

Produktion og anvendelse af FeSi og FeSiMg

Af Luc Vereecken, CellMark AB, Belgien



Indledning

CellMark er et globalt servicefirma, der leverer produkter, tjenester og løsninger til kunder over hele verden indenfor vidt spændende tekniske områder. Ved hjælp af vores store netværk med lokale kontorer og vor faglige ekspertise kan vi lette handel og forretningsudvikling inden for flere brancher

CellMark blev grundlagt i 1984 i Göteborg og har sine rødder i international handel og distribution af råmaterialer til papirmasseindustrien over hele verden. Gennem årene har virksomheden udviklet sine forretningsområder og i dag har vi syv succesrige internationale divisioner inden for papirmasse, papir, emballage, genanvendelse, kemikalier, metaller og basiskemikalier. Desuden forsøges opbygget et distributionsnet for medicinsk udstyr og biomasse.

CellMark-koncernen råder over 750 fagfolk med dybtgående produkt- og markedskendskab og som også besidder omfattende og langsigtede relationer med folk i de brancher, der betjenes. Virksomheden er privatejet af medarbejderne samt en professionel hovedinvestor, Ernström & Co., som hjælper med at nå strategiske mål. Den årlige omsætning er USD 2,9 milliarder, med et salgsvolumen tæt på 7 millioner tons årligt. CellMark er stolt over at bidrage til en global indsats for bæredygtighed og er forpligtet til at styrke uddannelsesmuligheder til støtte for Paper Seed Foundations arbejde.

Produkter til den danske støberiindustri

I Danmark tilbyder CellMark følgende forbrugsvarer og udstyr til støberiindustrien.

FerroGlobe: FeSiMg, bodemidler og magnesiumtråd. *GTP Schäfer:* eksotermisk/isolerende efterfødere, isolerende hylstre, knækkerner, eksotermisk pulver, keramisk sand. *Mazzon:* kemiske bindemidler såsom furan og coldbox, sværter. *Namakwa:* Råjern med stor renhed (high purity). *Trading:* SiC, ferrolegeringer, opkulingsmidler.

Herudover forhandles følgende støberiudstyr.

Clansman: manipulators, udstyr til at fjerne ef-

terfødere. *ProServiceTech:* Tørreovne til vandbase-rede sværter, komplet udstyr til sværteforberedelse, Itaca-udstyr til termiske analyser. *Maus:* slibe/fræsning robots and CNC-styrede maskiner. *Convitec:* vibrationsudstyr, køletromler, udslagningsudstyr,

Fremstilling af ferrosilicium

Ferrosilicium fremstilles ved en smelteproces, hvori der indgår mineralet kvartsit (SiO_2), koks og/eller træspåner (C), stål (Fe), varme (elektricitet) og grafitelektroder. De kemiske processer til omdannelse af træspåner og koks til kulstof vist i fig. 1. Jernholdigt materiale (stål) smeltes til flydende jern, mens kvartsitten omdannes til dampe af siliciumoxyd (fig. 2). Den ferro-silicium dannende reaktion er vist i fig. 3, hvor jern, kulstof og silikatdampe omdannes til ferrosilicium og kulmonoxid.

Afhængig af blandingen af kvartssit, jern og kulstof, som sættes på el-ovnen, fås ferrosilicium med varierende jern/silicium-forhold. Processen er særdeles energikrævende. Til FeSi 75 (med 75% Si) anvendes 8,5 kWh/kg. Energien udgør i dette tilfælde cirka 40 % af de totale fremstillingsomkostninger, Arbejdsløn udgør ca. 25 %, koks ca. 25 % mens de andre tilsetningsmaterialer udgør ca. 10 %. Til fremstilling af FeSi65 og FeSi45 anvendes hhv. 7,5 og 5,5 kWh/kg. Til sammenligning anvendes til smeltning af støbejern 0,55 kWh/kg.

I praksis foregår smeltning i en modstandsopvarmet elektrisk ovn med en diameter på 3 til 12 meter, hvor den elektriske vekselstrøm ledes gennem chargen fra tre elektroder. Charginen foregår fra oven og tapping gennem siden ned i transportskeer med kapaciteter op til 10 tons. Processen er vist skematisk i fig. 4 Det flydende ferrosilicium udstøbes i blokke, der efter størkning bliver knust og sigtet til de ønskede størrelser.

Fremstilling af FeSiMg

Til fremstilling af FeSiMg tilsættes først i en behandlingske med smeltet ferrosilicium (1540 oC) de

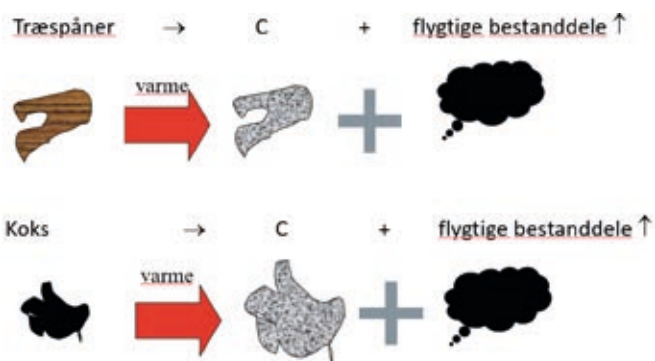


Fig. 1: Omdannelse af træspåner og koks til kulstof (C) og flygtige bestanddele.

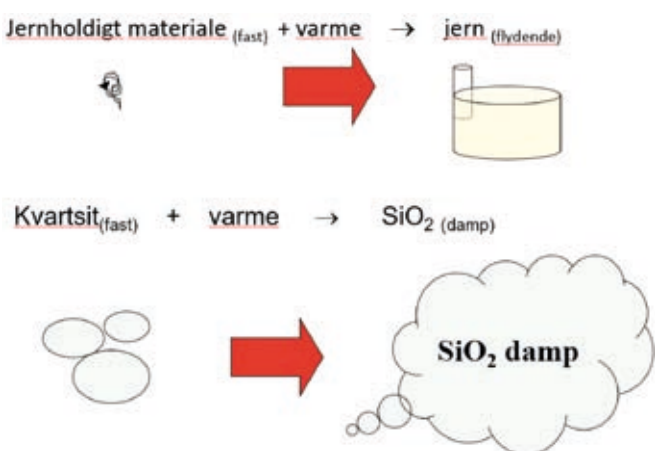


Fig. 2: Omdannelse af stål og kvartsit til hhv. flydende jern og SiO₂ damp.

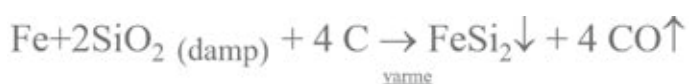


Fig. 3: Dannelse af ferrosilicium

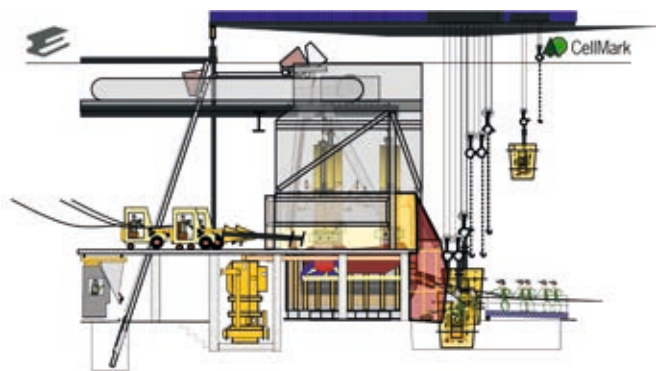


Fig. 4: Fremstilling af FeSi.

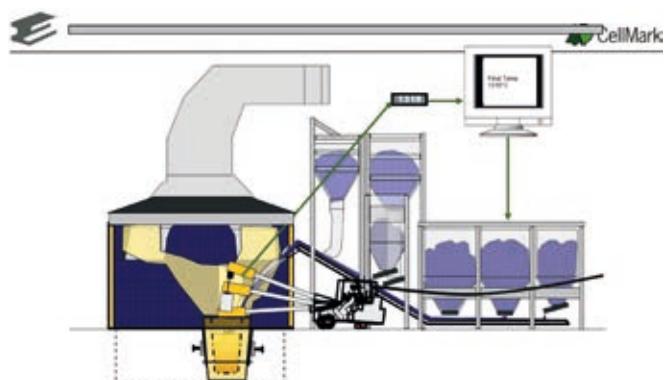


Fig. 5: Fremstilling af FeSiMg vha. klokkemetoden

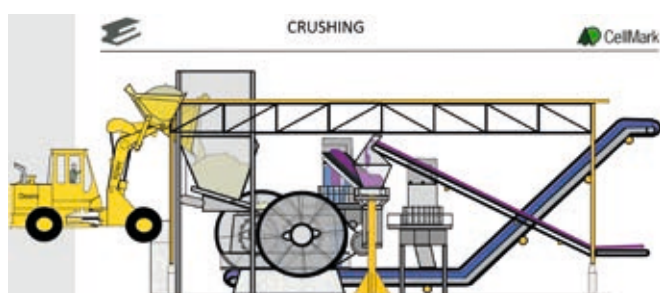


Fig. 6: Knusning

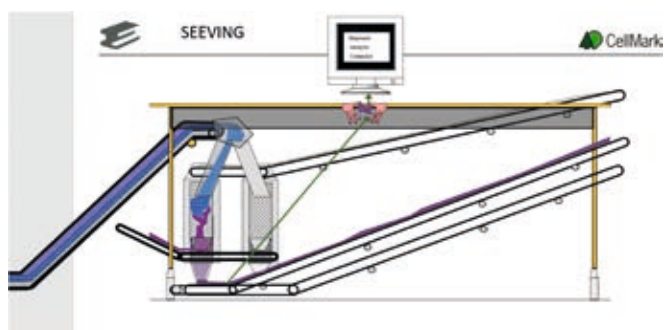


Fig. 7: Sigtning



Fig. 8: Ovnladning, de lodrette strukturer i ovnen er elektroderne.



Fig. 9: Overtapning



Fig. 10: Magnesiumbehandling

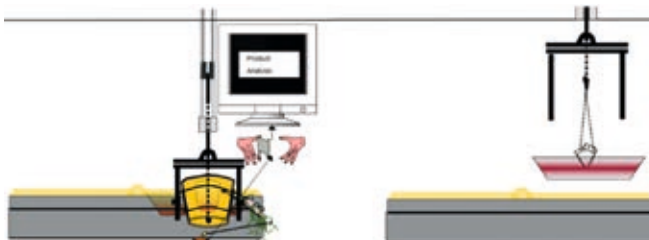


Fig. 11: Traditionel blokstøbning

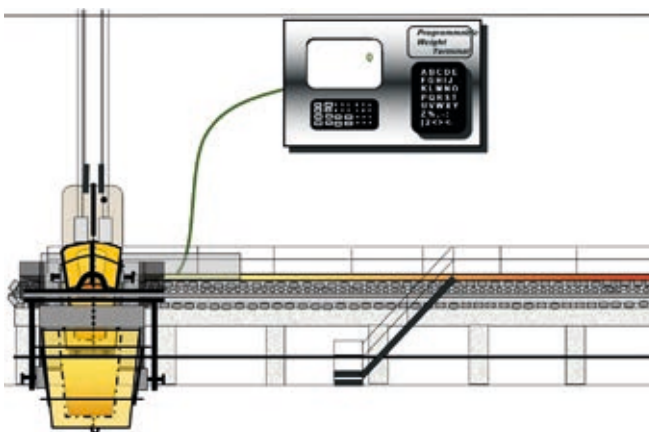


Fig. 12: Kontinuerlig strengstøbning af FeSiMg

ønskede mængder calcium, aluminum, sjældne jordarter (Ce, La, Pr, Nd, ...) og barium. Jern anvendes til at regulere siliciumindholdet. Til sidst tilsættes magnesium ved klokke-metoden, hvor en beholder med magnesium hurtigt nedsænkes i det flydende materiale. Processen er vist skematisk i fig. 5. Efter behandlingen er temperaturen faldet til 1315 oC og FeSiMg kan udstøbes i blokke og efterfølgende knuses (fig. 6) og sigtes (fig. 7) til den ønskede størrelse. Processerne er i virkeligheden temmelig voldsomme (fig. 8-9-10) da de foregår ved høj temperatur og de indgående materialer derfor oksiderer let, hvilket giver store mængder dampe og gasser.

Kontinuerlig strengstøbning af FeSiMg

Den traditionelle måde at fremstille FeSiMg er at lade det smeltede FeSiMg størkne i forme som store blokke, se fig. 11. Ved strengstøbning (fig. 12-13) støbes kontinuerligt gennem en vandkølet kokille, som hurtigt afkøler smelten så den får en fast overflade, og der derved dannes en streng, der trækkes væk fra kokillen i takt med udstøbningen. Det giver følgende fordele (fig. 14-15-16) i forhold til blokstøbning:

- kontinuerligt styret støbning
- inaktiv atmosfære ved udstøbningsstedet
- styring af streng-hastighed
- ensartet strengtykkelse
- hurtig størkning gennem hele strengtværsnittet
- styret afkøling

Disse fordele giver strengstøbt FeSiMg følgende egenskaber:

- ingen sedimentering
- ensartet kemisk sammensætning på langs og på tværs
- ensartede metallurgiske egenskaber
- homogene produkt-egenskaber

Magnesiumbehandling i praksis i støberiet

I det følgende gives en huskeliste for valg af nodula-



Fig. 13: Strengstøbning af FeSiMg

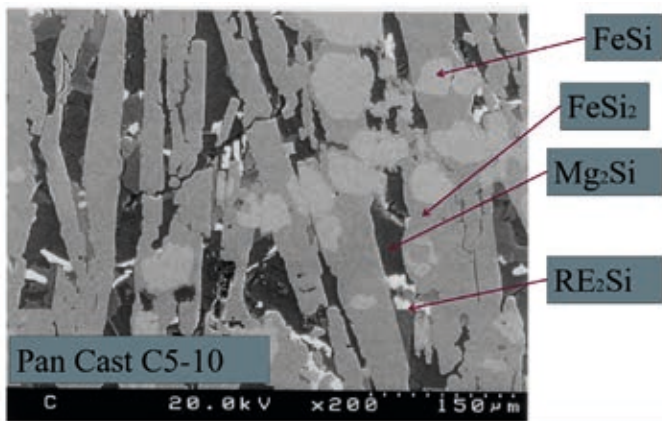


Fig. 14: Struktur blokstøbt FeSiMg

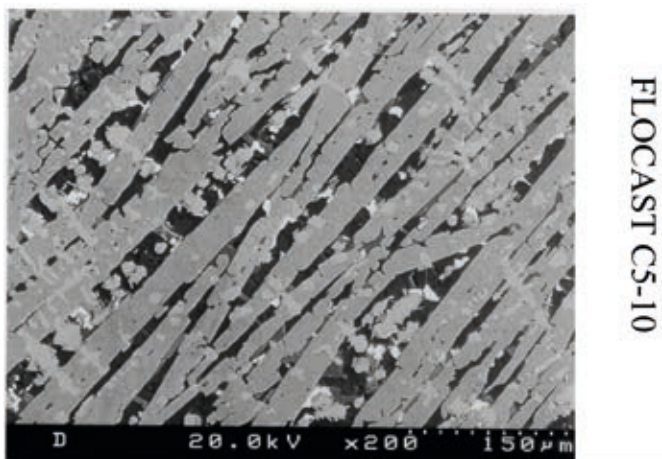


Fig. 15: Struktur strengstøbt FeSiMg

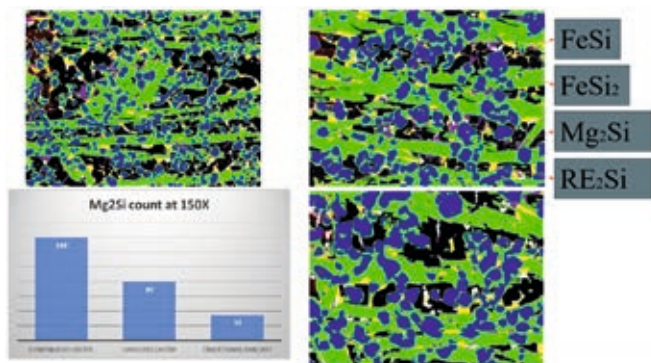


Fig. 16: Fordeling af Mg₂Si ved forskellige fremstillingsprocesser.

riseringsmiddel, og hvordan et højt Mg-udbytte kan opnås, samt hvordan udklingning kan reduceres.

Valg af nodulariseringsmiddel

1. Ved høj behandlingstemperatur og/eller en behandlingsske hvor $H/D < 1,5$ giver anvendelse af et nodulariseringsmiddel, der indeholder Ca en mindre voldsom behandlingsreaktion.
2. Ved brug af et tundish låg kan FeSiMg9% med lavt Ca-indhold anvendes.
3. Ved brug af behandlingsmængder over 500 kg skal et mere grovkornet FeSiMg anvendes.
4. FeSiMg skal tilpasses smeltens Si-indhold.
5. Hvis S-indholdet ligger mellem 0,02 – 0,04 % anbefales FeSiMg 931.
6. Tilpas indholdet af sjældne jordarter i FeSiMg til chargeringsmaterialer
7. Tilsætning af Ba kan være gavnlig.

Forbedring af Mg-udbytte

1. Reducer støbetiden
2. Magnesiumfordampning stiger ved forhøjet temperatur (8-9 bar ved 1400 oC, 17 bar ved 1500 oC)
3. Fjern slagge fra smelten
4. Reducer S-indholdet i smelten
5. Anvend et isolerende låg på støbeskeen
6. Behandlingskeken skal fyldes så hurtigt som muligt.
7. Forholdet H/D af behandlingsskeen bør være større end 1,5.
8. Forkonditionering er en stor fordel.
9. Kornstørrelsen på FeSiMg og den kemiske sammensætning har betydning.

Reducering af udklingning

1. Mg har stor affinitet til svovl og ilt, og indholdet af disse elementer bør derfor reduceres mest mulig.
2. Behandlingskeken bør beskyttes med et låg eller kvælstof for at reducere iltoptagelse.
3. Brug FeSiMg med sjældne jordarter (max. 0,01 % af Ce).
4. Reducer smeltens temperatur så meget som muligt.
5. Undgå unødigt omrøring/turbulens i støbeskeen.

Treatment	Sandwich Tundish cover	Plunging	Converter	In Mold	Cored Wire
Treatment agent	FeSiMg	Mg	Mg	FeSiMg	Mg+FeSiMg+ inoculant
Mg content	5-10%	100%	100%	5%	15-100%
Mg recovery	35-70%	30-60%	45-60%	70-80%	25-70%
Investment cost	++	++	++++	+	+++
Sulphur accepted	0,02%	0,08%	0,15%	<0,01%	0,15%
Inoculation effect	with the cover	no	preconditioning	yes	yes
Ladle size	no limit	6T	5T	no limit	no limit

Fig. 17: Sammenligning mellem forskellige behandlingsmetoder.

Sammenligning mellem forskellige Mg- behandlingsmetoder

Der findes et utal af Mg-behandlingsmetoder, hvoraf de mest gængse er vist i fig. 17. I Danmark bruges fortrinsvist eller næsten udelukkende sandwich-metoden, med eller uden tundish låg. De andre metoder er for det meste mere investeringstunge, men giver et højere Mg-udbytte og kan tolerere et højere

svovlindhold i smelten. Man skal altid huske på, at tilsætningsoptimering af et nodulariseringsmiddel er et vigtigt led til at forbedre godskvalitet og minimere produktionsomkostningerne.

***Artiklen er baseret på et foredrag af
Luc Vereecken ved DFS's årsmøde i Nyborg
d. 15 september 2018.***

Bearbejdet af STØBERIETs redaktion.