

Slutrapport for projekt:

Forbedring af efterførderteknologier til energibesparelse i jernstøberier



Niels Skat Tiedje

DTU Mekanik

29. august 2014

Indhold

Indhold	2
Introduktion og mål.....	3
Del 1: anvendelse af punktefterfødere	3
Deformation og præcision af de støbte emner	4
Del 2: Efterførdning af støbejern.....	4
Metoder til at efterførd emner med forskellige termisk modul.....	4
Energibesparelse	5
Anvendelse af resultaterne	6

Introduktion og mål

Støbning af metaller er en af de korteste veje til at give form til komplekse geometrier. Til dagligt møder vi støbte emner i biler, tog, computere, møbler, vindmøller og en lang række andre konstruktioner der har betydning for vores hverdag.

I Danmark produceres årligt ca. 80.000 ton støbejern der eksporteres til hele verden. Vald. Birn gruppen, der også omfatter støberier i udlandet, producerer til sammen 200.000 ton. Støberierne hører til blandt de mest energitunge virksomheder vi har. Det er samtidig også en af de industrier, hvor vi har den største grad af genbrug. På verdensplan genbruges ca. 80 % af jern og stål til fremstilling af støbegods og stålkonstruktioner. Det er kun papirindustrien, der har et tilsvarende højt genbrug.

Et tidligere forskningsprojekt (PSO-336-007) har vist, at der er store muligheder for at spare energi ved at optimere design af efterfødere til støbegods.

Det var målet med dette projekt at undersøge i hvor høj grad at det er muligt at optimere design af efterfødere til emner i støbejern og at undersøge om man ved at optimere godsets design også kan opnå væsentlige besparelser.

Projektet har sigtet mod både at forbedre eksisterende metoder og at finde nye veje til at forbedre anvendelse af efterfødere.

Projektet er et samarbejde mellem Vald. Birns Jernstøberi A/S, Disa Industries A/S, Magma GmbH, Foseco Plc. og DTU Mekanik

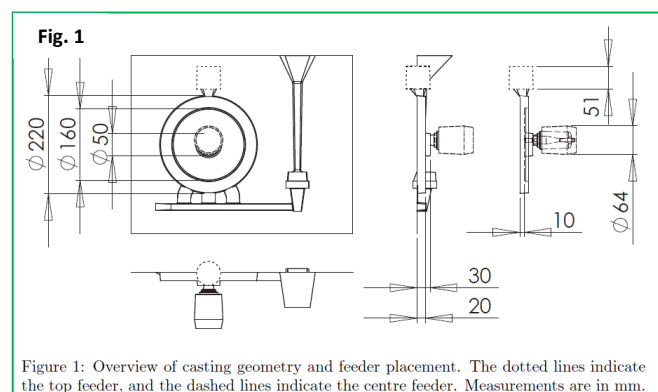
Projektet har været kørt som et forskningsprojekt. Nikolaj Vedel-Smith har som ph.d. studerende været den samlende person i projektet.

Projektet har haft to dele, der begge har været bygget over indledende modelforsøg og procesmodellering på DTU efterfulgt af forsøg i produktion hos Vald. Birn.

Del 1: anvendelse af punktefterfødere

De indledende forsøg har haft til formål, at analysere støbelayouts, der skal bruges til forsøg i produktion og at skaffe måledata, der kan bruges som input til det procesmodelleringssoftware der anvendes hos Vald. Birn og DTU.

På baggrund af modelforsøgene, er der foretaget justeringer i modeller og procedurer således at forsøgene i produktion udføres med størst muligt udbytte. Disse forsøg er udført hos Vald. Birn med deltagelse af forskere og teknikere fra DTU og Foseco.



De forsøg, der er udført på Vald. Birn har, fra et forskningsmæssigt synspunkt, givet os muligheder vi ikke har i et laboratorium: Vi kan arbejde i et kontrolleret produktionsmiljø og vi kan lave store forsøgsserier hvor hvert forsøg gentages mindst 3 gange. Dermed er det muligt, at lave statistisk analyse på resultaterne og dokumentere resultaterne med stor sikkerhed.

Den første del af projektet var et demonstrations/udviklingsprojekt med sigte på, at vise hvordan man kan efterføde vanskeligt tilgængelige områder på komplekse geometrier uden at skulle gøre emnerne større og dermed tilføje materiale der ikke er nødvendigt ud fra et strukturelt synspunkt. Det blev vist, at

punktefterfødere er særdeles effektive, og at de kan være betydeligt mindre end tidligere antaget, samt at teknologien er relativt let anvendelig. De første resultater blev vist af både Foseco og Disa på Gifa 2011 (verdens største støberitekniske messe, der afholdes hvert 4. år i Düsseldorf). På det forsøgsemne, vi arbejdede med var den maksimale besparelse i støberiet 1,63 kWh/0,86 kg CO₂ per emne produceret, jf. beregninger foretaget af Foseco.

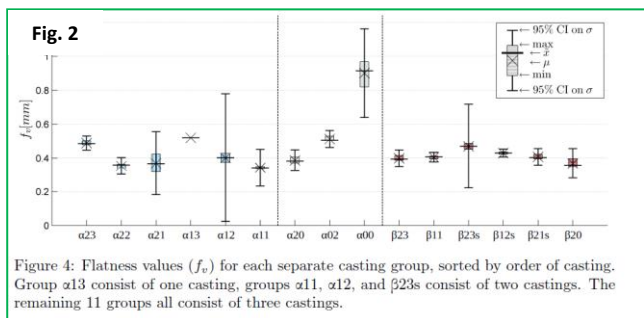
Deformation og præcision af de støbte emner

Vi anvendte en relativt enkel geometri (fig. 1). En nærmere analyse af emnerne viste, at de støbte skiver deformeredes forskelligt afhængigt af hvilken størrelse efterføder der blev anvendt og af hvilken støbejernslegering der blev støbt.

Det var forventet, at afkøling af skiverne ville føre til deformationer. Men det var ikke forventet, at variationen mellem forskellige konfigurationer af efterfødere ville have så stor betydning. Termisk deformation er velkendt i støbegods, og er noget man bl.a. kompenserer for ved størrelsen af det bearbejdningsstillæg, der lægges på emnerne. Det er vigtigt, at minimere bearbejdningsstillægget fordi man derved både sparer materiale til støbning og også reducerer den efterfølgende bearbejdnings. Præcisionen i støbeprocessen har således direkte betydning for materiale og energiforbruget i den efterfølgende bearbejdnings samt slitagen på bearbejdningsværktøjerne

Det førte til et studie, hvor alle emner blev målt op på en koordinatmålemaskine i DTUs laboratorium så det blev muligt lave en statistisk sammenligning af planheden af emnerne fordelt på efterføderkonfiguration og legering. Det gav to væsentlige resultater: Deformation af skiverne er meget afhængig af hvilken efterføderkonfiguration der anvendes og at den perlitiske legering (α i fig. 2) er meget mere følsom over for ændringer i støbelayout end den rent ferritiske legering (β i fig. 2).

Dette tema er videreført i et projekt finansieret af InnovationsFonden, hvor vi skal se på hvordan man minimerer geometrisk variation af støbte emner. I projektet deltager Vald. Birn, Disa Industries, Vestas, Global Castings A/S, Zebicon og DTU Mekanik.

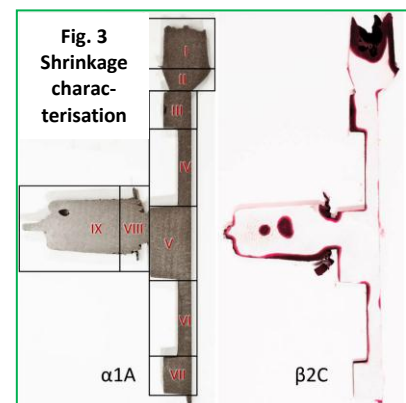


Del 2: Efterførdning af støbejern

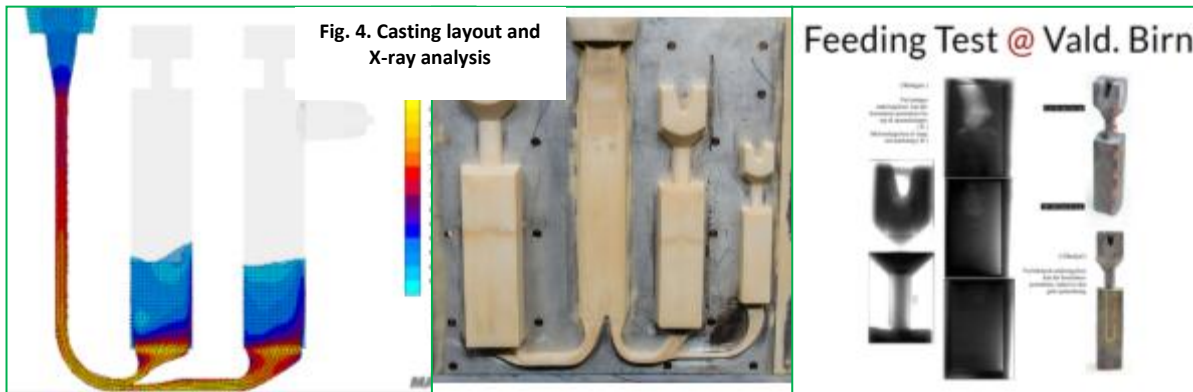
Projektets anden del er mere grundlæggende i sin analyse af efterførdning i støbejern, og omfatter En stor forsøgsserie med test af metoder til at efterføde emner med forskellige termisk modul.

1.

Metoder til at efterføde emner med forskellige termisk modul



Denne del udgør den væsentligste del af projektet. Der er lavet et indledende studie af testgeometrier hvor



vi har modelleret forskellige scenarier. Derefter har vi testet de mest lovende layouts i DTUs laboratorie. Dels for at udvikle metoden og dels at sikre, at der kan opnås gode resultater i produktionstest. Derefter er der lavet to store forsøgsserier hos Vald. Birn. Vi forventer, på baggrund af disse tests at kunne opstille forbedrede retningslinier for hvordan man bedst dimensionerer efterfødere til støbejern svarende til de mest anvendte typer moderne højkvalitets støbejern samt de nye og mere krævende legeringer med højt Si indhold.

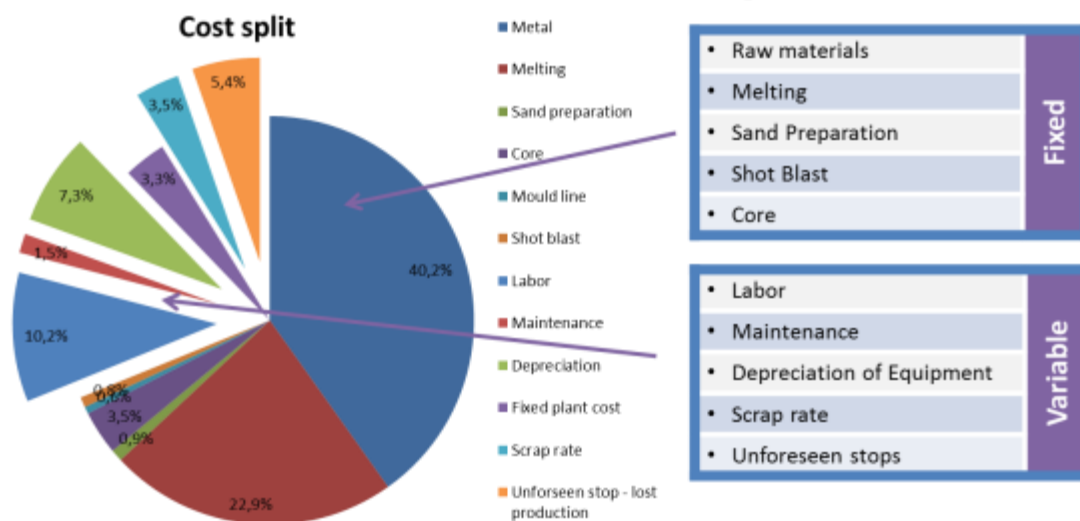
Energibesparelse

Det er relativt vanskeligt at lave en præcis beregning af størrelsen af de besparelser, der kan opnås ved at forbedre efterførderteknologier. Vi har dog alligevel lavet en række beregninger.

Et studie fra Disa viser, at ud af de samlede udgifter til at fremstille støbegods på deres maskiner udgør omkostninger til jern (skrot, råjern og andre legeringselementer) 40 % og udgifter til smeltning 23 % af de samlede omkostninger. Arbejds løn er kun ca. 10 %.

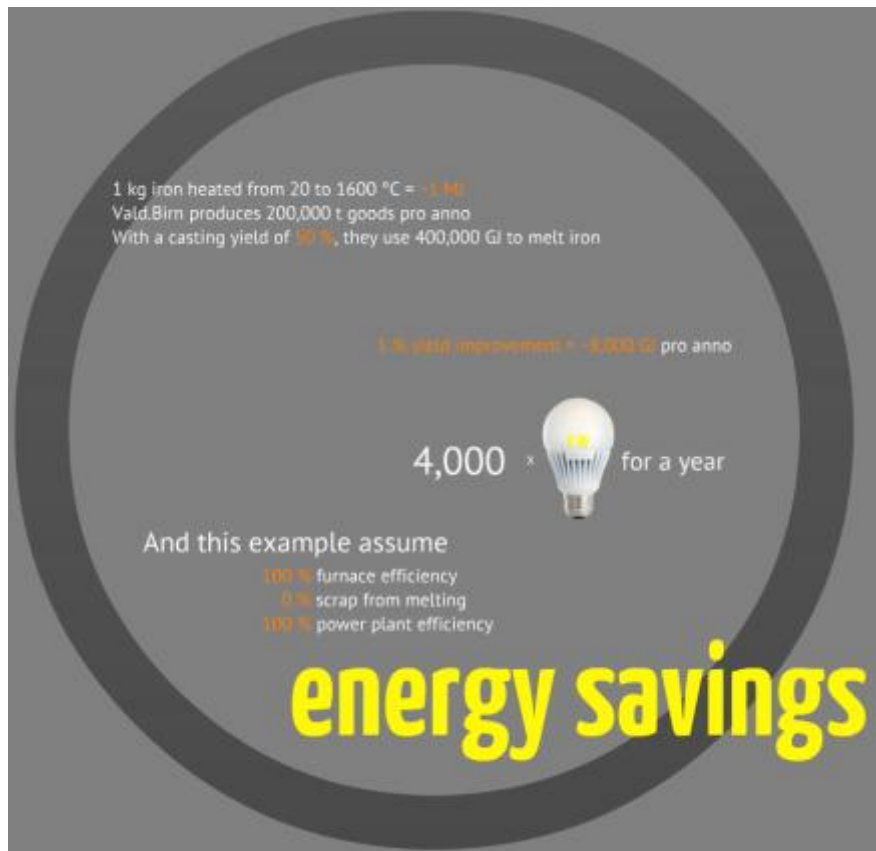
Det viser, at det vi ser på i dette projekt er de to vigtigste områder for at støberi at finde besparelser på.

Cost of Casting



Der produceres ca. 13 mio. ton færdigt støbejern i Europa årligt. Til at fremstille det, skal der smeltes mellem 20 og 26 mio. ton jern. Der kræves ca. 1,12 kWh til at smelte 1 kg støbejern. Dertil kommer energi til varmholdning, formemaskiner, sandtilberedning, godsrensning og efterfølgende bearbejdning. Det har vi holdt ude af beregningerne. Kan man reducere produktionen af støbegods med bare 1 % ved at forbedre efterførderteknologien, er den rå besparelse på mellem 240 og 310 GWh i Europa.

Nedenstående figur er en analyse af hvad en besparelse betyder for Vald. Birn koncernen, der er Nordeuropas største producent af støbejern.



På baggrund af diskussioner i projektgruppen har Foseco lavet et beregningsværktøj, som støberierne kan bruge til at beregne besparelser i energi og CO₂ forbrug når de skal dimensionere efterførdere. Der er lavet et case-study på Arvika Gjuteri i Sverige, der viser, at de kan spare ca. 4.000 ton støbejern, svarende til 2,7 mio. kWh årligt ved at ændre deres efterførdere. Den økonomiske besparelse for støberiet bliver 3,8 mio. SEK. Undersøgelsen er offentliggjort i det svenske fagblad Gjuteriet.

Anvendelse af resultaterne

De metoder, er udviklet i projektets første del har vist at metoden med punktefterførdning virker og at det er et godt alternativ til at skulle ændre på emnernes design eller at forsøge at anvende traditionelle metoder til efterførdning. Metoderne er allerede implementeret i flere støberier, bl.a. Arvika i Sverige.

Man ser også, at den traditionelle tilgang til efterførdning, hvor man blot øger størrelsen på efterførdere hvis der opstår problemer med porøsiteter, ikke er den rette metode. Derimod findes der et optimum, eller en ideel efterførders størrelse, der hverken er for stor eller for lille.

Resultaterne fra den første del af projektet har ligeledes ført til en bedre forståelse af hvordan støbejernsemner deformeres som funktion af efterførdertørrelse og type, samt støbelegering. Resultaterne kan bruges til at reducere eller helt eliminere efterbearbejdning af støbeemnerne.

Projektets anden del sigter mod at finde den optimale efterførdertørrelse til bestemte kombinationer af emnegeometri og legering. Her viser det sig, at den optimale efterførdertørrelse ikke skaleres lineært med emnets godstykkelse. Tvært imod, jo kraftigere gods jo mindre efterførdere skal man anvende. De meget enkle retningslinjer, man tidligere har brugt, skal ændres, og de bliver nok mere komplicerede. Til gengæld er der et stort potentiale for at spare smelte.

Forskningsresultaterne har desuden påvist at det i nogen tilfælde er muligt at efterførdere støbeemner mod tyngdekraften – dvs. at smelten bliver suget ind i emnet af det undertryk som dannes når materialet svinder. Dette er særligt interessant ifm. med anvendelsen af punkt-efterførdere og til efterførdning af isolerede sektioner.

Resultaterne er ved at blive offentliggjort. Første del sker ved 10th International Symposium on the Science and Processing of Cast Iron (SPCI 10), 10. til 13. november 2014 i Mar Del Plata, Argentina.

Slutteligt er der under projektet blevet udviklet en metode til hurtig fremstilling af støbemodeller via additiv fremstilling. Processen er ved at blive afprøvet i et dansk støberi og forhåbningen er at metoden fremover kan bruges til både forskning og produktudvikling men også til fremstilling af O-serier til produkt demonstrationer.