LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE
BYGNING 118
DK-2800 LYNGBY - DANMARK
Telefon: 02 - 88 35 11 · Telex: 37529 DTHDIA DK

NORDFORSKPROJEKTET HUBERT

Kvantitativ planering och styrning av gjutning

præsenteret af

Preben N. Hansen

Fase 2: 700.000,- fra Nordisk Industrifond } til DK
700.000,- fra FTII

Indledning

Nordforskprojekt Hubert er startet på initiativ af professor Sakari Heiskanen fra VTT i Finland. I projektet deltager:

Fra Danmark: Laboratoriet for Termiske Materialeprocesser
og
Laboratoriet for Varmeisolering
begge Danmarks Tekniske Højskole, DTH

Fra Finland: Metallurgiska Laboratoriet
Statens Tekniska Forskningscentral, VTT
SF - 02150 Esbo 15

Fra Island: Islands Teknologiske Institut
Keldnaholt
IS - 110 Reykjavik

Victor de Lange · Davis † dec. 1986

Fra Norge: Avdeling for Materialer og Bearbejdning, SINTEF
N - 7034 Trondheim-NTH

Fra Sverige: Institut för Metallernas Gjutning
Tekniska Högskolan, KTH
S - 100 44 Stockholm

Hasse Fredriksson

Fra Sverige: Svenska Gjuteriföreningen
Artillerigatan 7
S - 550 02 Jönköping

Projektfase I startede 1984 og er netop blevet afsluttet i sommeren 1986. En fællesrapport foreligger som litteraturreference 1. Den øvrige rapportering og publicering fremgår af publikationslisten. Projektet er fortsat direkte i en fase II, som løber til sommeren 1988.

Projektets økonomiske ramme er for fase I en bevilling på ca. 1.800.000 Skr. fra Nordisk Industrifond, og for fase II ca. 3.400.000 Skr. også fra Nordisk Industrifond. Ud over dette kommer de nationale bidrag i form af støtte fra industri, tekniske fonds, de deltagende institutioner selv, alt i alt en beløbsramme, som overstiger støtten fra Nordisk Industrifond.

Målsætning

Hubert-projektets målsætning er at udvikle et næste generations værktøj, som ved anvendelse af teoretisk- og eksperimentelt bestemte materialeparametre, samt simulering ved hjælp af

computere vil lede til kortere produktionstider, øget kvalitet og spare energi ved fremstilling af støbegods.

Projektindhold

Projektet indeholder i fase I følgende delprogrammer:

Delprogram 1 : Indvirkning af smeltens sammensætning, størknings- og afkølingsforhold på mikrostruktur og anvendelsesmuligheder for støbelegeringer.

Delprogram 2 : Simulering af støbeformens fyldning.

Delprogram 3.1: CAD/CAM i støberisammenhæng.

Delprogram 3.2: Simulering af smeltens størkning i støbeformen.

Målsætning for delprogrammerne i fase I

Delprogram 1 : Størknings- og strukturstudier.

At udvikle kvantitative- og numeriske modeller for struktur og egenskaber hos støbejern. Modellerne udvikles gennem eksperimentelle og teoretiske analyser, hvor de teoretiske analyser korreleres med de gennemførte forsøg. Arbejdet gennemføres for såvel grafitisk som modulart støbejern.

Delprogram 2 : Simulering af støbeformens fyldning

Målsætningen under fase I er at få overblik over hvilke muligheder, der er for at anvende numeriske beregningsmetoder for simulering af formfyldningsforløbet (strømnings- og temperaturforhold). For det andet at foretage indledende støbeforsøg og begynde udviklingen af egnede beregningsprogrammer.

Delprogram 3.1: CAD/CAM i støberisammenhæng.

Studium, vurdering og tilpasning af CAD-teknikken med henblik på de anvendelser, som er aktuelle i ändre dele af Hubert-

projektet. Specielt bestemmes voluminer og overflader af de tredimensionale emnegeometrier, som ofte forekommer i støberiet. Vurdering og tilpasning af CAM-teknik for NC-maskinering af modeller og kærnekasser med udgangspunkt i de i Hubert-projektet valgte geometrier.

Delprogram 3.2: Simulering af smeltens størkning i støbeformen.

Målsætningen er at udvikle og tilpasse beregningsprogrammer FEM, FDM, for simulering af størkningsprocessen i støbegods. At verificere beregningsprogrammernes anvendelighed ved at sammenholde opnåede beregningsresultater med tilsvarende resultater bestemt ud fra støbeforsøg. (En T-rørs geometri af gråt støbejern benyttes). At få sammenlignet programmernes brugervenlighed, pris (CPU-regnetid) og beregningsnøjagtighed. At fastlægge industriens forudsætninger og muligheder for at udnytte simulering af størkningsprocessen ved hjælp af datamaskiner.

Nogle resultater fra fase I

Delprogram 1 : Størknings- og strukturstudier.

For støbejerns legeringer: Fastlæggelse af Cr, V, Mo, Cu, afkølingshastighed og podningsindvirkning på struktur og egenskaber. Udviklet termiske analysemetoder for fastlæggelse af nodul-dannelse, hurtig bestemmelse af C og Si, formkonstanten, størkningshastigheden, størkningsandel. Udviklet edb-program for simulering af grå/hvid og nodulær størkning af støbeemner.

Delprogram 2 : Simulering af støbeformens fyldning.

Hovedproblemet ved simulering af formfyldningsforløbet er, at anvendes de i dag kendte numeriske metoder, bliver de nødvendige beregninger omfattende og kostbare. Gennem udregning og diskussioner er der fundet frem til flere fysiske forhold, som kan reducere beregningsarbejdet. Det første FDM-program er under udvikling. For at understøtte programudviklingen er der udført 12 støbeforsøg.

Delprogram 3.1: CAD/CAM i støberisammenhæng.

En kravsspecifikation er udført og benyttet til at udvælge og teste 5 kommercielle CAD/CAM systemer, der viste sig egnede i støberisammenhæng. 12 leverandører af CAD/CAM systemer har haft til opgave at foretage en CAD-beskrivelse og NC tilrettelæggelse. 4 leverandører gennemførte opgaven. Der findes således flere kommercielle CAD/CAM systemer, som er anvendelige i støberisammenhæng.

Delprogram 3.2: Simulering af smeltens størkning i støbeformen.

Der er udført en række støbeforsøg (gråt støbejern) med en T-rørs emnegeometri. Ved at sammenholde med de tilsvarende beregnede resultater, er det fundet, at de benyttede FEM- og FDM teknikker begge giver god beregningsnøjagtighed ved simulering af størkningsprocessen i støbeemnet. Der er udviklet brugervenlig preprocessing og der anvendes farvegrafik for postprocessing.

Industrielle tillempninger på basis af fase I

Delprogram 1 : Størknings- og strukturstudier.

Mange af de opnåede resultater kan i den nuværende form direkte anvendes kvalitativt i støberiet. For kvantitativ analyse er der bl.a. på VTT udviklet en kvalitetskontrol-udrustning for messingsmelter. En patentansøgning er indleveret og udrustningen færdigudvikles til støberibrug.

Delprogram 2 : Simulering af støbeformens fyldning.

Dette emneområde er af den største interesse for støberiet, men også et af de vanskeligste at beherske. Arbejdet i Hubert fase I har været et forprojekt. De resultater, som på nuværende tidspunkt er direkte anvendelige for støberiet, er, at et lille edb-program, som kan beregne støbemetallets afkøling i indløbssystemet under formfyldningsforløbet, er næsten færdigudviklet. Dette program vil kunne køres på en PC (personal computer).

Egnede edb-programmer for simulering af temperaturforhold og strømningsforhold under formfyldningsforløbet må afvendte fase II af Hubert-projektet.

Delprogram 3.1: CAD/CAM i støberisammenhæng.

CAD/CAM-udviklingen går nu hastigt fremad inden for støberibranchen, specielt i støberier med tilknytning til bilindustrien. Med baggrund i denne udviklingstendens er det interessant at studere, om støberier mere alment kan drage nytte af denne nye teknik lige her og nu. Udredningerne i Hubert-projektet bekræfter, at man i støberiet med fordel kan begynde at indføre teknikken. Man skal begynde i mindre målestok og skaffe sig kundskab om teknikken for derefter gradvist at øge investeringerne i takt med behovene i den enkelte virksomhed. Gennem denne successive satsning kan man på det tidspunkt, hvor en større investering skal foretages, anskaffe den mest moderne og avancerede udrustning.

Delprogram 3.2: Simulering af smeltens størkning i støbeformen.

De beregningsteknikker (FEM og FDM), som benyttes i dette delprogram for simulering af størkningsforholdet i støbegods, kræver større edb-anlæg. Teknikkerne i den nuværende form kan bidrage med værdifuld information angående forhold som lunkerdannelse, mikrostruktur og revnedannelse. Hitachi i Japan benytter således teknikken til i det daglige arbejde i støberiet at dimensionere mod lunkerdannelse. For støberier uden adgang til et større dataanlæg vil vejen i øjeblikket gå over et Teknologisk Institut eller en Teknisk Højskole, hvor vanskelige støbeemner kan blive beregnet.

Med den udvikling, der sker inden for data-kraftområdet, vil det dog ikke vare mange år, før den nødvendige datakraft findes i hvad vi i kalder PC-er. Det er derfor uhyre vigtigt, at man i dag fortsætter og styrker software udviklingen for ikke at øge det "software-gab", man alledrede taler om i dag.

Programplan for fase II af Hubert-projektet

Med basis i det udførte arbejde og de opnåede resultater for fase I er det blevet endnu tydeligere og åbenbart, hvilke potentialer de undersøgte teknikker byder på til gavn for støberiindustrien. Der er dog stadig for flere af teknikkernes vedkommende brug for fortsat udviklingsarbejde, før de bliver så "brugervenlige" for støberiet, at de vil vinde indpas i større stil.

Vel vidende at lignende udviklingsarbejde er i gang ude i verden (med størst industriel interesse i Tyskland, Svejts, USA og Japan), er det af største betydning for de nordiske støberiers konkurrenceevne på længere sigt, at vi fortsat deltager i udviklingsarbejdet og læreprocessen.

Hubert fase I har bevirket, at vi i Norden ud fra en gennemsnitsbetragtning er kommet op på det øjeblikkelige internationale niveau.

I det følgende gennemgås de projektområder, som der satses på i fase II for at sikre vor position, og hvor vi har mulighed for at overhale det internationale udviklingsstade.

Fase II af delprogram 1

Under fase I der der opnået mange resultater, især for gråt støbejern, som er direkte anvendelige i støberiet. På basis af disse gode erfaringer skal arbejdet i fase II være en direkte fortsættelse, dog med focus på andre teknisk vigtige legeringer. Der er behov for denne fortsættelse af arbejdet, idet der stadig er lang vej igen, før det for alle de tekniske støberilegeringer er muligt kvantitativt at forudsige "indvirkningen af smeltens sammensætning, størknings- og afkølingsforhold på mikrostruktur og anvendelsesegenskaber".

Fase II af delprogram 2

Delprogram 2 skal fortsat omhandle måling, simulering og optimering af formfyldningsprocessen og det tilhørende indløbssystem. Dette projektområde er af største betydning, men også meget vanskeligt. I fase I er gennemført et forprojekt. I fase II bør indsatsen øges væsentligt. Denne øgede indsats begrundes yderligere af, at det er inden for dette område den største forskningsindsats er at vente internationalt set.

Fase II af delprogram 3.1

Dette delprogram omdøbes i fase II til delprogram 4 og er fortsat relateret til CAD/CAM. Sigtet skal være at løse de problemer, som opdagedes i fase I. Et af de svage punkter er koblingen mellem CAD-systemets geometriske beskrivning og de tekniske beregninger. Der gennemføres således projekter inden for området "optimal og automatisk netgenerering og kobling mellem netgeneratorer og CAD/CAM-systemet".

Fase II af delprogram 3.2

Dette delprogram omdøbes i fase II til delprogram 3. I fase I omhandlede det simulering af størkningsprocessen. I fase II er der stadig behov for projektarbejde inden for området. Endvidere skal denne type simuleringer gøres mere generelt anvendelige ved at videreudvikle det benyttede software til også at kunne forudsige strukturdannelse (mekaniske egenskaber) og dimensionere efterfødere. Gennemførelse af fase II vil føre frem til kommerciel udnyttelse.

Delprogrammet har i fase I kun taget sigte på anvendelse af større regnemaskiner. I fase II vil det også blive undersøgt hvilke anvendelsesmuligheder, der ligger for PC-er. Det er i erkendelse af, at PC-er får stadig større regnekapacitet og er ved at finde indpas i støberierne.

Slutbemærkninger

Idéen i Hubert-projektet er at udvikle moderne beregnings- og simuleringsteknikker for brug i støberiet. Denne idé arbejdes der også intenst med i mange andre forskningsmiljøer rundt om i verden. (Især i USA, Japan og Tyskland, hvor den kommercielle anvendelse er hastigt voksende).

I Norden har vi været med helt fra begyndelsen inden for dette forskningsområde. K. Fursund arbejdede hos B & W i begyndelsen af 60-erne som den første i verden med numeriske beregningsteknikker for simulering vedrørende støbeprocessen. Fra slutningen af 60-erne fulgte Victor de Lange Davies i Norge efter. I Danmark fortsatte P.N. Hansen arbejdet fra begyndelsen af 70-erne. Sverige kommer med fra begyndelsen af 80-erne og Finland i 1984 ved deltagelse i Hubert-projektet.

Denne basis har da også sikret, at Hubert-projektet hurtigt kunne opnå resultater. Det er glædeligt at se, hvorledes interessen for projektet er vokset i den nordiske støberiverden igennem projektforløbet, hvilket lover godt for denne branches konkurrenceevne og overlevelsesmuligheder i fremtiden.

Liste over rapporter og publikationer

Årstal mangler

1. Hubert-rapport for Fase I, april 1986.
2. Solidification of Cr-Ni Alloys near Eutectic Composition. Tapio Rantala, VTT.
3. Mathematical and Numerical Modelling in Casting Process Simulation. Preben N. Hansen, DTH.
4. A Solidification Research Using Derivative Thermal Analysis and Unidirectional Solidification. Arno Louvo, Tapio Rantala. VTT-meddelande 248.
5. Användning av CAD/CAM-teknik vid framställning av modellutrustning. Lars-Göran Ronnfors, Svenska Gjuteriföreningen.
6. DAK/DAP Systemer for Støperier. Freddy Syvertsen, SINTEF.
7. Flytbarhet og formfyllingsevne. Viktor de Lange Davies, SINTEF. Publikation 1984-10-19, SINTEF, nr. STF16 A84118.

8. The effect of composition on as-cast microstructure of α/β-brass and its control by microcomputer. Arno Louva, Tapio Rantala & Veijo Rauta, VTT.

9. Modelling solidification processes and computer aided design of castings. Viktor de Lange Davies, SINTEF.

10. Computer simulation of the structure formed during solidification of cast iron. Hasse Fredriksson and Ingvar L. Svensson, KTH.

11. Stelning och egenskaper av gjutna Zn-A1-legeringar. Juhani Eklund, VTT-rapport 6/84.

12. The development of melt quality control systems based on derivative thermal analysis and microcomputer. Arno Louva, Metallurgy Laboratory, VTT.

13. Solidification of S6-iron and its identification by thermal analysis. Tapio Rantala, Jari Sivula, VTT.

14. The influence of thermal properties of sand molds on the cooling and solidification structure of castings. Pentti Eklund, VTT. Report VTT-MRG B-8601.

15. Solidification simulation of casting using three-dimensional finite element method (FEM). Olli Karhunen and Asko Renkonen, VTT.

16. Zink-aluminium casting alloys containing 8-30% A1. Tapio Rantala and Veijo Ranta, VTT.

17. Computer simulation of the structure and segregation formed during solidification of cast iron. H. Fredriksson, J.T. Thorgrimsson and I.L. Svensson, KTH.

18. Svalningshastighetens inverkan på stelningen hos gjutjärn. J.T. Thorgrimsson, KTH.

19. Shape related Colour Graphic presentation of FDM-results Modeling Solidification in Near Net Shaped Castings. Preben N. Hansen, Erwin Flender and Peter R. Sahm, DTH.

20. Further progress in development of the ACFES code series. D.M. Lipinski, DTH.

21. Research on Computer Modeling of Mold Filling. A brief review of current approaches to model free surface motion and heat transfer. Prateen Desai, (Georgia Tech. USA), DTH.

22. Summation of experimental results in Hubert Project, Task 3.2 and Task 2. Junqing Wang, DTH.

23. CAD/CAM in the Foundry. Freddy Syvertsen, SINTEF.

24. Optimization, simulation and mathematical modelling of solidification processes for foundry and cast-house. Preben N. Hansen and Peter R. Sahm, DTH.

25. The Q Method. An Economic Technique for Thermal Contact Problems. Junqing Wang, DTH.

26. Several papers presented at the Symposium on Simulation of Solidification Processes. MRS-Eurpoe spring meeting, June 1986.

COST 504 arbejder med helt parallelle problemer og med T-rørs geometri