

Undgå sugningsdefekter og maksimer styrken af SG-jern

Forfatter: Doug White, Manager Technical Services; Elkem Metals, Inc.

Oversat af: Knud Bryndum

ABSTRAKT

Artiklen omhandler de kontrollerende faktorer til at undgå sugningsdefekter og at maksimere af styrken i SG-jern. Disse faktorer er:

- At øge CE% til lige under det niveau, hvor der kan optræde flotation, samtidigt med at der anvendes mindst mulige mængder af magnesium og silicium.
- Opretholde det oprindelige svovlindhold i basisjernet så stabilt som muligt.
- Brug et nodulariseringsmiddel med lavt indhold af rent lanthan og/eller podemiddel overfladebelagt med svovl- og oxydforbindelser. Herved skubbes størrelsesfordeling af grafitkuglerne mod mindre diameter.
- Kompensere for tabte kim i basisjernet og/eller det behandlede jern på grund af for lang ventetid.
- I stedet for traditionel efterfødningsmetode, at anvende metoder til acceleret størkning på udvalgte områder af godset ved hjælp af kølekociller, kølefiner eller kølesøm, som smelter sammen med godset.
- Maksimer styrken af formen.

Hvor stor skal kulstof-ekvivalenten være

Fig 1 anviser retningslinier for en passende CE for problemfri støbning.

For at undgå sugningsdefekter skal man også undgå flotation af grafitkuglerne. Diagrammet viser

at det totale kulstofindhold plus 1/3 Silicium ikke bør overskride 4,55.

Diagrammet blev udarbejdet for godstykkelser mellem 1/2 til 1 1/2 tomme. For tyndere godstykkelser som i en manifold kan CE være større, men ved tykkere gods skal den være mindre for at undgå

grafitflotation og øget tendens til sugningsdefekter.

Når kulstof udfældes under størkning af jern udvider kulstoffet sig og sugningseffekten vil være mindst, hvis kulstofprocenten er størst mulig, dvs ved den eutektiske sammensætning. Hvis sammensætningen ligger over den eutektiske udskilles primær grafit med øget risiko for grafitflotation.

Brug størst mulige CE – og undgå alligevel flotation af kuglegrafitten

Fig 2 er en tabel over resultaterne fra et undersøgelsesprogram udført af BICRA for AFS. Den viser mere detaljeret det maksimalt tilladelige kulstofindhold, for forskellige Si-koncentrationer, hvis flotation af kuglegrafitten skal undgås i forskellige godstykkelser og former. det maksimalt til-

Fig. 1. Optimale indhold af kulstof og silicium i SG-jern

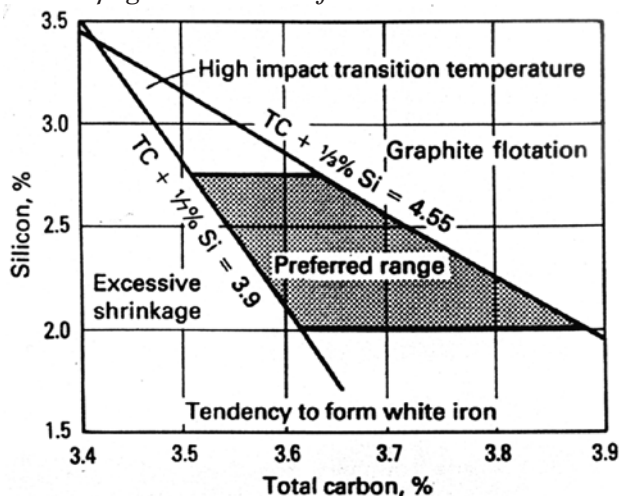


Fig. 2. Til undgåelse af seigring af grafitkugler; Maksimal kulstofprocent

Max % C to Avoid Nodule Flotation AFS Transactions, 1986 – paper 86-150 (Fuller and Blackman – BCIRA)

Section Size of sample (mm)	20	30	50	80	Square Bars (mm)
	4.79	7.06	11.34	17.23	Volume-to-surface area ratios (mm) (Modulii)
	10	15	23	35	Cooling rate thickness in large plates (mm)
	19	28	45	70	Cylindrical sections diameters (mm)**

% Silicon*	MAX. % Carbon to Avoid Nodule Flotation
1.8	4.00 3.96 3.88 3.76
2.2	3.90 3.86 3.78 3.65
2.6	3.80 3.76 3.67 3.55
3.0	3.69 3.65 3.57 3.45
3.4	3.59 3.55 3.47 3.34
3.8	3.49 3.45 3.36 3.24
4.2	3.38 3.34 3.26 3.13
4.6	3.28 3.23 3.16 3.03
5.0	3.18 3.13 3.05 2.93

For pouring Temperature =1400C (2550F)

Carbon contents should be decreased by 0.05% for each 50°C (90°F) increase in pouring temperature.
*Silicon contents must include additions made in magnesium treatment and inoculation.
**Plus lengths greater than 5x the diameter.

Max. CE for Square Bars

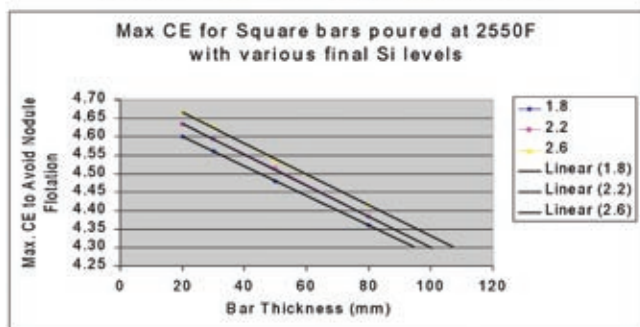


Fig. 3. Maksimal CE for kvadratiske profiler.

Max. CE for Round Bars

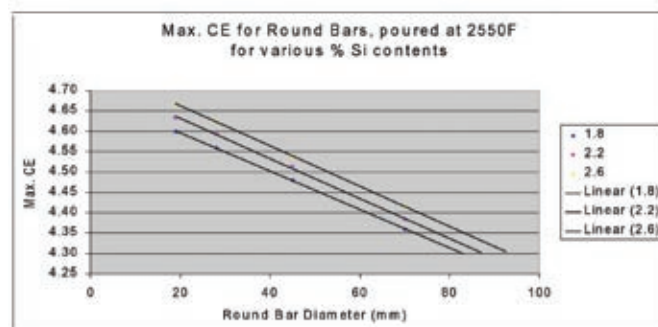


Fig. 4. Maksimal CE for runde profiler.

ladelige kulstofindhold er også det optimale, når sugninger skal undgås. Tabellen indikerer også støbetemperaturens indflydelse.

Som en regel reduceres sugningstendensen i takt med at kulstofindholdet stiger, forudsat at afkølingen følger en eutektisk ligevægt. Eutektisk størkning indebærer en samtidig udfældelse og vækst af grafit i de austernitiske celler. Hvis kulstofindholdet bliver for stort og resulterer i udskillelse af primær grafit i starten af størkningsforløbet, vil en stor del af effekten af grafittens udvidelse gå tabt på et meget tidligt tidspunkt i størkningsforløbet.

Dette skyldes den hurtige udskillelse af grafitten, som stiger op gennem smelten og efterlader de isolerede områder, der størkner sidst, uden tilstrækkeligt ekspanderende grafit.

Fig 3 er plot af data for et kvadratisk tværsnit fra fig 2. Der er tre kurver for forskellige Si-indhold. Kurverne er forlænget til CE = 4.3. Kurverne viser godsets maksimumstykkelse, hvor CE-

værdien skal være 4,3 eller mindre. Tykkere gods skal have en CE-værdi, som er mindre end 4.3 for at undgå overeutektisk grafitudskillelse med flotation af grafit og øget sugningstendens til følge.

De samme forhold for et rundt tværsnit anskueliggøres i fig 4, hvor en diameter på 83 mm og med et Si-indhold på 1,8% kræver en CE-værdi på 4.30 eller derunder.

I fig 5 er data fra forsøget med kvadratisk tværsnit konverteret til at gælde for plader med tykkelser svarende til sidelængderne i fig 3. For SG-jern med 1,8% Si bør CE være lig med eller mindre end 4,30, hvis tykkelsen overstiger 42 mm.

I fig 6 er data fra forsøg med kvadratisk tværsnit konverteret til fra godsets tykkelse til godsets modul målt i mm. Modulet er forholdet mellem støbegodsets volumen og dets kølende overfladeareal. Ved at forlænge kurverne til CE=4.3 fås de modulstørrelser, som ikke må overskrides for for-

skellige værdier af Silicium. For 1,8% Si er max.-modul 21 mm og for 2.2% Si er det 22 mm.

Timing af grafit-ekspansionen

Det er påkrævet at kulstoffet udskilles som grafitkugler i starten af størkningforløbet, så der ikke dannes eutektisk karbid i tynde godsdele. For stor udskillelse skal undgås, da der i så tilfælde vil være for lidt kulstof tilbage i de sidst størknende områder på et tidspunkt, hvor efterfødere ikke længere kan efterføde godset. Det er vigtigt at være klar over, hvilke parametre, der styrer kulstofudskillelsen under hele størkningsprocessen.

Højere silicium-indhold fører til flere grafitkugler, mere ferrit og til kraftigere grafitudskillelse tidligt i størkningsprocessen.

For at minimere sugninger anbefales det, at CE er optimeret med en maksimal kulstofværdi og en minimal silicium-værdi. Kulstof bidrager til udvidelse og

Max. CE for Flat Plate Sections

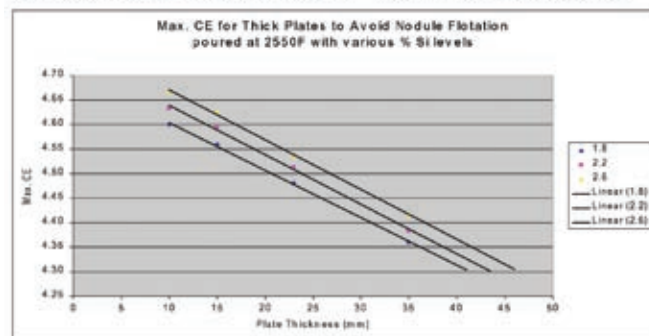


Fig. 5. Maksimal CE for plader

Max. CE versus Moduli (mm)

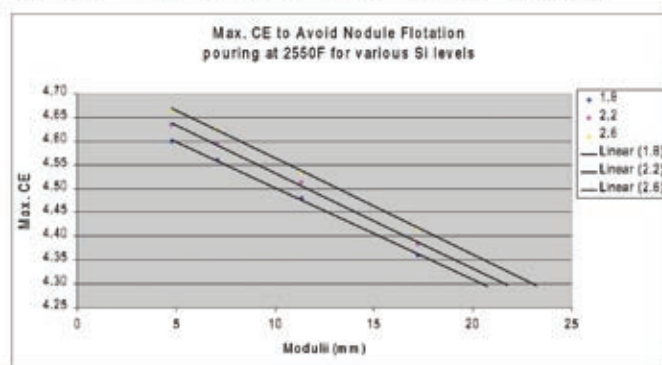
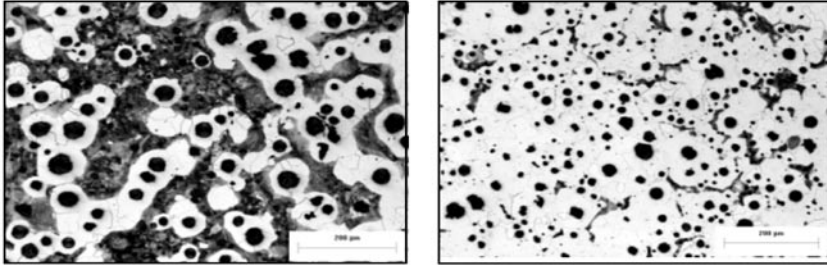


Fig. 6. Maksimal CE mod støbemodul

Silicon in Ductile Iron



Higher silicon leads directly to higher nodule count, more ferrite, and more early C precipitation. Keep % Si steady at the minimum level – enough to avoid carbides. Avoid very high nodule counts of uniformly sized nodules from over-inoculation, Bi additions, ...

Fig. 7. Silicium i SG-jern

for meget silicium kan lede til for tidlig og for stor grafitudskillelse med det resultat, at der er for lidt kulstof til de sidste faser i størkningen. Silicium bør bruges i koncentrationer så karbiddannelse undgås og styrken af feritten øges, men overskud skal undgås.

For mange grafitkugler med ensartet størrelse giver normalt anledning til sugninger. I sådanne tilfælde er kugledannelsen startet på en gang først i størkningsforløbet. Strukturen ser god ud men er ikke velegnet til at modvirke sugninger. Fig 7 anskueliggør, hvordan grafitkugleantallet kan øges med øget siliciumindhold.

Andre faktorer der fører til øget kugleantal med meget ensartet størrelse er for hurtig tilsætning af podemiddel eller brugen vismut kugleantallet. Et stort antal grafitkugler kan formindske dannelsen af sugninger, men kun hvis kuglernes størrelse har en stor

statistisk spredning. Dette kræver en grafitudskillelse/ekspansion med konstant hastighed under hele størkningen, og at grafitdannelsen ikke er for stor i starten.

Magnesiumindholdet er en anden faktor, som bør kontrolleres for at mindske sugning. Kurven i fig.8 viser at sugning øges, hvis restindholdet af magnesium øges. Der kræves dog tilstrækkeligt magnesium til at sikre en ordentlig dannelsen af grafitkugler, men overskud skal undgås. Overskud af magnesium giver desuden anledning til forskellige defekter, såsom slaggedefekter, spiky grafit o.a.

Hold svovlindholdet i basisjernet konstant

Svovlindhold i basisjernet kan have stor indflydelse på grafitkuglernes antal og størrelsesfordeling.

Fig 9 viser resultaterne fra en

Magnesium vs. Shrinkage

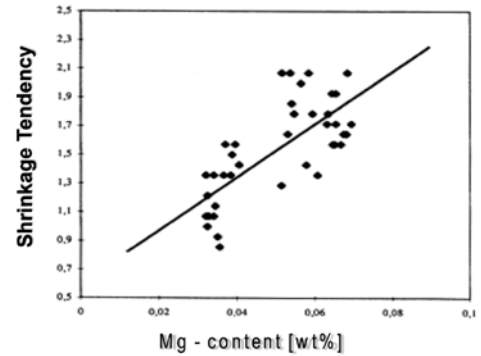


Fig. 8. Sugningstendens som funktion af Mg%

Japansk undersøgelse, hvor grafitkugleantallets variation som funktion af basisvovlindhold blev undersøgt.

Øges svovlindhold i basisjernet stiger antallet af grafitkugler. Ved meget tyndvægget gods, som er følsomt for karbiddannelse, vil nogle støberier derfor øge svovlindholdet. Dette kan være klogt, hvis man vil undgå karbiddannelse. Hvis grafitkuglerne også har en ensartet størrelse kan det give anledning til sugningsproblemer, især i tykvægget gods. Ønsker man et reproducerbart grafitkugleantal er det vigtigt at det oprindelige svovlindhold i basisjernet holdes konstant fra den ene magnesiumbehandling til den anden. Store variationer i svovlindholdet, kan optræde når man skifter fra gråt støbejern til SG-jern, og det kan medføre svingende antal af grafitkugler og fordeling, som igen kunne lede til sugningsproblemer.

Nakae and Igarashi Nuclei Studies

Nodule Count Increases as Base S Increases

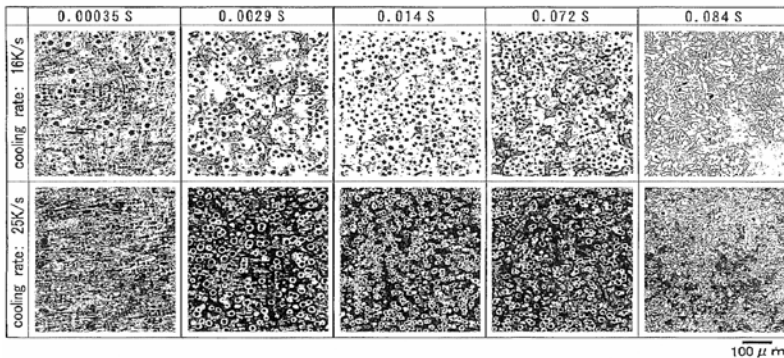


Fig. 9. Antallet af grafitkugler som funktion af svovlindhold; Undersøgelse af Nakae og Igarashi.

On-the-mold Nodularizing

Objective :

Compare samples of ductile iron made by the on-mould process using:

Misch-based nodulariser		La type nodulariser	
% Si	47.0	% Si	46.0
% Mg	4.5	% Mg	5.5
% Ca	0.3	% Ca	0.5
% RE	1.25	% La	0.35
% Al	0.8	% Al	1.0

Fig. 10. Analyser af MgFeSi-RE forlegninger.

Graphite Nodule Size Distribution Skewed to the Fine Sizes that Reduce Shrinkage

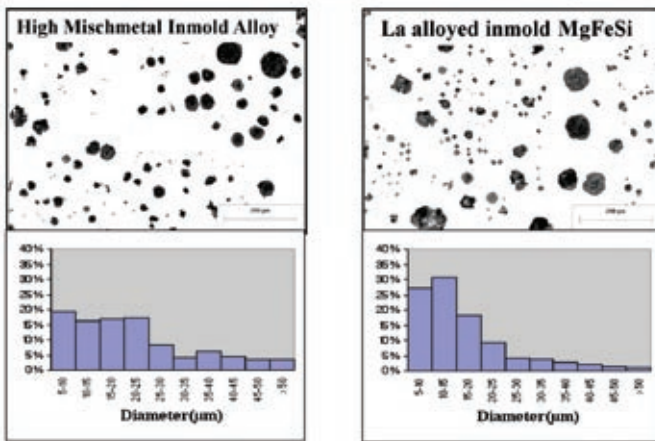


Fig. 11. Fordelinger af grafitkugler afhængig af type nodulariseringsmiddel.

Reduced Shrinkage - La Alloyed MgFeSi Alloy

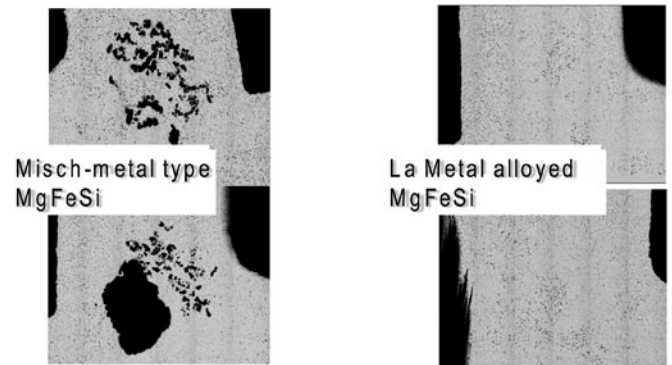


Fig. 12. Fotos af sugninger ved brug af mischnetal/ren La-legering

Undgå lange stand-tider for basisjernet

Ved lange holdetider af basisjernet i smalteovnen, især ved høje temperaturer ændres jernets kimalt. Efter 30 minutters ventetid ved støbetemperatur, vil magnesiumbehandlet og podet jern få tendenser til både sugning og karbiddannelse. Skepodning eller senpodning af dødbrændt jern vil ikke vil ikke kunne tilføre tilstrækkelige mængder af kim til at undgå dannelse af karbider. En del af den tabte kimmængde kan genetableres ved at tilsætte krystallinsk grafit og samtidig hermed kompenseres for kulstofafbrændingen. I følge et støberi i Texas er helt rene spåner fra en grafit elektrode det bedste middel til at oprette smeltens kimalt og

dermed formindske risikoen for karbiddannelse..

Undgå lange ventetider for Mg-behandlet jern

Et lignende fænomen ses ved magnesiumbehandlet jern. Efter 25-30 minutters holdetid i støbeautomaten, uden tilsætning af friskt magnesiumbehandlet jern ændres jernets kimalt og jernet bliver følsomt for sugning. Chad Moder fra Neenah Foundry præsenterede et indlæg om dette emne, og viste at termisk analyse kunne være et værktøj til at studere dette problem og samtidig hjælpe til med hurtigt at bringe jernet tilbage til en tilstand med acceptabel sugningstendens. De lærte at genoplive dødbrændt jern ved at tilsætte 0,1vægtprocent af

et varemærkebeskyttet svovl- og oxydbelagt podemiddel, samtidig med at der blev tilsat nybehandlet jern til støbeautomaten. De lærte at opfriske jern, der havde tilbragt en weekend i støbeautomaten ved hjælp af denne teknik. Før etableringen af denne teknik var det efter en weekend nødvendigt at tilsætte flere skeer nybehandlet jern for at opnå samme resultat, og alligevel kunne det hende, at anseelige mængder jern fra støbeautomaten måtte gå til omseltning.

Specielle MgFeSi-legeringer der reducerer sugning

Traditionelt har MgFeSi-legeringerne været tillegeret RE-metaller (Rear Earth metals; sjældne

Nodule Count/ Size Distribution vs. Section Size

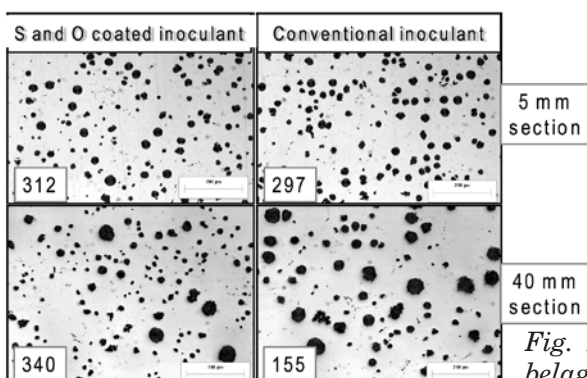


Fig. 13. Mikrofotos af struktur; Svovl/oxyd belagt- og konventionelt podemiddel

Shrinkage in Crossbar Samples

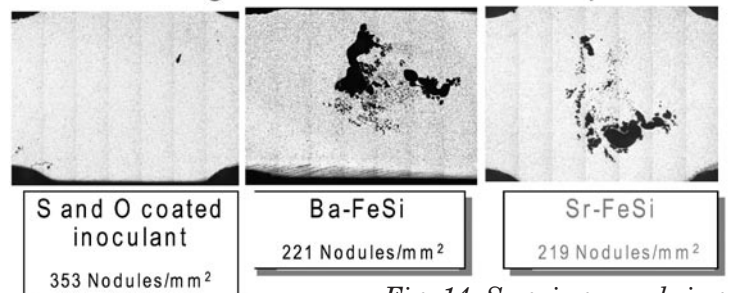


Fig. 14. Sugninger omkring godsansamling

Thermal Analysis of Inoculated Iron

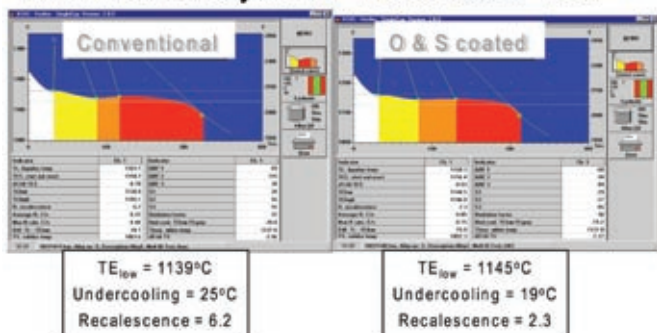


Fig. 15. Afkølingskurver fra termisk analyse af podet SG-jern

Thermal Analysis of Inoculated Iron

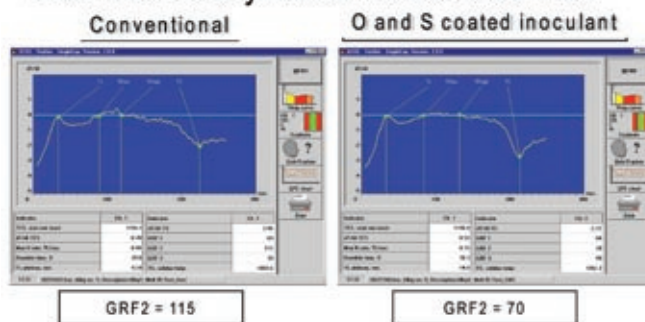


Fig. 16. Afkølingskurver differentieret fra termisk analyse af podet SG-jern

jordarter) RE-metallerne skal neutralisere nogle af de skadelige effekter som forskellige urenheder f.eks bly forårsager, medvirke til at undgå kanthvidhed ved for lav støbetemperatur og optimere antallet af grafitkugler. I mange år var mischmetal (blanding af 50% cerium, 25% Lanthan, 15% Neodym, rest andre RE-metaller) den mest anvendte tilsætningsmiddel for RE-metaller.

Idag har man udviklet særlige tilsætningslegeringer, der alene indeholder La (lanthan) i stedet for en ikke helt klart defineret blanding af RE-metaller.

Den korrekte brug af ren lanthan i MgFeSi-legeringer giver et stort antal grafitkugler med en ikke almindelig størrelsesfordeling. Antallet af først dannede store grafitkugler er reduceret en smule, mens antallet af små og mellemstore grafitkugler er stærkt øget. Dette er en indikation på at grafitudskillelsen har været støt gennem størkningsforløbet og har

haft den ønskede ekspansionsvirkning sidst i størkningsforløbet.

Fig 10 viser to sammensætninger af RE-holdige forlegeringer. Virkningen af legeringerne er sammenlignet ved hjælp af en "on the mold" behandlingsmetode Den ene forlegering havde et højere indhold af det traditionelle mischmetal, mens den anden havde et indhold af ren lanthan, der svarede til en trediedel af mischmetallet. Det bør bemærkes, at indholdet af lanthan i de to forlegeringer er nogenlunde det samme. Brugen af mischmetal tilfører smelten en del af de øvrige RE-metaller, og det viser sig, at de har en negativ indflydelse på dannelsen af sugningsdefekter.

I disse eksperimenter blev jernet støbt i forme der indeholdt de to typer nodulariseringsmiddel. Støbningerne udførtes umiddelbart efter hinanden, således at sammensætning og temperatur var identiske for de to udstøbninger. Herved opnåedes ideelle betingelser for at sammenligne effek-

ten af de to nodulariseringsmidler. Fig.11 viser mikrostrukturen i de to stykker støbegods. SG-jernet podet med forlegeringen med ren lanthan har en struktur med færre store kugler og et stort antal mellemstore og små kugler. Det kan ses på billederne af mikrostrukturene og er også anskueliggjort på diagrammerne. Bemærk af grafitkuglestørrelsesfordelingen ikke er symmetrisk, som det ofte hævdes, men er skævfordelt mod flere mindre størrelser.

Eftersom grafitkuglestørrelsen er afhængig af væksttiden kan man se at noduleringsmidlet med mischmetal har bevirket en større udskillelse i det tidlige størkningsforløb og mindre mod slutningen.

Den lanthanholdige nodulariseringsmiddel bør derfor give anledning til mindre sugning, eftersom mere kulstof er blevet udskilt sidst i forløbet, hvor efterfødere ikke længere fungerer tilstrækkeligt til at modvirke sugninger. Fig 12 viser tydeligt forskellen ved at

Nodule Count, Nodule Size Distribution and Shrinkage

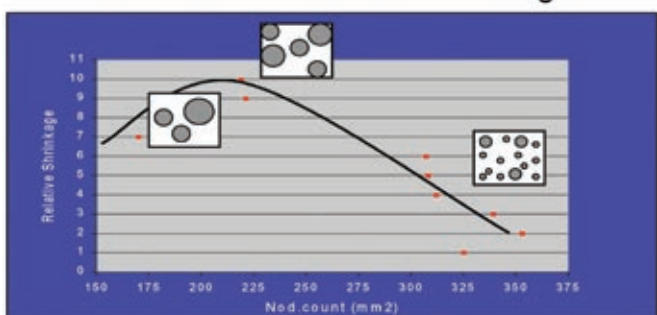


Fig. 17. Relativ sugnings som funktion af antal grafitkugler pr mm2.

Chill pins cast from holes drilled into cores - Caterpillar



Fig. 18. Kernehuller til kølepinde

Chill wire (Caterpillar)



Fig. 19. Kølefjeder

Metal Chills (Caterpillar)



Fig. 20. Placering af kølejern.

bevare kulstoffets ekspansionseffekt til sidst i størkningsforløbet. Man kan altså henføre en del af krympningstendensen i SG-jern til grafitkuglernes størrelsesfordeling og det bedste resultat fås med stor spredning og overvejende små og mellemstore grafitkugler.

Specialpodemiddel til reduktion af sugninger

Man kan også opnå størrelsesfordeling som har størst spredning mod mindre størrelser ved at anvende et patenteret podemiddel, som er overfladebelagt med svovl- og iltforbindelser. I fig 13 ses mikrofoto af strukturen af SG-jern podet med traditionelt middel og et foto med det patenterede middel. I tyndt gods (5mm) er strukturene ens.

Ved større tykkelser er strukturerne forskellige. Jernet behandlet med det traditionelle middel har et fald i grafitkugleantal og

kuglerne er noget større på grund af den længere størkningstid i det sværere gods. Jern behandlet med det patenterede podemiddel viste ikke et fald i antal som man ville have forventet når godset blev tykkere. Overraskende viste det sig at antallet af grafitkugler var øget og der var kun få store og mange små og mellemstore.

I fig 14 demonstreres den tydelige forskel på virkningen af de testede podemidler.

Termisk analyse, fordeling af kuglestørrelse, sugning

Undersøgelsen af virkningen af disse to typer podemidler indebar også brugen af termisk analyse. Brugen af traditionel podemiddel giver anledning til afkølingskurver der er afrundede i slutfasen af størkningen. Afkølingskurven for jern med en kuglefordeling med overvægt af små størrelser har

et mere fladt forløb i slutningen af størkningen. Dette skyldes en tidsmæssigt mere jævn udskillelse af grafit og austernit. Fig 15 viser afkølingskurver for jern podet med traditionelt og patenteret podemiddel. Man kan se at kurven for jern behandlet med traditionelt podemiddel har et mere afrundet slutningsforløb end kurven for jernet med det patenterede podemiddel. Også på andre måder var kurven for det patenterede podemiddel forskellig – størkningen skete med mindre underafkøling og mindre recalcence (temperaturstigning pga. størkningsvarme, red.). Stor recalcens er tegn på hurtig initial størkning dvs hurtig austernitdannelse og kulstofudskillelse. Et fladere kurveforløb er at foretrække, efter som dette svarer til reduceret eller elimineret sugning.

Fig 16 viser den første afledte af de to kurver. Den mindre vinkel omkring størkningspunktet indikerer en mindre tendens til sugning.

Neenah – Bolts formed into a mold at a heavy casting section



Fig. 21. Kølebolte i form til svært gods.

Neenah – 3 bolts fused into a casting to avoid shrinkage

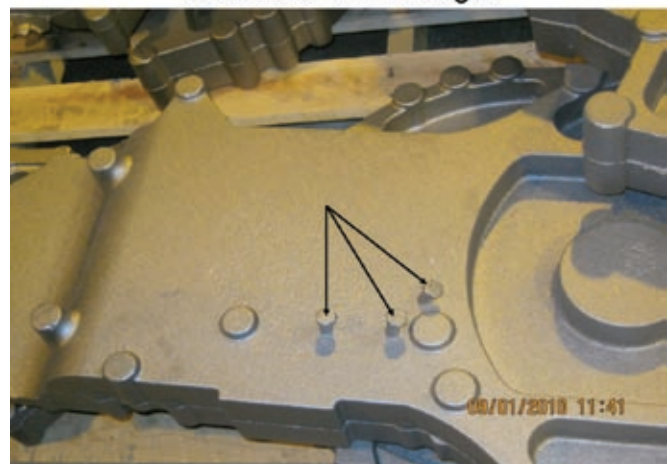


Fig. 22. Indstøbte kølebolte.

Et gammelt mundheld i støberibranchen siger, at man skal passe på ikke at overdosere podemiddel, idet man introducerer sugningsdefekter. Undersøgelser har vist at dette er sandt idet der dannes mange ensartede kugler. På fig 17 ses, at et øget antal grafitkugler fra 175 til 225 pr kvadratmillimeter øger sugningen. Yderligere øgning i antal af grafitkugler og en samtidig ændring i størrelsesfordelingen vil bidrage til at reducere sugningstendensen.

Øg afkølingshastigheden frem for antallet af efterfødere

Mange støberier råder over udstyr til simulering af formfyldning og størkning. Sådant udstyr kan være nyttigt til at forudse, hvor sugninger vil optræde. Der skal træffes afgørelse, om man ønsker at efterføde eller forstærke afkølingen i de sugningsfølsomme områder. I store stykker støbegods er det af og til meget besværligt at producere strukturer med tilstrækkeligt antal grafitkugler og høj nodularitet. Det er ofte i sådanne tilfælde fordelagtigt at anvende kølejern frem for at efterføde, idet man opnår en bedre mikrostruktur og bedre mekaniske egenskaber ved hurtigere afkøling.

Der er forskellige metoder til at køle tykke og derfor sugningsfølsomme områder i godset.

Fig 18 viser hvordan man kan bore huller i en kerne, således at de herved dannede pinde virker som køleribber og tjener til at lede varme hurtigere bort fra godset og ind i sandkernen. Herved undgås sugninger i det nærliggende gods. Pindene fjernes i forbindelse med den almindelige rensning. Sådanne varmeafledende pinde eller finner kan også monteres på modellerne.

Fig 19 viser placeringen af en kølefjeder, der forstærker kølingen i et område følsomt for sugninger. Den snoede overflade af fjederen kan absorbere varmen hurtigere end en lige bolt eller trådstykke. På fotoet til højre kan den indstøbte fjeder lige anes i godset. Bearbejdes godset maskinelt omkring fjederen må de blotlagte overflader selvfølgelig være uden porøsiteter.

Fig 20 viser hvordan en kerne med kølejern fremstilles. Kølejern er ofte coatede og smelter ikke fast til godset, men fjerner kun varme fra de sugningsfølsomme områder.

Fig 21 viser en form med indfornede kølebolte.

Fig 22 viser godset med de istøbte kølebolte. På et senere tidspunkt blev det besluttet at bruge tre bolte i stedet for to. De tre bolte afskæres under den følgende bearbejdning.

Fremstil ensartede stærke og stive forme

Det er velkendt, at gods kan fremstilles i SG-jern uden efterfødere, hvis formene er tilpas stærke, dvs at der anvendes kemisk bundet sand frem for grønsand. Anvendes grønsand alligevel, skal formen være tilstrækkelig stærk til at der ikke optræder forskydninger i formvæggene med sugninger til følge. Derfor er god vedligeholdelse af sandkvalitet og formmaskiner vigtig. Hvis formen har dybe fordybninger bør disse forsynes med luftventiler, således at formstyrken opretholdes.

Opsummering af tekniker til minimering af sugninger.

1. Brug kurverne vist i denne artikel, vælg et kulstofindhold der er afstemt efter et minimalt siliciumindhold, og den maksimale støbetemperatur i forhold til godsets modul eller godstykkelse. Vælg et kulstofindhold

så højt som muligt uden at risikere flotation.

2. Undgå dannelse af stort antal grafitkugler af samme størrelse. Dette opleves hvis jernet overpodes eller behandles med vismut.
3. Hold svovlindholdet i basisjernet og slutanalysen på et stabilt niveau; ellers kan der opstå anseelige forskelle i antallet af grafitkugler.
4. Undgå holdetider af basisjernet længere end 30 minutter uden tilførsel af nyligt opsmeltet råjern. Er der ikke råjern tilgængeligt erstat tabt kulstofindhold med rent krystallinsk grafit, helst som knust grafitelektrode eller elektrodespåner.
5. Undgå lange holdetider i støbeautomaten med magnesiumbehandlet SG-jern. Brugen af det varemærkebeskyttede svovl- og oxydbelagte podningsmiddel tilsat sammen med en portion nybehandlet jern kan genetablere de nødvendige kim i jernet i støbeautomaten.
6. Overvej brugen af MgFeSi med ren lanthan i stedet for nodulariseringsmidler med mischmetal og /eller brug podemiddel med svovl- og oxydbelagt overflade. Disse materialer kan give en størrelsesfordeling af grafitkuglerne med overvejende små og mellemstore kugler, som kan reducere eller minimere sugningstendenser.
7. Styrk formen ved god sandkontrol.
8. Brug formfyldnings- og størkningssimulering til at forudse og minimere sugninger. Vurder anvendelsen af kølejern i forhold til brugen af efterfødere for herved at øge udbyttet og forbedre strukturen i svære og langsomt størknende godssektioner, som ofte er følsomme for sugninger.