

Støbejerns anvendelse, struktur og defekter

Kjell Wardenær, Senior Konsulent Elkem Nordic

Bearbejdet for Støberiet af Herbert Wolthoorn

Støbejern er en gruppe af jernlegeringer, der dækker et meget stort anvendelsesområde. Gråt støbejern er den legering, der har eksisteret længst og derfor er betegnelsen støbejern ofte synonymet med gråt støbejern, som de fleste forbinder med et materiale, der kun kan anvendes til gryder og kakkelovne, det vil sige et hårdt og skørt materiale, der nemt går i stykker. Derfor har mange den opfattelse, at alt støbejern har disse dårlige konstruktionsmæssige egenskaber. Gråt støbejern har i virkeligheden dog meget bred anvendelse, for eksempel fra simple stegepander til komplicerede motorblokke (fig. 1) og da gruppen af støbejernstyper består af meget andet end gråt støbejern er anvendelsesområdet for støbejern næsten ubegrænset. Det gamle udtryk "kan det tegnes, kan det støbes" gælder stadigvæk.

Støbejern er en jern-kulstof-siliciumlegering som indeholder 2-4 % kulstof og 1 – 4 % silicium. I gråt støbejern findes grafitten

som lameller. I SG-jern og CGI (Compacted Graphite Cast Iron = kompakt grafitjern) foreligger grafitten som hhv. kugleformede eller kompakte (ormagtig) udskillelser. Disse strukturformer opnås ved at behandle jernet med magnesium. Ved varmebehandling af godset kan der opnås ADI eller aducerjern. Ved at variere legeringsindholdet og behandlingsmetoden samt varmebehandlingen kan man opnå vidt forskellige egenskaber (fig. 2) med tilsvarende forskellige anvendelsesområder. Støbejern kan således bruges til emner, hvor der stilles krav til bearbejdelighed, høj mekanisk belastningsevne og stor modstand mod voldsomme temperaturchock eller til gods med krav om stor slidstyrke eller varme- og korrosionsbestandighed. Produktionen af moderne biler er næppe mulig uden brug af støbejern (fig. 3) og i store konstruktioner såsom vindmøller anvendes støbejern også som et vigtigt konstruktionsmateriale (fig. 4).

Støbejerns størkning og struktur

Den mest betydende faktor for støbejernets egenskaber er, hvordan kulstof reagerer under størkning. Det kan udskilles i jernet som grafit eller i form af cementit, og man får så dannet henholdsvis gråt og hvidt støbejern. De to typer har hver sit tilstandsdiagram, der benævnes henholdsvis jern-grafitsystem (det stabile system) og jern-cementitsystem (det metastabile system). Disse systemer er tegnet oven i hinanden i fig. 5 – (blå og lilla kurver). Et nøjagtigere billede af praktisk anvendt støbejern, der altid også indeholder Si, vises i et Fe-C-Si tilstandsdiagram (fig. 5-grønne kurver). Læg mærke til, hvordan den eutektiske (og den eutektoide) omdannelse foregår gennem et temperaturinterval i modsætning til de rene jern-kulstoflegeringer.

Kulstoffet kan udskilles i mange forskellige grafitforme (fig. 4), der hver giver anledning til en særlig



Fig.1: Stegepande og motorblok, begge støbt i gråt støbejern

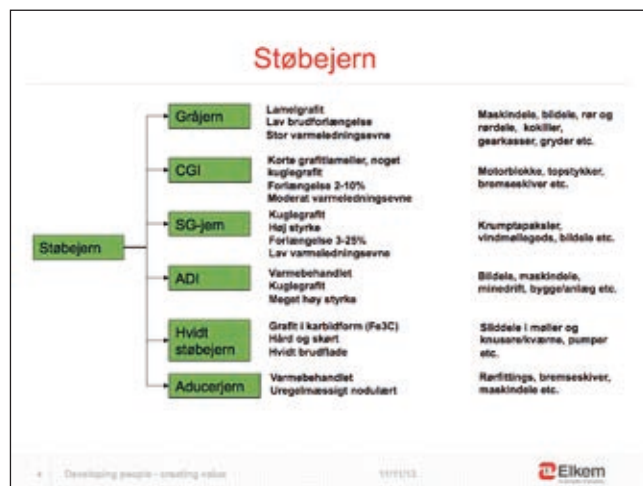


Fig. 2: Typer af støbegods og deres anvendelse



Fig. 3: Støbegods til biler

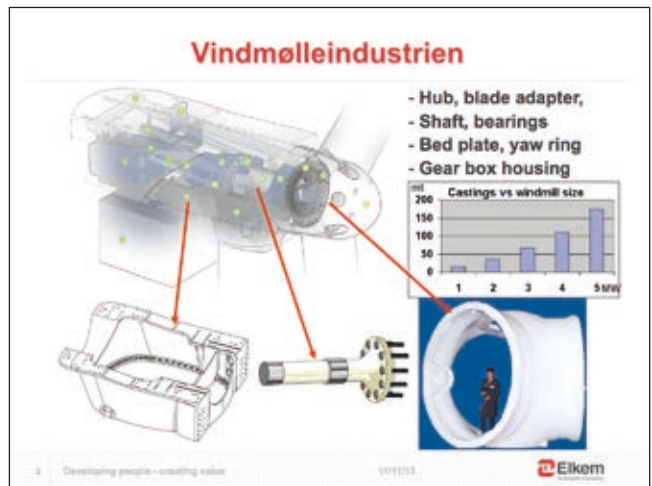


Fig. 4: Støbegods til vindmøller

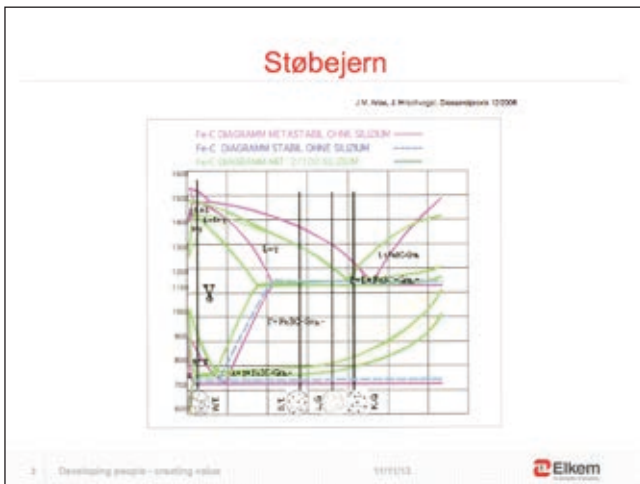


Fig. 5: Tilstandsdiagrammer.
Blå=stabil, Lilla=metastabil, Grøn= Fe-C-2%SI

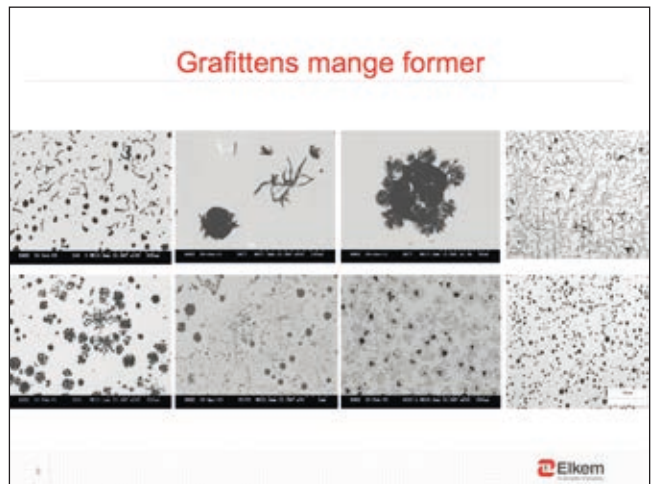


Fig. 6: Grafittens mange former

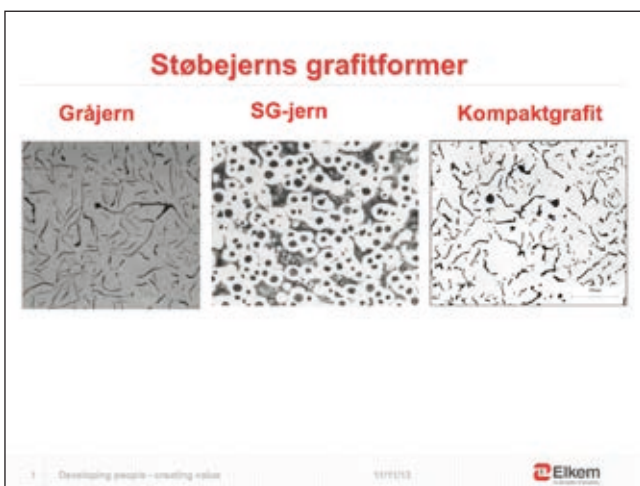


Fig. 7: Lamel-, kugle- og kompaktgrøfit

Kemisk sammensætning	
Råmaterialer	<ul style="list-style-type: none"> □ Hovedelementer: C, Si, Mn, S, P □ Perlitstabiliserende elementer: Sb, Sn, As, Mo, P, Cu, Ti, Mn, Ni, Cr, Pb, N, V, Mo, W □ Legeringselementer: Ni, Mo, Si, Cr □ Karbidstabiliserende elementer: Cr, V, Mg, Ce, La, B, Mo, Nb, Te, Bi, Sb, W, Co □ Elementer som er skadelige for grafitformen: <ul style="list-style-type: none"> ■ Chunky grafit: Ce, Ca, Si, Ni, C ■ Interreluler grafit: Bi, Cu, Al, Pb, Sb, Sn, As, Cd ■ "Skadet" grafit: Zr, Zn, Se, Ti, N, S, O □ Nodulariserende elementer: Mg, Y, Ce, Ca, La, Pr, Sm, Dy, Yb, Ho, Er.

Fig. 8: Betydning af chargeringsmaterialer

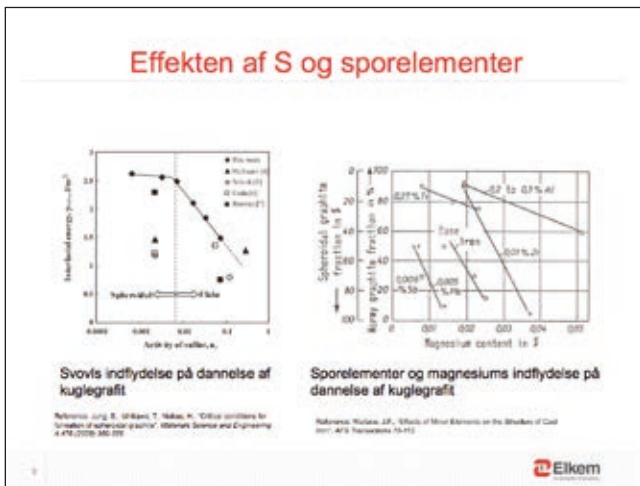


Fig. 9: Indflydelse af svovl og sporelementer



Fig. 10: Afkølingseffekten

type støbejern. For at opnå den ønskede form, fx lamel- kugle- eller kompaktgratit (fig. 5), skal jernets kemiske sammensætning, smeltebehandling, podning og afkølingshastighed nøje tilpasses for at kunne fremstille de forskellige jernkvaliteter.

Den kemiske sammensætning bestemmes af de råmaterialer, som smelteovenen chargerer med (fig. 8). For eksempel bestemmer andelen af opkulsingsgratit og siliciumkarbid indholdet af kulstof og silicium, mens indholdet af mangan og diverse spor- og ledsagelementer afhænger af stålskrottens kvalitet. Som det fremgår, påvirker stort set hvert eneste element struktur- og karbidannelsen samt grafittens udformning. Svovl og visse sporelementer har stor indflydelse på dannelsen

af kuglegratit (fig 9). Omhyggelig kontrol med chargeringsmaterialerne er derfor afgørende vigtigt for at kunne opnå den korrekte kemiske sammensætning for den ønskede støbejernskvalitet.

Afkølingshastigheden har også stor betydning for strukturen (fig. 10). Langsom afkøling – 1-5 K/min – for en smelte der indeholder 1 ppm S giver lamelgratit. Kritisk maksimal afkølingshastighed for dannelsen af kuglegratit er 20 K/min. Hurtigere køling fremmer chunky og kompaktgratit.

Ved stor afkølingshastighed – 1000 K/min – opnås ledeburit (en eutektisk blanding af austenit og cementit).

Podningen er en afgørende vigtig faktor, når det gælder om at opnå en karbidfri struktur og jævnt fordelt gratit. Fig. 11 viser

tydeligt forskellen mellem upodet og podet jern.

Gråt støbejern

I gråt støbejern findes grafitten som lamelgratit. Grafittens størrelse og fordeling (fig. 12) bestemmes blandt andet af godstykkelser (størkningshastigheden). Grundstrukturen er normalt overvejende perlitisk. Perlitten kan, blandt andet afhængig af den kemiske sammensætning og afkølingshastighed, have forskellige finhedsgrader (fig. 12). En finperlitisk struktur giver et stærkt materiale, men kan være vanskeligt at bearbejde.

SG-jern

I SG-jern foreligger grafitten som

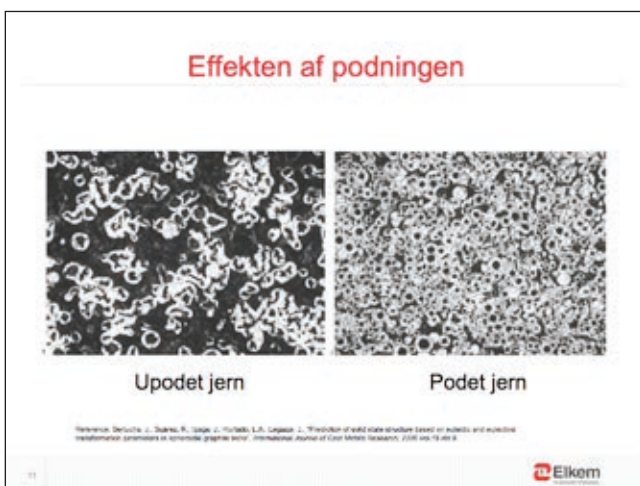


Fig. 11: Podningseffekten



Fig. 12: Gråt støbejern

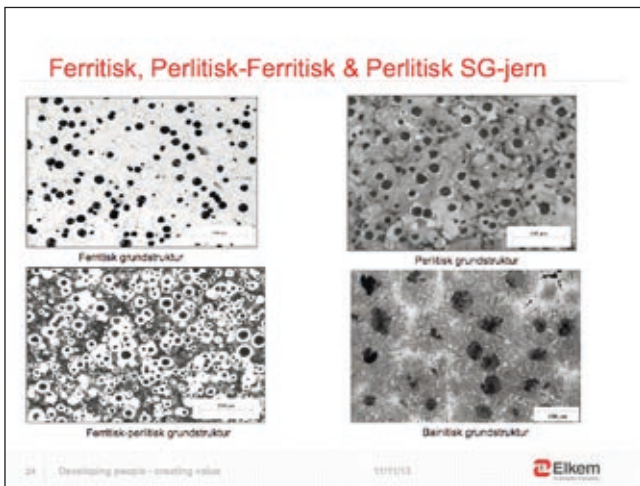


Fig. 13: SG-jern



Fig. 14

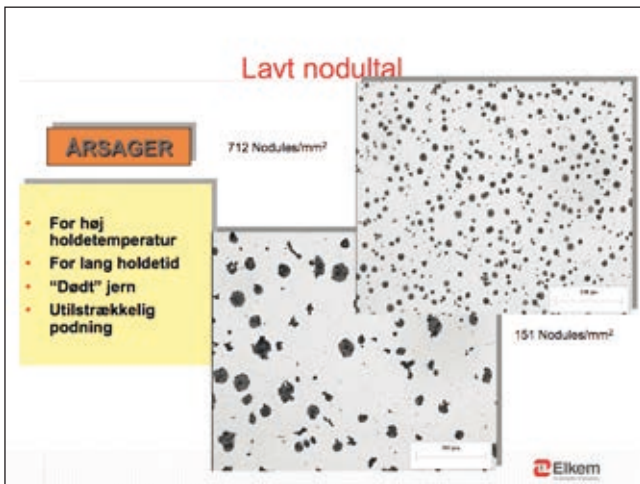


Fig. 15

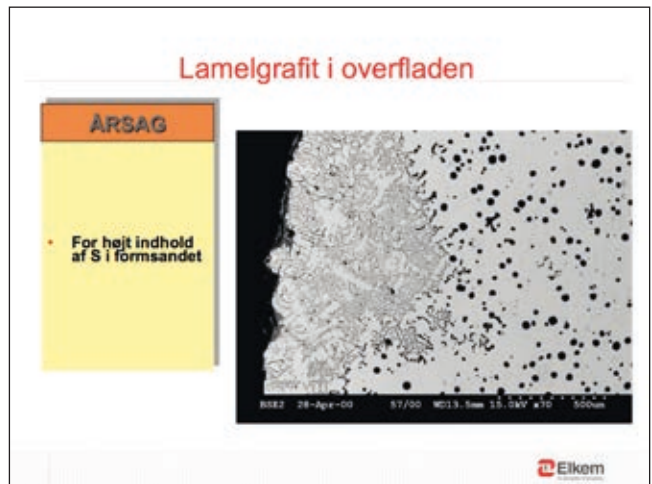


Fig. 16



Fig. 17

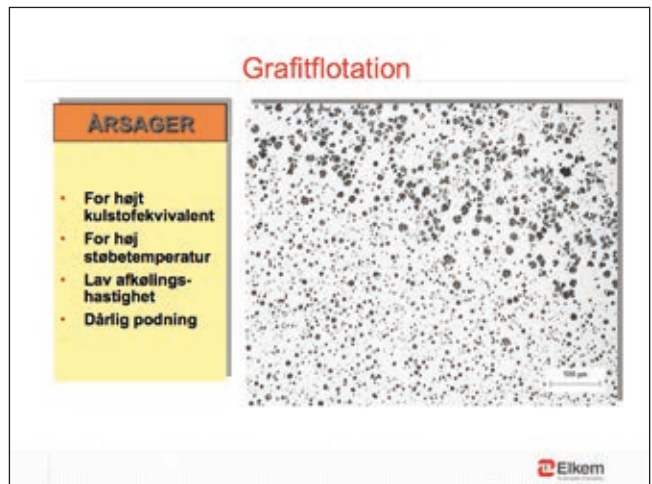


Fig. 18

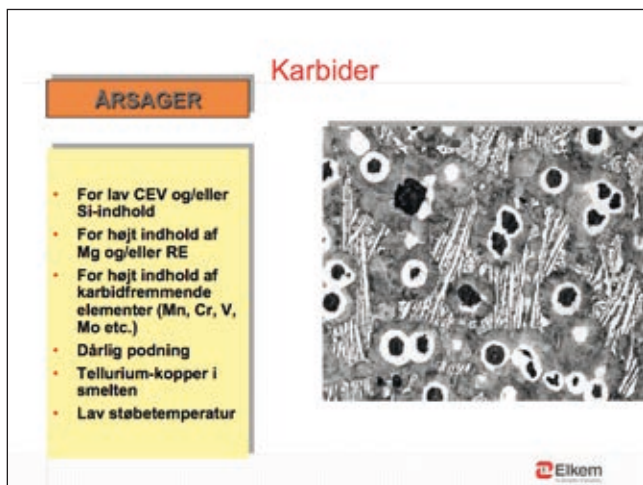


Fig. 19

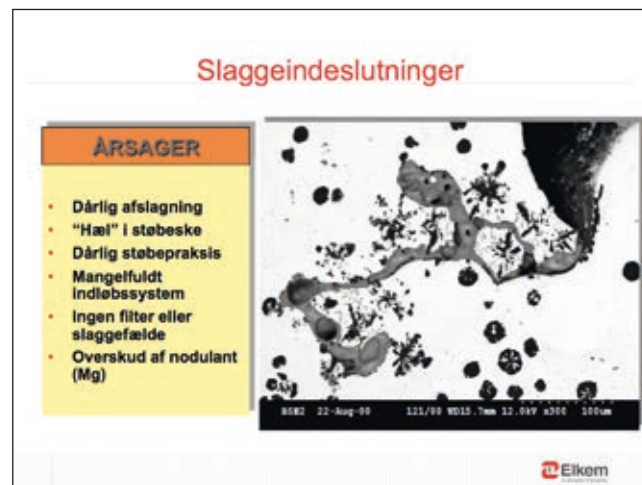


Fig. 20

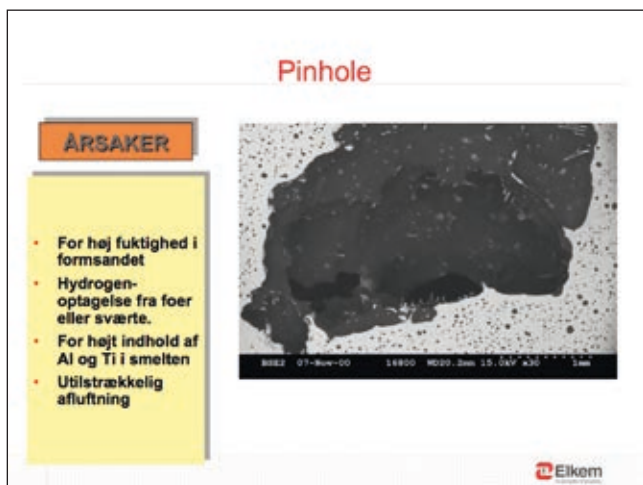


Fig. 21

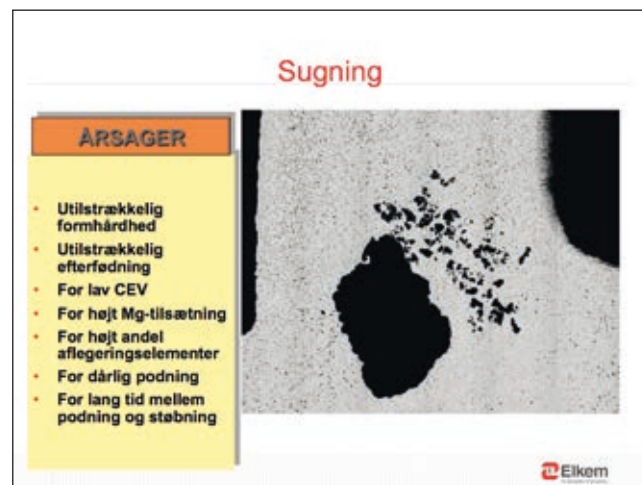


Fig. 22

kugler. Grundstrukturen kan være ferritisk, perlitisk, blandet ferrit/perlit eller bainitisk (fig. 13). De ferritiske kvaliteter har stor sejhed og bruges blandt andet til vindmølleghods. De perlitiske kvaliteter har stor styrke og slidbestandighed og anvendes eksempelvis til krumtapsaksler. Bainitisk jern fremstilles ved legering eller varmebehandling (ADI) og anvendes, hvor der er brug for stor styrke og slidfasthed. ADI kan bearbejdes før det varmebehandles og strukturen herved omdannes til det vanskeligt bearbejdelige bainit.

Fejl i støbegods

Oftentimes it can seem as if there are many possibilities for casting defects, but in fact there are application areas for cast iron. When you

man i betragtning de mange parametre, der nøje skal afstemmes og tilpasses i det flydende jern før dethældes i en sandform, er det måske ikke overraskende, at der lejlighedsvis findes støbefejl.

Støbefejl omfatter strukturfejl, fx kompaktgratit der optræder uønsket i SG-jern, lavt nodultal, overfladegratit i SG-jern, spiky gratit, gratitflotation og karbider (fig. 14-19). Disse fejl forekommer dog ikke så hyppigt som slaggeindeslutninger, pinholes og sugninger (fig 20-22). Disse 3 fejltypen er fortsat årsag til en stor del af den totale vragsmængde hos mange støberier. Læg mærke til, at der findes basale årsager, der går igen og forårsager mange forskellige fejl. Mangelfuld podning, uønskede elementer, forkert CE-værdi og forkert støbetemperatur er årsager til mange forskellige fejl og

kan derfor ikke kontrolleres godt og ofte nok.

Sammenfatning

Støbejern tilhører en gruppe jernlegeringer, der har mange anvendelsesområder. For at kunne fremstille den rigtige kvalitet er det nødvendigt at have kendskab til, hvordan gratit- og grundstrukturene dannes, og hvilke faktorer der påvirker dannelsen af dem.

Uden den grundlæggende metallurgiske viden og kendskab til god smeltepraktik er det umuligt at undgå støbefejl og derved kunne opnå en stabil produktion af kvalitetsstøbegods.

Denne artikel er baseret på et foredrag holdt af Kjell Wardenær, Elkem, ved DSF's årsmøde 2013 i Næstved.