

# En optimal gjutprocess - för optimala egenskaper

Hasse Fredriksson

KTH

Abel Tadese, FreCast AB

Haji Muhammad, FreCast AB

# Innehåll

- Inledning
- Stelningstid, simuleringar
- Stelningsstruktur
- Grafitfördelning
- Inverkan av syre, kväve vatten på strukturen och egenskaperna
- Analys av struktur: skillnader mellan fallande och stigande gjutning
- Svaghetszoner i strukturen
- Optimal struktur
- Kontroll av smältprocess
- Kontroll av gjutprocess
- Tack

# Smältning och smältans behandling

Legerings sammansättning 3.7 % kol, 2,2 % kisel  
Övriga element så låga halter som möjligt.

Magnesium förångas och gasen reagerar med i smältan löst syre, svavel och kväve och bildar oxider, sulfider och nitrider  
Halter av dessa element i smältan blir mycket låga

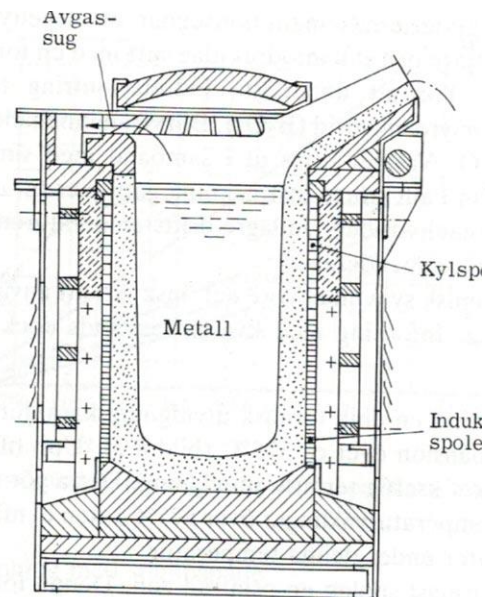


Bild 8.1 Elektrisk degelugn av typ LFD.

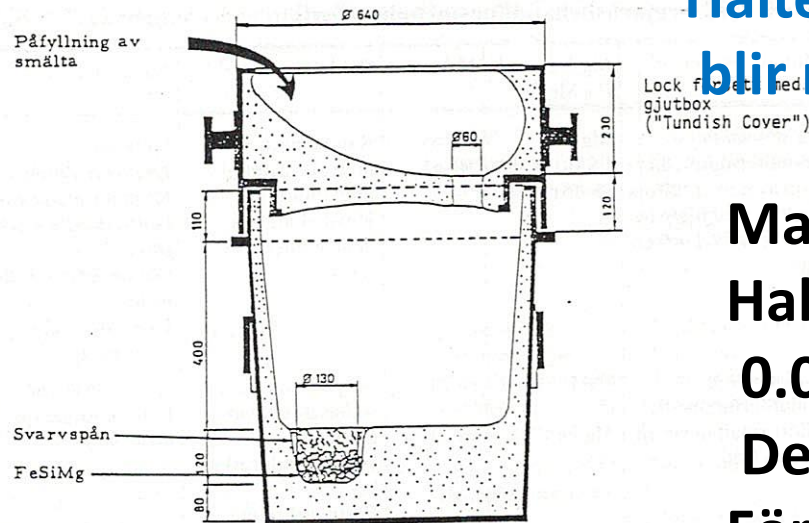
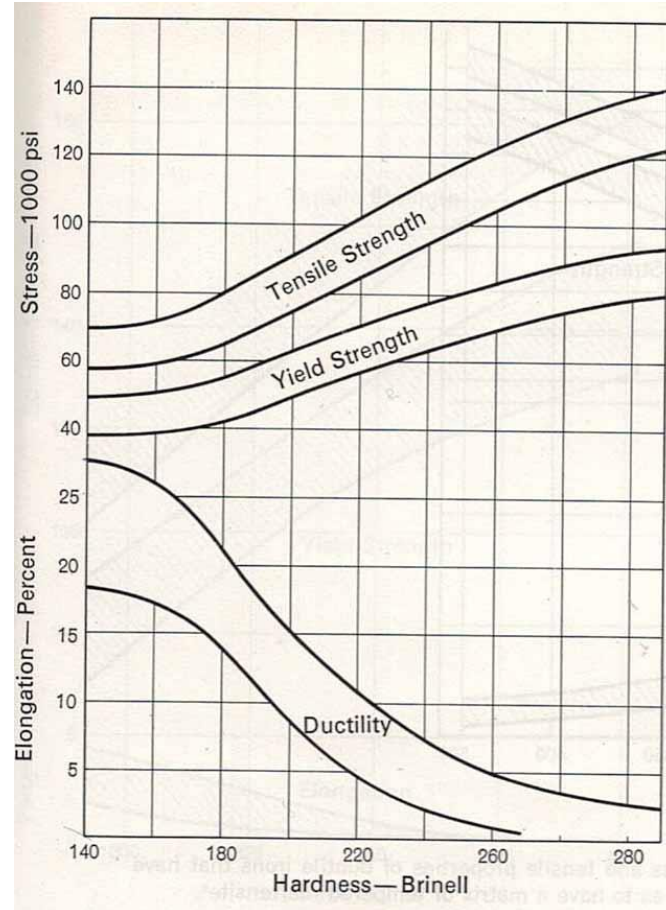


Bild 7.26 Behandlingskänk typ "Tundish Cover" med kapacitet 500 kg.

Magnesium löses in i smältan.  
Halter skall vara i intervallet  
0.04-0.10 %  
Denna nivå är viktig.

För låga halter ger fel grafit struktur  
För höga halter ger järnkarbid

# Mekaniska egenskaper för segjärn



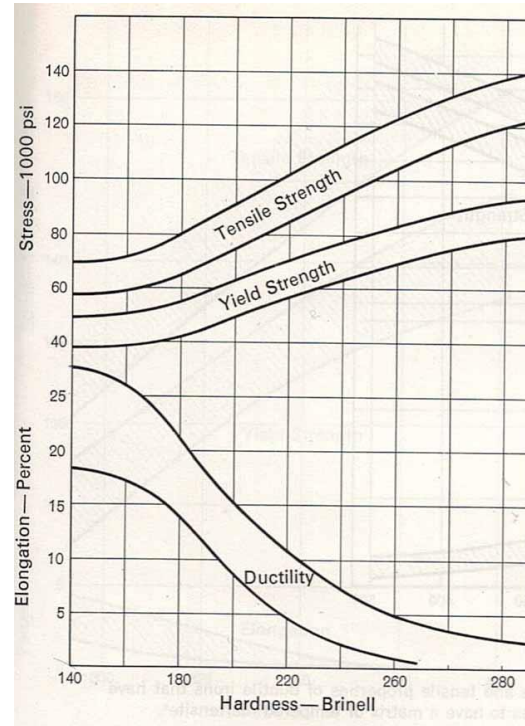
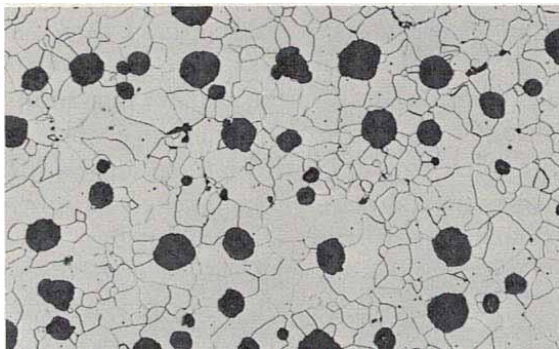
**Segt och mjukt**

**Hårt och sprött**

# Mekaniska egenskaper i relation till strukturen

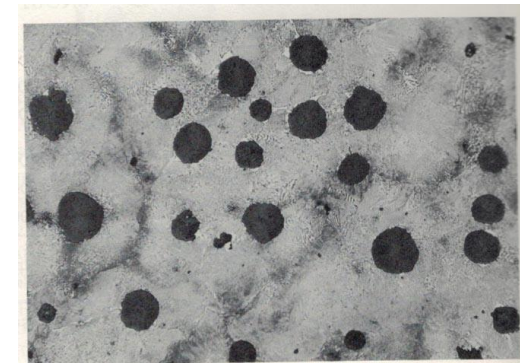
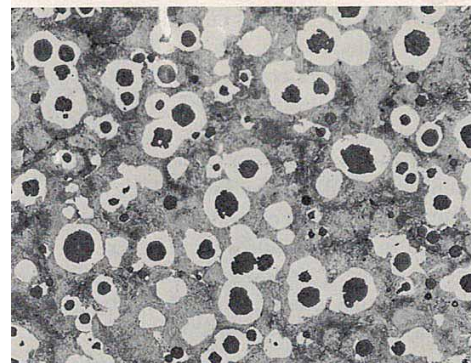
**Mjukt och segt**

**Grafitnoduler i en grundmassa av rent järn med låga kolhalter av kol**

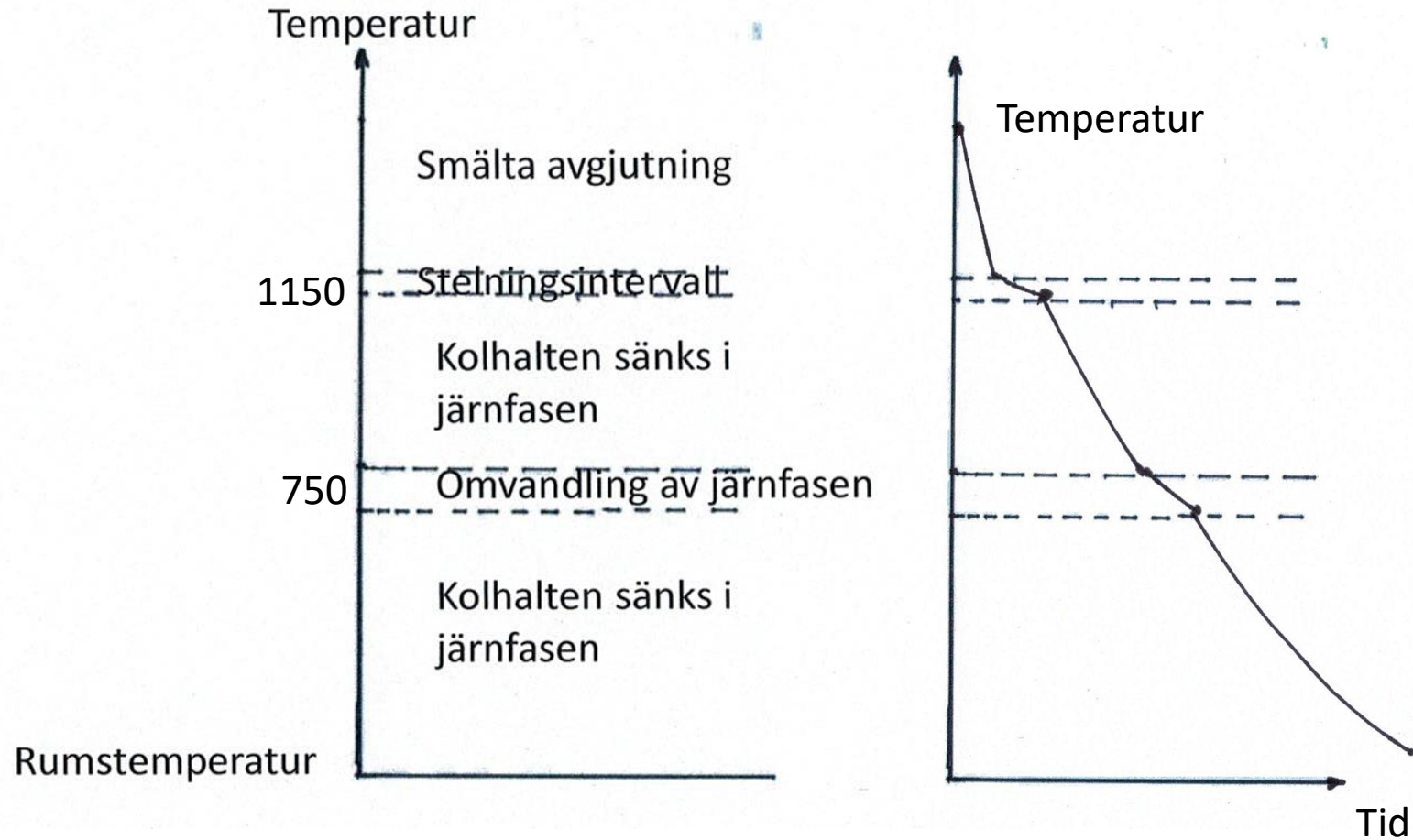


**Hårt och sprött**

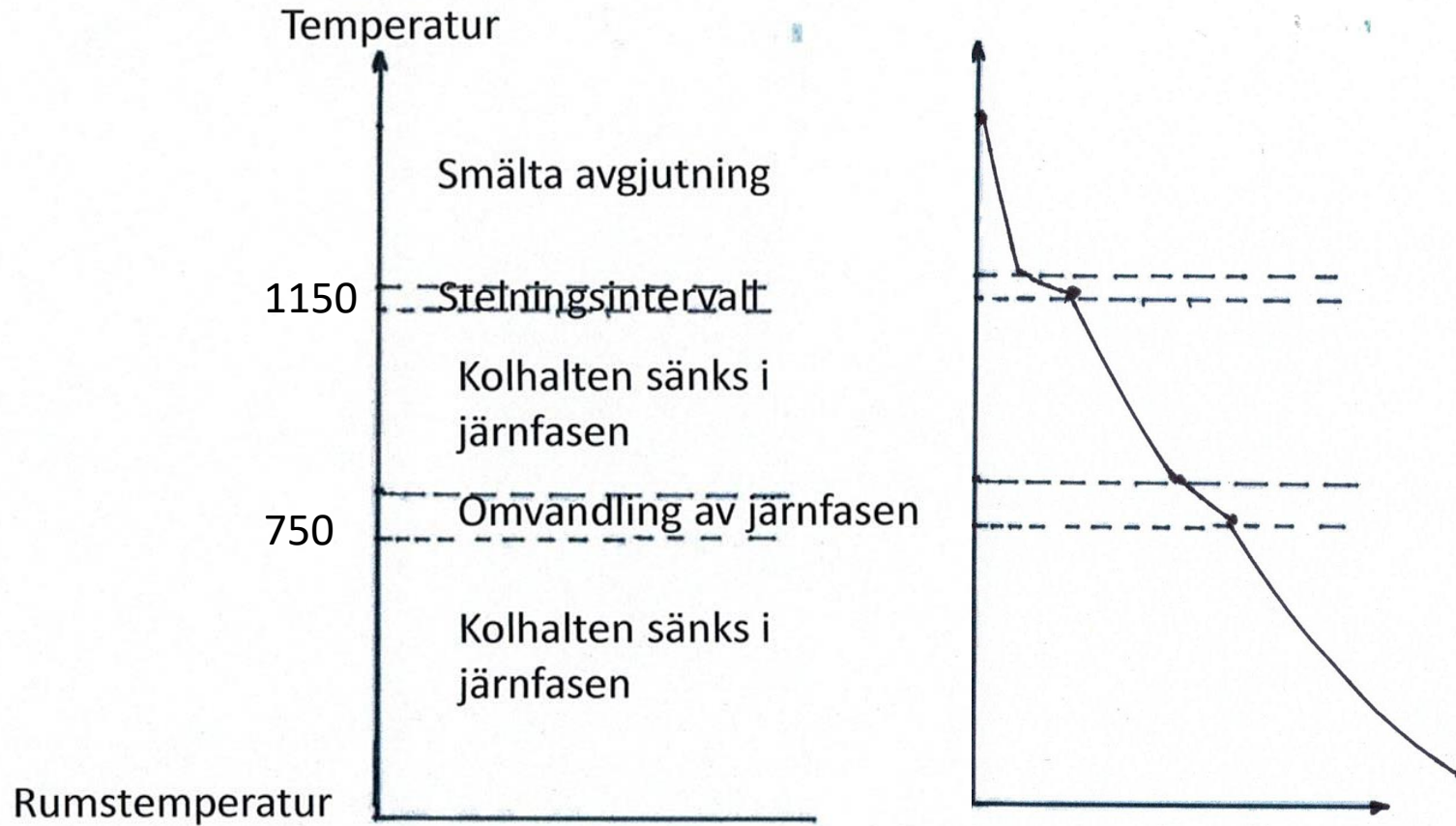
**Grafitnoduler i en grundmassa av järn och järnkarbid.**



# Vägen till den ideala strukturen



# Stelnings modell



Alla grafitnoduler kärnbildas i smältan vid stelnandets början. Järnfas bildas runt grafitnodulerna och växer tillsammans med nodulerna.

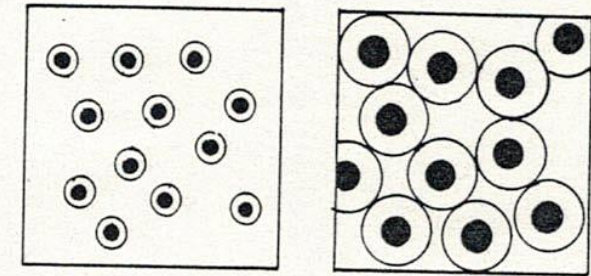
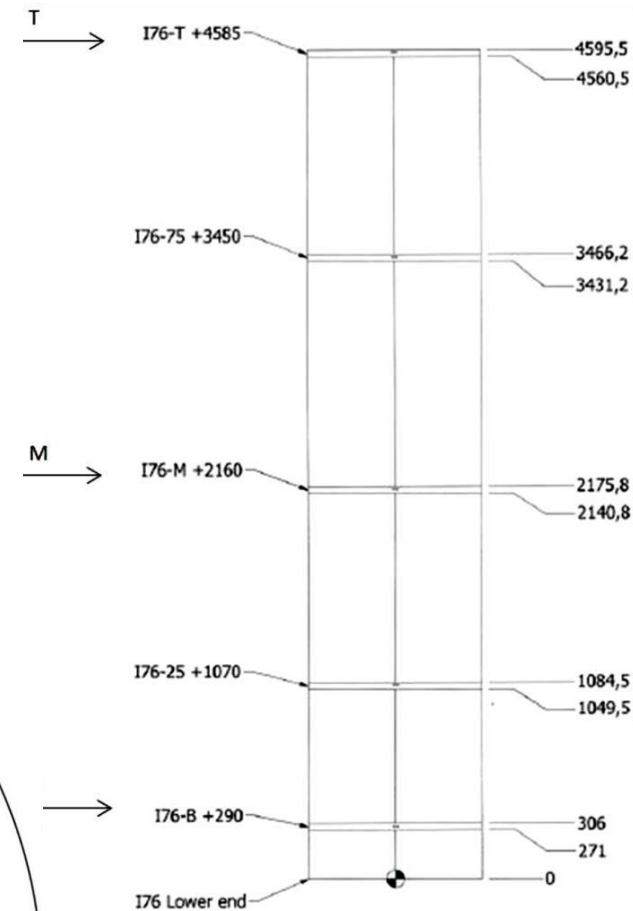
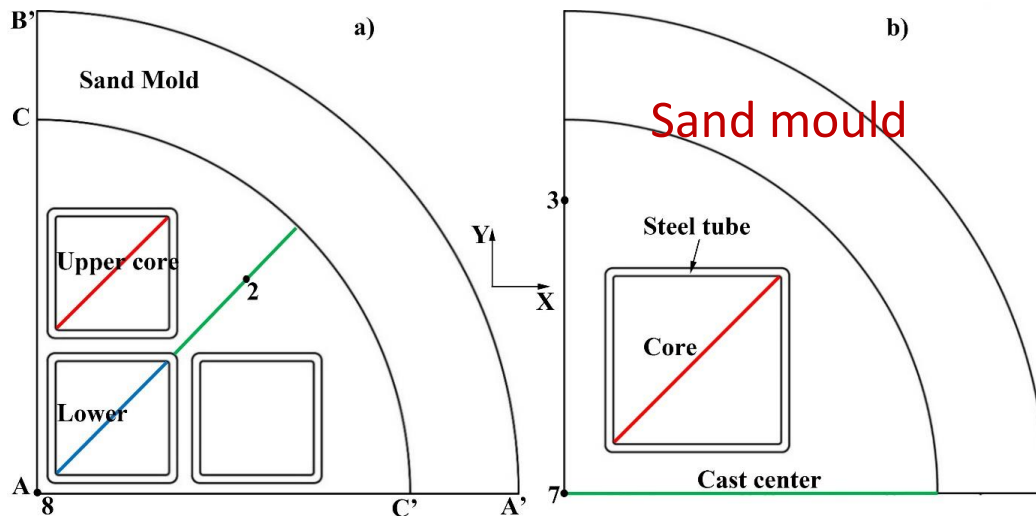
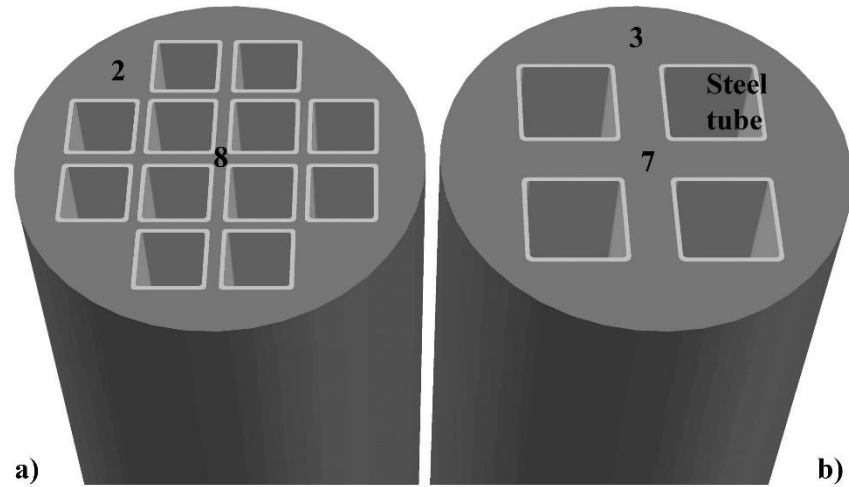


Figure 2b Eutectic growth of nodular iron

Sammansättningen på smältan ändras under stelningsprocessen. Kolhalten i järnfasen är 2% när allt har stelnat och 2% kol är bundet i grafitnodulerna.

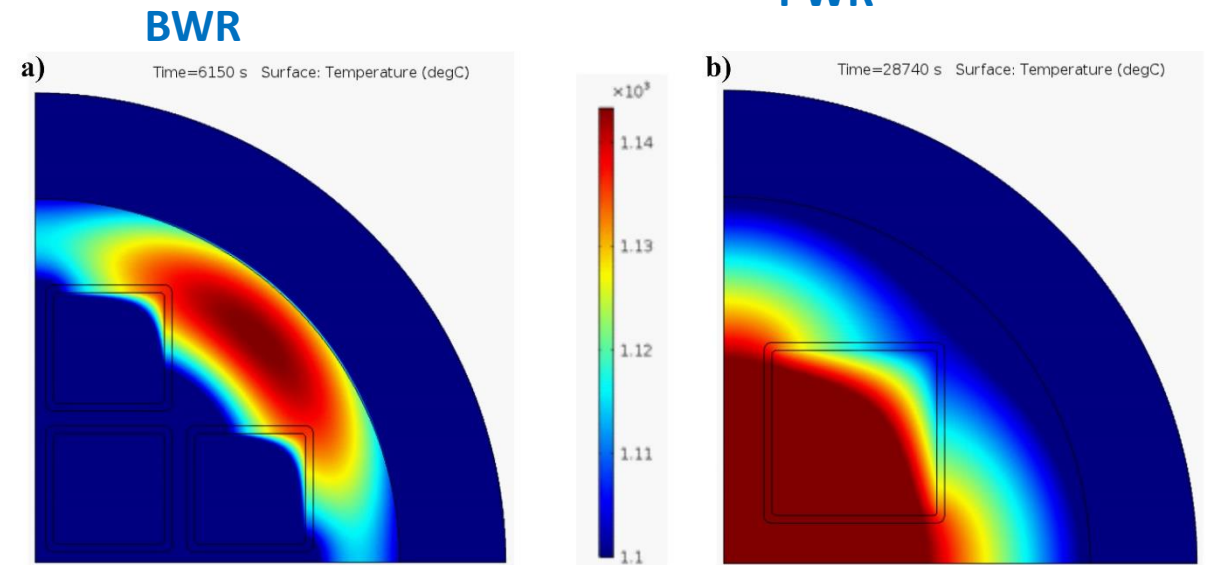
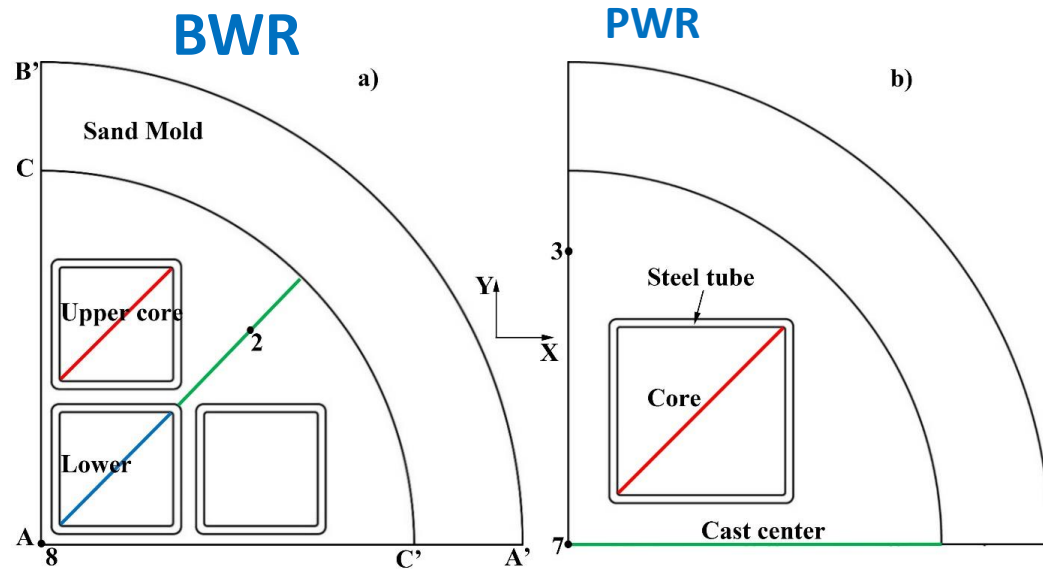
# Geometri vid beräkningar



Beräkningarna har genomförts i ett tvärsnitt. Ingen värmetransport i höjddled

Stål tuberna är fyllda med sand

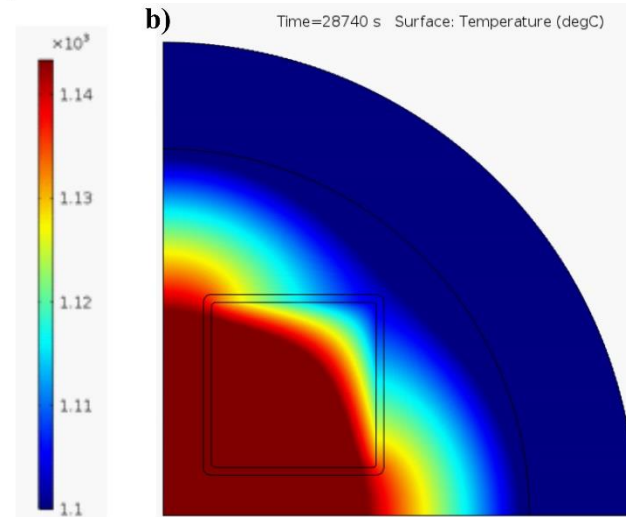
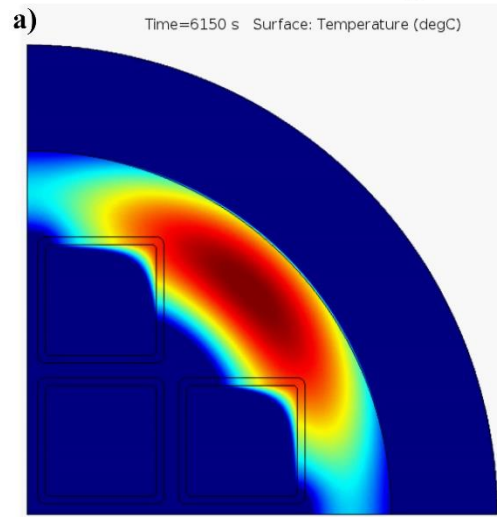
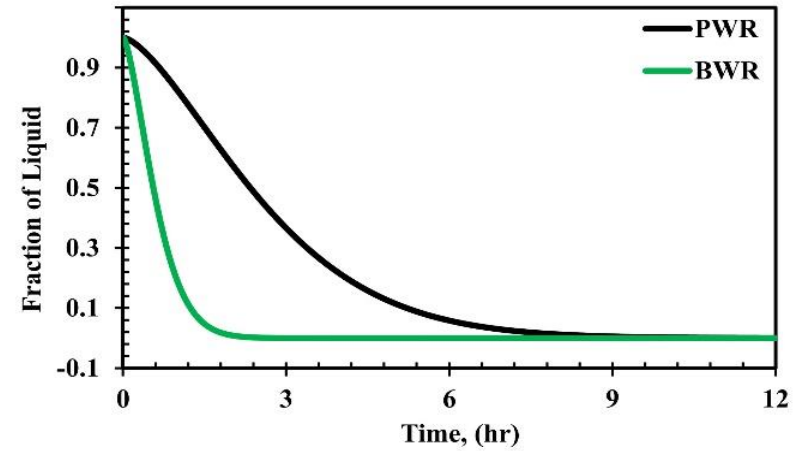
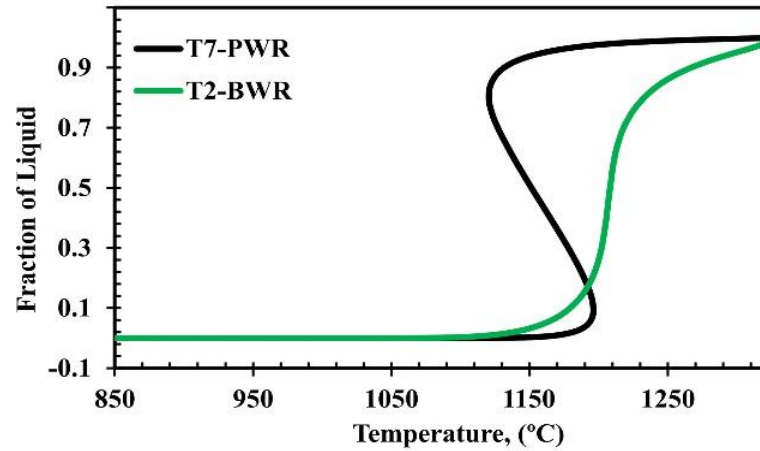
# Resultat av beräkningar med programmet COMSOL



Stelningscentrum för BWR kapseln  
Där smältanhopningen är störst

Stelningscentrum i mitten  
för PWR kapseln

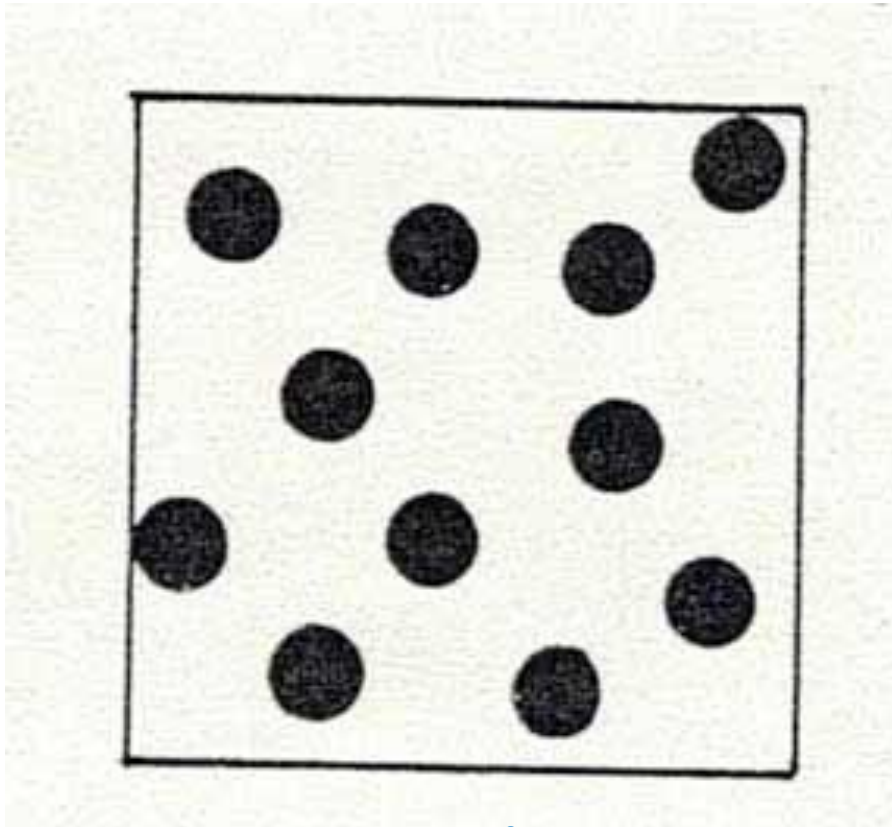
# Stelningtid



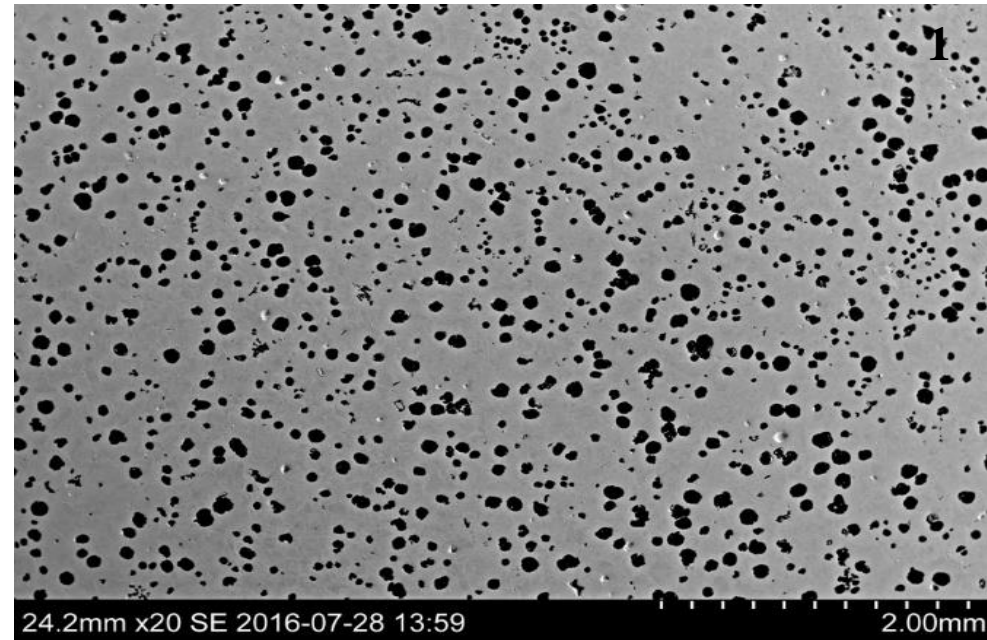
**Stelningstid BWR 1.5 timmar**

**Stelningtid för PWR 6 timmar**

# Strukturen i kapseln jämfört med den ideala strukturer som erhållits vid beräkningarna

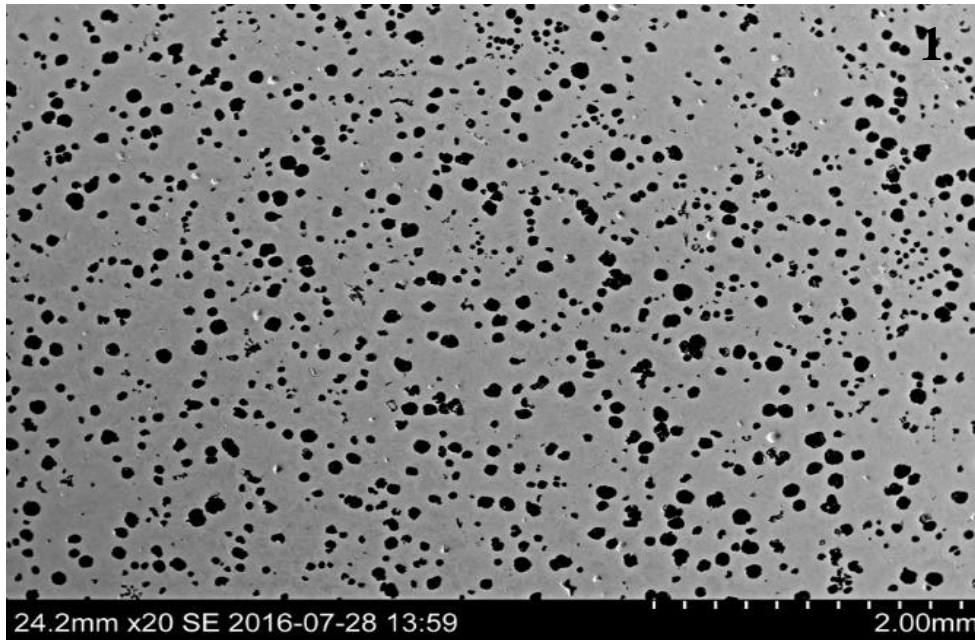


Struktur som erhållits vid beräkningarna

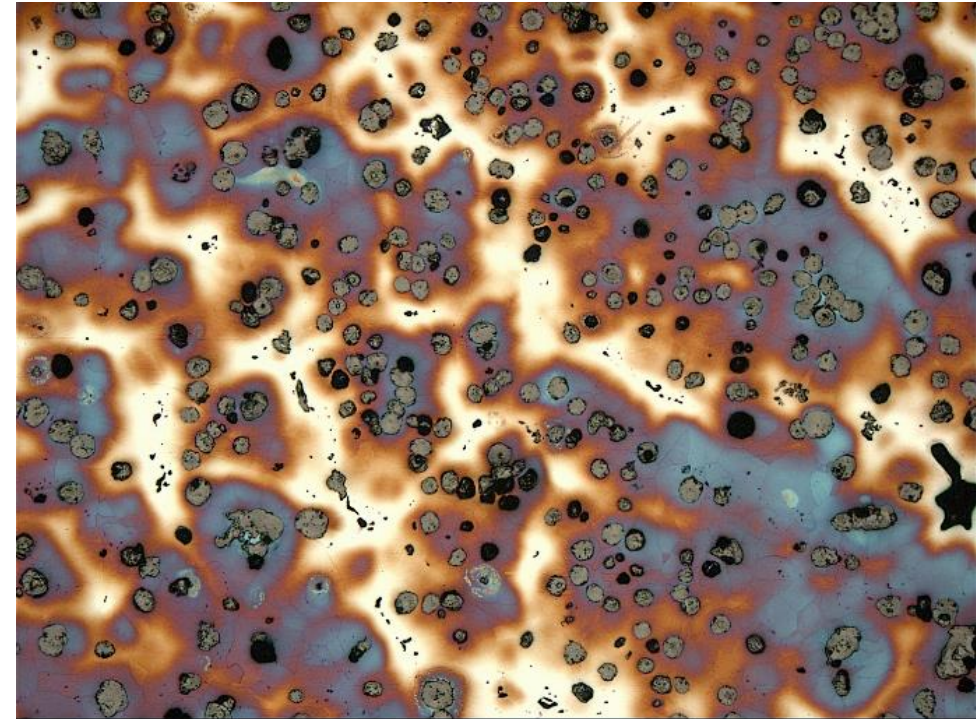


Struktur i kapseln sedd i ett mikroskop

Strukturen i kapseln i ett mikroskop där provet behandlats så att man ser struktur skillnaderna



Struktur i ett oetsat prov



Struktur i ett etsat prov sedd i ett mikroskop

# Kisel fördelningen i strukturen

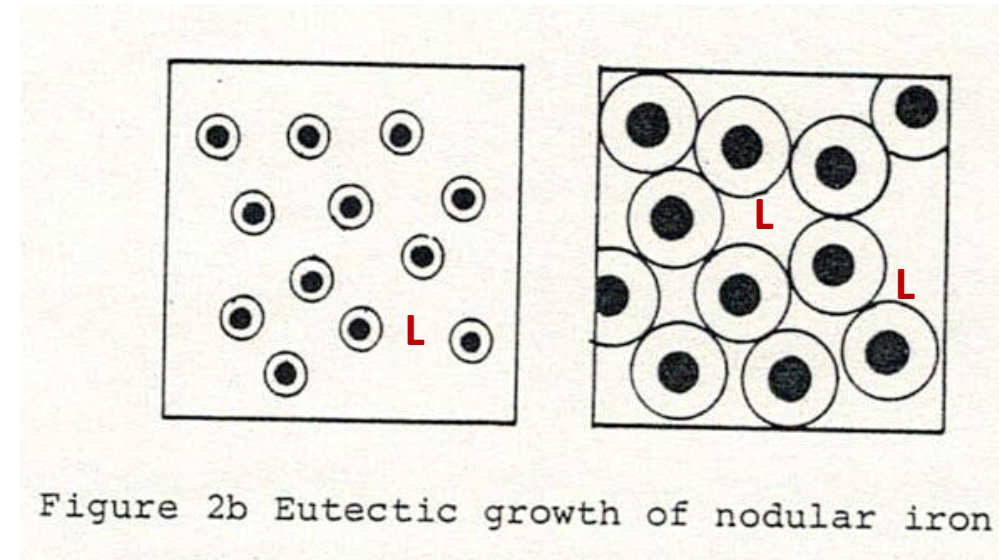
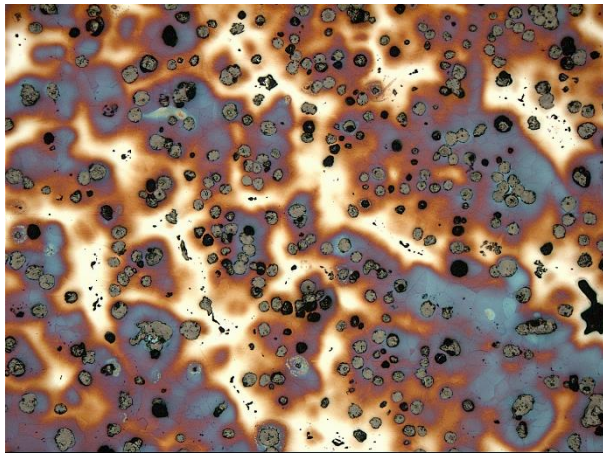
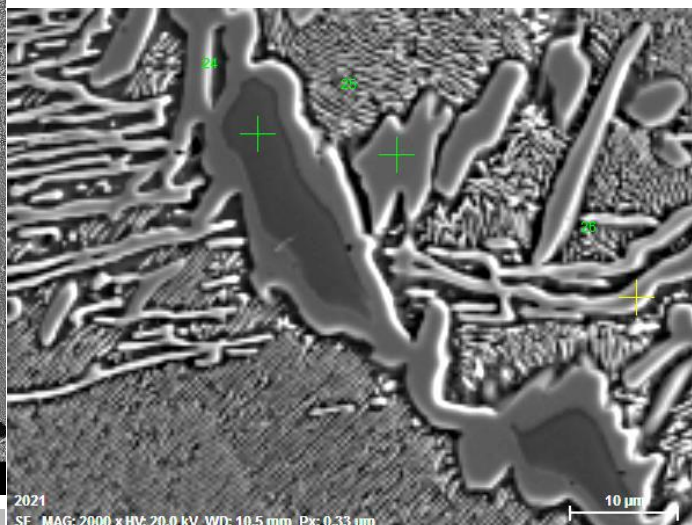
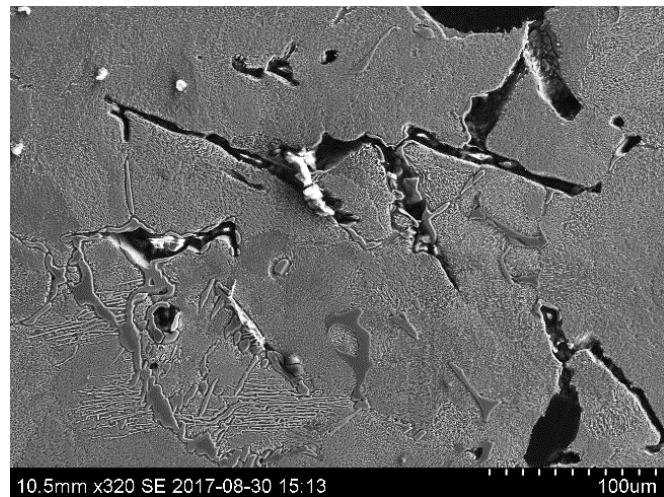


Figure 2b Eutectic growth of nodular iron

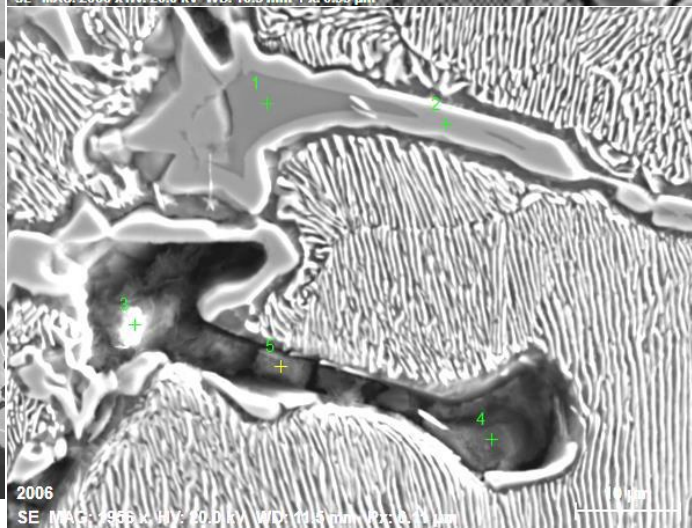
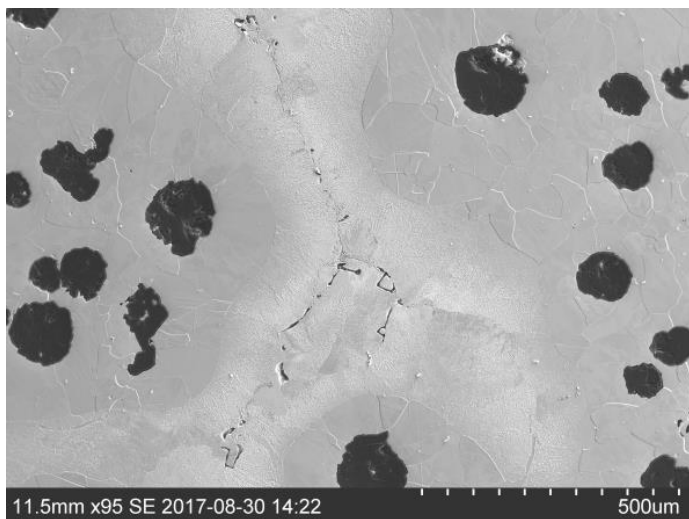
**Etsningen visar att vi får låga halter av kisel i de sist stelnade partierna. Detta påverkar omvandlingen av järnfasen och gynnar bildningen av järnkarbid**

**Bilden visar att vi har en ojämn fördelning av grafitnodulerna  
Med en låg andel i de sist stelnade delarna**

De sist stelnade delarna i strukturen innehåller karbider, slagger, porer, vilket ses i mikroskop i högre förstoring



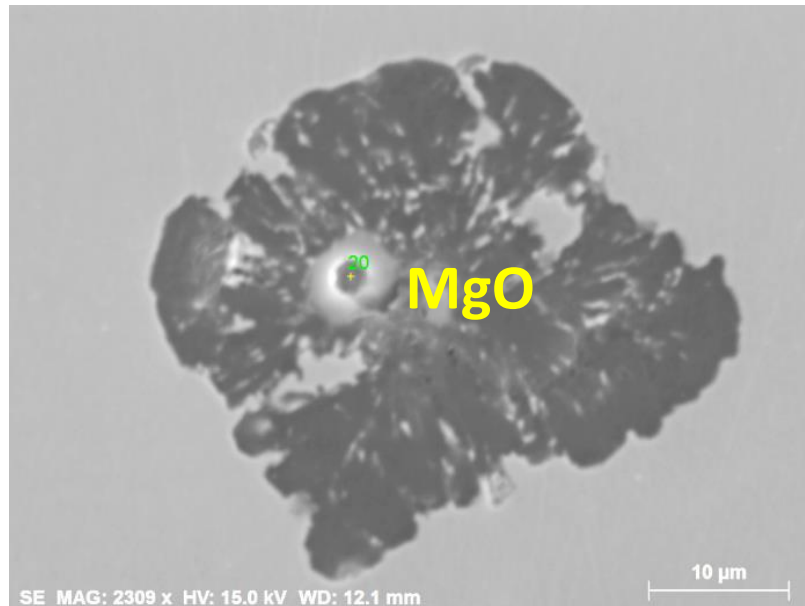
**FeC-trace V**



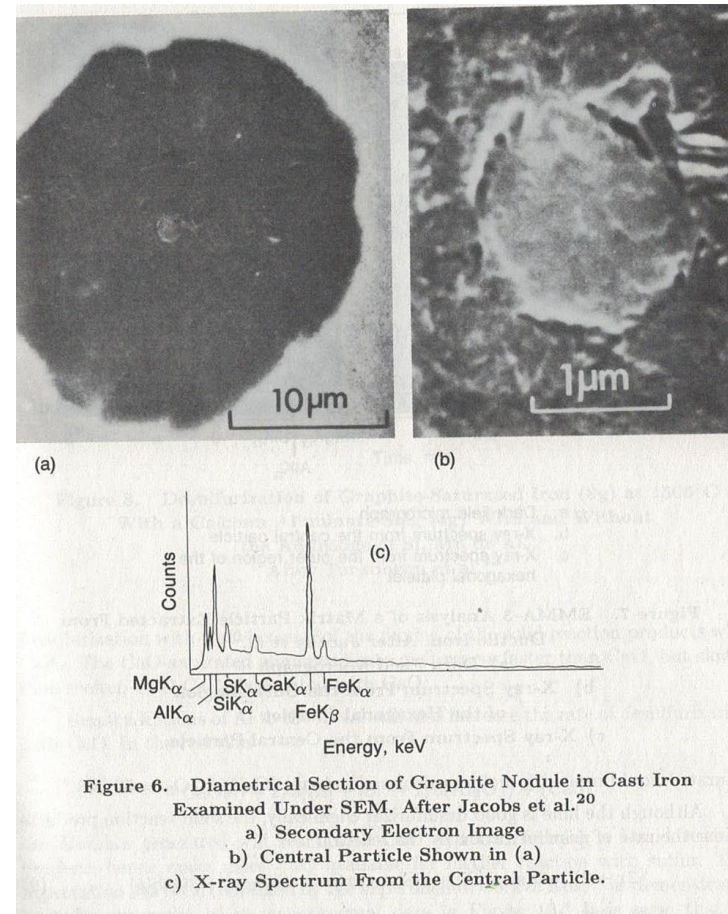
**Fe-trace V-Cr-C**

Grafitnodulernas fördelning i strukturen bestäms av hur de startar sin tillväxt.

Grafitnodulernas start sker från små partiklar i smältan



Starten sker på små partiklar av Magnesium oxider i smältan

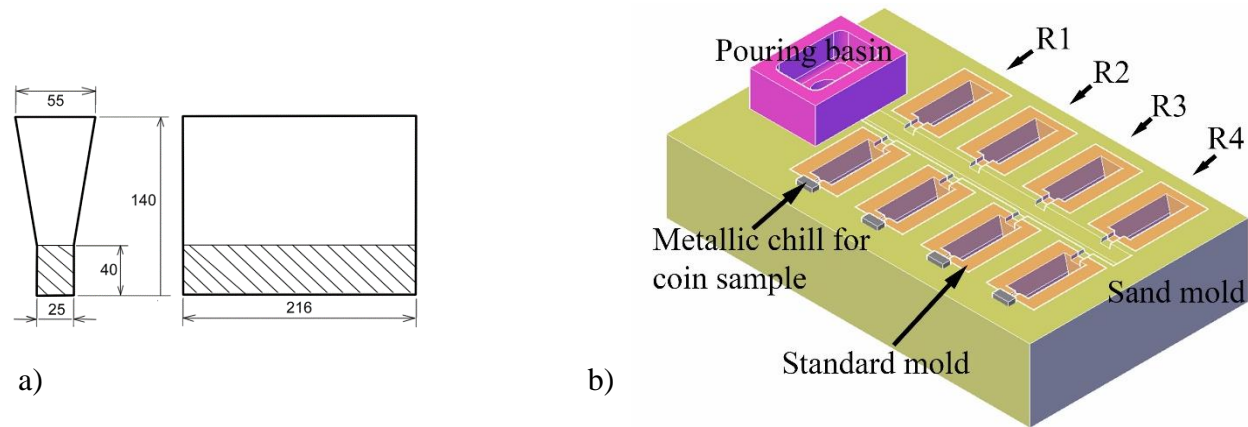


# Bildnings förloppet av Magnesium oxider

- Tidigare experiment visar stt de bildas under svalningnen från gjuttemperaturen ner till stelningstemperaturen.
- Magnesium oxider kan också bildas under stelningsprocessen
- Fråga: Kan oxiderna bildas genom reaktion med andra partiklar.

# Experiment för testning av olika tillsatser till smältan

Experiment med tillsats av olika element för studier av kärnbildning av grafitnoder



**Standard form för gjutning av provstavar för tester av mekaniska egenskaper kombinerade så att referensprov och test prover kan gjas samtidigt**

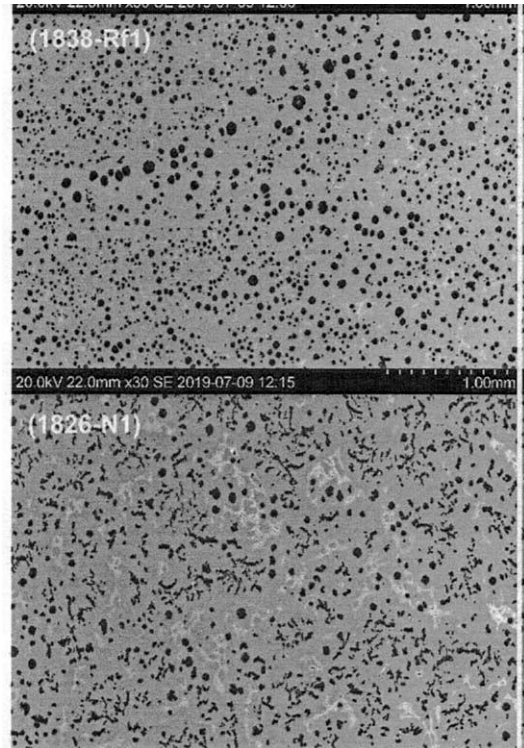
Tre olika oxider testades  
Kiseloxid, Järnoxid, Vatten  
Dessutom testades  
tillsats av järnnitrider

# Resultat

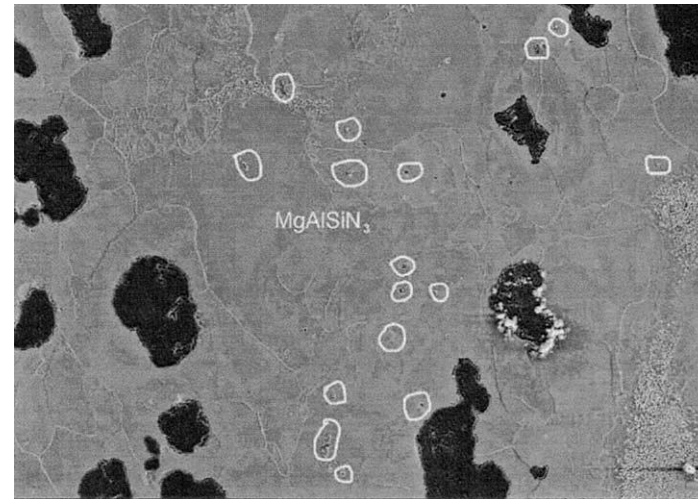
- Kiseloxid reagerar med magnesium och bildar magnesium oxider. I små mängder ökar antalet grafitnoduler. I större mängder förändras grafitnodulerna morfologi från sväriska till mer avlånga.
- Järenoxid har samma effect som kiseloxiden.
- Vatten reagera med Magnesium och ger Magnesiumoxider samt löser in väte i smältan. Små halter ger en ökande andel grafitnoduler större mängder ger en förändring av grafitmorfologin

# Resultat av tillsats av järnnitrider

Ingen effect på antalet noduler



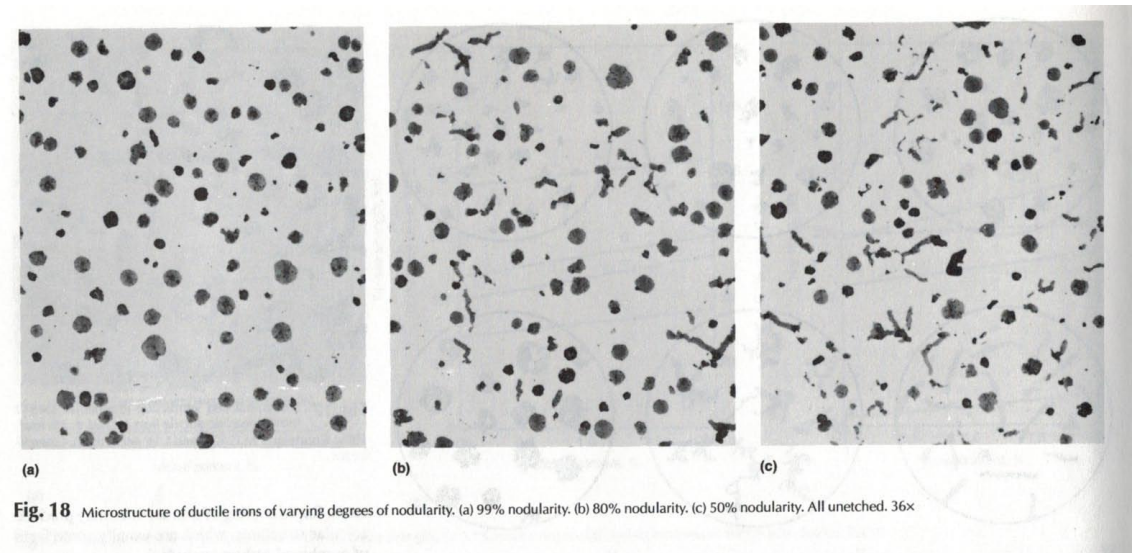
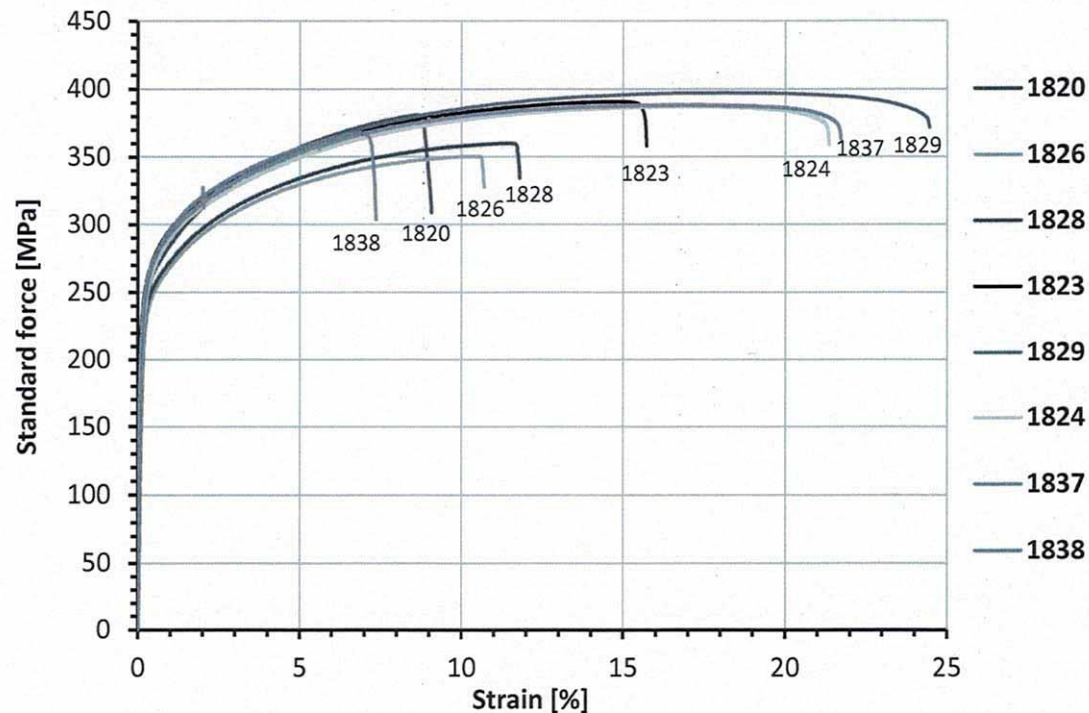
Magnesiumnitrider bildas i smältan och under stelningprocessen



Nitriderna binder magnesium och minskar halten av magnesium i smältan och ger en ändring av grafitmorfologim

Magnesiumhalten i smältan kommer nära det kritiska värdet på 0.04 %

# Effekten av en ändring av grafitmorfologin på de mekaniska egenskaperna



Ökning av vermicular grafit minskar duktiliteten  
Ingen effekt av förhöjd vätehalt

# Slutsats angående tillsatser som reagerar med magnesium

Vid små tillsatser av ämnen som reagerar med det lösta magnesiumet i smältan och ger magnesiumoxider. Då får man en gynnsam effect på nodulbildningen med fler noder

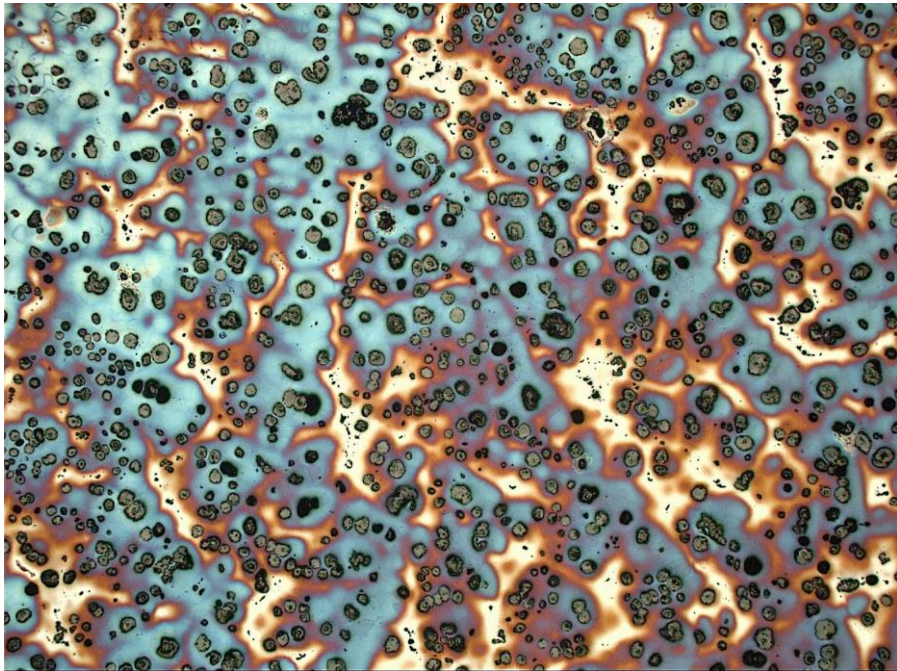
Vid stora tillsatser bildas så många och så mycket magnesium oxid så att Magnesium halten i smältan minskar till nivåer där grafitmorfologin ändras

Ökning av vätehalten gav ingen effekt på de mekaniska egenskaperna  
Förutom den som observeras genom en ändring av grafitmorfologin

Grafitfördelningen i kapslar som  
dels gjutits stigande och dels  
gjutits fallande

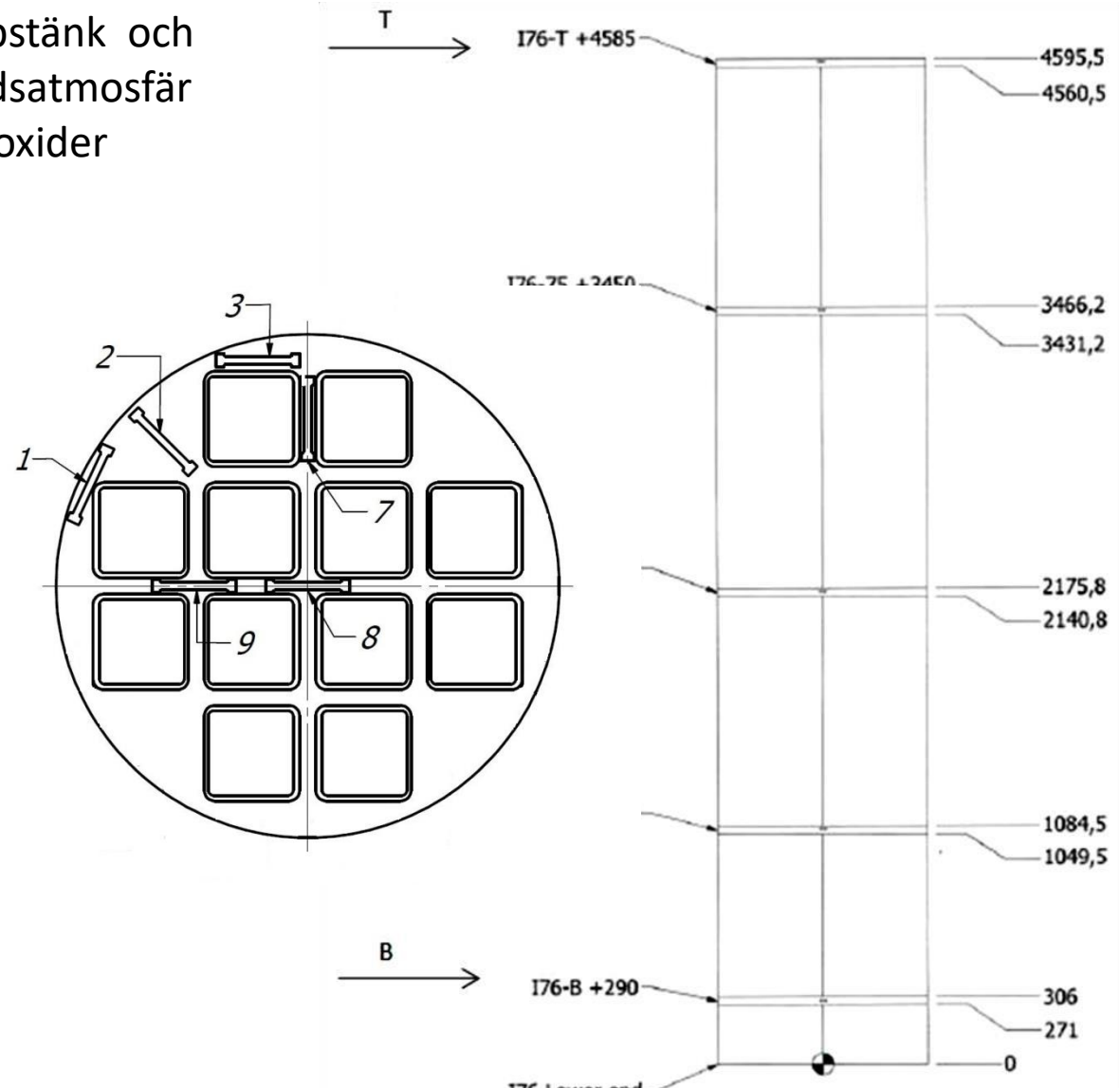
# Fallgjutning

En fallhöjd på smältan av 5 meter ger upphov till upstänk och en mycket orolig överyta hos järnet. Då ingen skyddsatmosfär används sker en oxidation av smältan. Magnesium oxider bildas och en stor mängd grafitnoduler bildas

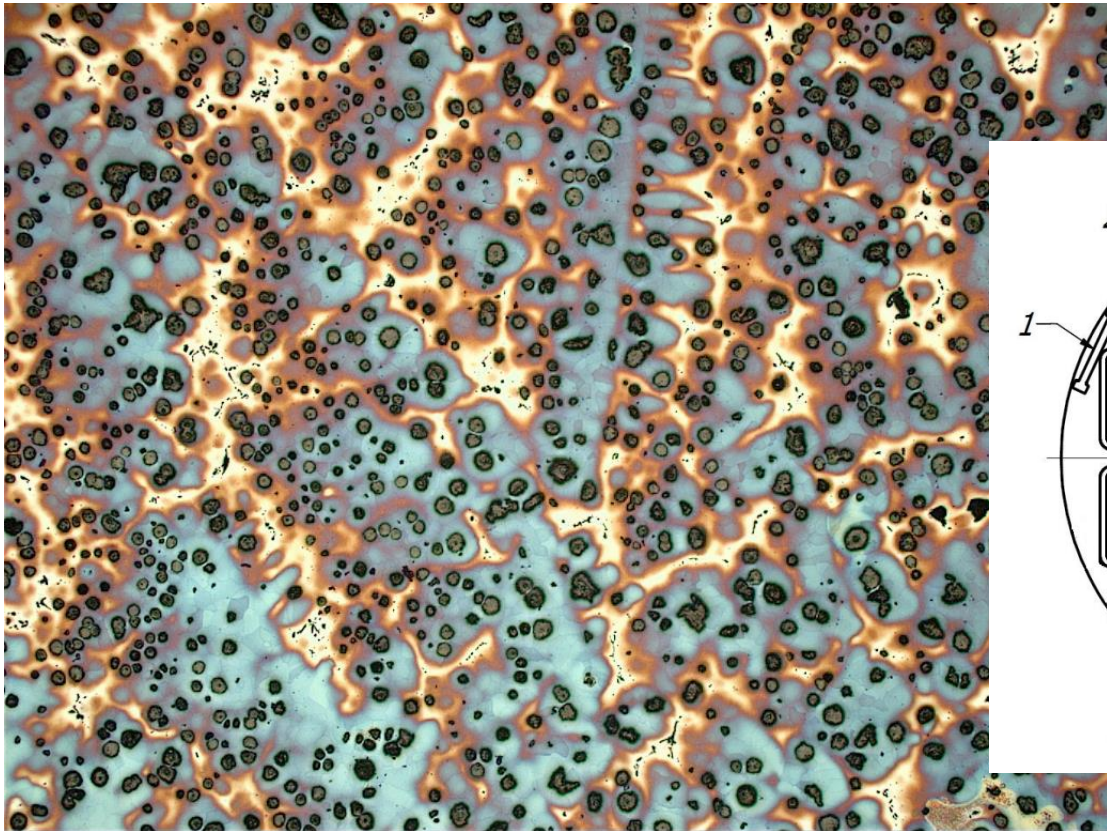


**Grafitnodul clusters bildas**

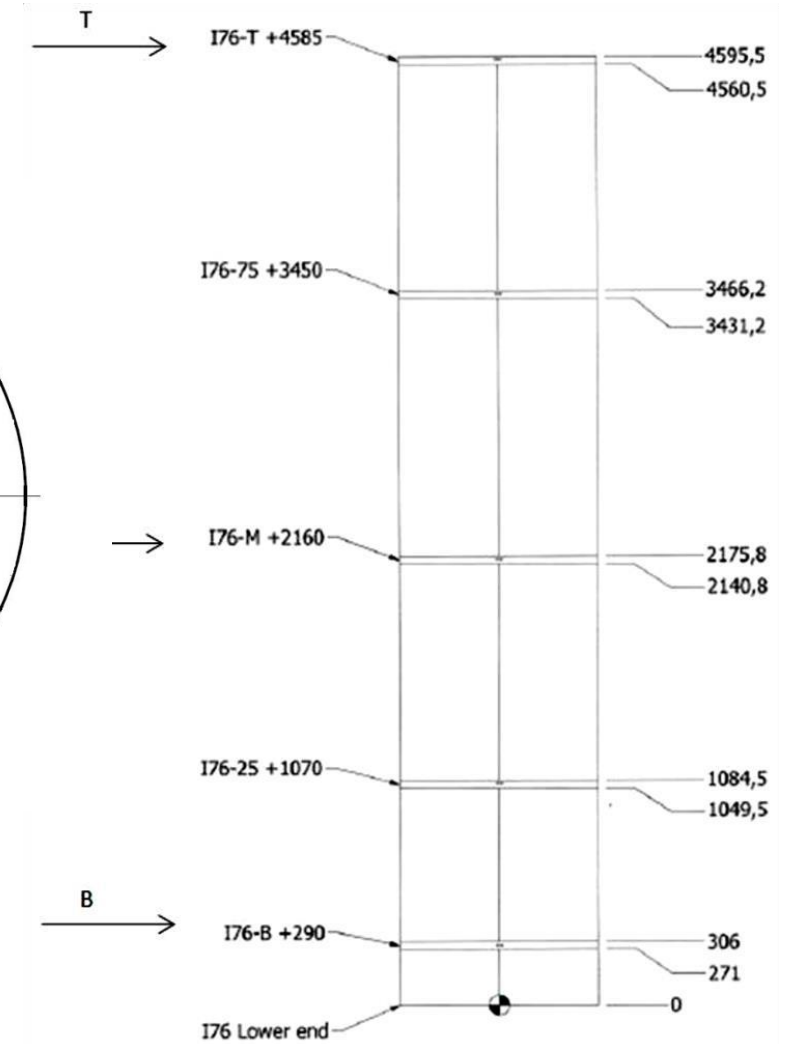
Bilden är från provstav 2



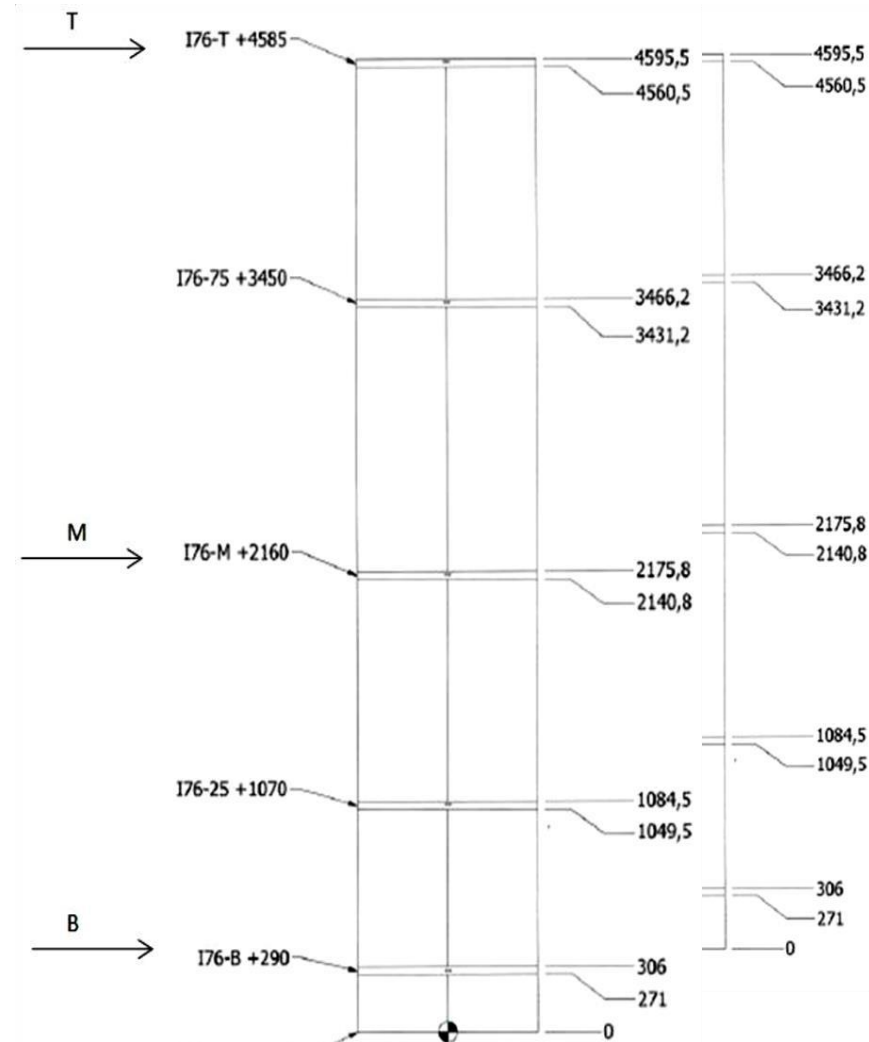
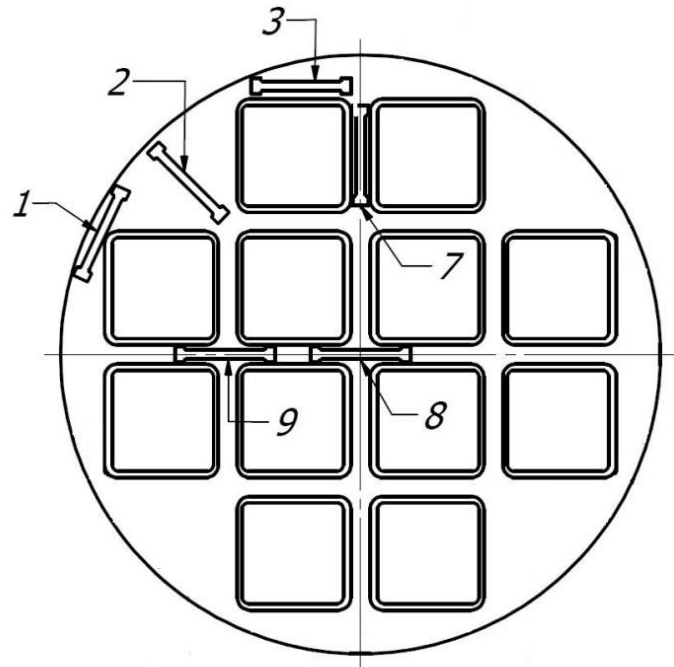
# Stiggjutning



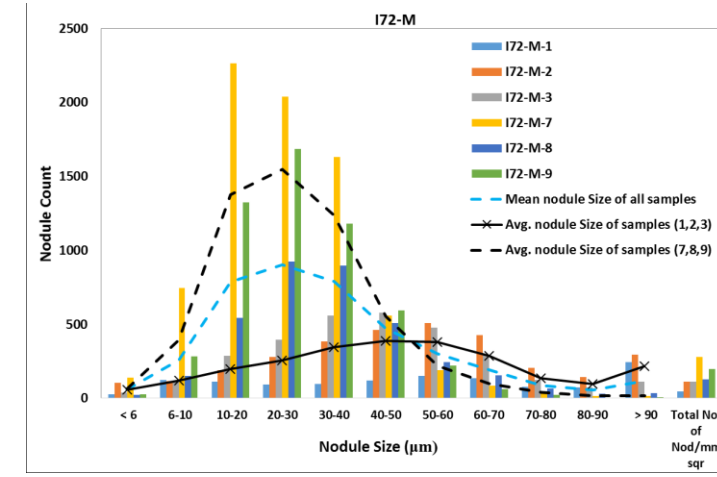
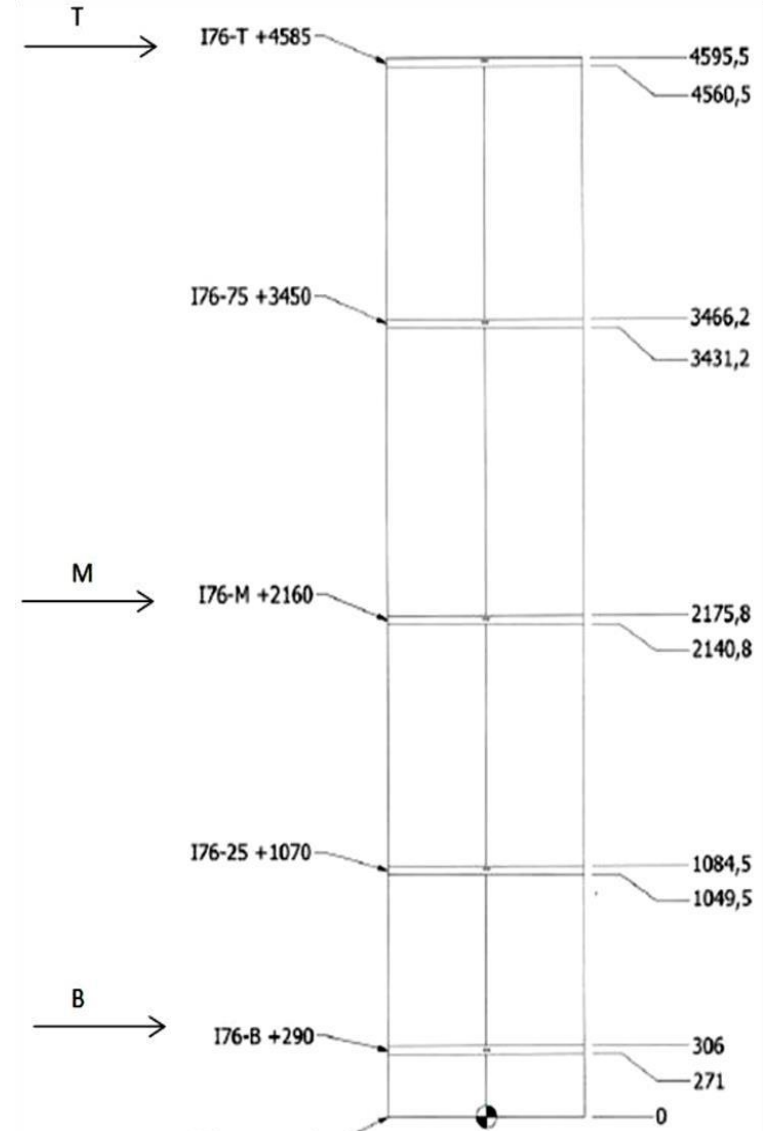
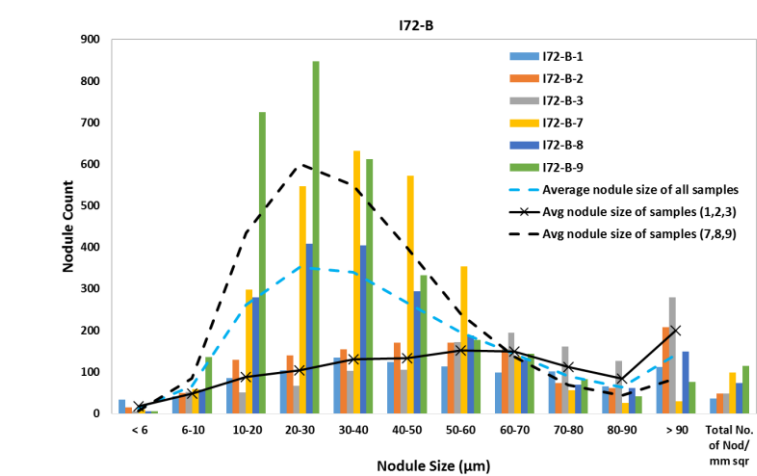
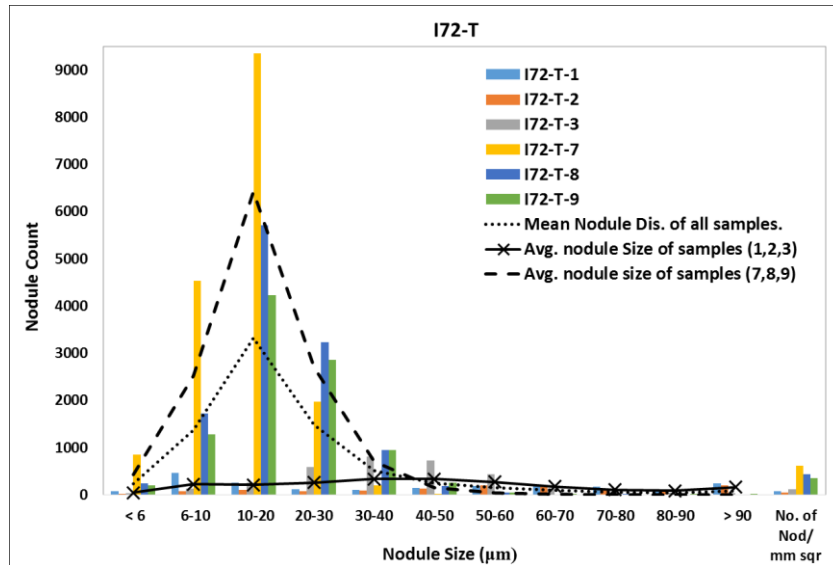
Lugnare fyllförlopp strukturen i provstav 2 liknar den som erhölls vid fallgjutning



# Stiggjutning visar dock stora skillnader i struktur för provstavarna mellan ståltuberna



# Fördelningen av antalet grafitnoduler vid stiggjutning

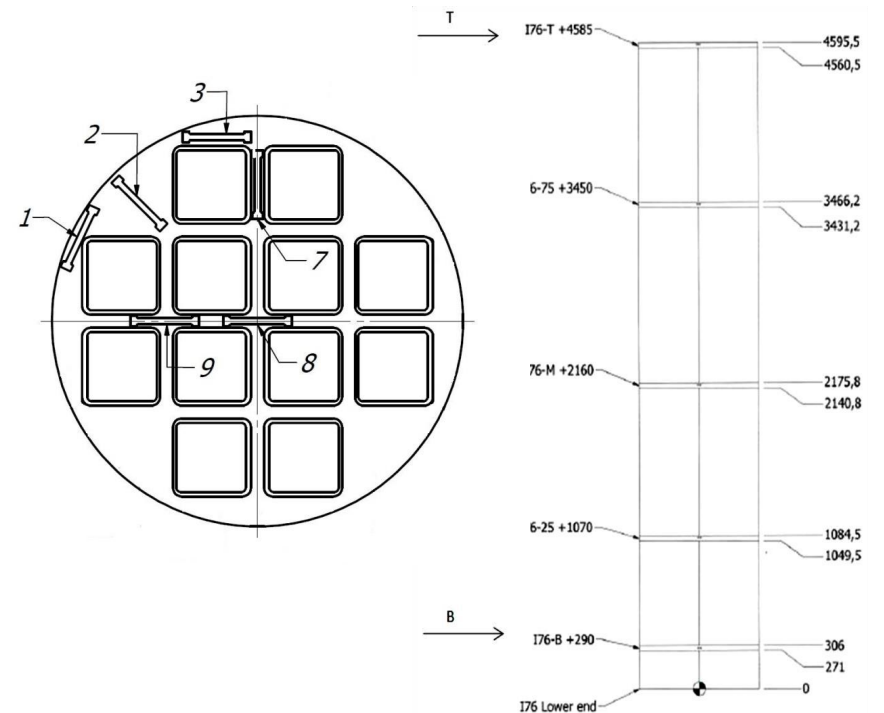


Many more small nodules in the top samples

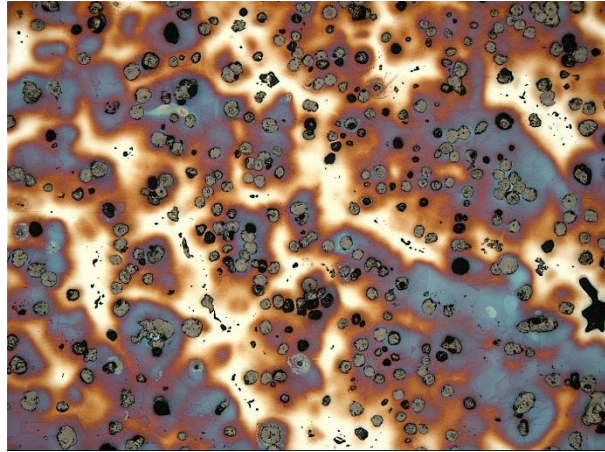
# Förklaring till skillnad i struktur mellan fallgjuten och stiggjuten insats

- Stor mängd grafitnoduler bildas i smältan före bildning av järnfasen  
Därför marginell skillnad i struktur i områden med stor volym smälta

- Ståltuberna oxideras i övre delen av formen på grund av strålning från smältans överyta och varm het luft med syre som stiger uppåt  
Magnesiet i smältan reagerar med järnoxiden och ger magnesium oxider  
Som kärnbilder grafirtnoduler

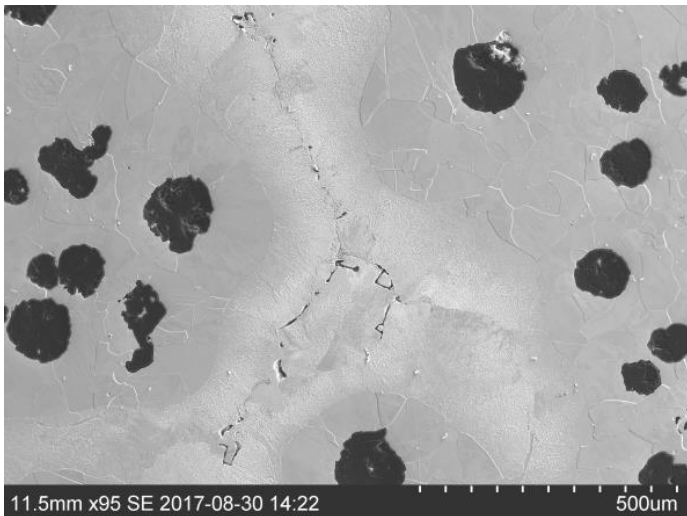


# Svaghets zoner i strukturen

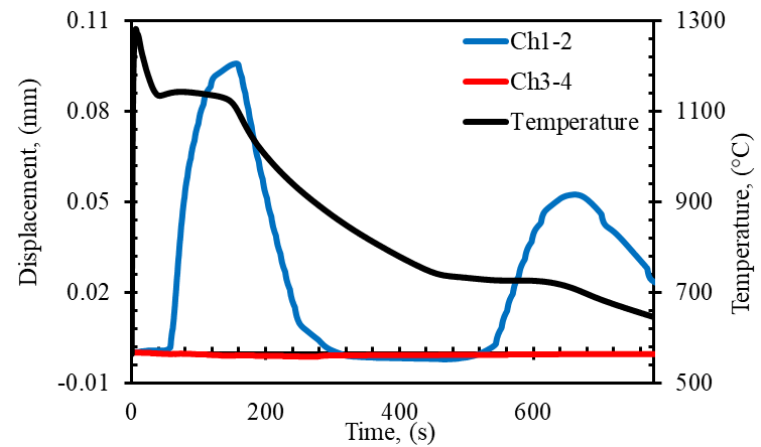
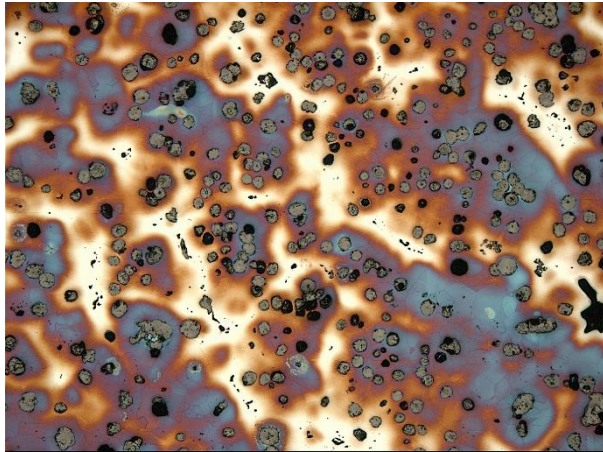


De sist stelnade delarna i mikrostrukturen har en liten andel grafitnoduler. De innehåller porer karbider och andra inneslutningar. Dessa zoner utgör svaga mekaniska delar och utgör anvisare för sprödbrott.

**Designa gjutprocessen så att porbildning undviks i dessa områden samt försöka fördela dem så jämt som möjligt och göra dem så små som möjligt**



# Expansion och kontraktion under stelningsprocessen



Dilatometer mätningar under stelningsförloppet visar en expansion av den fasta fasen så länge som grafit bildning och grafit tillväxt sker  
När grafit tillväxten upphör sker en krympning  
Porbildning sker då  
Svaghetszoner bildas

# Ideal struktur

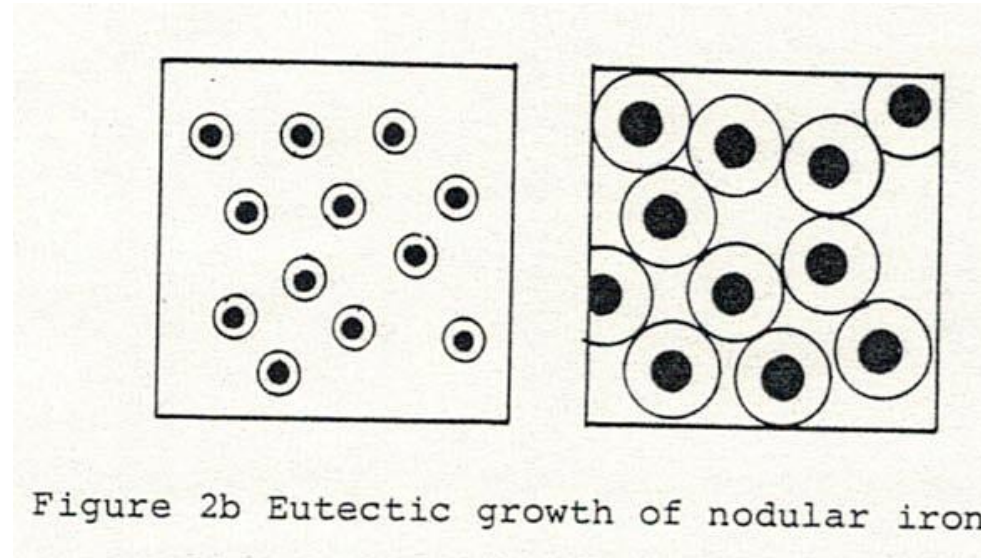
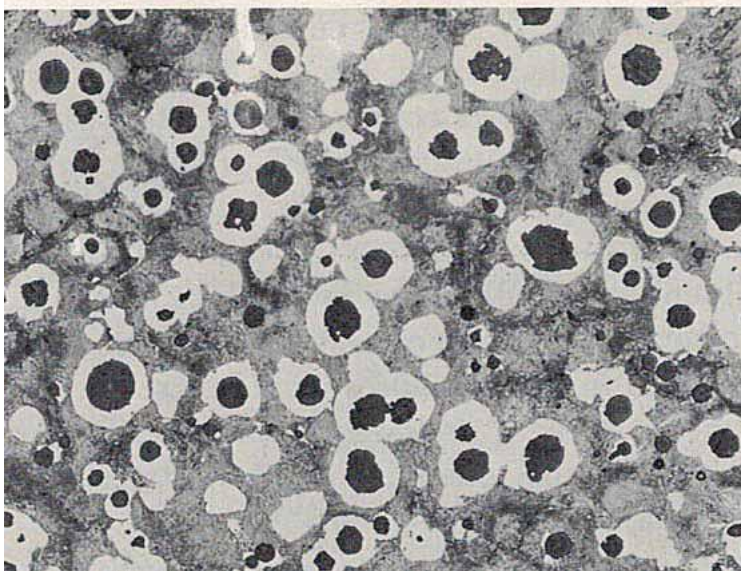


Figure 2b Eutectic growth of nodular iron

Stor andel jämt fördelade noder av olika storlek är önskvärt. Ger information om att grafitnoder bildas under hela stelningsprocessen

Teorin och experiment visar att detta är möjligt om Magnesiumhalten är tillräckligt hög i smältan.

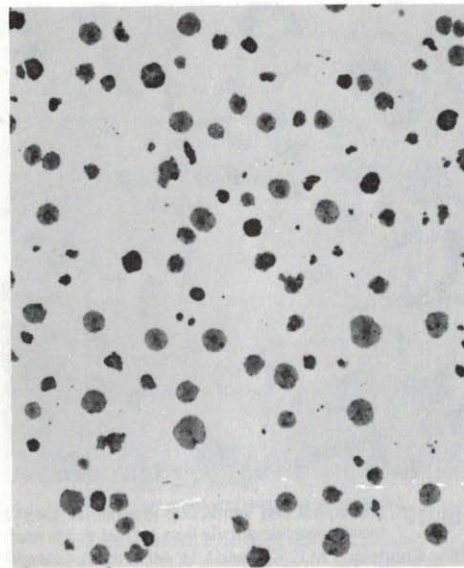
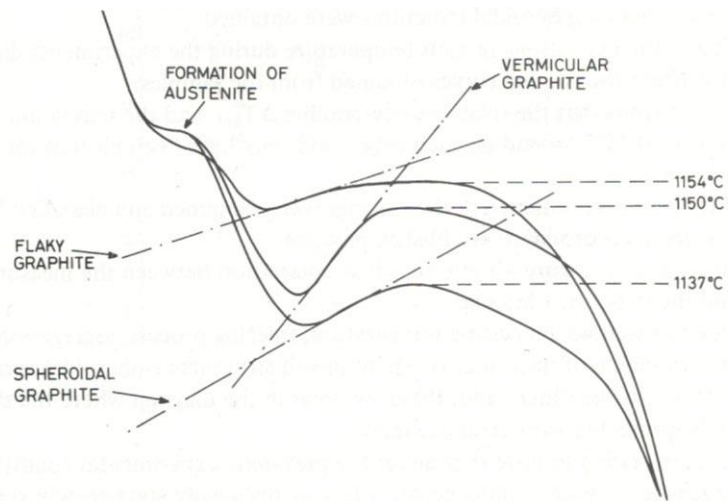
Vid gjtning av insatser konsumeras en stor del av magnesium mängden till följd av oxidationen  
Inga noder bildas på slutet

# Smältnings kontroll

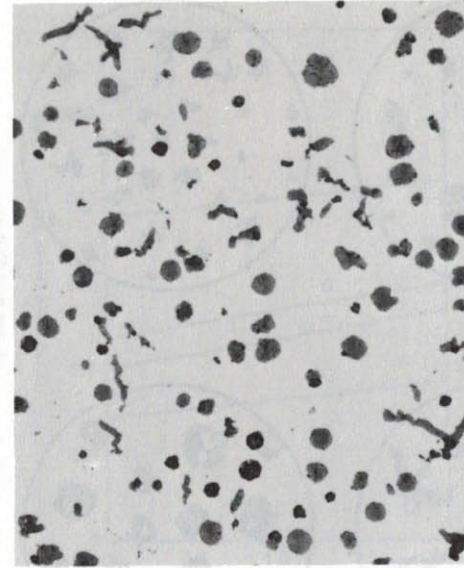
- Gjuttemperaturen och smälttemperaturen bestämmer syre halten i smältan och därmed mängden magnesium som skall tillsättas.
- Smältans sammansättning viktig. Föroreningar bör undvikas. Svavelhalten påverkar utbytet av magnesium
- En möjlighet att kontrollera smältans kondition efter magnesiumbehandlingen vore att införa en test av typen termisk analys

# Termisk analys

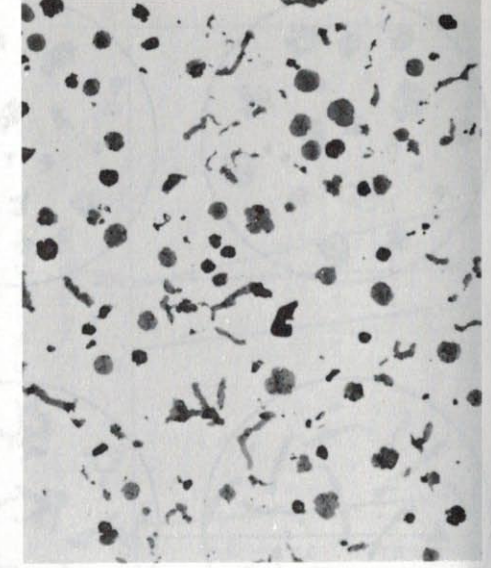
Smälta gjuts i en liten sandkopp  
Temperatur tid kurva registreras  
Kurvans form avslöjar grafit morfologin



(a)



(b)



(c)

**Fig. 18** Microstructure of ductile irons of varying degrees of nodularity. (a) 99% nodularity. (b) 80% nodularity. (c) 50% nodularity. All unetched. 36x

# Skyddad gjutning

- Atmosfären i gjutformen är viktig.
- Oxidering skall undvikas
- Vid konventionell gjutning blandas grafitpulver i sanden som brinner under gjutförloppet och ger en reducerande atmosfär. Detta borde testas även här.
- Oxidation av ståltuber kanske kan undvikas om dessa målas med ett tunt lager av tjära

Tack till SKB för ekonomiskt stöd  
Tack till Rikard Källbom som diskussionspartner  
Speciellt tack till Urban Fagerström vid  
Roslagsgjuteriet för hans hjälp med  
experimenten