981221

SLAGGINNESLUTNINGAR I SEGJÄRN

Lars Dahl och Petter Kellgren

981221

SLAGGINNESLUTNINGAR I SEGJÄRN

Lars Dahl och Petter Kellgren

GJUTERI FÖRENINGEN

Svenska Gjuteriföreningen
Box 2033, 550 02 JÖNKÖPING
Tel 036 - 30 12 00
Fax 036 - 16 68 66
info@gjuteriforeningen.se
http://www.gjuteriforeningen.se

© 1998, Svenska Gjuteriföreningen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

TILLKOMST

SAMMANFATTNING 1

1 INLEDNING 3

1.1 Allmänt 3
1.2 Klassificering 3
1.3 Bildningsmekanismer 4
1.3.1 SiO_2 4
1.3.2. Mg-silikater 5

2 BASSMÄLTANS SAMMANSÄTTNING 7

2.1 Kol och kolekvivalent 7
2.2 Kisel 7
2.3 Svavel 7
2.4 Aluminium 7

3 SEGJÄRNSBEHANDLING 9

3.1 Magnesiumhalt 9
3.2 Mg-legering 10
3.3 Mg-behandling 10
3.3.1 Bassmältans inverkan på restmagnesiumhalten 12
3.4 Varmhållning av behandlat segjärn 12
3.4.1 Tryckavgjutningsugnar 13

4 SMÄLTAFÖRLOPP, SVALNINGSFÖRLOPP OCH AVGJUTNINGSTEMPERATUR 15

4.1 Smältning 15
4.1.1 Basjärn, råmaterial/smältning 15
4.1.2 Segjärn 15
4.2 Avgjutningssystem 15
4.3 Gjuttemperatur 16
4.4 Gjuttid 17
4.5 Slaggbildare 17

5 INGJUTSYSTEM 18

5.1 Allmänt 18
5.2 Strypning 18
5.3 Gjutskål och nedlopp 18
5.4 Kanaler 19
5.5 Inlopp 21

5.6 Virvelkammare 21

5.7 Filter 22
5.7.1 Allmänt 22
5.7.2 Vävda filter av SiO_2 23
5.7.3 Keramiska skumfilter 23
5.7.4 Keramiska honeycombfilter 24
5.7.5 Slaggfickor 24
5.7.6 Val av filter 25
5.8 Formmaterial 25

6 INFODRINGSMATERIAL 26
6.1 Ugnar 26
6.2 Skänkar 26

7 REFERENSER 28

TILLKOMST

Detta är en litteraturstudie för det helkollektiva projektet ”Slaggrent segjärn”.

Rapporten är sammanställd av Lars Dahl och Petter Kellgren inom sektionen Process- och Materialteknik vid Svenska Gjuteriföreningen.

Arbetet behandlar definiering av de vanligaste slagginneslutningarna, deras uppkomst och kända metoder för att motverka uppkomsten. Vidare är en sammanställning gjord på vilka metoder för slaggavskiljning som används i dagsläget och metoder för effektivare slaggavskiljning. Detta gäller för samtliga produktionssteg (smältning, behandling, avgjutning).

SAMMANFATTNING

Segjärn har god utmattningshållfasthet och används i ökande omfattning i högt påkända komponenter, t ex chassikomponenter i person och lastvagnar. Segjärnsmältan innehåller reaktionsprodukter som oxider, silikater och sulfider. Dessa bildar slagg som främst ansamlas i godsets gjutytor, men även inne i godset. Slagginneslutningar kan om de ligger i ett högt påkänt område sänka utmattningshållfastheten kraftigt. Detta är en stor nackdel, som medför att segjärnets goda utmattningshållfasthet inte kan utnyttjas fullt ut. Problemet accentueras av att konstruktörernas beräknings- och dimensioneringsteknik förfinas alltmer och möjliggör hållfasthetsoptimerade, lätta, men också mer defektkänsliga konstruktioner.

Nedan följer ett antal punkter som är viktiga att ta hänsyn till om ett slaggrent segjärn skall uppnås.

Bassmälta

- Undvik rostigt och förorenat chargematerial
- Kontrollera noga temperatur och kemisk sammansättning, och justera vid behov, företappning till behandlingsskänk eller varmhållningsugn
- Håll kiselhalten i basjärnet tillräckligt hög

Segjärnsbehandling

- Kontrollera tillsatsmängder och fraktion hos behandlingslegering, ympmedel samt legeringstillsatser
- Eftersträva ett litet temperaturfall, kort hålltid i oxiderande atmosfär och bra förhållande för avslaggning
- Minska mängden övertappningar och begränsa omrörningen av smältan

Gjuttemperatur och gjuttid

- Använd hög gjuttemperatur för att underlätta slaggavskiljningen
- Eftersträva så snabb gjutning som möjligt utan att generera för mycket turbulens
- Ingjutsystemet ska konstrueras så att minsta möjliga turbulens uppstår och så att direkt pågjutning av Ingjutsystemformytor och kärnor undviks
- Inför vid behov användning av filter i ingjutsystemet

Infodringsmaterial

- Använd stabila infodringsmaterial med maximal användningstemperatur på minst 1560°C
- Se till att rätt infodringsmaterial används för varje ugn och skänk
- Infodringar i ugnar och skänkar ska hållas rena och hela
- Undvik förhållanden som ökar infodringsslitage, t ex rostigt eller oljigt charchematerial

1 INLEDNING

1.1 Allmänt

Slagg är en typ av ickemetalliska inneslutningar som orsakar en stor del av de defekter som uppstår i gjutgods. Dessa inneslutningar kan indelas i två huvudtyper beroende på när under processen de bildas.

1. De som bildas inne i formhåligheten, antingen genom reaktion med form material eller genom oxidation i formhåligheten, s k *endogena*.

2. De som bildas utanför formen och följer med smältan vid avgjutningen, s k *exogena*.

I segjärn bildas slagger med höga halter av oxidkomplex med hög smältpunkt. Segjärnsslagg som ofta kallas *dross*, är relativt fast och kornig och kan därför avskiljas från badytan. Slaggerna byggs dock lätt upp i ugnar, skänkar och tappningsanordningar p g a att de stelnar snabbt.

1.2 Klassificering

Drossdefekterna innehåller en blandning av magnesiumsulfid, magnesiumoxid samt aluminiumoxid tillsammans med oxider från kalcium, järn, nickel, mangan och kisel. Den vanligaste indelningen av dross i segjärn omfattar tre klasser:

<u>Grövre inneslutningar</u>, detekterbara med blotta ögat.

Förekommer normalt sett nära godsets överytor eller under kärnor samt i vissa fall längs sidoväggar. Defekterna framträder i godsytan i form av kaviteter. Drossen består främst av SiO_2, MgO, Mg_2SiO_4 samt MgS eller FeS. Defekten är ofta inkapslad i ett grafitskikt, vilket ibland medför att defekterna får att svart utseende, s k svarta fläckar. Dessa inneslutningar härrör främst från dålig avslaggning i de olika processtegen före avgjutning och består till största del av forsterit som har en högre bildningstemperatur än enstatit.

<u>Slaggsliror</u>, ofta i samband med defekta grafitformer.

Defekterna bildar fåror i godsytan. De förekommer normalt sett nära godsets överytor eller under kärnor samt i vissa fall längs sidoväggar. Drossen består främst av MgO med spår av Si och Fe. Oxidkomplex bestående av Fe, Si och Mg kan också förekomma. Normalt innehåller dessa slagger mycket låga S-halter. Är grafitformen defekt härrör slaggen i slaggslirorna från slagg som bildats utanför formen. Annars har slaggen bildats inne i formen, troligtvis p g a turbulent formfyllnad eller reaktion med formmaterialet.

Finkornig dross

Består främst av MgO, Mg_2Si, MgS och andra findispersa sulfider. Denna dross är mer jämnt fördelad i hela gjutgodset. Eftersom de små partiklarna inte har samma flytkraft som större, svävar de mer eller mindre fritt i smältan. Generellt sett är drosspartikelstorleken proportionell mot den kemiska komplexiteten.

1.3 Bildningsmekanismer

1.3.1 SiO_2

Drossbildning precis som slagg bildad under tillverkning av grå- och vitjärn underlättas av lägre temperaturer där de flesta relevanta oxidationsreaktionerna har högre bildningsenergi. Temperaturen för SiO_2-reducering styr när de drossbildande reaktioner äger rum.

Omvandlingsreaktionen för SiO_2/CO är:

$SiO_2 + 2C \Leftrightarrow Si + 2CO$ (1)

Där CO genereras enligt:

$2C + 2O \Leftrightarrow 2CO$ (2)

Jämviktstemperatur för dessa reaktioner påverkas av smältasammansättning, atmosfär, svalningshastighet och en rad andra variabler. I luft har en rad omvandlingstemperaturer för reaktion 1 uppmätts mellan 1 350 och 1 430°C (1). Den kiseloxid som krävs för att skapa högre föreningar i drossen (i huvudsak forsterit, Mg_2SiO_4 och till viss del enstatit, $MgSiO_3$ samt några amorfa silikater) är till stor del tillsatt vid magnesiumbehandling och ympning. Eftersom sena kiseltillsatser till smältan ger störst drossproblem är ett alternativ att använda sig av hög kiselhalt i bassmältan samt att minimera kiselinnehållet i övriga senare tillsatser.

Jämviktstemperatur i basjärnet för dessa två reaktioner kan beräknas enligt följande:

$$Log\frac{Si}{C^2} = \frac{-27486}{T_j + 273} + 15{,}47 \quad \Rightarrow \quad T_j = \frac{27486}{15{,}47 - Log\frac{Si}{C^2}} - 273$$

$T_K = 0{,}7866 * TJ + 362$

I ett segjärn med C = 3,7% och Si = 2,5% blir T_J och T_K:

$$T_j = \frac{27486}{15{,}47 - Log\frac{2{,}5}{3{,}7^2}} - 273 = 1\ 420°C$$

$T_K = 0{,}7866 * 1420 + 362 = 1\ 479°C$

Där T_J är jämviktstemperaturen för reaktion (1) ovan och T_K är jämviktstemperaturen för reaktion (2) ovan. T_J och T_K fås i °C, samt Si och C sätts in som viktsprocent.

1.3.2 Mg-silikater

Komplexiteten i drossproblemen är relaterade till tillgången av kiseldioxid i flera processteg. SiO_2 kärnbildar reaktionen med MgO för att bilda forsterit. Mängden forsterit som bildas hänger samman med tillgången på SiO_2 som kan reagera med MgO. I och med att SiO_2 finns tillgängligt under hela tillverkningsprocessen upphör egentligen inte slaggbildningen förrän godset stelnat helt.

Den direkta reaktionen som ger forsterit är följande:

$2MgO + SiO_2 \Leftrightarrow Mg_2SiO_4$ (forsterit)

Genom att löst kisel och syre reagerar med MgO bildas även enstatit, dock i mindre omfattning till följd av lägre diffusionshastighet hos Mg^{2+} jämfört med Si^{4+}.

Enstatit bildas genom följande reaktion:

$MgO + SiO_2 \Leftrightarrow MgSiO_3$ (enstatit)

Ovanför jämviktstemperaturen för bildning av SiO_2 avtar bildningen av forsterit och enstatit till följd av minskad mängd bildad SiO_2.

MgO för reaktion med SiO_2 bildas genom följande reaktion:

$Mg_2Si + O_2 \Leftrightarrow 2MgO + Si$

En annan källa till MgO är oxidation av löst Mg i smältan.

Tabell 1 visar effekten av några processvariabler vad beträffar kvantitet och sammansättning av dross från experimentella gjutförsök.

Tabell 1 *Effekten av ökning av olika processvariabler på kvantitet och sammansättning av dross (2).*

Variabel	Mängd dross	%Forsterit	%MgO
Hålltid	ökar	ökar	minskar
Varmhållningstemperatur	minskar	minskar	maximum uppstår
Nodulariseringstemperatur	maximum uppstår	minimum uppstår	minskar
Partialtrycket för O_2 i ugnsatmosfären	ingen effekt	ökar	minskar
Svavel i smältan	ökar	minskar	minskar
Magnesium tillsats till smältan	ökar	ökar	ingen effekt
Cerium tillsats till smältan	ökar	minskar	ökar
Kisel i smältan	minskar	ökar	ökar
Kisel i behandlingslegeringen	ökar	ökar	ingen effekt
Kisel i ympmedel	ökar	ökar	ökar

2 BASSMÄLTANS SAMMANSÄTTNING

2.1 Kol och kolekvivalent

* $CE = \%C + \frac{\%Si}{4} + \frac{\%P}{2}$ Kraftiga drossmängder uppträder ofta i samband med grafitflotation och höga kolhalter. Kolhalten bör kontrolleras före Mg-behandlingen så att den inte ligger högre än normalt. Kolekvivalenten (CE*) för segjärn bör ligga på ca 4,3. Lägre CE kan ge primäraustenit och högre kan innebära primärt utskild grafit och grafitflotation. För klent gods (<12 mm) kan högre kolekvivalent accepteras (4,5-4,6). Magnesiumutbytet och därmed restmagnesiumhalten ökar med ökande kolekvivalent.

2.2 Kisel

Som tidigare nämnts är SiO_2 den kärnbildande oxiden för bildning av Forsterit och Enstatit. Sena tillsatser av kisel medför därför ökad risk för drossbildning och det mesta av kislet bör därför tillsättas i smältugnen. Detta medför vissa problem eftersom både behandlingslegering och ympmedel innehåller betydande kiselmängder. Ett sätt är att använda sig av lågkiselhaltiga behandlingslegeringar och ympa måttligt. Otillräcklig ympning kan dock ge upphov till ökad vittendens och mikrosugningar. Normalt sett får man kompromissa mellan risken för sugningar och risken för slaggbildning.

Normal kiselhalt ligger på 2,2 - 2,4 % men ett undantag är kisellegerat segjärn där 4 % Si inte är ovanligt. I dessa fall sänker man kolhalten så att en kolekvivalent på ca 4,3 uppnås. Den högre kiselhalten har i praktiken inte medfört några större problem med ökad slaggbildning, troligtvis tack vare att det extra kislet främst tillsätts i smältugnen.

2.3 Svavel

Svavelhalten i basjärnet bör hållas så låg som möjligt p g a att alltför hög svavelhalt ökar bildningen av MgS vid segjärnsbehandlingen. Höga svavelhalter brukar definieras som större än 0,02 % S. Restmagnesiumhalten sjunker linjärt med ökande mängd svavelhalt för en viss mängd tillsatt magnesium. En variation i svavelhalt på 0,01 % kan t ex medföra en variation i restmagnesiumhalt på 0,008 % (3).

2.4 Aluminium

Ökat aluminiuminnehåll i bassmältan ger större problem med drossdefekter. Aluminiumhalten bör vara så låg som möjligt. Källor till aluminium i järnet kan vara chargematerial, behandlingslegering, ympmedel och infodrings-material i ugn. Många ympmedel innehåller aluminium som en nödvändig beståndsdel för god ympeffekt. Vid problem att hålla en låg aluminiumhalt i bassmältan bör därför ympmedel med lägre aluminiumhalter väljas.

Kontrollerad aluminiumhalt tenderar också att minska risken för stickblåsor (pinholes). Störst problem med stickblåsor uppträder vid aluminiumhalter på

0,01 - 0,2 %. Det är därför av flera anledningar lämpligt att om möjligt maximera aluminiumhalten till 0,01 %.

3 SEGJÄRNSBEHANDLING

3.1 Magnesiumhalt

En av de faktorer som har störst effekt på tendensen till ökad slaggbildning är restmagnesiumhalten efter Mg-behandlingen. Ibland förekommer stora variationer i denna halt vid ett och samma gjuteri. När magnesium tillsätts bassmältan reagerar den med svavel och syre och bildar sulfider samt oxider. Detta innebär att fritt magnesium kan nodularisera grafiten först efter att merparten av allt syre och svavel blivit förbrukat. För att klara variationer i S och O tillsätts normalt en något större halt Mg än vad som krävs. Avklingningen av Mg i skänk måste också tas med i beräkningarna för att undvika ofullständig nodularisering i de sista avgjutna formarna.

Man anger ibland en mingräns på 0,04 % Mg, men fullgott segjärn kan uppnås vid lägre halter, särskilt i klenare godstjocklekar och/eller om ympningen varit effektiv (bra kärnbildningstillstånd). För att välja magnesiumhalt bör man ta fram diagram som visar avklingningen av restmagnesiumhalten för olika utgångshalt på magnesium (bild 1). Om flera olika skänktyper används bör diagram för varje skänk tas fram.

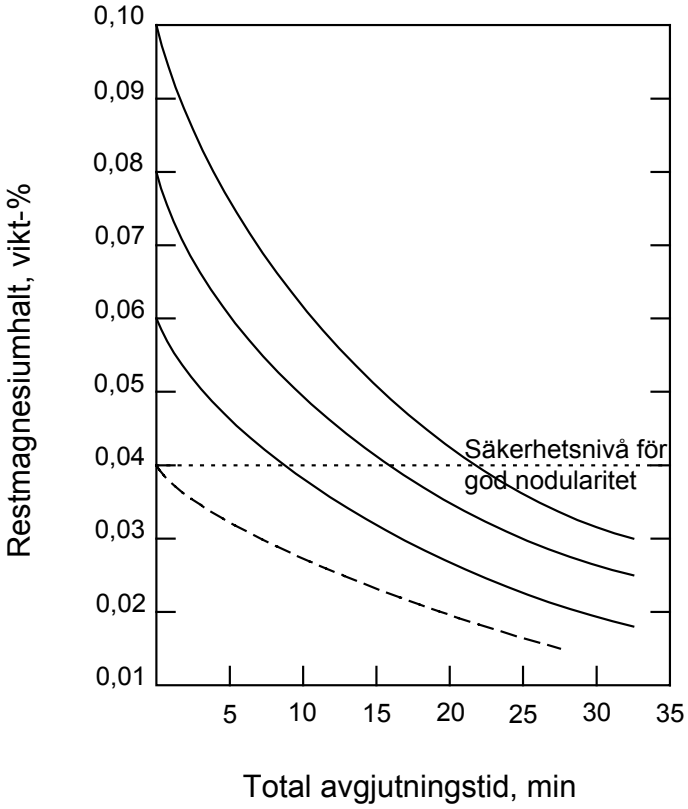


Bild 1 *Restmagnesiumhalt som funktion av avgjutningstiden för olika utgångsnivå på magnesium(14).*

3.2 Mg-legering

Generellt sett bör man välja en behandlingslegering med högt magnesiuminnehåll och lågt kisel- aluminiuminnehåll, eftersom denna typ normalt genererar minst slagg. Användningen av NiMg som behandlings-

legering har visat sig reducera drossdefekter jämfört med legeringar som innehåller kisel såsom FeSiMg och FeSiMgCe (9). Dessa legeringar är normalt sett dyrare än konventionellt FeSiMg och kan ej användas för helferritiskt segjärn, eftersom nickel har en perlitstabiliserande effekt.

Mishmetallen cerium minskar den sena bildningen av MgS och MgO samt begränsar oxidationen av kisel och därmed även tillkomsten av forsterit. Högre andel cerium ger initialt en ökning av den totala andelen skänkdross i form av obunden MgO, men minskar slaggdefekterna i gjutgodset under förutsättning att skänkdrossen dras av noggrant innan avgjutningen (10). Cerium har även neutraliserande effekt på ämnen som motverkar nodulariseringen av grafit t ex bly, antimon, vismut, tellur och titan. För gjuterier med låga halter av dessa föroreningsämnen kan dock defekta grafitformer uppträda vid användning av Ce-haltig FeSiMg. I dessa fall bör Ce-fri behandlingslegering användas.

3.3 Mg-behandling

En bra behandlingsmetod ger bl a ett litet temperaturfall, kort hålltid i oxiderande atmosfär och bra förhållande för avslaggning. Smältan måste ha rätt S-halt och behandlingstemperaturen ska styras och kontrolleras. Basjärnet ska vägas och temperaturkontrolleras före tappning till behandlingsskänk. Behandlingslegering och övriga legerings- och ympmedelstillsatser vägs också noga.

Nedanstående tabell ger en jämförelse av de olika vanligt förekommande behandlingsmetoderna.

Tabell 2 *Jämförelse av behandlingsmetoder (17).*

Metoder	Överhällning eller Sandwich		Skänklock	Inmold	Genom-strömning	Dykklocka		Konverter	Tråd-injektion
Lämplig	Ni	MgFeSi	MgFeSi	MgFeSi	MgFeSi	MgFeSi	Mg/Fe	Mg	Mg/Si

behand-lingslegering	baserad					alt. Mg/Si	briketter		alt. Mg
Mg-halt (%)	4 - 15	3 - 10	3 – 10	5 - 10	3 – 5	10 - 30	15 +	100	10 - 45
Mg-utbyte (%)	45 - 90	35 - 70	40 – 75	70 - 80	30 – 50	50 - 60	30 - 60	40 - 50	35 - 50
Utrustnings-kostnad	Låg	Låg	Låg	Noll *)	Låg	Medel	Medel	Hög	Medel
Process flexibilitet 6=högst	6	6	5	2	3	3	2	1	3
Gasutsläpp	Medel	Med/ högt	Lågt	Noll	Medel	Högt	Högt	Högt	Medel
Max svavelnivå i bassmältan (%)	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,04	0,10	0,15	Nej
Smälta viktsrestrik-tioner	Inga	Inga	Inga	< 500 kg	Inga	> 500 kg	> 500 kg	> 500 kg	> 500 kg
Ympnings-effekt från behandlingen	Ingen	Låg/ med	Med/hög	Mycket hög	Med/hög	Låg	Ingen	Ingen	Ingen/låg
Reaktions våldsamhet	Låg/med	Med/ hög	Låg/med	Mycket låg	Medel	Med/hö g	Med/hög	Mycket hög	Hög
Risk för kisel-uppbyggnad	Nej	Ja	Ja	Ja, men liten	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
Lämplig produktions-mängd	Liten	Liten - stor	Liten – stor	Medel - stor	Lite – medel	Medel - stor	Medel - stor	Stor	Medel - stor
Licens / royalty	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej

*) Inmoldprocessen kräver ett specialdesignat ingjutsystem för varje gjutmodell.
**) Skänklocks- och inmoldmetoden är de två metoder som minst troligen kräver installation av gasutsug.

Skänklocksmetoden, och i enstaka fall sandwich, är vanligast i Sverige. Vid skänkbehandling används FeSiMg som legering ofta täckt med plåtklipp eller liknande (spån, ympmedel) för att fördröja reaktionen och ge ökat utbyte. Intervallet 4 – 6 % Mg i behandlingslegeringen ger normalt bäst utbyte, lugnast reaktion och jämnast behandlingsresultat. Tillsats av Ca i behandlings-legeringen lugnar reaktionen men ökar enligt erfarenhet mängden slagg (4).

Användning av teapotskänk är effektivt för att förhindra skänkdross från att följa med i gjutstrålen. Flussande slaggbildare av fluoridföreningar såsom NaF_2 påverkar kristallin dross att bli mer lättflytande och benägen att fastna längs sidoväggarna eller flyta upp till ytan (av skänken) och bilda en slaggfilm.

3.3.1 Bassmältans inverkan på restmagnesiumhalten

Bassmältans sammansättning, främst svavelhalten och kolekvivalenten, påverkar restmagnesiumhalten. Som tidigare nämnts sjunker restmagnesium-halten linjärt med ökande svavelhalt för en viss mängd tillsatt magnesium. Magnesiumutbytet och därmed restmagnesiumhalten ökar med ökande

kolekvivalent. På grund av ovanstående bör erforderliga justeringar i kolhalt och magnesiumtillsats göras innan Mg-behandlingen.

3.4 Varmhållning av behandlat segjärn

Under varmhållning i ugn eller skänk avklingar Mg-halten med tiden. Samtidigt fortgår bildningen av slagg genom Mg-oxidation. Avklingningstakten ökar med ökande restmagnesiumhalt, ökande hålltemperatur och ökat förhållande mellan badytans area och metallvolymen. Dessutom ökar avklingningen om badytan är ren d v s utan skydd av täckslagg eller skyddsgas.

Den totala mängden restmagnesium i smältan direkt efter Mg-behandlingen omfattar:

- Löst magnesium
- Mikroinneslutningar av magnesiumföreningar (oxider och sulfider)
- Större magnesiuminnehållande slaggpartiklar

Avklingningen av magnesiumhalten under varmhållning av behandlad smälta beror alltså på slaggseparation, flotation av inneslutningar samt förångning av löst magnesium (bild 2). Mg-ångan som bildas skyddar smältan mot ytterligare oxidation, under förutsättningen att skiktet inte bryts av luft eller syre. Vid sjunkande temperatur börjar dock slagg bildas.

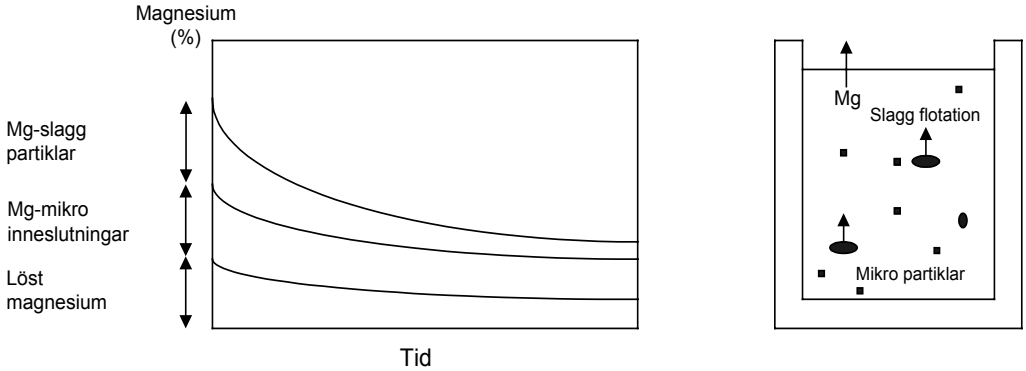


Bild 2 *Avklingning av magnesiumhalt under varmhållning av behandlat segjärn samt magnesium förluster från behandlingsskänk.*

För att minska mängden slagg p g a oxidation bör följande åtgärder vidtagas:

1. Undvik känsliga temperaturintervall. Låg temperatur ökar oxidbildningen medan hög temperatur ökar reaktionsbenägenheten.

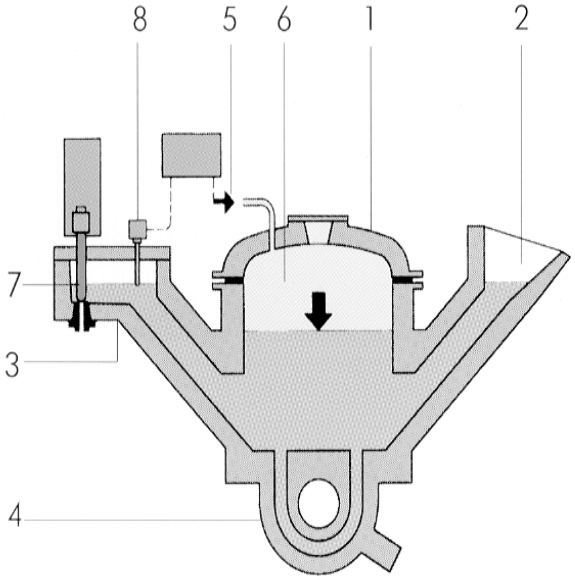
2. Minska mängden övertappningar och begränsa omrörningen av smältan. Skydda smältan från atmosfärskontakt vid transport i skänk med täckande

toppslagg. Dra först slaggen från segjärnsbehandlingen och tillsätt därefter slaggbildaren.

3.4.1 Tryckavgjutningsugnar

För längre tids varmhållning av behandlat segjärn, utan att ofullständig nodularitet hos järnet uppstår, krävs ett system där man bromsar magnesium-avklingningen. Tryckavgjutningsugnar (se bild 3) har ett skyddande lager av inert gas, vanligtvis kväve, ovan smältan för att bromsa magnesium-förångningen. Gasen används även för att trycka smältan upp genom utlopps sifonen och in i gjuthuvudet. En konstant nivå av smälta hålls i gjuthuvudet och en stoppare reglerar mängden smälta ut från ugnen.

Avgjutning kan ske på tre sätt: smältan rinner direkt ned i formen, smältan rinner ned i en avgjutningsskänk varifrån formen fylls eller genom contact pouring beskrivet i kapitel 5.2. Temperaturen på smältan hålls konstant med hjälp av en induktor i botten av ugnen. I denna typ av ugn har man, enligt tillverkaren George Fisher Ltd, begränsat magnesiumavklingningen till 0,0041 %/h för konverterbehandlat segjärn.



1 Avgjutningsugn
2 Inlopp
3 Utlopp
4 Induktor
5 Gasinlopp
6 Ugnskammare
7 Stoppare
8 Nivågivare

Bild 3 *Tryckavgjutningsugn fabrikat George Fisher Ltd.*

Erfarenheter från bl a Arvika Gjuteri har visat att metoden med tryckavgjutningsugn producerar ett renare segjärn, men med ökade kostnader som följd p g a av stor slagguppbyggnad i ugnen. Värt att notera är att man då har använt ett segjärn som var FeSiMg-behandlat. Vid användning av renmagnesium-behandling får man en helt annan slaggsammansättning som inte ger lika stor slagguppbyggnad i ugnar (bild 4). Dessutom innehåller slagg från FeSiMg-behandlat segjärn oxider som är mer lättreducerbara vilket ökar avklingnings-takten av magnesium vid varmhållning.

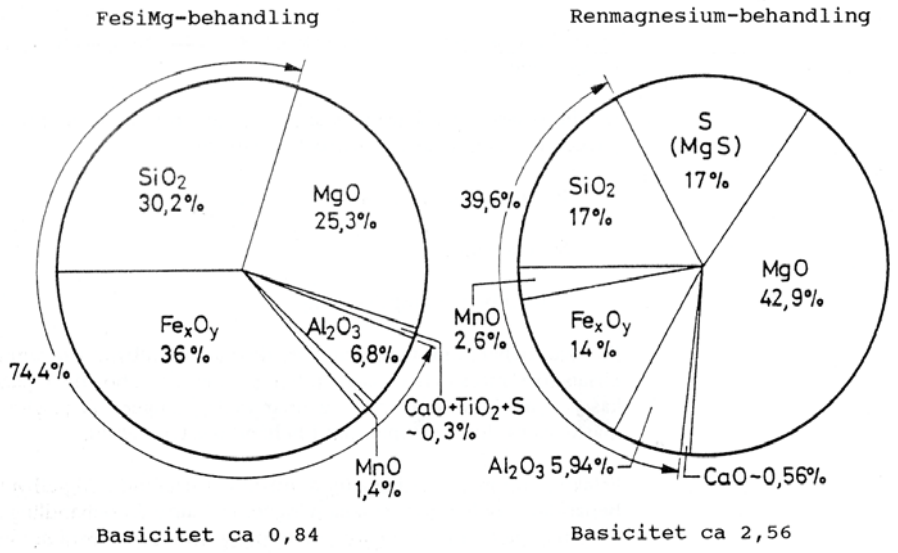


Bild 4 *Erhållen slaggsammansättning efter olika typer av Mg-behandling (11).*

De huvudsakliga fördelarna med tryckavgjutningsugnar är ökad renhet på järnet, bättre kontroll på olika processparametrar, lägre temperaturförluster samt att de underlättar automatisering.

4 SMÄLTAFÖRLOPP, SVALNINGSFÖRLOPP OCH AVGJUTNINGS TEMPERATUR

4.1 Smältning

4.1.1 Basjärn, råmaterial/smältning

Rent råmaterial ska användas fritt från rost och aluminiuminnehåll. Genom att sikta bort bitar under 10 - 30 mm av skrotet som tillsätts smältan, får man bort mycket av det rostangripna som hade följt med vid lyftning med magnet. Siktning rensar också bort jord och orenheter i skrotet. Bassmältans

temperatur ska hållas över kisel/syre jämnviktstemperaturen, vilken för segjärn är runt 1 470°C. Smältning kan ske i olika typer av elugnar. Smältning i kupolugn är möjlig men kräver avsvavling av bassmältan före eller i samband med magnesiumbehandlingen. Under nedsmältningen bildas slagg som lämpligen dras av med hjälp av slaggjärn. Temperatur och kemisk sammansättning ska kontrolleras före tappning till behandlingsskänk eller varmhållningsugn.

4.1.2 Segjärn

Efter magnesiumbehandlingen vid temperaturer över 1 450°C är badytan ren sånär som på enstaka drosspartiklar från Mg-behandlingen. Anledningen till detta är att vid och över denna temperatur förångas magnesium tillräckligt för att ge ett skyddande skikt mot oxidation. Sjunker temperaturen under 1 450°C påbörjas bildning av slaggfilm på badytan. Slaggfilmen förtjockas successivt med avtagande temperatur för att vid strax under 1 300°C täcka hela badytan (11).

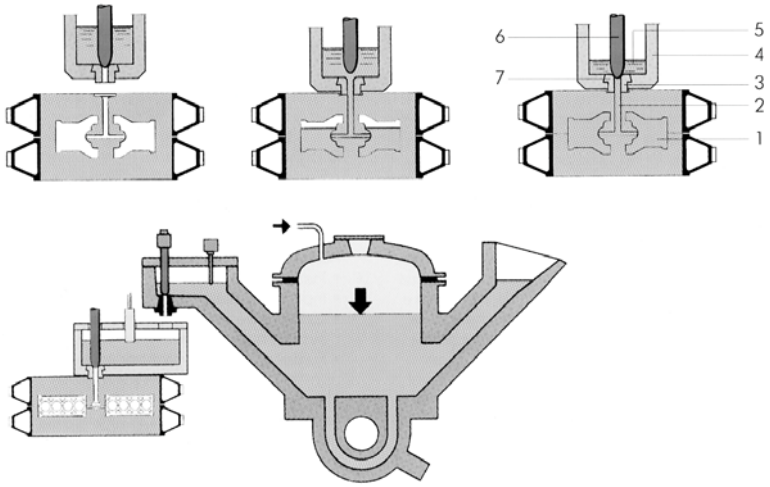
Med kväve som skyddsgas över smältan sker ingen slaggbildning vid badytan oberoende av temperatur, däremot kan smältan komma i kontakt med luft vid påfyllning och tappning och ge upphov till slaggbildning. I och med att det skyddande skiktet av magnesiumånga bryts vid övertappningar, avgjutning och formfyllning sker slaggbildningen kontinuerligt under såväl avgjutnings- som formfyllningsförloppet.

4.2 Avgjutningssystem

En ny avgjutningsmetod kallad contact pouring (bild 5) har utvecklats av George Fisher Foundry Systems Ltd. Metoden bygger på att en gjutbox kopplas tätt samman med gjutformen för att minska gjutstrålens kontakt med oxiderande atmosfär. Formen fylls genom att stopparen lyfts och släpper igenom smältan. Systemet känner av när formen är fylld och gjutboxen separeras från formen. Efter avslutad formfyllning fylls återigen gjutboxen, till ursprungsnivån, med smälta från en tryckavgjutningsugn. Anledningen till att denna teknik inte kan användas i botten på en större avgjutningsskänk är det

höga ferrostatiska trycket som uppstår vid de först avgjutna formarna. Metoder att fylla gjutboxen med smälta utan att använda en tryckavgjutningsugn bör kunna utvecklas.

Start position **Koppling, avgjutning** **Avgjutningsförlopp slut**



1 Formhålighet
2 Ingjutsystem
3 Kopplingsyta
4 Smälta
5 Stoppare
6 Tappningsränna

Bild 5 *System för contact pouring (George Fisher Ltd).*

Fördelarna med contact pouring sägs vara:

- Gjutstrålen utsätts ej för oxiderande atmosfär
- Smälta flödar in i ingjutsystemet utan turbulens orsakad av gjutskålen
- Smältan töms från botten av gjutboxen, slaggen stiger mot ytan
- Ökat utbyte ingen (gjutskål krävs)
- Lägre temperaturförluster

4.3 Gjuttemperatur

Följande exempel visar betydelsen av gjuttemperatur (12). På ytan av en svalnande magnesiumbehandlad segjärnsmälta uppstår en slaggfilm som tjocknar alltmer med avtagande temperatur. Denna process är reversibel. Förklaringen till slaggfilmens variation med temperatur är att ett skyddande lager av magnesiumånga som bildas vid högre temperatur och skyddar mot oxidation. Följaktligen är mängden av dross i gjutgods beroende av gjuttemperaturen. Gjutgods med en gjuttemperatur på över 1 430°C innehöll en grund ytdrossdefekt medan ett gjutgods där gjuttemperaturen var under 1 350°C innehöll stora, i ytan djupliggande, aggregat. Den senare formen av inneslutningar är magnesiumrik och kristallin, innehållande i huvudsak MgO och Mg_2SiO_4 (forsterit), med liknande sammansättning som tidigt bildad dross i skänken och klart skadlig för gjutgodsets kvalitet(2).

Högre gjuttemperatur påskyndar avskiljningen genom sammanslagning av mindre slaggpartiklar. De större slaggpartiklarna stiger snabbare till badytan, vilket underlättar slaggavskiljningen. Således är en högre gjuttemperatur gynnsam i många avseenden.

4.4 Gjuttid

Långsam gjutning medför längre tid som smältan är i kontakt med luften i ingjutsystem och formhålighet samt snabbare svalning av smältan. Båda dessa faktorer gynnar drossbildning i gjutgodset. Man ska dock ta i beaktande att snabbare formfyllning ökar risken för turbulent strömning av metallen, vilket i sin tur ökar risken för formerosion och oxidation.

4.5 Slaggbildare

Slaggbildare används för att bli av med skänkslagg. Slaggbildaren bildar tillsammans med befintligt slagg en lättflytande slagg som snabbt flyter upp till ytan. Okontrollerad och överdriven användning av slaggbildare kan leda till mer slaggdefekter istället för mindre. De viktigaste aspekterna vid användning av slaggbildare är att minsta andel för att ge slagg ska användas och att skänken ska dras fullkomligt ren innan avgjutningen. Den allvarligaste följden fås när slaggtäcket får ligga kvar på badytan under avgjutning, i tron att detta sänker temperaturförlusterna. I realiteten bildas den lättflytande slaggen under det stelnade lagret och följer med in i formhåligheten. Slaggbildare är vanligast förekommande vid stålgjutning.

4.6 Slaggbindemedel

Slaggbindemedel är mer vanligt förekommande i järngjuterier än slaggbildare. Ett slaggbindemedel binder och samlar flytande sega och torra slagger. Slaggbindemedlet tillsätts oftast i avgjutningsskänken antingen från ytan eller i strålen när smältan hälls i skänken. Den slaggas av så fort reaktionen har upphört annars blir slaggen snabbt åter tunnflytande och mycket svårare att slagga av. Den tunnflytande slaggen kan angripa infodringen i en induktions-ugn och den kan även reversera svavelhalten i en magnesiumbehandlad smälta. Ett slaggbindemedel underlättar avslaggningen mycket.

5 INGJUTSSYSTEM

5.1 Allmänt

Ingjutssystemet ska om det är bra utformat dels avskilja slagg från tidigare led i produktionen, dels minimera uppkomsten av ny slagg under avgjutningen. Vid konstruktion av ingjutsystem vill man utforma systemet så att det under

hela avgjutningsförloppet är fyllt med smälta, minimalt med turbulens uppkommer och att en snabb formfyllning erhålls. För att åstadkomma detta måste hela ingjutsystemet konstrueras noggrant och som en helhet.

Laminär strömning ger störst möjlighet för slaggpartiklarna att stiga mot överytorna i ingjutsystemet samt minskar exponeringsytan av smältan mot luft. Helt laminär strömning går dock ej att uppnå varför det är viktigt att optimera alla ingjutsystemets delar.

5.2 Strypning

I strypta ingjutsystem kontrolleras metallflödet av tvärsnittsarean på inloppen. Dessa ingjutsystem har nackdelen att hastigheten i inloppen inte kan regleras, utan beror på det effektiva ferrostatiska trycket. Hastigheterna är ofta runt 1 000 mm/s eller högre vilket kan leda till erosion eller ökad oxidering av smältan. En fördel med strypta system är att inloppen är små och lätta att avskilja. Genom att trycket i gjutkanalen är högt kan kombinationsbrätt användas och skilda gjuttider på samma brätt kan erhållas.

I öppna ingjutsystem kontrolleras flödet av tvärsnittsarean vid nedloppsbasen eller första delen av gjutkanalen. Gjutkanalens och inloppens tvärsnittsarea är större än arean av förträngningen för kontroll av flödet, vilket ger lägre hastighet. Som följd av detta kan hastigheten i gjutkanalen och inloppen lättare kan kontrolleras. För segjärn är öppna ingjutsystem att föredra.

5.3 Gjutskål och nedlopp

Gjutskålen bör utformas så att sjunkhastigheten understiger 5 cm/s. Därigenom minskar risken för att grövre slaggpartiklar och luftbubblor dras ned i nedloppet. Utformningen ska vara sådan att man slipper gjuta direkt i nedloppet. För att underlätta vid fyllning bör gjutskålen ha rektangulär form med rundade hörn. Längden i tappningsriktningen ska vara två gånger bredden. Bild 6 visar exempel på en bra utformad gjutskål.

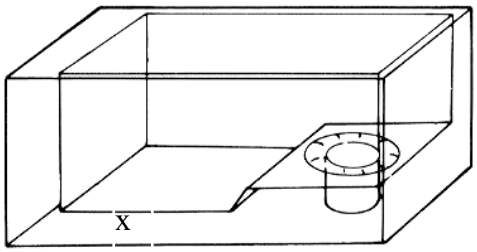


Bild 6 *Bra utformad gjutskål (7).*

För stora gjutvikter (>200 kg) kan man använda separata gjutskålar där nedloppet hålls stängt med stopparstång eller plåtbricka tills gjutskålen är fylld. För bästa slaggavskiljning vänta 5 - 10 s innan nedloppet öppnas.

Genom att utforma nedloppen koniska, smalnande nedåt, minskar risken för luftinsugning och därmed oxidation av smältan. Viktigt är att under hela gjutningen hålla nedlopp och gjutskål full för att undvika luftinsugning och virvelbildning i gjutskålen.

5.4 Kanaler

Effektiv slaggavskiljning i gjutkanalen genom att slaggen tillföljd av lägre densitet stiger mot överytan är i praktiken mycket svårt att uppnå. Enligt Rudolf V Sillén på NovaCast AB överskrider Reynolds tal (RE) i ingjutsystem ofta 15 000. Gränsen för laminärt flöde av smält metall går vid RE ca 2 300, strömningen i ett ingjutsystem är alltså starkt turbulent. Denna turbulens motverkar slaggernas flotation mot överytan. För att reducera Reynolds tal vid en given smältahastighet kan man ändra utformningen på gjutkanalen. Genom att göra tvärsnittet triangulärt, med ett bas- höjd förhållande på 1:3, istället för traditionellt trapetsformat minskas Reynolds tal med ungefär 30 %. Denna minskning är viktig inte bara för slaggavskiljningen utan även för att minska risken för formerosion.

Gjutkanalen bör göras så rak som möjligt och avslutas med en blindkanal. Blindkanalens uppgift är att fånga upp den allra första smältan med eventuell medföljande slagg samt att minska turbulensen i kanalen. Blindkanalen bör ha ett avsmalnande tvärsnitt.

Om strypningen av ingjutsystemet ligger vid nedloppets bas rekommenderas att gjutkanalerna placeras i underflaskan med inlopp som till ett minimum överlappar kanalerna (bild 7). Kanalens tvärsnittsarea görs successivt smalare från nedloppsbasen mot inloppen.

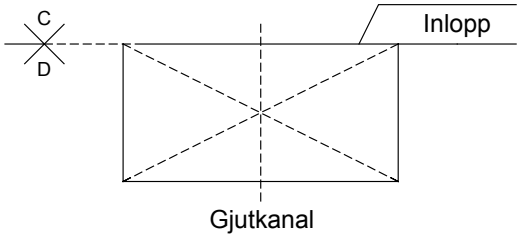


Bild 7 *Övergång mellan kanal och inlopp (6).*

För system med strypning vid inloppen placeras kanalerna i överflaskan med ett höjd/bredd-förhållande på minst två. Inloppen görs flata (bredd = 4 x tjocklek). Avståndet mellan nedloppsbasen och första inloppet bör vara 0,5 - 1 ggr blindkanalens längd för denna typ av ingjutsystem.

Slaggfällor i kanalerna kan vara ytterligare ett sett att minska risken för slaggdefekter. En tidigare vanlig utformning av slaggfälla visas i bild 7, tanken är att den första metallen som strömmar (nedkyld av gjutkanalen och skadad av oxidation) skall fångas upp i fördjupningen och hindras från att

komma in i formhåligheten. Det har dock visat sig att denna typ av slaggfälla skapar turbulens som för tillbaka slaggen mot inloppen.

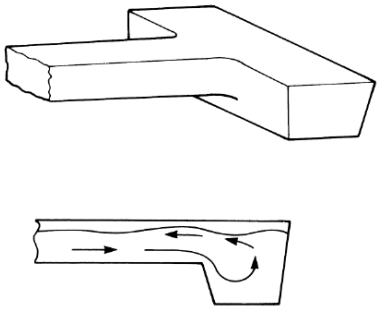


Bild 8 *Traditionell ogynnsam utformning av slaggfälla (8).*

Bild 9 visar en bättre typ av slaggfälla som inte orsakar turbulens. Viktigt är att slaggfällan inte avslutas med en nära lodrät vägg, eftersom det kan skapa en stötvåg som går tillbaka och bär med sig slagg.

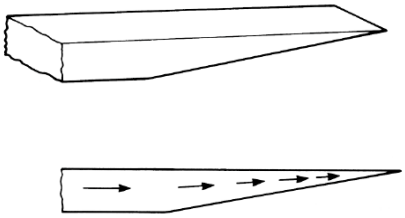


Bild 9 *Slaggfälla som inte ger upphov till stötvåg i smältan (7).*

5.5 Inlopp

Inloppen bör placeras i den del av gjutgodset som har den klenaste godstjockleken. När godstjockleken tillåter det bör stigande gjutning (inloppen placerade lågt) användas, eftersom det ger en lugn stigning hos smältan i formen med låg turbulens och mindre risk för medryckning av luft och slagg. Vid gjutning med kärnor ska inloppsplacering i de övre delarna av gjutgodset undvikas för att förhindra att smältan splittras mot kärnan. Snabb formfyllning är viktig framförallt när stora håligheter ska fyllas för att minimera oxidation av smältan.

5.6 Virvelkammare

Principen för virvelkammare (bild 10), eller centripetalavskiljare som den även kallas, är att utnyttja skillnaden i densitet mellan smältan och oönskat material på ytan eller löst i smältan. Genom att sätta smältan i rotation skapas en centrifugaleffekt där den tyngre smältan slungas mot kammarens begränsningsytor och fortsätter genom utloppet. Lättare material tvingas in mot centrum av virveln där det stelnar och flyter upp mot ytan.

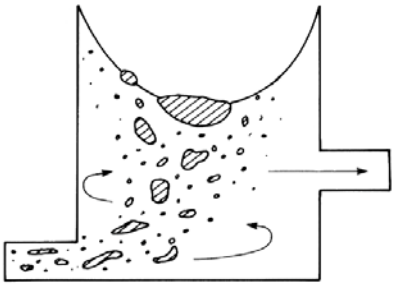


Bild 10 *Principskiss på funktionen av en virvel kammare (7).*

Användningen av virvelkammare är ganska utbredd, i flera fall erhålls dock dålig effektivitet på slaggavskiljning. Undersökningar (7) har visat att tre huvudfel är vanliga vid utformning av virvelkammare.

1. Utloppet lämnar virvelkammaren i motsatt riktning virvelns rotation enligt bild 11a. Detta innebär givetvis att smältan måste stanna upp och ändra riktning för att strömma ut genom utloppet. Denna oordnade strömning begränsar effektiviteten av slaggavskiljningen. Bild 11b visar korrekt inlopps- och utloppsriktning.

2. Inloppet placerat högre än utloppet. En sådan utformning innebär två problem, all slagg i den första smältan flyter direkt ut ur virvelkammaren innan den är tillräckligt fylld (bild 11c). Det andra problemet är att den första smältans flödande genom utloppet motverkar uppkomsten av rotation. Detta ger att det tar lång tid för virvelkammaren att komma upp i full effekt. I vissa fall hinner inte smältan accelerera upp till full hastighet under den korta avgjutningstiden. En virvelkammare utformad med inloppet högre än utloppet kan alltså visa mycket god effekt när den är uppfylld och i full rotation, men ha en minimal effekt innan.

3. Otillräckligt med utrymme, för infångat material, i toppen av virvelkammaren. Separerat material ansamlas mot centrum delen av virvelkammarens innertak. Detta skapar störningar i strömningen som gör att inneslutningar, särskilt mindre, kan sjunka tillbaka och följa med huvudströmmen vidare i ingjutsystemet. Virvelkammare med så begränsad volym riskerar givetvis också att bli överfulla med slagg så att smältaströmmen genom utloppet blir förorenad.

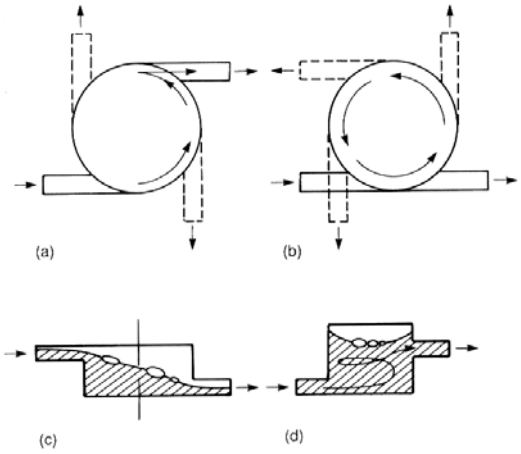


Bild 11 *Virvelkammare visande (a) felaktig inlopps- och utlopps-placering; (b) korrekt tangentiellt arrangemang; (c) felaktig låg utloppsplacering; (d) korrekt högt placerat utlopp.*

En virvelkammare ska alltså ha in- och utlopp i samma tangentiella riktning, inloppet placerat lägre än utloppet samt tillräcklig höjd så att inte störningar av rotationen tillföljd av kontakt med innertaket uppstår. I riktigt utformad virvelkammare roteras smältan upp till sin maxhastighet innan utloppet. Storleken på virvelkammaren bestäms av en kompromiss mellan om man vill ha högre hastighet eller längre tid för separation av föroreningar.

5.7 Filter

5.7.1 Allmänt

För att komma tillrätta med slaggdefekter och andra ickemetalliska inneslutningar i gjutgods, där höga krav ställs på utmattningshållfasthet o s v, blir användningen av filter allt vanligare inom segjärnstillverkning. Filtren, som vanligen placeras i gjutkanalen, har till uppgift dels att filtrera bort orenheter i smältan, dels att minimera uppkomsten av turbulens i metallströmmen. Det finns tre typer av filter som nämns i samband med segjärnstillverkning:

- Vävda filter av SiO_2
- Keramiska skumfilter
- Keramiska honeycombfilter (parallella kanaler)

5.7.2 Vävda filter av SiO_2

De vävda SiO_2 filtren kan vara svåra att få tillfredsställande resultat med. Fixeringen av filtren innebär ett problem, i och med att filtren ej är så styva behöver de fixeras längs alla fyra sidor i gjutkanalen. Filter som inte är tillräckligt fixerade kommer att böjas ut, av kraften från smältan i kombination med att de blir mjukare av den intensiva värmen, vilket leder till att smältan kan flyta förbi istället för igenom filtret. Vävda filter kan fungerar

tillfredsställande då alla fyra sidor fixeras. Detta kan dock ej ske enkelt i de vanligaste typerna av ingjutsystem.

5.7.3 Keramiska skumfilter

Keramiska skumfilter (bild 13) är uppbyggda av öppencelligt plastskum som impregneras med en keramisk slurry, överskottsslurryn pressas ut, sedan bränns blocket för att få bort plasten och sintra slurryn.

Porositeten eller finheten på filtret benämns ppi (antal porer per tum), för segjärn används normalt 10 - 15 ppi filter. Val av filterporositet är en kompromiss mellan högre filtreringseffektivitet och hur stor tvärsnittsarea man kan ha på filtret. Finare filter kräver större tvärsnittsarea för att kompensera för det ökade friktionsmotståndet i filtret. Genom att partiklar klibbar fast vid väggarna i filtret renas smältan från partiklar mindre än porstorleken (bild 12). Ett problem kan dock uppstå med keramiska blockfilter vid hög restmagnesiumhalt och/eller låg gjuttemperatur kan stora mängder av magnesiumoxid sätta igen filtren.

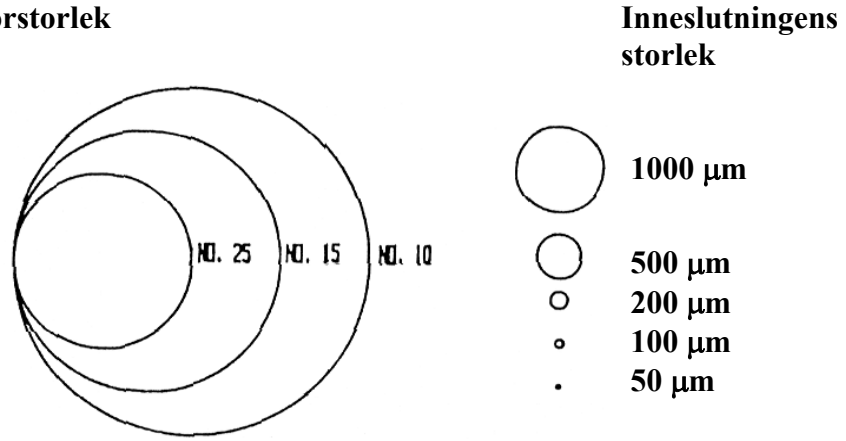


Bild 12 *Storlek på typiska inneslutningspartiklar som fastnar i keramiska skumfilter i relation poröppningsstorleken (14).*

5.7.4 Keramiska honeycombfilter

Keramiska honeycombfilter består av ett block med långa genomgående parallella kanaler (bild 13). Finheten på filtret benämns csi (celler per kvadrattum). Vid segjärnstillverkning används normalt ett filter på ca 100 csi. Val av filterfinhet är avhängigt samma kompromiss som vid keramiska skumfilter.

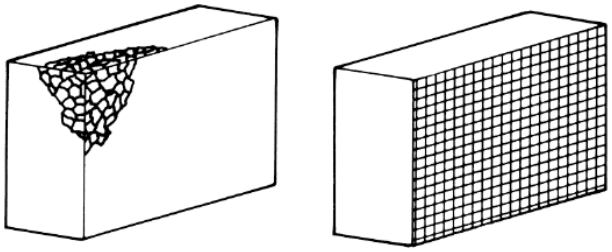


Bild 13 *Till vänster keramiskt skumfilter och till höger keramiskt honeycombfilter (7).*

5.7.5 Slaggfickor

För att underlätta uppsamling av slagger vid filteranvändning kan en så kallad slaggficka placeras uppströms filtret. Man kan säga att slaggfickan är en upp och nedvänd motsvarighet till oljesumpen på en bilmotor, där slagg hindrad av filtret uppsamlas. Slaggfickan ska ha tillräcklig höjd så att föroreningarna flyter fria från övrig smältaström. Vinklingen på filtret visat i bild 14b ska hjälpa till att skapa en virvelström som för slaggen upp i slaggfickan (även om flödet genom filtret strävar efter att hålla kvar slaggerna på filtrets yta).

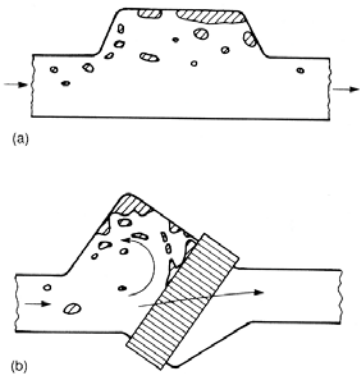


Bild 14 *(a) Slaggficka; (b) slaggficka placerad precis uppströms ett vinklat blockfilter.*

5.7.6 Val av filter

De billigare vävda SiO_2 kan vara ett alternativ under förutsättning att man löser infästningsproblemet, i annat fall bör valet stå mellan de båda typerna av

keramiska blockfilter p g a att de är lättare att använda och mer pålitliga. En rad försök har gjorts för att avgöra vilket som lämpar sig mest för slaggavskiljning ur segjärn, keramiska skumfilter eller keramiska honeycombfilter. Dessa försök har haft skiftande resultat varvid det är svårt att dra någon slutsats av dem. Det bästa är förmodligen att göra en rad försök på det egna gjuteriet och utifrån dessa resultat välja filter.

Innan man utesluter införandet av filterteknik i ett gjuteri bör man ställa de ökade kostnaderna mot vinster i form av:

- Lägre kassationsgrad i gjuteriet
- Lägre kassationsgrad efter rensning och bearbetning.
- Förbättrade mekaniska egenskaper, främst utmattningshållfasthet
- Ökat utnyttjande av modellbrätt

5.8 Formmaterial

Generellt sett ger råsandsformar större risk för slaggbildning i formen än kallhärdade formar. Detta beror främst på fukthalten i råsandsformar. Ju högre fukthalt desto större risk för oxidation av smältan vid kontakt med formmaterialet. Fukthalter över 4 % bör undvikas eftersom man har funnit att slaggbildningen ökar kraftigt över den nivån (13).

Genom tillsatser av sot i råsandsformar minskar risken för oxidation genom bildning av reducerande atmosfär i formhåligheten. Försök har visat att 6 % sothalt i kärnlöst gods ger en nivå på slaggdefekter motsvarande den som erhålls i vattenglas- och furanbundna formmassor (13). Förutom minskad risk för slagginneslutningar ger sottillsatser ökad formhållfasthet, mindre formerosion och minskad risk för sandfel.

6 INFODRINGSMATERIAL

6.1 Ugnar

Slitage hos infodringar kan vara en källa till ökad slaggbildning.

I ett basjärn för segjärn utgörs normalt chargen av 30 – 50 % återgångsskrot såsom ingjutsystem, spilljärn och kasserat gods. Det betyder att ca 0,01-0,02% Mg tillförs smältugnen. Skulle allt detta Mg reagera med det SiO_2-rika fodret skulle mellan 0,1 och 0,2 kg frätas av för varje ton nedsmält basjärn. Det finns dock flera andra reaktionsmöjligheter för smältans Mg-innehåll t ex luftsyret ovan badytan, formsand vidhäftat på chargematerial och rostigt chargematerial. De är samtliga syrekällor som kan oxidera med det ingående magnesiumet och bilda slagg. Efter avslaggning och övertappning till skänk eller varmhållningsugn brukar därför Mg-halten reducerats till mycket låga värden.

FeO-slagg är normalt det största problemet vid användning av kvartsinfodring. FeO bildar Fayalit ($2FeO \cdot SiO_2$) vid reaktion med infodringen. Fayalit har en relativt låg smältpunkt, 1 200°C, vilket innebär att infodringsslitaget snabbt kan bli märkbart. Ett sätt att minska förutsättningarna för bildning av FeO-slagg är att undvika rostiga chargematerial.

Vid temperaturer över ca 1 400°C reducerar kol SiO_2 till löst Si och kolmonoxod, så kallad ”silica boil”, vilket medför att kvartsbaserade infodringsmaterial eroderar. Temperaturen då silica boil startar beror på bassmältans sammansättning och temperaturen räknas enkelt ut med hjälp av ekvationerna i kapitel 2.3.1. Låg kiselhalt, hög kolhalt och höga temperaturer påskyndar denna erosion.

Ju kristallinare kvartsen är, desto bättre motstår den kemiskt slitage. Följaktligen bör högrena kvartsitinfodringar användas. Sintringsprocessen är också viktig eftersom mindre reaktionsyta ger mindre slitage. Högre kiselhalt bromsar slitaget på kvartsinfodringen, varför användning av kiselfria behandlingslegeringar och högre kiselhalt i bassmältan genererar mindre ugnsslagg.

6.2 Skänkar

Allmänt sett har högvärdiga aluminiumoxidbaserade infodringsmaterial god eldfasthet och god beständighet mot smälta och slagger. Infodringsmaterialet finns både som torra och gjutbara massor. De torra ger mindre slitage och ofta dubbla livslängder jämfört med gjutbara massor som dock har lägre kostnad. MgO och CaO utgör källor till infodringsslitage, främst i de nedre delarna av behandlingsskänkar där temperaturen är hög.

Slagguppbyggnad i skänkinfodringar kan minskas genom tätare infodringsbyten och/eller effektivare rengöring. För att underlätta detta kan man ha en delbar behandlingsskänk, där nedre delen sitter ihop med övriga skänken m h a en fläns och skruvförband. Detta medger tätare infodringsbyten i botten där behovet är som störst.

Ofta är Al_2O_3 i smältan en källa till slagguppbyggnad. Denna oxid kan ha olika härkomst, t ex restaluminium i återgången, bentonit i retursand, keramiska filter och sot i uppkolningsmedel. Uppbyggnad av Al_2O_3 kan undvikas genom användning av flussande slaggbildare. Mycket viktigt är att all tillsatt slaggbildare avlägsnas.

REFERENSER

1. Latona, M C, Kwon, H W, Wallace, J F, Voss J D: Factors Infuencing Dross Formation in Ductile Iron casting. AFS Transactions 92 (1984), s 881 - 906.

2. Askeland, D R, Trojan, P K, Flinn, R A: Dross Forming Reactions in the System Mg-Si-O in Ductile Iron. AFS Transactions 80 (1972), s 349 - 358.

3. Nilsson, J: Slagginneslutningar i segjärn och gråjärn - metallurgiska faktorers inverkan. Gjuteriföreningsskrift 921209. Jönköping 1992.

4. Nilsson, J: Riktlinjer för processkontroll vid segjärnstillverkning. Gjuteriföreningsskrift 970623. Jönköping 1997.

5. Gjutfelsanalys (Handbok). Mekanpublikation 76201. Sveriges Mekanförbund 1976.

6. Karsay, S I: Ductile Iron III, Gating and Risering. Handbok, QIT -Fer et Titane Inc, 1981.

7. Campbell, J: Castings. Handbok, Butterworth-Heinemann Ltd, 1991.

8. Thyberg, B: Tillverkning och val av eldfast material. Gjuteriet nr 5 (1989), s 6 - 12.

9. Trojan, P K, Guichelaar, P J, Bargeron, W N, Flinn, R A: An Intensive Investigation of Dross in Nodular Cast Iron. AFS Transactions 76 (1968), s 323 - 333.

10. Askeland, D R: Liquid Metall-Dross Reactions in the Magnesium-Silicon-Oxygen System. Ph.D. Dissertiation, The University of Michigan, Ann Arbor, (1970).

11. Henych, I: Some Metallurgical Aspects of Producing Ductile Iron and Holding treated melt. Rapport från George Fisher Limited (1986).

12. Heine, R W, Loper Jr, C R: Dross Formation in the Processing of Ductile Iron. AFS Transactions 74 (1966) s 274 - 280.

13. Fuller, A G: Drossdefects in Nodular Iron Castings. BCIRA Journal 7 (1957-1959), s 268 - 285.

14. Barton, B, Fuller A G: Importance of Process Control in Producing Dross-free Nodular Iron Castings. BCIRA Journal 9 (1961), s 408 - 418.

15. Schamal, J R, Aubry, L S: Filtration With Reticulated Silicon Carbide Foam: An Effective Means for Inclusion Removal in Grey and Nodular Iron Castings. AFS Transactions 101 (1993)

16. Taylor, K C, Delany, I N: The determination of ductile iron reaction product retention in ceramic filter media. The Foundryman december (1993), s 440 - 450.

17. Elkem Technical Information 9, Magnesium treatment process (1995).

SYFTE

Rapportens syfte är att undersöka de mest effektiva sätten för att undvika slaggrester i segjärnsgjutgods.

INNEHÅLL

Rapporten behandlar processen och metallurgin kring segjärnsgjutning. Vidare ger rapporten en översikt över de mest aktuella och effektivaste sätten att eliminera slagg i segjärnsprocessen samt en översikt över ingjutstekniska åtgärder för att ta bort och undvika slaggdefekter.

ÄMNESOMRÅDE

Gjutprocessen

NYCKELORD

Segjärn

Processen

Slagg

Defekter

Ingjutsteknik