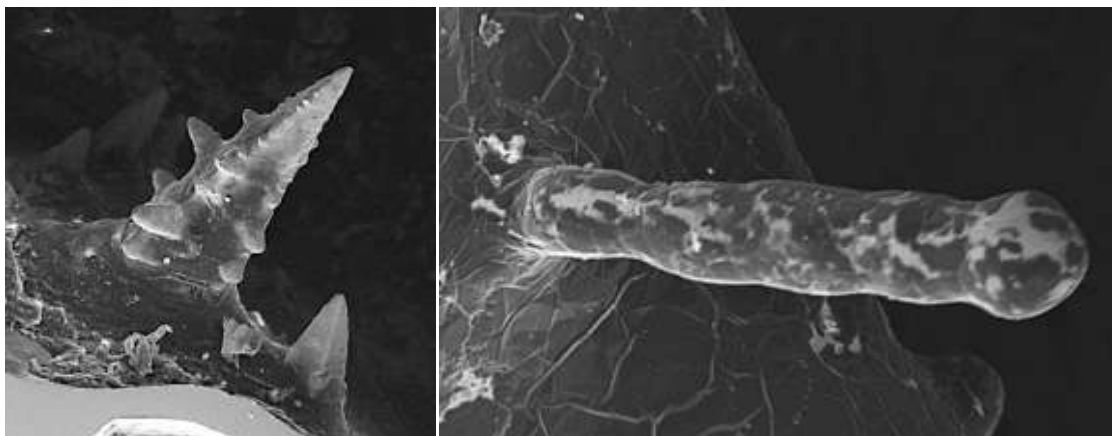


FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

SPOFIC

Krympporrbildning i kompaktgrafitjárn



Jessica Elfsberg

2014-11-03

Delprogram: Fordonsutveckling

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte.....	5
4. Genomförande.....	6
5. Resultat	9
5.1 Bidrag till FFI-mål	9
5.2 Uppfyllelse av projektmål	10
6. Spridning och publicering.....	11
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	11
6.2 Publikationer	12
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	12
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	14

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Projektet SPOFIC, Krympporrbildning i kompaktgrafitj rn, har drivits i samarbete mellan KTH, Swerea Swecast, Nya Arvika Gjuteri AB, Scania CV AB samt Volvo Powertrain AB under perioden 2011-03-01 till 2014-09-30. Vid projektets början var nyckelpersonen Attila Di szegi knuten till KTH, men under projektets gång kom han att mer och mer arbeta vid Tekniska Högskolan i Jönköping AB, JTH. Vissa delar av arbetet som planerades att utföras av KTH har därför skett vid JTH.

Användningen av kompaktgrafitj rn (CGI) i strategiskt viktiga fordonskomponenter har ökat väsentligt det senaste årtiondet, framförallt på grund av att en skärpt lagstiftningen angående emissioner från tunga fordon har resulterat i högre f rbr nningstryck och därmed större påkänning på materialet. Kompaktgrafitj rn  r mer benäget att bilda porer  n det konventionellt använda gr j rnet. För att ha någon möjlighet att eliminera porbildning i gjutna komponenter  r det nödvändigt att känna till bildningsmekanismerna och påverkande parametrar. Industriparterna nöjer sig inte med att förstå mekanismer, utan vill dessutom ha en möjlighet att noggrant prediktera risken för porbildning för varje smälta och ha strategier för hur smältan ska förändras för att eliminera porrisken. På så vis uppnås inte bara en bättre materialkvalitet, utan även minskade kassationer.

Projektets övergripande mål var att **utveckla styr- och kontrollmetoder för produktion av porfria komponenter i kompaktgrafitj rn**. Det övergripande målet delades upp i sex delmål:

- A) Orsaker till porbildning
- B) Provkropp f r provokation av porbildning
- C) Identifiering och kvantifiering av parametrar som påverkar porbildning
- D) Utvärdering av oförstörande provningsmetoder för porer i CGI-gods
- E) Metod för framställning av kompaktgrafitj rn i laboratorieskala
- F) Utveckling av metod för kombination av termisk analys och volymförändringar

Under arbetets gång tillkom ytterligare tre delar med följande mål:

- G) Kvantifiering av inl sning av gasbildande element (H, N)
- H) Simulering av formfyllnad i ANSYS
- I) Kvantifiering av segringsfenomen i LGI, CGI och SGI

Delmål A) Orsaker till porbildning och B) Provkropp f r provokation av porbildning är uppfyllda. Arbetet i del B var svårare än befarat. Det krävdes tre försök varav det sista utfördes under det sista kvartalet av projekttiden. Bristen på resultat från del B ledde till att del C utgick. De provkroppar som lyckades framställas i slutet av projektet har använts i del D varför delmål D  r delvis uppfyllt. Delarna E och F  r också delvis

uppfyllda och det bedöms som sannolikt att de fullföljs inom SPOFIC II. De tillkomna delmålen G-I anses uppfyllda. Sammanfattningsvis har projektet skapat en god förståelse vilka parametrar en styrmetod skulle baseras på. Det återstår en del arbete för att realisera en robust utrustning för ändamålet.

Projektet har framgångsrikt bidragit till framtida konkurrenskraft för svensk fordonsindustri genom potentiellt ökad materialkvalitet, uppbyggnad av en stark forskningsmiljö på området samt ett fruktsamt samarbete mellan akademi, institut och industri.

Inom projektet har det publicerats en licentiatavhandling (Sadaf Vazehrad 2014), inom ramen för denna tre vetenskapliga rapporter samt tre examensarbeten på mastersnivå (Sadaf Vazehrad 2011, Dimitrios Siafakas 2012 och Jaroslav Gorlach 2012).

De viktigaste observationerna och slutsatserna från projektet är:

- Det finns två typer av krymporer. Krymporer innehållande fina dendriter med regelbunden form samt krymporer innehållande förgrovade dendriter med helt eller delvis utplånade sekundära dendritar. Det föreslås att de med fina dendriter bildas tidigt under stelningsförloppet. Den andra typen föreslås bildas senare och ha kontakt med smälta under en längre tid vilket möjliggör förgrovningsförloppet.
- Gasporer bildas från smälta eller tidigt under stelmandet.
- Gasbildande ämnen som väte och kväve förefaller samverka med stelnings- och svalningskrympning vid porbildande.
- Färgetsning och EPMA-analys visar två kolonier av grafitnoder, med eller utan austenitbård. De med austenitbård har bildats eutektiskt medan de utan austenitbård, som är mycket mindre, har bildats ur den sist stelnade smältan.
- EPMA-analys visar högre koncentrationer av svavel och mangan eller magnesium invid grafitpartiklar. Detta indikerar att grafiten i gråjärn kärnbildas på MnS och grafiten i CGI kärnbildas på MgS.

2. Bakgrund

Bakgrunden till projektet som den beskrevs i ansökan var följande:

”I vår strävan att värna om miljön, måste vägtransporter bli mer energieffektiva, samtidigt som utsläppen av oönskade restprodukter från förbränningen måste minskas. Detta återspeglas också i kommande lagkrav på bilindustrin, exempelvis inom Europa, Euro 6 och Euro 7. Energieffektivitet är också ett mycket kraftfullt konkurrensmedel i de svenska lastbilstillverkarnas kamp om marknadsandelar ute i världen. Drivmedel står för en tredjedel av lastbilens totalkostnad under dess livstid.

En viktig parameter vid motorkonstruktion för att uppnå miljömålen, är ett ökat förbränningstryck. Detta ställer dock högre krav på hållfasthet i cylinderblock och huvud. Grövre dimensioner är dock inte ett alternativ, eftersom motorerna och därmed fordonets vikt då ökar. Ett starkare konstruktionsmaterial än grått gjutjärn är en lösning. Kompaktgrafitjärn, CGI (Compacted Graphite Iron), har det senaste decenniet visat sig vara ett användbart starkare alternativ. Det finns nu en handfull kommersiellt tillgängliga styrprocesser för att åstadkomma detta svårtillverkade material. Både Scania och Volvo har högpresterande motorvarianter som i små serier gjuts i CGI. Tyvärr är CGI krympningsbenäget och de tillgängliga styrmetoderna tar enbart ansvar för grafitens form. När stelmande metall i samband med gjutningen krymper, uppstår lätt sugningar och porositet i gjutgodset. Den här typen av defekter har den otrevliga egenskapen att de upptäcks sent i tillverkningsprocessen, ofta först vid bearbetningen eller i sämsta fall som otäthetsproblem eller hållfasthetsproblem i den färdiga produkten hos kund. Det innebär stora kostnader i form av pengar och kundförtroende, men även en ökad miljöbelastning, då gjutprocessen i sig orsakar utsläpp och restprodukter för deponi. Att gjuta för skrotlådan underlättar inte för oss att uppnå miljömålen.

Nu när kompaktgrafitjärnet ökar sin andel av gjutgodset, accentueras problemet. Det är därför viktigt för den svenska tunga fordonsindustrin att utveckla styr- och kontrollmetoder som säkerställer tillverkningen av porfria CGI-komponenter. Då kan vi bibehålla både vår världsledande tekniska nivå och även behålla de kommersiella toppositionerna. Världens två just nu starkaste lastbilmotorer kommer från Scania respektive Volvo! Svenska motorer är dessutom erkänt bränslesnåla. Projektet hjälper oss att både öka produktiviteten och minska miljöpåverkan från tillverkningen genom mindre kassation och ännu effektivare motorer.”

En ännu snabbare ökning av CGI-volymer än predikterat 2011 accentuerar problematiken än mer.

3. Syfte

Syftet med projektet är att på sikt möjliggöra framställningen av ett porfritt CGI-gjutgods genom kunskapsuppbyggnad angående bildningsmekanismer och kvantifiering av påverkande parametrar.

4. Genomförande

Projektet delades upp i sex delprojekt (A-F), delarna beskrevs i ansökan enligt följande:

Del A

CGI-artiklar med krympporositet samlas in från de deltagande företagen. För att klargöra orsaken till bildandet av krympporositet kommer dessa att undersökas samt jämföras med icke defekta motsvarigheter. Resultaten skall användas för att reda ut vilka som är de dominerande fenomenen vid porbildning, samt tydliggöra var defekterna främst förekommer i de komplexa geometriska sammanhangen.

Aktiviteter:

- A1. Litteraturstudie som berör stelningmekanismer och krympporbildning i CGI.
- A2. Besluta vilka komponenter/artiklar som skall undersökas i projektet samt införskaffning av dessa.
- A3. Undersöka och fastställa orsakerna till krympporositeterna. Undersökningen omfattar mikroskopundersökning av både oetsade och färgetsade prover samt SEM undersökning av porositetshåligheter och poreernas ytor.

Milstolpe: Orsaksanalys för bildning av krympporer.

Leverans: Rapport

Del B

Framtagning av förenklad provkropp(ar) som vid produktion i industriella förhållanden främjar bildandet av krympporositet. Provkroppens geometri kommer att baseras på samband identifierade i del A, tillsammans med expertis från de medverkade parterna. Provkroppens syfte är att underlätta hantering vid försök och undersökningar.

Aktiviteter:

- B1. Identifiera geometriska förhållanden som främjar krympporbildandet i CGI.
- B2. Simulering.
- B3. Design av provkropp vars geometri främjar bildandet av krympporer.
- B4. Modelltillverkning.
- B5. Verifiera provkroppen.

Milstolpe: Framtagning av provkropp.

Leverans: Rapporter och provkropp som främjar krympporositet.

Del C

Provgjutningar i geometri utvecklad i del B med syfte att identifiera vilka som är de viktigaste parametrarna vid bildandet av krympporer.

Aktiviteter:

C1. Gjuteriexperiment där värdet på parametrar som inverkar på bildandet av krympporer varierar.

C2. Utveckling av matare med syfte att motverka bildandet av krympporer i godset.

C3. Utvärdering av hur de olika parametrarna påverkar bildandet av krympporositet. Utvärderingen utföres med mikroskopundersökning av både polerade och färgetsade prover samt SEM undersökning av porositetshåligheter och porernas ytor.

Milstolpe: Kvantifiering av undersökta parameters inverkan på bildandet av krympporer.

Leverans: Rapporter.

Del D

Utvärdering av befintliga oförstörande kontrollmetoders förmåga att påvisa krympporositet/risk för krympporositet i CGI gods. Utvärderingarna kommer att utföras på provkroppar gjutna i del C, innan de mikrostrukturella undersökningarna.

Aktiviteter:

D1. Mätning med resonansfrekvensmetod.

D2. Mätning med ultraljud.

D3. Utredning om andra eventuella mätmetoder kan användas.

Milstolpe: Utvärdering av kontrollmetoder.

Leverans: Rapporter.

Del E

Noggrant styrda laboratorieexperiment som syftar till att undersöka stelningsmekanismen vid bildandet av kompaktgrafitjärn, dvs hur eutektiska celler tillväxer i samarbete med primäraustenit. Resultaten kommer att jämföras med stelningsförlopp i segjärn och gråjärn.

Aktiviteter:

E1. Utveckling av metod för tillverkning av CGI i laboratorieugn, eftersom omsmältning av CGI-provkroppar leder till avklingning av verksamma ämnen och provet riskerar att stelna som gråjärn. För att kunna använda ugnar med noggrant styrda stelningsförlopp i kombination med CGI-smälta det behövs omkonstruktion av existerande utrustning.

E2. Experimentell serie där CGI med varierande svalningshastighet och kolhalt, släcks vid olika tidpunkter i stelningsförloppet.

E3. Mikrostrukturella undersökningar av experimentellt material producerad i E2.

Milstolpe: Karakterisering av grafitillväxt i CGI

Leverans: Metod för att erhålla CGI vid stelning i laboratorieugn och rapporter.

Del F

Behandling av smältor avsedda för CGI baseras i huvudsak på kontrollmetoder som tolkar svalningskurvor registrerade i specialdesignade provkoppar. Dessa styrmetoder skall vidareutvecklas så att det termiska förloppet tillsammans med densitetsvariationer (samt eventuellt andra fenomen) kan indikera smältors benägenhet för krympningsbildning.

Aktiviteter:

F1. Utveckling av styrmetod där svalningskurvor kompletteras med registrering av densitetsvariationer och/eller andra fenomen i samband med stelning. Syftet är att kvantifiera smältans benägenhet till bildandet av krympningsporositet.

F2. Gjutexperiment där utvecklad metod används för att variera parametrar i syfte att styra bildandet av krympningsporositet.

F3. Utvärdering av den experimentella serien. Mikrostrukturella undersökningar samt analys av registrerade temperatur- och densitetsvariationer.

Milstolpe: Utveckling av styrmetod

Leverans: Styrmetod som indikerar CGI-smältans benägenhet till krympningsporbildning och rapporter.

Under arbetets gång tillkom tre delprojekt:

Del G

Under arbetet i del A som handlade om orsakerna till porbildning konstaterades det att porernas inre yta ibland täckte av en kolfilm. Enligt litteraturen hänger bildandet av en sådan film samman med att inlösta element som H och N skiljs ut till gasblåsor. För att tydligare förstå när och hur olika porer bildades krävdes bättre kunskaper om de gasbildande ämnens beteende vid formfyllnad och stelning av CGI. Därför tillkom aktiviteten.

Milstolpe: Kvantifiering av inlösta halterna av gasbildande element (H, N).

Leverans: Rapport

Del H

Gasupptagningen i smältan under formfyllning är en komplex process. För att enklare kunna prediktera olika åtgärders påverkan på gashalterna vore det fördelaktigt med ett simuleringsverktyg. Därför tillkom aktiviteten med att jämföra ANSYS-simulering (i CFD-modulen) med experimentella resultat.

Milstolpe: Validerat simuleringsverktyg för formfyllning och om möjligt gasupptagning.

Leverans: Rapport

Del I

Ytterligare en frågeställning som väcktes under arbete med del A var hur olika element segrar i CGI. Vanligen undersöks gjutjärnsstrukturen med hjälp av så kallad färgetsning, alltså etsning i pikrinsyrabaserade etsmedel. Enligt litteraturen reagerar etsmedlet med kisel i materialet och bildar en transparent film vars tjocklek beror på den lokala kiselhalten. Genom att använda EPMA (Electron Probe Micro-Analysis) kan fördelningen av olika grundämnen, exempelvis kisel, kunnat verifieras. Metoden EPMA användes även för motsvarande kartläggningar av ett antal grundämnen i de tre gjutjärnstyperna LGI, CGI och SGI.

Milstolpe: Segringsfenomens inverkan på strukturbildning i LGI, CGI och SGI

Leverans: Rapport

Del A genomfördes som ett examensarbete på KTH, Vazehrad 2012. Scania CV AB och Volvo Powertrain AB bidrog med komponenter. Del B har utförts i samarbete mellan KTH, Swerea Swecast och Volvo Powertrain AB. Del C utgick på grund av svårigheterna i del B. Del D utfördes av Swerea Swecast medan del E och F utfördes vid Tekniska Högskolan i Jönköping AB på uppdrag av KTH. Nya Arvika Gjuteri AB bidrog med råmaterial till del E och F. Del G och H utfördes som examensarbeten, Siafakas 2013 i samarbete mellan KTH och Volvo Powertrain AB respektive Gorchach 2012 vid JTH. Del I utfördes av Vazehrad i samarbete med företaget Corr Control som blev underleverantör i projektet.

5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

I Programbeskrivning för fordonsutveckling, version 2009-05-05 10:35, framgår för samverkansområdet ”Energi & Miljö” som delprogrammet ”Fordonsutveckling” relateras till följande mål:

- genom ökad forsknings- och innovationskapacitet i Sverige säkra fordonsindustriell konkurrenskraft och arbetstillfällen på lång och helst även på kort sikt.
- utveckla internationellt uppkopplade och konkurrenskraftiga forsknings- och innovationsmiljöer, i vilka bland andra akademi, institut och industri samverkar.
- främja internationell forsknings- och innovationsverksamhet där förutsättningar för och medverkan i EU:s ramprogram och annan internationell forsknings- och innovationssamverkan noga värderas.

Delprogrammet ”Fordonsutveckling” innefattar fem programområden, SPOFIC I sorterar under ”Materialteknik för effektivare fordon” för vilket gäller:

Vision: Ny materialteknik som möter marknadens långsiktiga krav med speciellt fokus på fordonsstruktur och krävande miljöer

Mål: TR med substantiell viktreduktion och/eller kostnadsreduktion och/eller ökad materialkvalitet

Kriterier: Marknadsanpassad. Konkurrenskraft, innovation, effektiv, säkerhet, uthålligt, miljöanpassat

Projektet SPOFIC har synnerligen effektivt bidragit till en ökad **forskningskapacitet** i Sverige samt till **samverkan** mellan fordonsindustri, institut och universitet. De tekniska framstegen bidrar till bibehållen eller förbättrad **konkurrenskraft** för den tunga fordonsindustrin i Sverige. Forskningsresultaten har presenterats på internationella konferenser och publicerats i internationella tidskrifter vilket inneburit sedvanligt **oberoende kvalitetsgranskningsförfarande**. De tekniska framstegen leder framförallt till **ökad materialkvalitet**. I förlängningen kan denna förbättrade materialkvalitet leda till **vikt reducerade** komponenter. Dessutom kan en bättre processförståelse leda till minskad kassation, det vill säga **minskad miljöbelastning**, och möjligen även i förlängningen till **minskade kostnader** för CGI-produktion. CGI-produktion sker idag framförallt inom fordonsindustrin, men **annan industri** som exempelvis segjärnstillverkare kan använda sig av såväl metoder som resultat från projektet.

5.2 Uppfyllelse av projektmål

Projektets övergripande mål var att **utveckla styr- och kontrollmetoder för produktion av porfria komponenter i kompaktgrafitjärn**. Det övergripande målet delades upp i sex delmål motsvarande de sex olika delprojekten:

- A) Orsaker till porbildning
- B) Provkropp för provokation av porbildning
- C) Identifiering och kvantifiering av parametrar som påverkar porbildning
- D) Utvärdering av oförstörande provningsmetoder för porer i CGI-gods
- E) Metod för framställning av kompaktgrafitjärn i laboratorieskala
- F) Utveckling av metod för kombination av termisk analys och volymsförändringar

Under arbetets gång tillkom ytterligare tre delprojekt med följande mål:

- G) Kvantifiering av gasbildande element i CGI-smälta
- H) Simulering av formfyllnad
- I) Kvantifiering av segringsfenomen i LGI, CGI och SGI

Delmål A) Orsaker till porbildning och B) Provkropp för provokation av porbildning är uppfyllda. Arbetet i del B var svårare än befarat. Det krävdes tre försök varav det sista utfördes under det sista kvartalet av projekttiden. Bristen på resultat från del B ledde till

att del C utgick. De provkroppar som lyckades framställas i slutet av projektet har använts i del D varför delmål D är delvis uppfyllt. Delarna E och F är också delvis uppfyllda och det bedöms som sannolikt att de fullföljs inom SPOFIC II. De tillkomna delmålen G-I anses uppfyllda. Sammanfattningsvis har projektet skapat en god förståelse vilka parametrar en styrmetod skulle baseras på. Det återstår en del arbete för att realisera en robust utrustning för ändamålet.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Det finns ett stort intresse från industriparterna att ta del av resultaten från projektet. Sedan 1 januari 2014 pågår ett fortsättningsprojekt, SPOFIC II. I detta deltar Scania CV AB, Volvo Powertrain AB, Swerea Swecast, Tekniska Högskolan i Jönköping AB samt SinterCast AB. Fyra doktorander, en postdoc och en professor är helt eller delvis finansierade av projektet. Inom detta forum diskuteras resultaten från SPOFIC I flitigt.

Under projekttiden har resultat presenterats och diskuterats i olika sammanhang. Förutom på projektmöten och för personal vid de deltagande företagen enligt följande:

S.Vazehrad, H.Fredriksson and A.Diószegi “Graphite Morphology Investigation in Compacted Cast Iron”, presented at the European Cast Iron Seminar, May 24th 2012, Durango, Spain.

A.Diószegi “Solubility of Hydrogen and Nitrogen in liquid cast iron during melting and mold filling”, presented at the European Cast Iron Seminar, April 17th 2013, Kristiansand , Norway.

S.Vazehrad, J. Elfsberg and A.Diószegi “On Factors Influencing Macro Shrinkage Porosity Formation in Compacted Graphite Iron”, presented at “The 6th International Conference on Solidification and Gravity”, Sept. 2 - 6, 2013: Miskolc - Lillafüred, Hungary.

Diószegi “Gjuteriteknologi – Framtidens Vetenskap. Invited speaker at the 2013 years Congress of Swedish Foundrymen’s Association”, Sunne, September 14, 2013.

Diószegi “Casting Defect Characterization by Color Metallography in Cast Iron”, presented at the XXII. Hungarian Foundry days. October 19. 2013, Herceghalom, Hungary.

Diószegi “Upcoming Challenges in Foundry Technology of Cast Iron”, presented at the II. CIC Foundry Technology Forum, 13th of November 2013, Jönköping, Sweden.

6.2 Publikationer

S. Vazehrad ”[Shrinkage Porosity Characterization in Compacted Cast Iron Components](#)”, Master Thesis, KTH 2012.

D. Siafakas ”[Investigation of Hydrogen and Nitrogen Content in Compacted Graphite Iron Production](#)”, Master Thesis, KTH 2013.

J. Gorlach “Numerical Analysis of Surface Turbulence in the Flow of Gray Cast Iron”, Master Thesis, JTH 2012.

S. Vazehrad “[A Study On Factor Influencing the Microstructure and Shrinkage Porosity Formation in Compacted Graphite Iron](#)”, Licentiate thesis, KTH 2014.

S. Vazehrad, J. Elfsberg, A. Diószegi ”[On factors influencing macro shrinkage porosity formation in compacted graphite iron](#)”, Materials Science Forum, Vol. 790-791, (2014), pp. 429-434.

S. Vazehrad, J. Elfsberg, A. Diószegi ”[Study of microstructure in cast iron using colour etching and electron microprobe analysis](#)”, accepterad för publicering av International Journal of Materials Characterization.

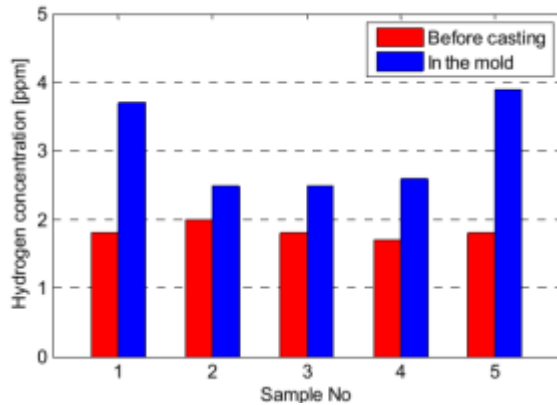
S. Vazehrad, A. Diószegi “[Elemental segregation pattern in lamellar and compacted graphite iron](#)”, KTH, 2014.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

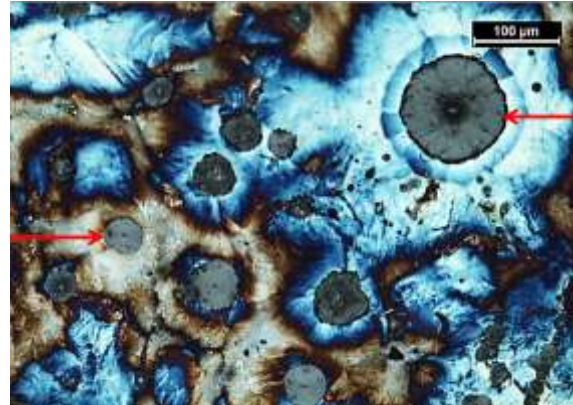
Slutsatserna från projektet är:

- Gasporer bildas från smälta eller tidigt under stelmandet, se Figur 3.
- Det finns två typer av krympporer. Krympporer innehållande fina dendriter med regelbunden form samt krympporer innehållande förgrovade dendriter med helt eller delvis utplånade sekundära dendritarmar, se Figur 3.
- Stort antal eutektiska kolonier av mindre storlek leder till mer stelningskrympning.
- Halten gasbildande element, väte och kväve, ökar i smältan under formfyllnaden, se Figur 1. Observationer antyder att gasbildande ämnen samverkar med stelnings- och svalningskrympning vid porbildande.
- Ökad nodularitet (%sfäriska grafitpartiklar) ökar benägenheten för porbildning.
- Krympporer med grafitfilm på ytan innebär att de bildats utan kontakt med omgivningen.

- Färgetsning och EPMA-analys visar två kolonier av grafitnoduler, med eller utan austenitbård. De med austenitbård har bildats eutektiskt medan de utan, som är mycket mindre, har bildats ur den sist stelnade smältan, se Figur 2.
- EPMA-analys visar högre koncentrationer av svavel och mangan eller magnesium invid grafitpartiklar. Detta indikerar att grafiten i gråjärn kärnbildas på MnS och grafiten i CGI kärnbildas på MgS.

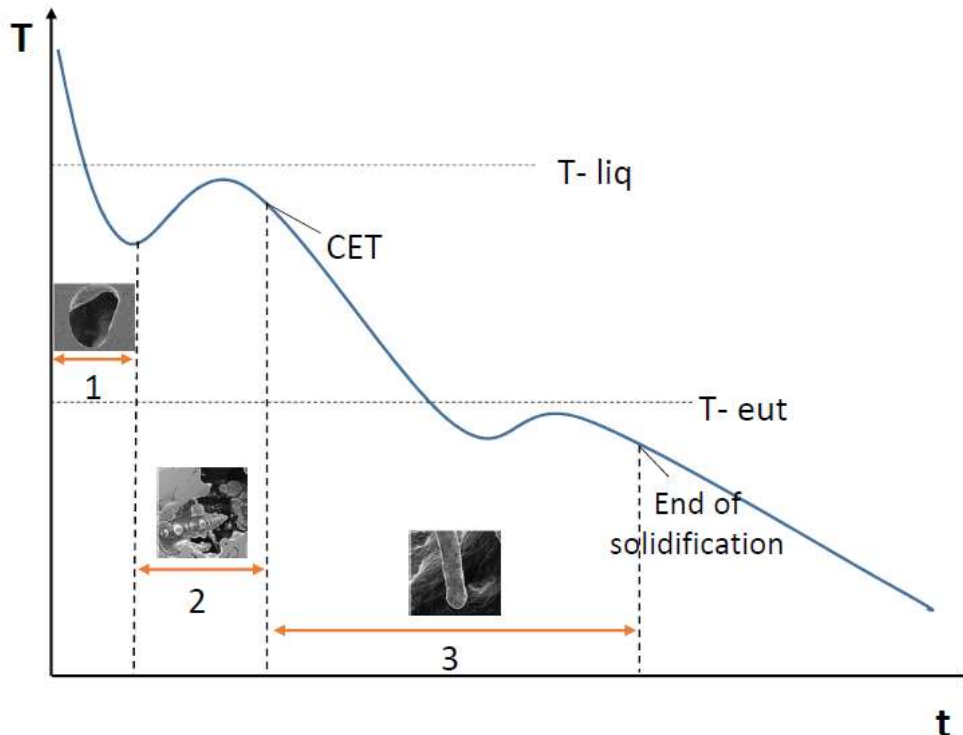


Figur 1. Halten av väte ökar under formfyllnaden [Siafakas 2012].



Figur 2. Grafitnoduler uppträder i två populationer [Vazehrad 2013].

CHRONOLOGY OF PORE FORMATION



Figur 3. Olika typer av makroporer i CGI bildas vid olika skeden av stelningsprocessen.

Fortsatt forskning:

Projektet SPOFIC II, som startade 14-01-01, fördjupar frågeställningarna kring krympoporositeter, och även strukturbildning, i kompaktgrafitjärn. Än mer detaljerad kunskap om stelningsförloppet och hur krympopor hänger samman med storleken på eutektiska celler och förekomsten av dubbla populationer noduler står i fokus.

Vidare ska smältprocessen förbättras och formfyllnad samt stelning och svalning simuleras. Den kombinerade analysmetoden ska realiseras i en robust utrustning som ska testas i relevanta produktionsförhållanden.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektet har haft fem deltagande parter. En högskola: KTH, ett institut: Swerea Swecast, en underleverantör: Nya Arvika Gjuteri AB samt två lastbilstillverkare: Scania CV AB och Volvo Powertrain AB. På grund av att nyckelpersonen Attila Diószegi har spenderat större delen av sin tid vid Tekniska högskolan i Jönköping AB har delar av arbetet utförts där på uppdrag av KTH.

Part	Roll	Kontaktperson
Scania CV AB	Projektledare, fordonsindustri	Jessica Elfsberg jessica.elfsberg@scania.com
Volvo Powertrain AB	Fordonsindustri	Kenneth Åsvik kenneth.asvik@volvo.com
Nya Arvika Gjuteri AB	Underleverantör till fordonsindustrin	Lars Åberg lars.aberg@arvikagjuteri.se
Swerea Swecast	Institut, forskningsutförare	Henrik Borgström henrik.borgstrom@swerea.se
KTH	Universitet, forskningsutförare	Attila Dioszegi attila.dioszegi@jth.hj.se





Adress: FFI/VINNOVA, 101 58 STOCKHOLM
Besöksadress: VINNOVA, Mäster Samuelsgatan 56, 101 58 STOCKHOLM
Telefon: 08 - 473 30 00