 12 visas temperaturen som en funktion av tiden.



Figur 12 Temperaturvariation med tiden.

8 Diskussion

Sänkningen av manganhalten är bra men tiden är för lång. Med så låg manganavgång per tidsenhet kan metoden i dagsläget troligen inte anses kommersiellt användbar. Omrörning har skett med induktionsvärmning, problemet med denna typ av omrörning är att smältans temperatur ökar kraftigt då god omrörning uppnås.

Vid försöket som utfördes i projektet minimerades smältans kiselhalt. Kisel har hög syrepotential och kan av denna anledning konkurrera med manganet om att bilda smältans slagg. Kisel i slaggen orsakar även reduktion av mangan till smältan vid temperaturer över 1380 ºC.

De faktorer som påverkar hastigheten på manganraffinering utförd med wilmanprocessen är kontaktyta mellan slagg och metall, temperatur, kemisk sammansättning och tillgång på syre. Tillgången på syre kan ökas med olika metoder, till exempel tillsats av järnmalm eller glödskal alternativt tillsats av en oxiderande gas.

9 Slutsats

Metoden fungerar tillfredställande med avseende på manganraffinering. Manganhalten kan sänkas till under 0,2 %.

Metoden är långsam då endast induktionsugnens omrörning används för att driva reaktionen på grund av väntetider för att hålla temperaturen under 1380 ºC.

10 Fortsatt arbete

10.1 Försök med varierande kiselhalt

Vid försöket som utfördes i projektet minimerades smältans kiselhalt. Kisel har hög syrepotential och kan av denna anledning konkurrera med manganet om att bilda smältans slagg. Kisel i slaggen orsakar även reduktion av mangan till smältan vid temperaturer över 1380 ºC. Inom industrin kan det vara av intresse att använda en viss mängd återgång, returer, vid produktionen. Kiselhalten kommer då att vara högre än i de under december 2010 utförda försöken. Av denna anledning är det önskvärt att utföra fler försök med varierande kiselhalt för att klargöra hur denna parameter påverkar manganreduktionen.

10.2 Försök med mekanisk omrörning

Swerea MEFOS utvecklar i samarbete med Swerea SWECAST ett koncept för mekanisk omrörning i induktionsugn inom projektet Swerea rent stål. Under december 2010 har en omrörardesign framtagits och referensförsök utförts i en induktionsugn med en maximal chargevikt på 150kg. Ytterligare försök med mekanisk omröring bör utföras för att se om och hur mycket tiden för mannganraffineringen kan minskas.

10.3 Försök med gasspolning

De faktorer som påverkar hastigheten på manganraffinering utförd med wilmanprocessen är kontaktyta mellan slagg och metall, temperatur, kemisk sammansättning och tillgång på syre. Tillgången på syre kan ökas med olika metoder, till exempel tillsats av järnmalm eller glödskal alternativt tillsats av en oxiderande gas. Taguchi med flera har visat att kisel kan oxideras genom tillsats av koldioxid till en blandning av järn, kol (ca 4,5 %) och kisel [21]. Påverkan av gasspolning vid manganraffinering med wilmanprocessen är inte kartlagt. Detta är en möjlig vidareutveckling av processen, och försök med detta bör utföras för att klargöra effekterna.

10.4 Utvärdering av mikrostruktur

Inom projektet har inte funnits möjlighet att utvärdera mikrostrukturen på det tillverkade segjärnet. Behring har visat att nodultätheten och ferrithalten ökar vid användning av wilmanmetoden [20]. Detta borde utvärderas genom att genomföra fler försök, samt att utföra referensförsök med tillverkning av segjärn på konventionellt vis.

11 Referenser

1. Wallace J F, ”Effects of minor elements on the structure of cast irons”, AFS Transactions, Vol. 83, 363-378, 1975
2. Björkegren L-E, “Inverkan av kemisk sammansättning och struktur på mekaniska egenskaper i segjärn”, Gjuteriföreningsskrift 870427, 1987
3. Nilsson K, ”Legeringsämnens inverkan på gråjärns egenskaper – Underlag för legeringsoptimering”, Gjuteriföreningsskrift, 821028, 1982
4. Yoneda H, Asano K, ”Effect of zinc on the microstructure and mechanical properties of cast iron”, Foundryman, 247-249, 2003
5. Bates C E, Wallace J F, “Effects and neutralization of trace elements in gray, ductile and malleable iron”, AFS Transactions, Vol. 75, 815-838, 1967
6. Ruff G F, Wallace J F, “Control of graphite structure and its effect on mechanical properties of gray iron”, AFS Transactions, Vol. 76, 705-728, 1968
7. Greenhill J M, “Some practical observations on lead contamination of cast iron”, The British foundryman, 370-378, 1984
8. Bates C E, “Alloy element effects on gray iron properties: Part II”, AFS Transactions, Vol. 94, 889-912, 1986
9. Sillén R, “Teknologiska tips för effektiv produktion av segjärn”, Gjuteriet, 12-15, 2009
10. Brechman F, Ecob C, Fessel M, ”A study of the effects of bismuth and rare earths when used in inoculants for the treatment of ductile cast irons”, Foundry trade journal, 210-218, 1995

11. Hecht M, “Influence of titanium on mainly ferritic SG cast irons: structures and usual tensile properties”, Fonderie fondeur D’aujourd’hui, 23-41, 2000

12. Källbom R, “Chunky graphite in heavy section ductile iron castings”, Licentiatavhandling, Chalmers högskola, 2006

13. Rod O, Becker C, Nylén M, “ Opportunities and dangers of using residual elements in steels: a literature survey”, Jernkontorets forskning, 2006

14. Nilsson J, “Raffinering av stålsmältor i stålgjuterier”, Gjuteriföreningsskrift, 870415, 1987

15. Lindeborg B, ”Injektionsmetallurgins tillämpning vid gjutjärnssmältning”, Gjuteriföreningsskrift, 821118, 1982

16. Koos R, Nilsson J, ”Raffineringsförsök med hjälp av aktiv slagg, trådinjektion och gasspolning”, Gjuteriföreningsskrift, 880503, 1988

17. Svensson H, ”Litterature survey concerning the influence of elements on mechanical properties in gray cast iron”, 2008

18. Kovacs B V, “Perlitstabilisierung im gusseisen” Giesserei-praxis, 3, 37-48 1982.

19. Wilford C, "Process for making as-cast ferritic spheroidal graphitic ductile iron", patent, 1990

20. J.A. Behring, ”A new technique for producing as-cast ductile iron”, Modern Casting, vol 72 , maj 1992

21. K Taguchi et al., “Desiliconization and Decarburization behavior of molten Fe-C-Si(-S) alloy with CO_2 and O_2”, Metallurgical and materials transactions B, 34B, 2003