



STØBERIET

NR. 4 · DECEMBER 2025 · 102. ÅRGANG



LÆS INDE I BLADET

FORÅRSMØDE HOS FERRODAN

DIGITALISERING OG ENERGIEFFEKTIVITET – GØR DIT STØBERI KONKURRENCEDYGTIGT

DANSAND, MERE END BARE SAND

CALDERYS OG ACETARC INDGÅR PARTNERSKAB

HOW NOVACAST THERMAL ANALYSIS WORKS IN FOUNDRIES

VALG AF DEN OPTIMALE SLYNGRENSNINGSPROCES

ALTERNATIV TIL FØRTIDSPENSION

Praktisk anvendelse af Novacast ATAS METSTAR

AF ANDREJ KUMP, TECHNICAL MANAGER, METALLURGY, NOVACAST SYSTEMS AB

Termisk analyse er en metode til at vurdere størkningsforløbet for smeltet metal ved at registrere dets afkølingskurve i en prøvekop med et termoelement.

I 1950'erne og 60'erne var termisk analyse et relativt simpelt værktøj. Afkølingskurvens arrestpunkt (liquidustemperaturen) blev målt, og ud fra dette beregnede støberier kulstofækvivalenten (CE), som blev brugt til at styre kulstof- og siliciumindholdet i støbejern. Udstyret bestod ofte blot af et registrerende termoelement og en plotter – langt fra de digitale systemer, vi kender i dag.

På det tidspunkt var kulstofstyring den vigtigste faktor, da CE har stor indflydelse på hårdhed, svind og bearbejdelighed. Først senere – fra 1970'erne og 80'erne – med computerteknologiens indtog, blev der udviklet mere avancerede analysemetoder, såsom første- og anden afledede funktion af afkølingskurven, indeks for podningseffektivitet, porøsitetstendens og risiko for karbiddannelse. Software som ATAS MetStar forvandlede metoden fra et simpelt kulstofberegnaværktøj til et egentligt metallurgisk proceskontrollsystem.

HVAD NOVACAST TILBYDER

For at forbedre støberiers effektivitet har NovaCast udviklet intelligente systemer, der optimerer støbeprocesser for at øge kvaliteten og reducere omkostningerne. Færre fejl og defekter forbedrer produktionsnøjagtigheden. Novacast tilbyder brugervenlige simuleringsprogrammer til støbning samt systemer til metallurgisk proceskontrol (se fig. 1).

Med disse værktøjer kan støberier opnå:

- Færre fejl og defekter = højere nøjagtighed
- Større udbytte, fordi mindre materiale skal smeltes
- Reduceret anvendelse af skadelige stoffer
- Lavere materialeforbrug
- Lavere energiforbrug

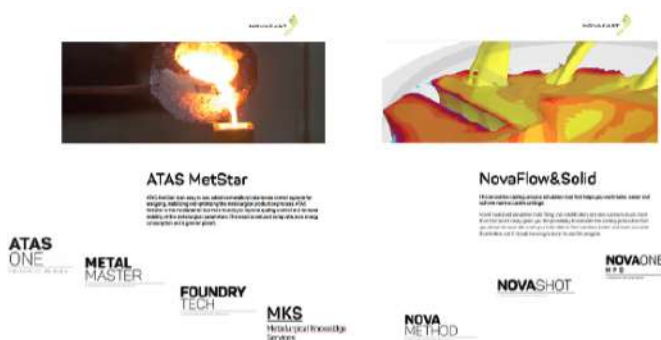


Fig. 1: Brugervenlige simuleringsprogrammer

ATAS METSTAR

Et af NovaCasts metallurgiske proceskontrollsystemer er ATAS MetStar, som denne artikel omhandler.

ATAS (Adaptive Thermal Analysis System) MetStar er et brugervenligt, adaptivt metallurgisk proceskontrollsystem til analyse, stabilisering og optimering af den metallurgiske produktionsproces. Systemet er udviklet ud fra et metallurgisk perspektiv og bygger på mange års støberierfaring – både fra NovaCasts egne specialister og fra kundernes daglige udfordringer. Formålet er at etablere rutiner og regler, der understøtter en lean produktionsmetode.

ATAS MetStar er et uundværligt værktøj for støberier, der ønsker at forbedre kvaliteten, øge proceskontrollen og skabe større stabilitet i de metallurgiske parametre. Resultatet er lavere kassationsprocent, reduceret energiforbrug og et mere bæredygtigt miljø.

Processen i ATAS MetStar består af tre faser, nemlig analysere, stabilisere og optimere.

ATAS MetStar forudsiger mulige støbefejl såsom mikro- og makrosvindporøsitet, hvidstørkning (cementitdannelse), omvendt kokillevirkning samt viser smeltens iltindhold og de forventede mekaniske egenskaber.

SÅDAN FUNGERER ATAS METSTAR I PRAKSIS

Termisk analyse bygger på måling af afkølingskurven for en lille prøve af smeltet jern, mens den størkner i en testkop (fig. 2) udstyret med et termoelement.

Afkølingskurven giver et detaljeret billede af størkningsprocessen, hvor tydelige arrestpunkter svarer til liquidus-, eutektisk- og solidus-transformationerne. Disse arrestpunkter anvendes i beregninger – men som vist i fig. 3 er de ikke altid lette at identificere med almindeligt udstyr.

Forskellen mellem simpelt og avanceret analyseudstyr ligger i evnen til at genkende disse punkter præcist. Her udmærker ATAS MetStar sig ved at anvende den første- og anden afledede funktion af afkølingskurven (fig. 4), hvilket gør det muligt at identificere arrestpunkterne langt mere tydeligt og pålideligt.

Ud fra rådata fra termoelementet kan flere afledede funktioner beregnes. Som vist i fig. 5 vises afkølingskurvens 1., 2. og 3. afledede funktioner tydeligere de punkter, der er af metallurgisk interesse.

1. Den første afledede funktion (dT/dt)

Den første afledede funktion fremhæver de termiske arrestpunkter – liquidus, eutektisk start og eutektisk slut – og danner grundlag for beregning af:

- Aktiv kulstofækvivalent (ACEL)
- Underafkøling og jernets morfologi: dT/dT_S (første

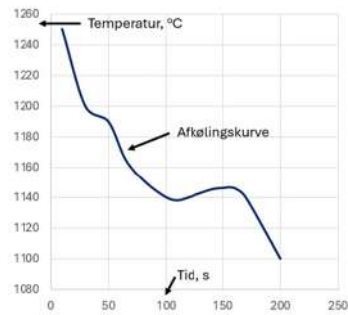


Fig. 2: Test cup og tilhørende testkurve

afledte ved solidustemperaturen; dybden af det negative peak).

- En lav værdi er ønskelig, da den hænger sammen med en høj andel af eutektisk grafit ved størkningens afslutning, hvilket typisk betyder et højt nodultal i sejjern.
- Recalescence (podningseffektivitet og kimdannelse-potentiale)

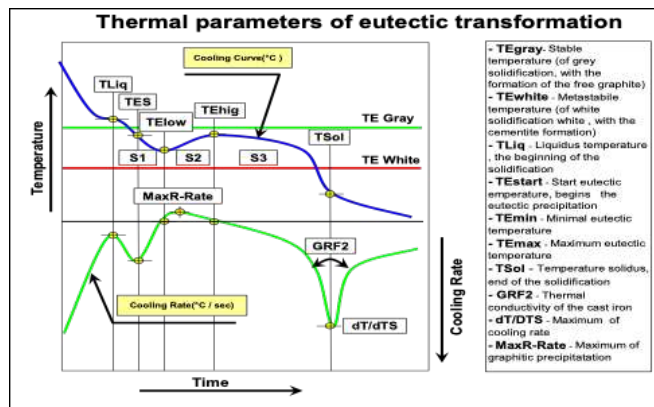


Fig. 4: Afkølingskurve (blå) og den første afledede funktion (grøn)

2. Den anden afledede funktion (d^2T/dt^2)

Den anden afledede funktion giver skarpere infleksionspunkter, som gør det lettere at opdage subtile fænomener som:

- Graden af underafkøling vs. recalescence
- Udvikling af latent varme (grafitudfældning)

3. Den tredje afledede funktion (d^3T/dt^3)

Den tredje afledede funktion bruges til beregning af DCP (Dendrite Coherency Point).

- DCP markerer det kritiske tidspunkt i størkningsforløbet, hvor dendritter begynder at danne et sammenhængende netværk.
- Den tredje afledede funktion giver et tydeligere billede af de overgangsfænomener i afkølingskurven, som hænger sammen med mikrostrukturelle ændringer.
- I ATAS-softwaren vises den tredje afledte typisk som en lyseorange kurve, der hjælper med at visualisere disse fænomener.

PORØSITETSRIKISO

Porøsitetsrisiko vurderes ud fra:

- Dybden og varigheden af eutektisk underafkøling
- Afkølingshastigheden efter eutektisk størkning
- Hædningskarakteristikker (ofte udledt af 2. afledede funktion), der indikerer balancen mellem grafitudfældning og svindtendens

KARBIDTENDENS

Karbidtendens vurderes ud fra:

- Langvarig underafkøling før eutektisk arrest
- Kort eller manglende recalescence (svag grafitkimdannelse)
- Specifikke træk i 2. afledede funktion, hvor eutektisk kimdannelse forsinkes → karbider dannes i stedet for grafit.

PRAKTISK ANVENDELSE AF ATAS

En lille prøve af den flydende smelte hældes i en termisk analyse-kop, der indeholder et eller flere termoelementer. Temperaturen registreres med høj præcision, mens metallet størkner i koppen.

ATAS registrerer hele størkningskurven (temperatur over tid), og softwaren analyserer kurvens form for at udlede metallurgiske egenskaber:

- Starttemperatur → indikation af overophedning
- Eutektisk punkt og grafitdannelse → viser grafitiserings-tendensen
- Underafkøling og recalescence → afslører risiko for hvidstørkning eller porøsitet
- Størkningstid og hældning → indikerer sandsynlig struktur (finkornet, grovkornet, gråt/hvidt støbejern)

Ud fra kurverne beregner ATAS bl.a. følgende metallurgiske parametre:

- Aktiv kulstofækvivalent (ACEL)
- Forventet mikrostruktur (gråt, sejjern, risiko for karbider)
- Grafitmorfologi samt kulstof- og siliciumindhold
- Svind- og porøsitetstendens
- Behov for justeringer (f.eks. Mg-tilsætning ved sejjern, inokulering, temperaturkorrektio)
- Iltindhold (aktiv styring af Mg-tilsætning ved sejjern)

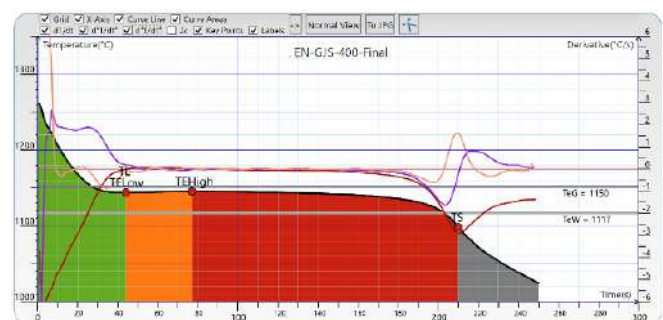


Fig. 5: ATAS skærbillede med afledede funktioner (1. = rød, 2. = lilla, 3. = orange)

Operatøren får straks en rapport på skærmen med:

- Numeriske værdier (ACEL, C, Si-indeks m.m.)
- Farvekoder: Grøn = OK. Gul = Risiko. Rød = Justering påkrævet
- Fejlforudsigelse, fx mikro-, makrosvind og hvidstørkning
- Konkrete anbefalinger fra Process Advisor, fx: "Tilsæt 0,05 % Si". "Forøg podningstilsætning" "Tilsæt 0,1 vægt% prekonditioner"

PROCESOPTIMERING

- Resultaterne bruges til at justere smelten før udstøbning, hvilket reducerer risikoen for fejl.
- Over tid kan støberiet anvende dataene til statistisk proceskontrol, receptstyring og løbende forbedring af udbyttet.
- MasterMind er et avanceret lineært korrelationsværktøj integreret i ATAS MetStar.
 - Ved korrekt anvendelse kan ATAS MetStar forudsige defekter, mekaniske egenskaber, justeringsbehov og andre parametre
 - Systemet giver dermed en proaktiv løsning for smelteværkstedet, skræddersyet til den enkelte støberis behov.

KAN MAN STOLE PÅ RESULTATERNE FRA NOVACAST?

Det er et naturligt spørgsmål: Hvordan kan en matematisk differentiering af en simpel afkølingskurve give information om svind, hvidstørkning, indeslutninger osv.?

Forklaringen ligger i målenøjagtighed, databehandling og erfaring:

- Ved hjælp af højpræcise termoelementer, stabil dataopsamling og avancerede filtreringsalgoritmer i softwaren kan man opnå meget rene signaler for den første og anden afledede funktion.
- Selv den tredje afledede funktion, som er meget følsom over for støj, kan frembringe brugbare signaler, hvis udstyret og filtreringen er i orden.

Men – det man ser, er ikke en direkte "defektsignatur". Det er et signaltræk: et toppunkt, en hældningsændring eller en lokal oscillation.

Ud fra disse signaler – eller kombinationer af dem – er der gennem observation, eksperimenter og forskning udviklet teorier om mulige årsager til visse defekter. Disse teorier er siden blevet testet, bekræftet eller forkastet gennem både akademisk og industriel praksis.

I videnskabelige publikationer er antallet af eksperimentelle prøver ofte begrænset (ofte kun 5–20 pr. betingelse). Mange resultater bygger på simuleringer, analytiske modeller eller litteratursammenligninger. Sådanne studier har primært illustrativ og teoretisk værdi.

I industrien derimod, styrkes validiteten markant, fordi systemet er integreret i den daglige produktion.

I et støberi kan hver eneste smelte analyseres – det giver titusindvis af datapunkter om året.

Softwareleverandører som NovaCast bygger derfor deres indeks for porøsitet, karbidtendens, svind mv. ikke på et dusin laboratorietests, men på flere års opsamlede industridata, valideret mod faktiske støberesultater.

KONKLUSION

NovaCast ATAS MetStar® (Adaptive Thermal Analysis System) er et proceskontrolværktøj til støberier – især jernstøberier – udviklet til at analysere størkningsprocessen for smeltet metal i realtid. Det giver direkte tilbagemelding om smeltens kvalitet og støbningens egenskaber.

Termisk analyse bygger på måling af afkølingskurven for en lille prøve, der størkner i en testkop med termoelement.

Afkølingskurven viser størkningsforløbet med karakteristiske arrestpunkter for liquidus og eutektiske transformationer. For at udtrække mere præcise oplysninger beregner systemet kurver baseret på de afledede funktioner af temperaturforløbet.

ATAS kombinerer disse signaler med metallurgiske modeller for at beregne kvalitetsindeks såsom porøsitetstendens, karbidtendens og grafitudfældningspotentiale. Systemet kan forudsige risikoen for defekter såsom mikrosvind- og makrosvindporøsitet, hvidstørkning, omvendt kokilledannelse, iltindhold og forringede mekaniske egenskaber.

NovaCast har desuden påvist en korrelation mellem det termiske modul og ACEL-værdien, hvilket gør det muligt at opnå eutektisk morfologi i sejjernsstøbninger af enhver størrelse – og dermed forhindre makrosvindporøsitet.

Disse indeks giver støberingeniører real-time indsigt i smeltekvaliteten, så korrigerende handlinger kan iværksættes straks – før udstøbning finder sted.

Operatøren ser normalt ikke de afledte kurver direkte; ATAS MetStar omsætter dem i stedet til risikoindeks og farvekoder, som muliggør forudsigende processtyring. Før støbningen kan man således se, om smelten har tilstrækkelig grafitkindannelse, eller om der kræves justering af smelten.

Kort sagt er ATAS MetStar et vigtigt værktøj for støberier, der vil forbedre kvalitet, proceskontrol og metallurgisk stabilitet. Resultatet er lavere kassationsprocent, mindre energiforbrug og en grønnere og mere bæredygtig produktion.

Oversat for STØBERIET af Herbert Wolthoorn vha. AI.

How NovaCast Metallurgical Process control works in Foundries

Thermal analysis is a method to evaluate the solidification behavior of molten metal by recording its cooling curve in a sample cup with a thermocouple.

In the 1950s–60s, thermal analysis was a relatively simple tool. The cooling curve arrest point (liquidus temperature) was measured. From that, foundries calculated the Carbon Equivalent (CE), which was used to control carbon and silicon in cast iron. The equipment was often just a recording thermocouple with a pen-plotter, nothing like today's digital systems.

At that time, carbon control was the main driver, because CE strongly influences hardness, shrinkage, and machinability. Only later (1970s–80s onward) with the use of computer technology did more sophisticated analysis develop, e.g. first and second derivatives of the cooling curve, indices for inoculation efficiency, porosity tendency, and carbide risk.

Software like ATAS MetStar turning the method from a *carbon calculator* into a *metallurgical process control system*.

What is NovaCast offering

To improve foundry efficiency, NovaCast has developed smart systems that streamline casting processes to enhance quality and reduce costs. Less errors and defects boost production accuracy. NovaCast provides user-friendly casting simulation programs and metallurgical control systems (see fig. 1). With these tools, foundries can achieve:

- » Less errors and less defects = higher accuracy
- » Higher yield because less material is melted
- » Decrease usage of harmful substances
- » Reduced material consumption
- » Lower energy consumption



ATAS MetStar

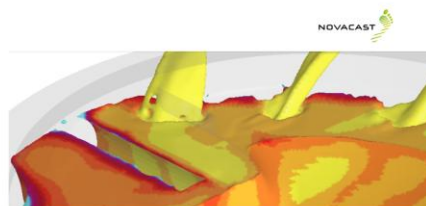
ATAS MetStar is an easy to use, adaptive metallurgical process control system for analyzing, stabilizing and optimizing the metallurgical production process. ATAS MetStar is the fundamental tool for a foundry to improve quality, control and increase stability of the metallurgical parameters. The result is reduced scrap rate, less energy consumption and a greener plant.

**ATAS
ONE**
A NOVACAST SYSTEM PROJECT

**METAL
MASTER**
A NOVACAST SYSTEM PROJECT

**FOUNDRY
TECH**
A NOVACAST SYSTEM PROJECT

MKS
Metallurgical Knowledge
Services



NovaFlow&Solid

The innovative casting process simulation tool that helps you work faster, easier and achieve more accurate castings. NovaFlow&Solid simulates mold filling and solidification and also contains much more than that and it really gives you the possibility to simulate the casting production that you dream to have. We want you to be able to find solutions faster and more accurate than before and it should be easy to learn to use the program.

NOVASHOT
A NOVACAST SYSTEM PROJECT

**NOVAONE
HPD**
A NOVACAST SYSTEM PROJECT

**NOVA
METHOD**
A NOVACAST SYSTEM PROJECT

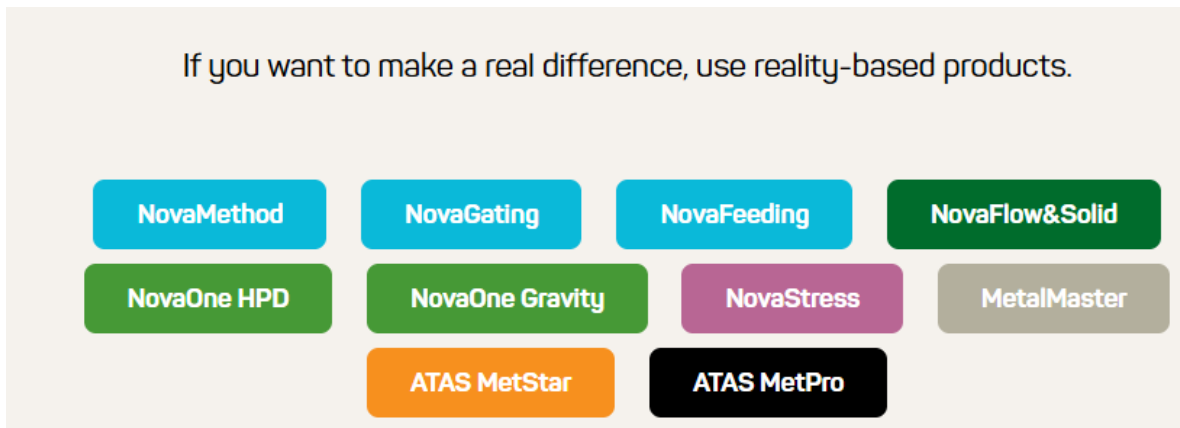


Fig. 1: NovaCast process control systems

ATAS MetStar

One of NovaCast's metallurgical process control systems is ATAS Metstar, which this article is dealing with.

ATAS (Adaptive Thermal Analysis System) MetStar is an easy to use, adaptive metallurgical process control system for analyzing, stabilizing and optimizing the metallurgical production process. The system has been developed from a metallurgical point of view, based on years of foundry experience both from NovaCast's own personnel but also customers' day-to-day challenges. The system is used to create routines and rules for developing a lean production method.

ATAS MetStar is the essential tool for a foundry to improve quality, control and increase stability of the metallurgical parameters. The result is reduced scrap rate, less energy consumption and a greener planet.

The analyze phase consists of analyzing a number of physical samples of a specific alloy or melt quality and find the best practice. The stabilizing phase consists of extracting data from the analysis and defining the unique fingerprint for a specific desired quality to secure the best practice. The optimizing phase is the final stage of our process where fine tuning and improving the best practice takes place.

This leads to a process with less variations and a stable quality and results in lowering the amount of scrape rate, decreasing energy usage, and supporting environmental sustainability.

ATAS MetStar predicts the possible risk for defects in the castings such as; micro shrinkage porosity, macro shrinkage porosity, chill tendency (cementite), inverse chill tendency, oxygen content and mechanical properties.



Fig. 2: Analyze, Stabilize and Optimize stage of implementation

How ATAS MetStar works in practice

Thermal analysis is based on measuring the cooling curve of a small molten iron metal sample as it solidifies in a test cup (fig. 3) equipped with a thermocouple.

The cooling curve provides a comprehensive outline of the solidification process, with distinct arrests corresponding to the liquidus, eutectic, and solid transformation phases. These arresting points are utilised in calculations; however, as illustrated in Figure 3, their indications are not always easy to detect by thermal analysis tool, which is the differences between moderate equipment and algorithms versus advanced options like ATAS MetStar. By applying the first and second derivatives to the cooling curve (Figure 5), these points can be identified more distinctly.



Fig. 2: Test cup

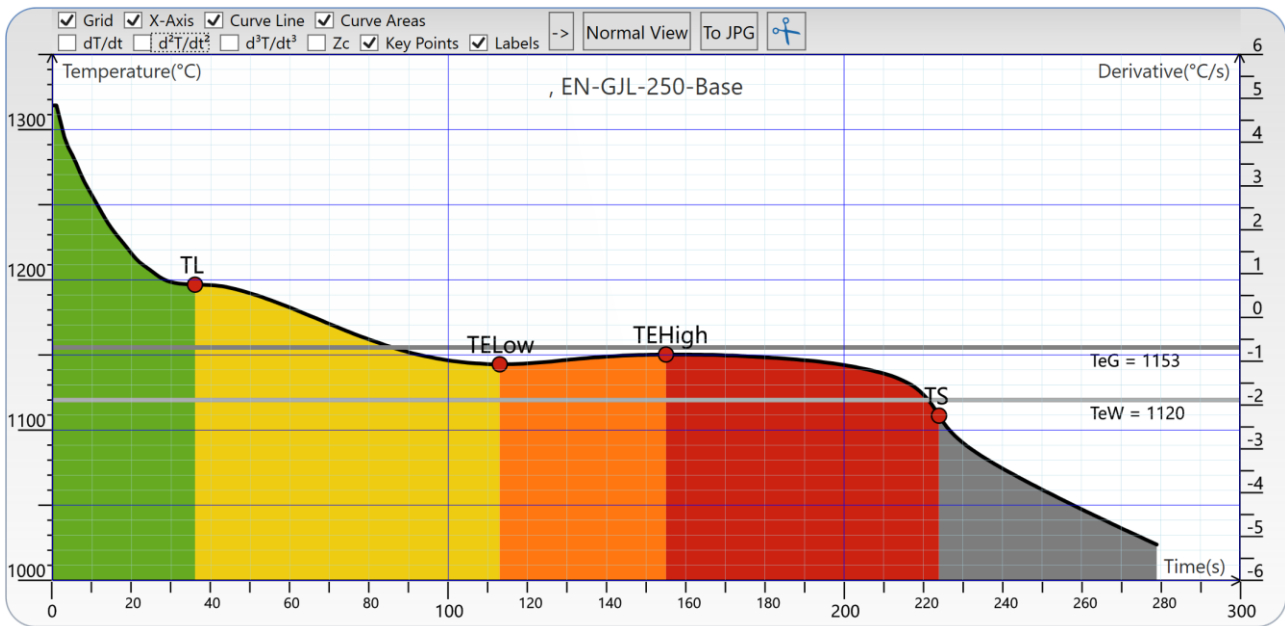


Fig. 3: Cooling curve

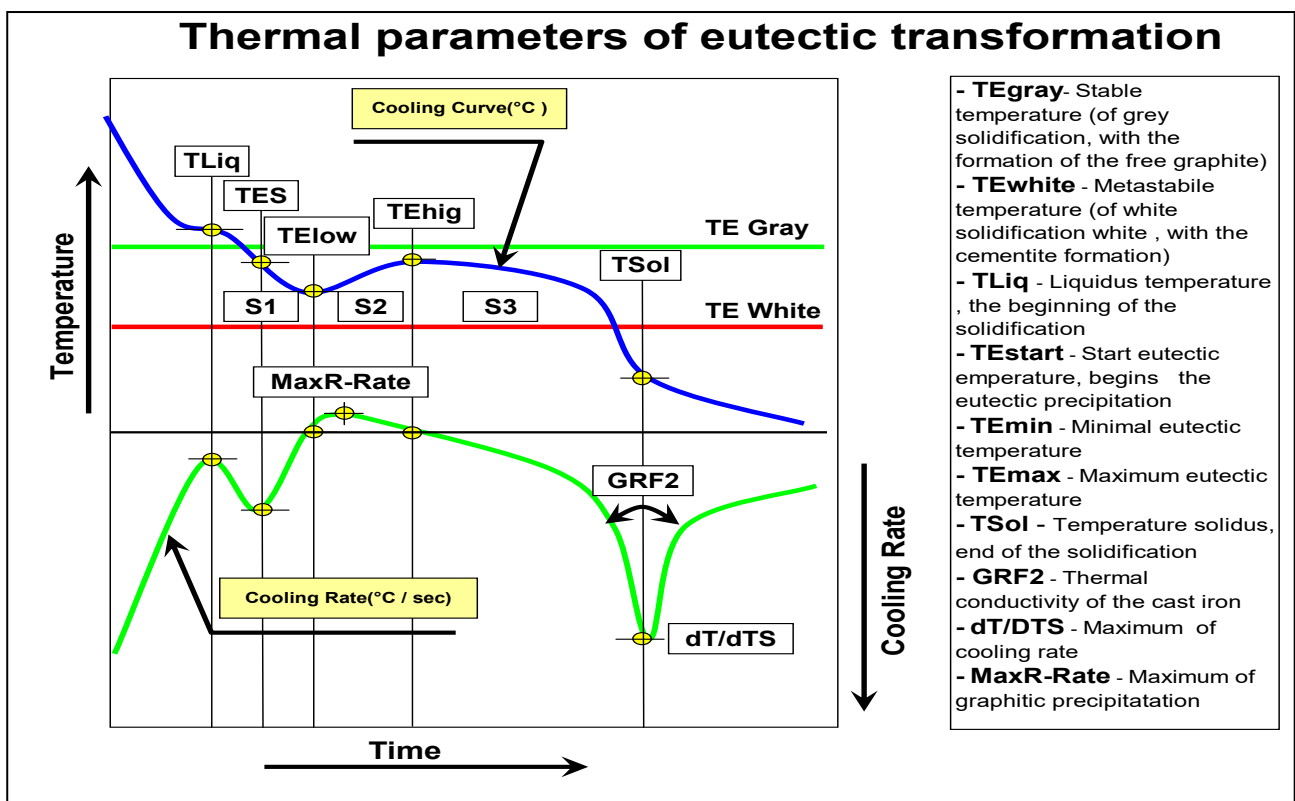


Fig. 4: Thermal parameters acquired from a cooling curve and cooling rate (1st derivative)

As shown on fig. 4 and 5 the 1, 2 and 3 derivatives more clearly show the points of interest.

- **Cooling curve (T vs. time):** Raw data from the thermocouple.
- **First derivative (dT/dt):** Highlights **thermal arrests** (liquidus, eutectic start, eutectic end) and is the basis for calculating:
 - Active Carbon Equivalent (ACEI)
 - Undercooling, morphology of iron, dT/dT_S (First derivative at solidus temperature; the depth of the negative peak. A low value is favorable, as it is correlated to a high amount of eutectic graphite at the end of freezing, usually associated with a high nodule count in ductile. and recalescence (inoculation efficiency, nucleation potential)
- **Second derivative (d^2T/dt^2):** Gives sharper inflection points, making it easier to detect subtle phenomena like:
 - Degree of undercooling vs. recalescence
 - Latent heat release (graphite precipitation)
- **Third derivative (d^3T/dt^3):** Calculation of DCP (dendrite coherency point).
 - DCP marks a **critical stage during solidification** when dendrites begin forming a connected network.
 - The third derivative provides a **clearer view of transitions** in the cooling curve linked to **microstructural changes**.
 - In ATAS software, the third derivative is typically shown as a **light orange curve**, helping visualize these phenomena.
- **Porosity risk** is inferred from:
 - Depth and duration of eutectic undercooling
 - Cooling rate after eutectic solidification
 - Slope characteristics (sometimes from 2nd derivative) indicating graphite precipitation potential vs. shrinkage tendency
- **Carbide tendency** is evaluated from:
 - Extended undercooling before eutectic arrest
 - Short or missing recalescence (weak graphite nucleation)
 - Certain 2nd derivative features where eutectic nucleation is delayed → carbides fill instead of graphite.

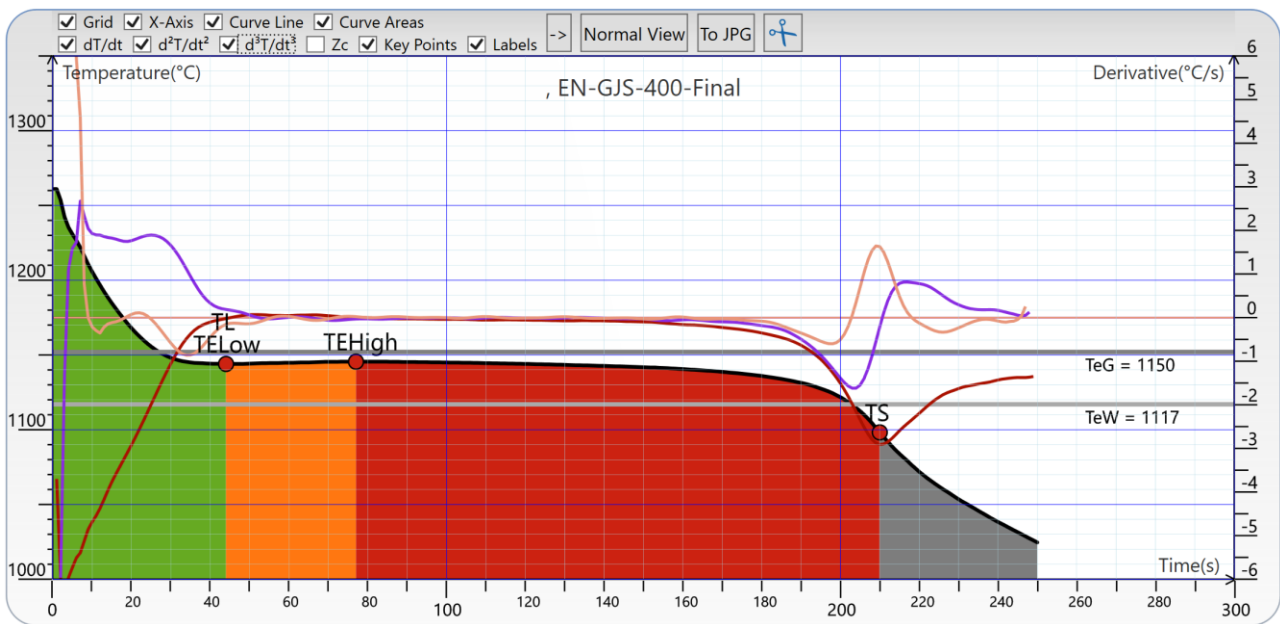


Fig. 5: ATAS screen picture with cooling curve and derivatives (1st derivative, red colour; 2nd derivative purple colour and 3rd derivative light orange colour).

Practical use of ATAS

A small sample of the liquid melt is poured into a thermal analysis cup containing one or more thermocouples. The temperature is recorded very precisely while the metal solidifies in the cup.

ATAS records the entire solidification curve (temperature over time) and the software analyzes the shape of the curve:

- Starting temperature → indication of overheating.
- Eutectic point and graphite formation → provides information about graphitization tendency.
- Undercooling and recalescence → reveals the risk of white cast iron or porosity.
- Solidification duration and slope → shows the probable structure (fine-grained, coarse-grained, gray/white cast iron).

From the curves, ATAS calculates, among other things the metallurgical properties:

- Active Carbon equivalent (ACEL).
- Probable microstructure (gray, ductile iron, risk of carbides).
- Graphite morphology and carbon/silicon content.
- Shrinkage and porosity tendency.
- Need for adjustments (e.g. Mg addition to ductile iron, inoculation, temperature).

- Oxygen content (active adjustment of Mg addition to ductile iron).

The operator immediately receives a report on the screen, typically in the form of:

- Numerical values (ACEL, carbon, Si index, etc.).
- Color codes (green = OK, yellow = risk, red = adjustment required).
- Defects prediction (Micro, Macro, Chill and Other)
- Specific recommendations with process Advisor, e.g. "add 0.05% Si" or "increased inoculation" or "add 0,1 weight % of preconditioner".

5. Process optimization

- The results are used to adjust the melt before pouring, reducing the risk of errors.
- Over time, the foundry can use the data for statistical process control, setting up recipe management and continuously improving yield.
- MasterMind is an advanced linear correlation tool integrated within ATAS MetStar. When applied appropriately, ATAS MetStar can predict defects, mechanical properties, coefficient adjustments, and other parameters, providing a proactive solution for the melting shop tailored to the needs of each foundry.

Can we trust on NovaCast results

One may ask how can we be sure that a mathematical derivation of a simple cooling curve can results into information about shrinkages, chill, inclusion etc.

With the use of high-precision thermocouples, stable data acquisition and good filtering algorithms in the software it is possible to get very good signals for the 1 and 2 derivatives. Even the 3 derivative, though very sensitive to noise, is possible to get a usable signal from.

However, even then, what you see is not a "defect signature" but a signal feature (a peak, a slope change, or a local oscillation).

Based on these signals or a combination of signals theories were established about the possible causes. By processes such as observation, experimentation, and research the theory could be confirmed or rejected.

In many metallurgical academic reports the number of experimental samples is relatively small (sometimes just 5–20 per condition). The bulk of the work is often based on computer simulations, analytical reasoning or literature-based comparisons. These reports often support a theory and have mainly illustrative value, while in industry it gains strength from the volume of data collected in daily practice.

The practical industrial use is much wider because the system is embedded in daily production. In a foundry every melt can be sampled → thousands of data points per year. Software vendors build their

indices (porosity risk, carbide tendency, shrinkage index) not on 10 or 20 tests, but on years of aggregated industrial data, validated against casting results.

Conclusion

NovaCast ATAS MetStar® (Adaptive Thermal Analysis System) is a process control tool for foundries, especially in iron foundries. It is used to analyze the solidification process of molten metal in real time, thus providing direct feedback on the quality of the melt and casting properties.

Thermal analysis is based on measuring the cooling curve of a small molten metal sample as it solidifies in a test cup equipped with a thermocouple. The cooling curve itself provides an overview of the solidification process, with characteristic arrests indicating the liquidus and eutectic transformations. To extract more precise information, the system calculates derivatives of the cooling curve.

ATAS combines these signals with metallurgical models to calculate quality indices like porosity tendency, carbide tendency, and graphite precipitation potential. ATAS MetStar predicts the possible risk for defects in the castings such as; micro shrinkage porosity, macro shrinkage porosity, chill tendency (cementite), inverse chill tendency, oxygen content and mechanical properties. NovaCast has also established a correlation between the thermal modulus and the ACEL value to achieve eutectic morphology in ductile iron castings of any size, thereby preventing macro shrinkage porosity. These indices give foundry engineers real-time insight into melt quality before casting, enabling corrective actions to be taken quickly and effectively.

A foundry operator does not usually see the 2nd or 3rd derivatives directly — instead, ATAS/MetStar calculates risk indices from them. The advantage is predictive control: before pouring the melt into moulds, you know whether it has sufficient graphite nucleation or if adjustments are needed.

ATAS MetStar is the fundamental tool for a foundry to improve quality, control and increase stability of the metallurgical parameters. The result is reduced scrap rate, less energy consumption and a greener planet.