

Støbning af SG-jern i kraftige sektioner uden chunky grafit

Af Freddy Pedersen og Herbert Wolthoorn

I (de gode) gamle dage kunne støberierne levere certifikatgods blot ved at henvise til en separat støbt prøvestang. Selve trækprøvning blev foretaget, mens klasseinspektøren fik sig en kop kaffe og en smøg. Disse tider er længe forbi, desværre ville nogen måske mene, men det korte af de lange er, at der i dag kræves, at materialespecifikationer skal overholdes i alle godssektioner. Det kan være et problem for de fleste støberier at kunne dokumentere dette krav, og dette gælder ikke mindst for de håndstøberier, der producerer støbegods med kraftige sektioner til industrivirksomheder, der stiller store krav til materialespecifikationer, fx off-shore, vindenergi og kraftværker.

Et af støbegodssets egenskaber er, at det er godstykkelsesfølsomt. Dette begreb anvendes ikke ofte i dag, men det gælder stadigvæk. Forenklet sagt betyder det, at tynde godssektioner størkner hurtigt og tykke sektioner langsomt. Den endelige jernstruktur og dermed de mekaniske egenskaber bliver derfor også forskellige.

Som eksempel kan nævnes trækprøveresultater fra en påstøbt prøve og godsprøve udskåret i midten af en 200 mm sektion (tabel 1).

Som det fremgår af værdierne overholder trækstangen fint specifikationen for EN-GJS-400-15, hvor den minimale trækstyrke, flydespænding og forlængelse skal overholde hhv. 400 N/mm², 250 N/mm² og 15 %. Værdierne for selve godset viser derimod noget helt andet. Trækstyrken og flydespænding er fortsat gode, men forlængelsens er reduceret bety-

	Påstøbt	Godsprøve
Trækstyrke N/mm ²	445	425
Flydespænding N/mm ²	290	286
Forlængelse %	16	5
Hårdhed HB	160	163

Tabel 1: Trækprøveresultater fra samme jern

deligt med næsten 70%. Figur 1 og 2 viser såvel mikrostrukturen fra den påstøbte prøve som fra midten af godset. Der er to markante forskelle, nemlig antal grafitkugler og grundmassen. Det er vanskeligt at tro på, at disse to mikrostrukturer stammer fra det samme jern

Dette er blot et eksempel på, at mikrostrukturen og dermed de mekaniske værdier for svært støbegods kan variere betydeligt, når der ikke tages hensyn til godstykkelsen.

At dokumentere, at godset er fejlfrit er ikke altid nemt eller muligt. Ved hjælp af røntgen eller ultralyd kan mange strukturfejl opdages, men ikke alle. Ved serie-

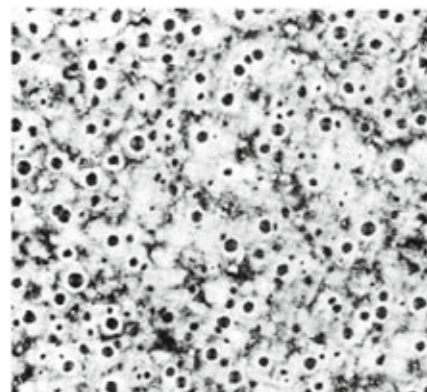


Fig. 1: påstøbt prøve

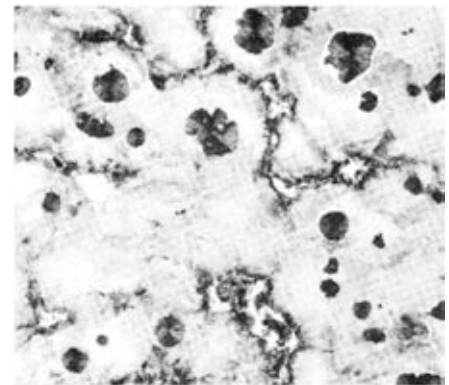


Fig. 2: godsprøve

fremstilling af mindre godsemner kan der i tvivlstilfælde udtages op til flere godsprøver uden de store problemer. Resultatet af disse prøver kan så danne grundlag for de fremtidige bedømmelser. Ved fremstilling af stort gods er denne mulighed ikke til stede. Et emne på flere tons kan ikke bare skæres op for at konstatere at der alligevel ikke er en strukturfejl i godset. I den situation skal støberiet have en tilstrækkelig solid metallurgisk viden, der kan forhindre eller i hvert fald minimere risikoen for, at der opstår situationer, hvor de ikke-destruktive undersøgelser fejlagtigt kunne antyde strukturfejl.

Kulstof og silicium fremmer en karbidfri struktur, og derfor bør sg-jern have et forholdsvis højt indhold af kulstof og silicium. Hvor højt det må være afhænger af flere ting. SG-jern er en eutektisk legering med en kulstofækvivalent på ca. 4.3 (kulstofækvivalenten CE er C % + 0,3 Si%). En høj kulstofækvivalent er over 4.3 (hos en såkaldt overeutektisk legering) og en lav kulstofækvivalent

under 4.3 (hos en undereutektisk legering). I praksis anvendes værdier fra 4,1 til 4,9 for hhv. meget kraftigt og meget tyndt støbegods.

Et for højt kulstofindhold kan resultere i grafitflotation (fig. 3.), mens for højt silicium kan give en skør grundmasse, som især er uønsket i de ferritiske sejjernskvaliteter, hvor der stilles krav til udmattelsesstyrke, fx. gods til vindmøller. Grafitflotation kan forekomme, når jernets kulstofækvivalent er større end 4.3.

Et øget indhold af kulstof og silicium, dvs. et øget kulstofækvivalent, forøger mængden af grafit, der dannes under størkningen, og for et givet godstværnsnit øges antal grafitkugler (noduler). Generelt ønskes en struktur med mange små noduler, og derfor bør en høj CE-værdi tilstræbes. Da grafitflotation tager tid kan og bør tyndvægget gods have en overeutektisk sammensætning uden risiko for grafitflotation. Derimod anvendes til svært støbegods undereutektisk jern for at undgå grafitflotation. Normalt anvendes maksimalt CE=4.2 for gods, hvor tværnsnitsektioner er 50 mm eller større.

Da det altid er nemmerer at hælde den samme slags jern i alle forme, er det også det, som oftest praktiseres. Men for at kunne fremstille en tilfredsstillende kvalitet ferritisk sg-jern, hvor et emne har godssektioner fra 25 til 50 mm og et andet emne godssektioner fra 100-200 mm skal støberiet anvende 2 forskellige jernkvalite-

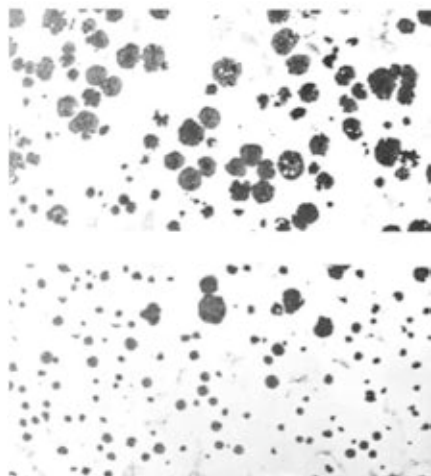


Fig. 3: Grafitflotation

ter. Bruges for bekvemmeligheds skyld en "gennemsnitsanalyse der passer til alt" bliver støbegodset også gennemsnitligt, dvs. det kan næppe leve op til de af kunden stillede krav.

Hvis der kun skulle tages til kulstofækvivalenten var opgaven til at overse, men desværre indeholder jern også en del andre elementer, som støberiet skal holde styr på. Nogle elementer, fx aluminium, bly, antimon og tin fremelsker flage/intercellular grafit. Andre elementer er perlitstabiliserende, her kan nævnes mangan, kobber, tin, molybdæn, nikkel, antimon og bly. Elementer, som nemt danner karbider er fx cerium, molybdæn, magnesium og titan.

Disse skadelige elementer skal derfor holdes under et vist niveau for at undgå en uønsket stuktur i støbegodset. I praksis findes mange forslag med grænseværdier for disse elementer, et eksempel for ferritisk sg-jern er vist i tabel 2.

Vær opmærksom på, at værdierne er retningsgivende. Det er derfor ikke god latin at acceptere fx 0,002 % bly, 0,002 % tin etc.; ideen er at holde indholdet af de skadelige elementer så lavt som muligt. Husk også på den kombinerede effekt; meget små mængder, der hver for sig ikke har nogen synderlig betydning, kan tilsammen udgøre en skadelig virkning.

Lad os antage, at et støberiet skal støbe et stort stykke gods, fx med tværnsnitsektioner fra 50 til 200 mm, i en ferritisk kvalitet og forbereder derfor en charge med et minimalt indhold af skadelige

elementer (såkaldt rent jern) og den optimale kulstofækvivalent til godstykkelsen. Det antages at støbetemperatur og tilsætning af magnesium og podemiddel er korrekt. Spørgsmålet er nu: "Vil godset kunne leve op til de stillede krav" og svaret er: "sandsynligvis ikke". Hvorfor:

De kraftige sektioner vil jo afkøle meget langsom, og hvis der anvendes efterfødere bliver situationen ikke bedre. Da den langsomme afkøling resulter i en struktur med store og færre grafitkugler anvendes ofte antimon til at forbedre nodulariteten i kraftige godsektioner. Desværre er antimon også perlitstabiliserende, hvilket ikke er så godt, når der skal fremstilles ferritisk sg-jern. Desuden har antimon en skadelig effekt på dannelse af grafitkugler, dvs. pigget og intercellular grafit (fig. 4).

Antimon er således et både skadeligt og gavnligt element. For at modvirke den skadelige virkning ikke alene af antimon, men også af andre skadelige elementer, fx. Pb, Sn, Al og Ti, tilsætte ofte cerium. Ved at tilsætte cerium holdes de skadelige elementer i skak, men cerium kan i sig selv også være skadeligt, da det fremmer dannelse af chunky grafit.

Chunky grafit er en degenereret grafitform (fig. 5), der reducerer godsets mekaniske egenskaber betydeligt. Chunky grafit forekommer i langsomt afkølet støbegods, især hvor godssektionerne er over 50 mm. Som sagt, cerium fremmer yderligere dannelse af chunky grafit.

Det ser således ud til, at uanset

Sporelementer		Ledsagerelementer	
Element	Max % ferritisk	Element	Max % ferritisk
Pb	0,002	P	0,05
Sb	0,002	Mn	0,25
Bi	0,001	Cr	0,05
B	0,005	Cu	0,15
Te	0,01	Ni	0,5
Se	0,03	Sn	0,02
Ti	0,05	V	0,02
Al	0,02	Mo	0,05
Ferritisk SG: i alt	< 0,2 %	Zn	0,1

Tabel 2: Maks-indhold af skadelige elementer

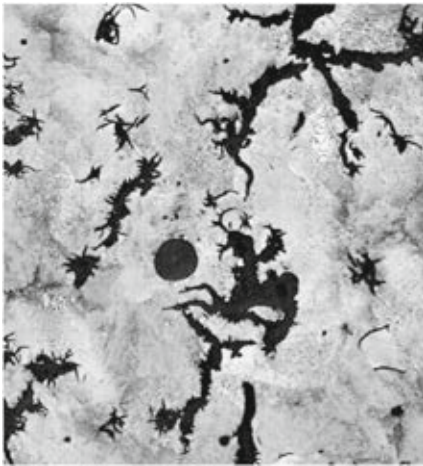


Fig. 4: Pigget grafit i sg-jern

hvad vi foretager os, får vi problemer, selv hvis vi bruger rent jern. I praksis har de fleste støberier dog fundet på en måde at fremstille gods med kraftige sektioner uden chunky grafit.

Der findes forskellige metoder til at undgå at der dannes chunky grafit, hvoraf den bedste er at tilpasse kulstofekvivalenten til den relevante godstykkelse. Dette forudsætter, at man har en nogenlunde ensartet godstykkelse i emnet; det betyder så, at risikoen for sugninger øges og dermed måske også behovet for efterføding. Anvendes der efterfødere, øger man i princippet godstykkelsen og kan så få chunky grafit alligevel, ofte i overgangen mellem føderhals og emne. Ofte er det dog sådan, at godstykkelser varierer fra tyndt til tykt (30 – 250 mm) i samme emne, i de tilfælde er man nødt til et bruge en kulstofekvivalent, der også tilgodeser de tynde sektioner,

så man også deri opnår tilfredsstillende mekaniske egenskaber.

Hvis muligt kan man så anvende kølekociller på de tykke sektioner, det er dog ikke altid nok til at undgå dannelsen af chunky grafit: I sådanne tilfælde er tilsætning af antimon et godt alternativ, da antimon sikrer en mere ensartet nodularitet i hele emnet, og det betyder så mere ensartede mekaniske egenskaber i både tykke og tyndere sektioner af emnet; derudover undgås også dannelsen af chunky grafit.

Som tidligere nævnt er antimon en stærk perlitdanner. I de tykke sektioner betyder det ikke så meget, da den langsomme størkning betyder, at jernet egentlig varmebehandler sig selv til en ferritisk struktur, men i de tynde sektioner kan perlitmængden blive et problem for overholdelse af mekaniske egenskaber, især forlængelse og evt. kærslagstyrke påvirkes negativt, dette kan dog som regel undgås ved at anvende en jernsammensætning, hvor alle øvrige perlitstabiliserende elementer holdes på et minimumsniveau. Samtidig skal der ikke tilsættes mere antimon end højst nødvendigt, og her må man gøre sig sine egne erfaringer; som udgangspunkt kan man tilsætte 20ppm antimon, strukturanalyser kan/vil så vise, om det er tilstrækkeligt til at undgå chunky grafit, og om perlitmængden er et problem. Efterfølgende kan man så vælge at øge eller sænke den tilsatte mængde, afhængig af det resultat der op-

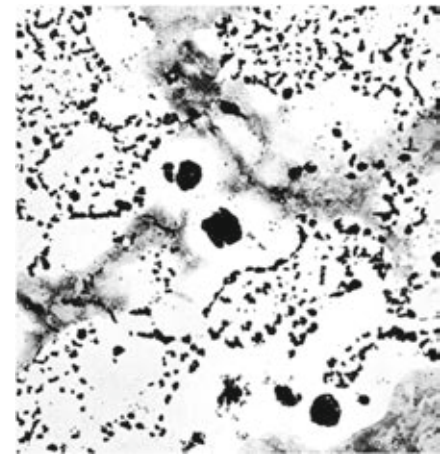


Fig. 5: Chunky grafit

nås.

Støbetemperaturen kan også have betydning, så det er vigtigt at støbe ved en passende temperatur, i princippet så lavt som muligt, men temperaturen skal vælges, så den er i tråd med emnets udformning samt det anvendte støbesystem.

Ved at gøre brug af disse praktiske foranstaltninger er det muligt at fremstille endda gods med særdeles kraftige sektioner fri for chunky grafit. Det er klart, at flere forhold er afgørende for, om svært gods kan fremstilles så det lever op til de ønskede krav. For eksempel spiller mangan og titan en ikke uvæsentlig rolle, og afkølingen har selvfølgelig også en væsentlig betydning; støbetemperatur og anvendelse af kølekociller er derfor ligeledes vigtige parametre at holde styr på. Men disse forhold må vi berette om en anden gang.