



77. jednání Odborné komise pro
litinu s kuličkovým grafitem a 51.
setkání slévačů ČSS středních Čech

Možnosti termické analýzy pro slévárny LKG se významně posouvají - metoda AccuVo[®]

Dr. Ing. Marko Grzinčič

6.12.2018

Prezentace je
doplněná o textové
komentáře, které
zazněly při
přednášce resp.
pomáhají rozvinout
obsahu

Obsah

- Historie metody AccuVo®
- Popis inovací
- Chyba měření
- Příklady analýz
- Spolupráce



**TECHNICAL
SERVICE
KUEHN GMBH**





Historie metody AccuVo®

Pan Dipl.-Ing. Uwe Kühn zpracoval diplomovou práci na termickou analýzu na Technické univerzitě Bergakademie Freiberg a následně pracoval pro společnost OCC Gesellschaft für physikalische Messtechnik und kybernetische Systeme mbH v Mönchengladbachu.

Jako její zaměstnanec se rovněž podílel na projektu Obnovy slévárny litin v Škoda Auto Mladá Boleslav, kde se řešil akutní kvalitativní problém staženin v odlitcích brzdových bubnů, který vznikl překlopením technologie rámové linky na linku bezrámovou disamatického typu (Loramatic) – změna orientace o 90°; střed odlitku nebylo možné nálitkovat. Hodnocením kvality tekutého kovu termickou analýzou byla identifikována příčina v metalurgii tekutého kovu a skokově vnitřní vady vyřešeny. Dalším úkolem bylo zvýšení materiálové homogenity odlitků vložek válců. Zde byla použita regresní analýza pro určení příčin. V té době slévárnu řídil dr. Grzinčič.

Od r. 2002 se pan Kühn postupně osamostatňoval a metodiku zdokonaloval jak po hardwarové stránce, tak po stránce vyhodnocování naměřených dat, což zajišťuje partnerská společnost Apromace Data Systems GmbH Freiberg. Dnes má dvě firmy Technical Service Kühn GmbH a Gießereitechnik Kühn GmbH.

Speciální 2-komorové formičky na odlití vzorků pro termickou analýzu AccuVo-Cup® jsou chráněné patentem DE 102 09 427 a název registrací č. 303 27 965.

Produkty a servis firem pana Kühna pro Česko a Slovensko zajišťuje dr. Grzinčič se svojí firmou DETYCON Solutions s.r.o.



Popis inovací – 11 oblastí

Stupeň naplnění
reprodukovatelný

Jednotný
vtok pro
2 komůrky

Anorganické
pojivo



Komůrka A

Průměr drátu
0,5 mm

Komůrka B

Očkovadlo 0,04 nebo 0,1%

Množství 48 mg

Přesnost ± 2 mg

S nebo bez síry

Kvalita drátu

Chyba $\pm 0,50$ °C

>800 °C/s

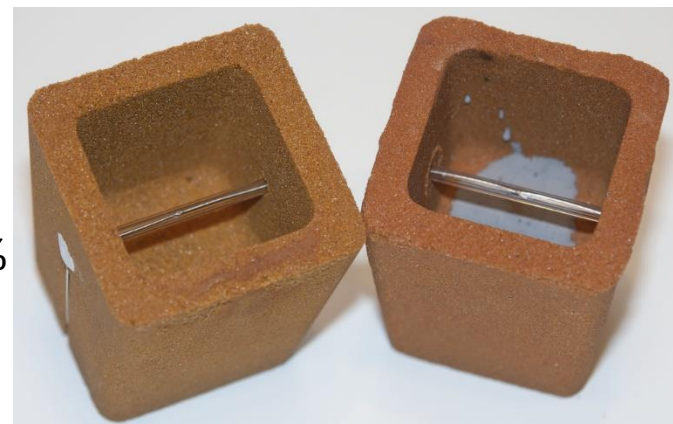
Optimalizovaná
dělicí rovina

Koule \varnothing 30 mm
120 g

Termočlánkový
spoj/čelní spojení
drátů v délce 0,5mm

Průměr trubičky
1,6 mm

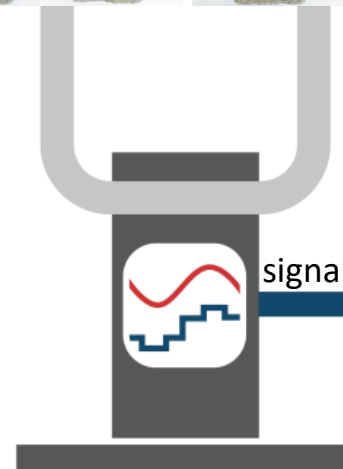
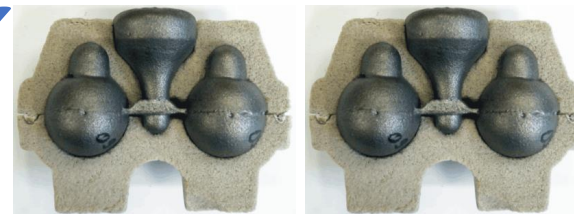
Tangenciální zavrtování komůrky





Popis inovací – pokračování

Dalších 8 oblastí



signalbus Kabelový nebo
rádiový přenos dat



1 nebo 2 ramena

Délka vedení minimální

Bez kompenzačního vedení

A/D-čítač 40 Hz rychlost čtení odezvy

Kontinuální měření teploty studených spojů

A/D-čítač odcloněný a tepelně izolovaný ve stativu



SW Apromace

ID	Code	Name	Comment	Unit	Format	Color
-20	#KAN	Kanal	Messkanal: aktueller Wert			#fff
-15	#CHR	Charge	Chargennummer			#def
-14	#MELTM	Schmelzmasse		kg	f1	
-10	#MEAS	Messung	Messungsnummer			#ffe
-9	#REM	Bemerkung	Bemerkung zur Messung			#fff
-8	#DATE	Datum, Uhrzeit	Zeitpunkt der Messung			#fff
-7	#CURR	Cursor				#ffc
0	Max	Max				#dee
1	Lpv	Lpv				
4	Pli2	Pli2				
5	Pli1	Pli1				
9	LiLo	LiLo				
10	Liq	Liquidus				#ffe
11	LiUp	LiUp				
15	MIR	MIR				
19	EuLo	EuLo				
20	Eut	Eutektikum				#fea
21	EuUp	EuUp				
22	Sol	Solidus				#fee
30	EOF	Erstarrungsende				#eff
35	Eto	Eutektide Umwandlung		°C	f3	#ffffff
36	EoLo	EtoLo		°C	f3	#ffffff
37	EoUp	EtoUp		°C	f3	#ffffff
40	EP1	Eutektikaler Punkt 1				#ffffff
41	EP1Lo	untere Temperatur EP1				#ffffff
42	EP1Up	obere Temperatur EP1				#ffffff
43	EP2	Eutektikaler Punkt 2				#ffffff
44	EP2Lo	untere Temperatur EP2				#ffffff
45	EP2Up	obere Temperatur EP2				#ffffff
46	EP3	Eutektikaler Punkt 3				#ffffff
47	EP3Lo	untere Temperatur EP3				#ffffff
48	EP3Up	obere Temperatur EP3				#ffffff
49	EP4	Eutektikaler Punkt 4				#ffffff
50	EP4Lo	untere Temperatur EP4				#ffffff
51	EP4Up	obere Temperatur EP4				#ffffff
52	EP5	Eutektikaler Punkt 5				#ffffff
53	EP5Lo	untere Temperatur EP5				#ffffff
54	EP5Up	obere Temperatur EP5				#ffffff
55	EP6	Eutektikaler Punkt 6				#ffffff
56	EP6Lo	untere Temperatur EP6				#ffffff
57	EP6Up	obere Temperatur EP6				#ffffff
58	EP7	Eutektikaler Punkt 7				#ffffff
59	EP7Lo	untere Temperatur EP7				#ffffff
60	EP7Up	obere Temperatur EP7				#ffffff

61	EP8	Eutektikaler Punkt 8				#ffffff
62	EP8Lo	untere Temperatur EP8				#ffffff
63	EP8Up	obere Temperatur EP8				#ffffff
64	EP9	Eutektikaler Punkt 9				#ffffff
65	EP9Lo	untere Temperatur EP9				#ffffff
66	EP9Up	obere Temperatur EP9				#ffffff
67	EP10	Eutektikaler Punkt 10				#ffffff
68	EP10Lo	untere Temperatur EP10				#ffffff
69	EP10Up	obere Temperatur EP10				#ffffff
100	TA_CE	Kohlenstoffequivalent		wt.%	f3	#ffe
101	TA_C	Kohlenstoffgehalt		wt.%	f3	#ffe
105	TA_Ni	Nickelgehalt	Annahme: Gleichgewichtsphasendiagramm	at.%	f3	#ffe
106	TA_Ni_Seq	Solidus	Annahme: Gleichgewichtsphasendiagramm	°C	f1	#ffe
110	TA_CEL	Kohlenstoffäquivalent	Liquidus	wt.%	f3	#ffe
120	TA_Si	Siliziumanteil		wt.%	f3	#ffe
130	GoW	Grau- oder Weißguss	qualitative Bewertung des Carbidgehalts		f0	#ffe
140	REK	eut. Rekaleszenz		K	f3	#ffffff
141	UK	eut. Unterkühlung		K	f3	#ffffff
150	TA_TS	Zugfestigkeit		N/mm ²	f3	#ffffff
151	TA_HB	Brinellhärte			f3	#ffffff
170	Gb	Kornfeinung			f2	#ffffff
171	Dm	Korndurchmesser	mittlerer	µm	f2	#ffffff
172	Dm2	Korndurchmesser 2	mittlerer	µm	f2	#ffffff
205	ADD_C	Kohlenstoffzugabe		kg	f2	#dbfffe
300	SC_C	Kohlenstoff		wt.%	f4	#ffffff
301	SC_Si	Silizium		wt.%	f4	#ffffff
302	SC_P	Phosphor		wt.%	f4	#ffffff
303	SC_Mg	Magnesium		wt.%	f4	#ffffff
304	SC_S	Schwefel		wt.%	f4	#ffffff
305	SC_Cu	Kupfer		wt.%	f4	#ffffff
306	SC_Mn	Mangan		wt.%	f4	#ffffff
307	SC_Sb	Antimon		wt.%	f4	#ffffff
308	SC_Al	Aluminium		wt.%	f4	#ffffff
309	SC_Cr	Chrom		wt.%	f4	#ffffff
310	SC_Mo	Molybdän		wt.%	f4	#ffffff
311	SC_B	Bor		wt.%	f4	#ffffff
312	SC_Ti	Titan		wt.%	f4	#ffffff
313	SC_Sn	Zinn		wt.%	f4	#ffffff
314	SC_Te	Tellur		wt.%	f4	#ffffff
315	SC_Pb	Blei		wt.%	f4	#ffffff
316	SC_Ni	Nickel		wt.%	f4	#ffffff
317	SC_Ce	Cer		wt.%	f4	#ffffff
318	SC_Bi	Bismut		wt.%	f4	#ffffff
319	SC_Zn	Zink		wt.%	f4	#ffffff
320	SC_As	Arsen		wt.%	f4	#ffffff
321	SC_V	Vanadium		wt.%	f4	#ffffff
322	SC_Nb	Niob		wt.%	f4	#ffffff
323	SC_La	Lanthan		wt.%	f4	#ffffff
375	SC_CEL	Kohlenstoffäquivalent	Liquidus	wt.%	f4	#ffffff
376	SC_CET	Kohlenstoffäquivalent		wt.%	f4	#ffffff



V rámci samotné termické analýzy se vyhodnocuje až 60 parametrů. Software rozezná NOK měření jako např. defekt formičky a vyžaduje opakované měření.

Princip fungování a využití termické analýzy:

Z naměřené křivky tuhnutí vzorku taveniny software určí teplotu likvidu T_{liq} a uhlíkový ekvivalent CE.

Z každé šarže se zároveň odebírá vzorek pro spektrální analýzu a pro další výpočty se použijí hodnoty obsahu křemíku a fosforu. Tyto hodnoty umí spektrometry určit přesně.

Na základě těchto dat software vypočítá procento uhlíku %C a stupeň eutektičnosti Sc .

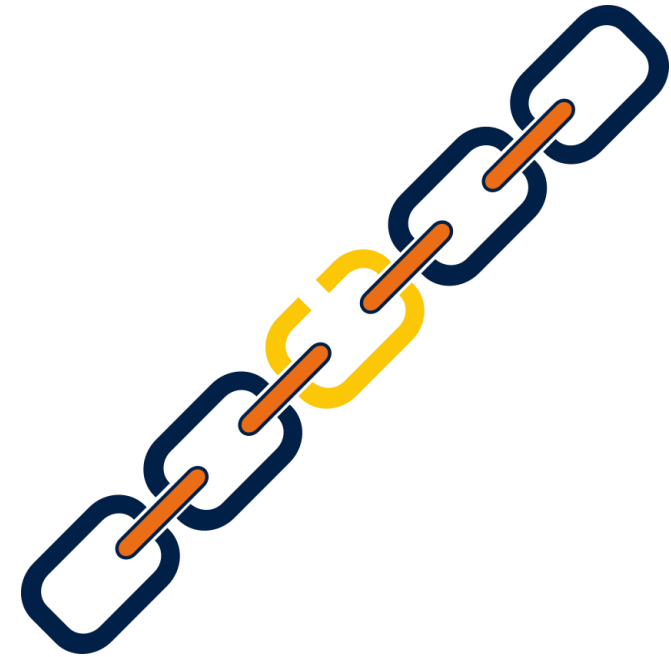
Další výstupy termické analýzy jsou odvislé od zadání klienta. Může se řešit kvalita konkrétního dílu (uvolněno; neuvolněno – popis další činnosti), mechanické vlastnosti (R_m a $R_{p0,2}$), podíl feritu a perlitu, strukturní charakteristiky grafitu (počet kuliček, tvar a velikost).



Měření teploty při termické analýze

Zdroje chyb a potenciál optimalizace

1. Odběr vzorku
2. Termočlánek + kelímeček na vzorek
3. Měřicí vedení
4. Kompenzace okolní teploty
5. Analogově-digitální převodník
6. Řídící-/vyhodnocovací software



Jednotlivé chyby musí být minimální!!!



Odběr vzorku – nabídka 4 velikostí



Naběračky z keramických vláken

Nižší ztráta teploty

Životnost

Snížená hmotnost

$T_{\max} \approx$ teplota taveniny



Zdroj: <http://giessereiartikel.de>

Ztráta teploty při transportu
vzorku taveniny

Šlichta na lžíci ovlivňuje výsledek

Relativně vysoká hmotnost

T_{\max} případně již příliš nízká



Měřicí řetězec – potenciální chyby

Odhad chyby měření při teplotě 1150°C.

V ideálním případě chceme **měřit bez chyby**.

Článek řetězce	Chyba měření
Termočlánek	± 0,00 °C
Vyrovnávací vedení	± 0,00 °C
Kompenzace	± 0,00 °C
A/D-převodník	± 0,00 °C
Suma	± 0,00 °C



Měřicí řetězec – potenciální chyby

Pro termočlánek dle normy DIN EN 60584 třídy 1 se musí počítat s chybou $\pm 4,60 \text{ }^\circ\text{C}$ při $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ - chyba senzoru na **jedno použití** se nedá ovlivnit kalibrací!

Při použití kompenzačního vedení dle normy DIN třídy 1 mohou vzniknout při teplotě $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ maximální chyby $\pm 1,50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Při použití na trhu běžných A/D-převodníků může při kompenzaci teploty studeného spoje vzniknout chyba $\approx 1,80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Na příkladu National Instruments NI9211 při $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ je typická chyba měření teploty s typem termočlánu K $\approx 2,00 \text{ }^\circ\text{C}$.

Článek řetězce	Chyba měření
Termočlánek	$\pm 4,60 \text{ }^\circ\text{C}$
Kompenzační vedení	$\pm 1,50 \text{ }^\circ\text{C}$
Kompenzace studeného spoje	$\pm 1,80 \text{ }^\circ\text{C}$
A/D-převodník	$\pm 2,00 \text{ }^\circ\text{C}$
Suma	$\pm 9,90 \text{ }^\circ\text{C}$

Částečně mohou být chyby řešeny kalibrací systému – i tak chyba přes $6 \text{ }^\circ\text{C}$.



Měřicí řetězec – potenciální chyby

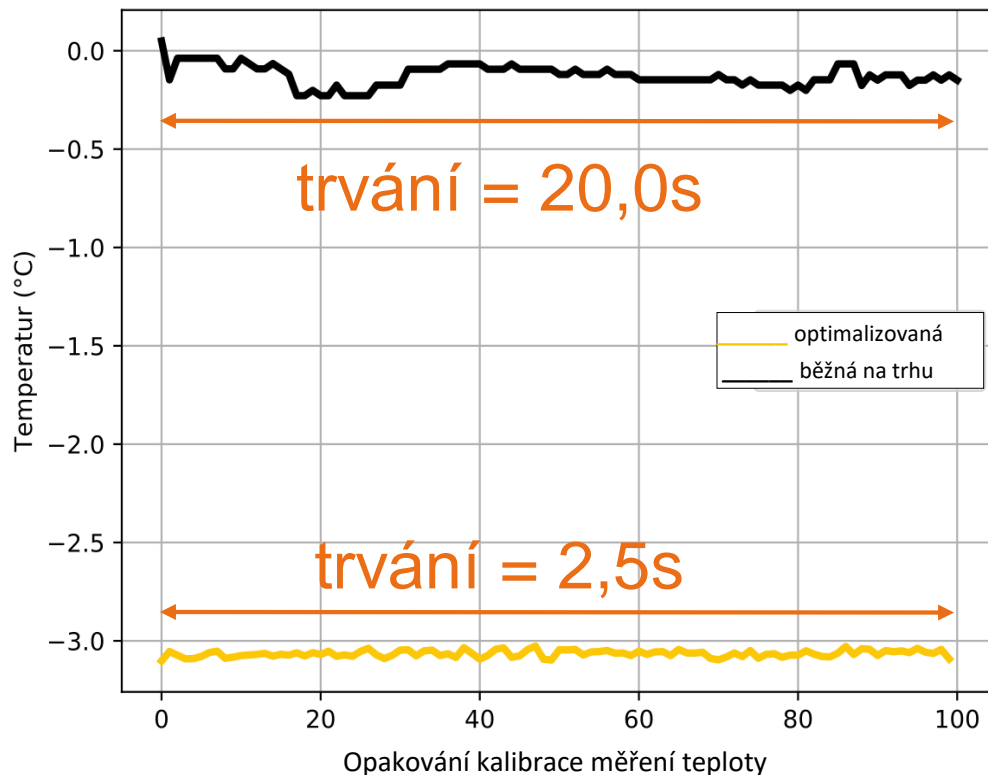
Měřicí systém s optimalizovanými komponenty nabízí možnost snížit celkovou chybu až na **$\pm 0.93\text{ }^{\circ}\text{C}$** .

Standardní odchylka
0,008 mV

Článek řetězce	Chyba měření	Chyba měření	Způsob řešení
Termočlánek	$\pm 4,60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,50\text{ }^{\circ}\text{C}$	Termočlánek
Kompenzační vedení	$\pm 1,50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$	Vedení signálu (krátké)
Kompenzace studeného spoje	$\pm 1,80\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$	Pt-100
A/D-převodník	$\pm 2,00\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Kalibrační přístroj
Suma	$\pm 9,90\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.93\text{ }^{\circ}\text{C}$	Suma



Kalibrace



Ověření kalibrace
ve slévárně

Střední hodnota	Chyba
-0,126°C	0,053°C
-3,065°C	0,017°C

Kalibrace vedle pece
v slévárenském uni-
verzitním institutu

Z porovnání:

Odkaz na rozdílnou kvalitu A/D-převodníků

Odkaz na nesmírný vliv odclonění A/D-převodníku včetně vodičů sign.

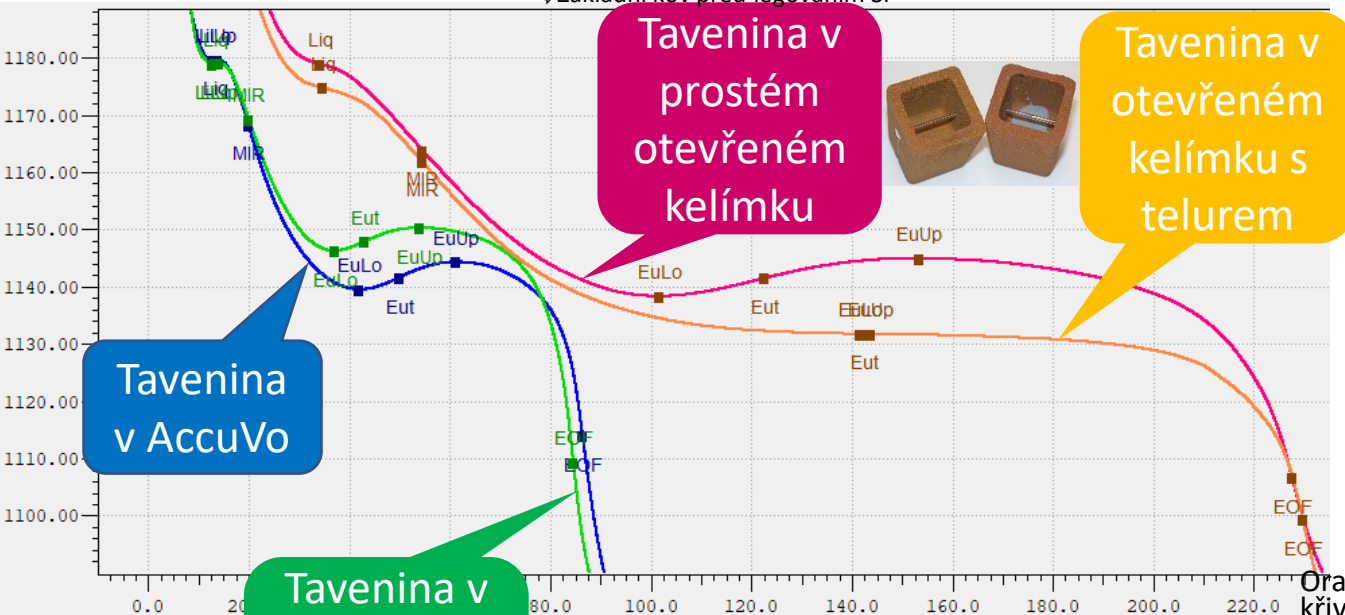


Příklady analýz - GJL

Rozdíl odtití shodné taveniny do OpenCup a AccuVo

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
3,68	0,782	0,027	0,014	0,0084	0,012	0,0075

Základní kov před legováním Si



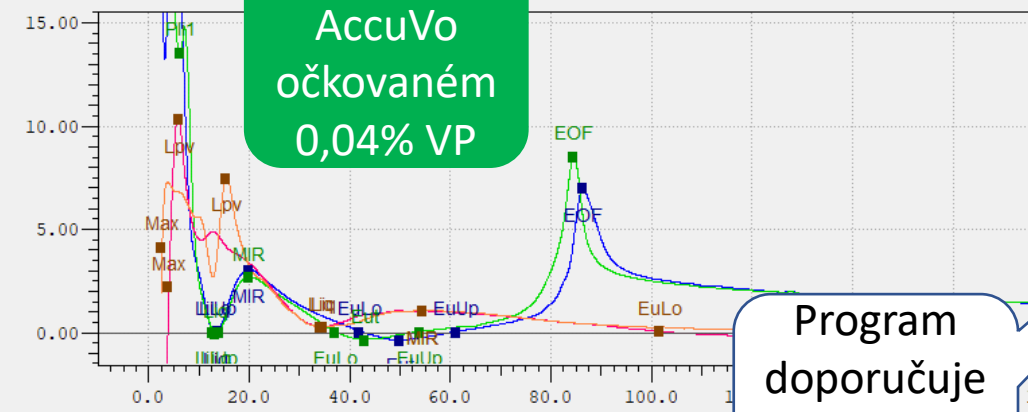
Tavenina v prostém otevřeném kelímku

Tavenina v otevřeném kelímku s telurem

Tavenina v AccuVo

Tavenina v AccuVo očkovaném 0,04% VP

- Výhody AccuVo:
- Analýza již za 90 s
 - Zřetelná oblast likvidu
 - Malý objem kovu provokuje efekty rekalescence



Program doporučuje dodatečné nauhličení

Oranžová křivka	Modrá křivka	Zelená křivka
Schmelzmasse 1000.0 kg	Kohlenstoffzugabe 1.66 kg	Schmelzmasse 1000.0 kg
Temperatur Max 1 1282.92 °C	Temperatur Max 2 1286.24 °C	Temperatur Max 1 1289.87 °C
Temperatur LiLo 1	Temperatur LiLo 2	Temperatur LiLo 1 1179.34 °C
Temperatur Liquidus 1 1178.6 °C	Temperatur Liquidus 2 1174.53 °C	Temperatur Liquidus 1 1179.36 °C
Temperatur LiUp 1	Temperatur LiUp 2	Temperatur LiUp 1 1179.38 °C
Temperatur EuLo 1 1138.13 °C	Temperatur EuLo 2 1131.54 °C	Temperatur EuLo 1 1139.29 °C
Temperatur Eutektikum 1 1141.27 °C	Temperatur Eutektikum 2 1131.54 °C	Temperatur Eutektikum 1 1141.36 °C
Temperatur EuUp 1 1144.74 °C	Temperatur EuUp 2 1131.55 °C	Temperatur EuUp 1 1144.11 °C
Temperatur Erstarrungsende 1 1106.41 °C	Temperatur Erstarrungsende 2 1099.12 °C	Temperatur Erstarrungsende 1 1113.72 °C

Pro přehlednost prezentace jen vizualizována jen 1. derivace křivky tuhnutí tavenin



Komentář folie 13

Zcela zřetelně je vidět rozdíl doby tuhnutí v otevřeném kelímku a formičce AccuVo-Cup® - ve slévárně není čas zbytečně čekat dvojnásobný čas tuhnutí.

Dokazujeme, že měřit otevřeným kelímkem s telurem T_{liq} teplotu likvidu je OMYL – teplota se posouvá v konkrétním případě o 4,8°C.

Křivky tuhnutí v OpenCup nejsou obvykle charakteristické měřitelnou eutektickou rekalescencí, ale v AccuVo právě díky malému objemu kovu, rychlejšímu tuhnutí (nikoliv danému telurem), je těchto důležitých projevů taveniny dosahováno.

AccuVo diferenční termická analýza základní vůči očkované tavenině naměřila rozdíl eutektické teploty 6,3°C. Jen s použitím vždy shodného objemu vzorků lze sledovat očkovací účinky mezi sebou!

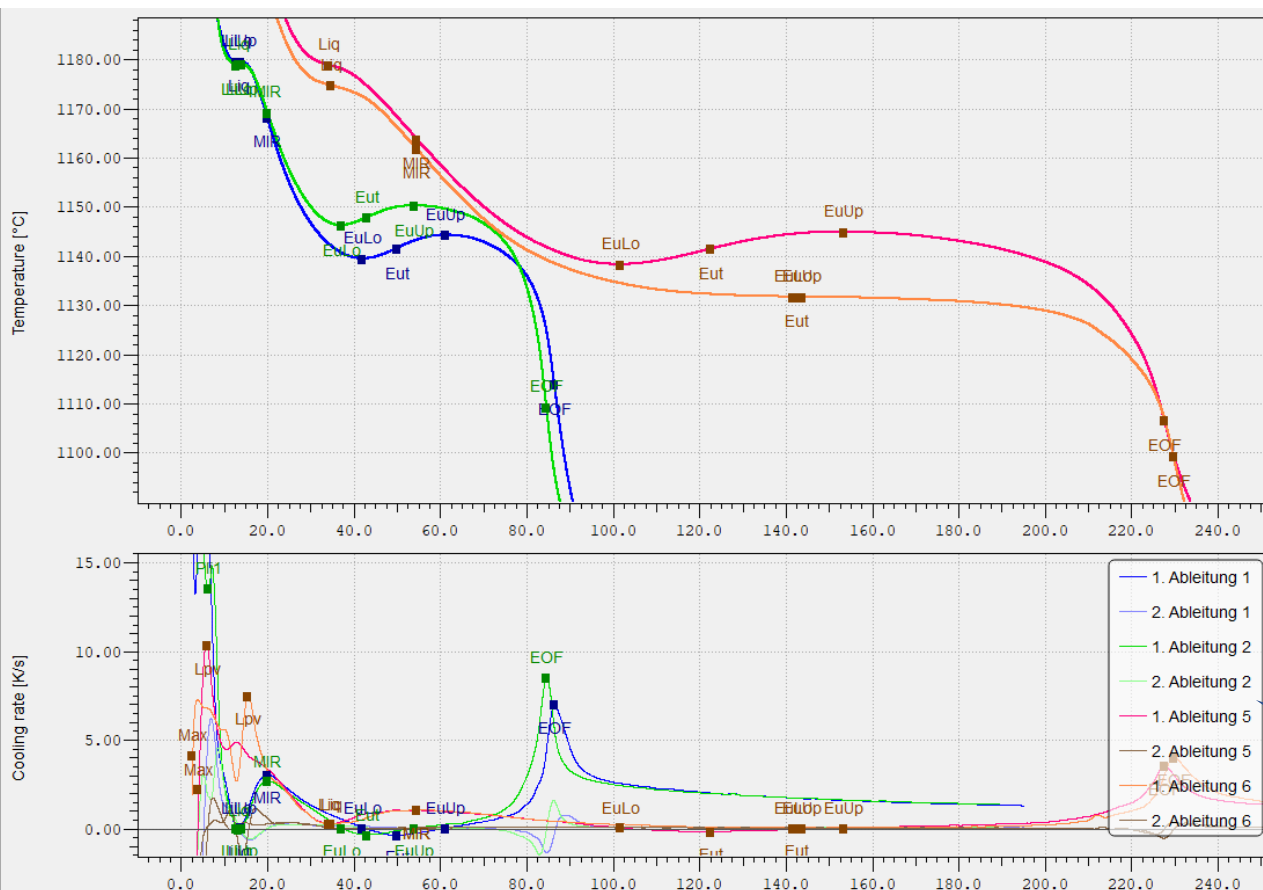
Rozdíly v odlévací teplotě se v programu Apromace tzv. normalizují, protože lící teplota má rovněž vliv na charakteristické body křivky.

Doporučení - lící teplotu volte 80°C nad teplotou likvidu. Samozřejmě záleží na velikosti odlitku, způsobu odlévání...

- pokud má být metalurgie skutečně řízená, tak se má pohybovat T_{liq} v rozsahu $\pm 2^\circ\text{C}$ a pokud se nepoužije termická analýza s uzavřenými kelímkami, tak takového stavu NELZE dosáhnout



Komentář folie 13 – oblast likvidu



Modrá křivka Schmelzmasse	Zelená křivka Kohlenstoffzugabe
Temperatur Max 1 1289.87 °C	Temperatur Max 2 1295.24 °C
Temperatur LiLo 1 1179.34 °C	Temperatur LiLo 2 1178.73 °C
Temperatur Liquidus 1 1179.36 °C	Temperatur Liquidus 2 1178.76 °C
Temperatur LiUp 1 1179.38 °C	Temperatur LiUp 2 1178.80 °C
Temperatur EuLo 1 1139.29 °C	Temperatur EuLo 2 1146.07 °C
Temperatur Eutektikum 1 1141.36 °C	Temperatur Eutektikum 2 1147.66 °C
Temperatur EuUp 1 1144.11 °C	Temperatur EuUp 2 1150.07 °C
Temperatur Erstarrungsende 1 1113.72 °C	Temperatur Erstarrungsende 2 1109.17 °C
Messung CTZ-Test_A-002	

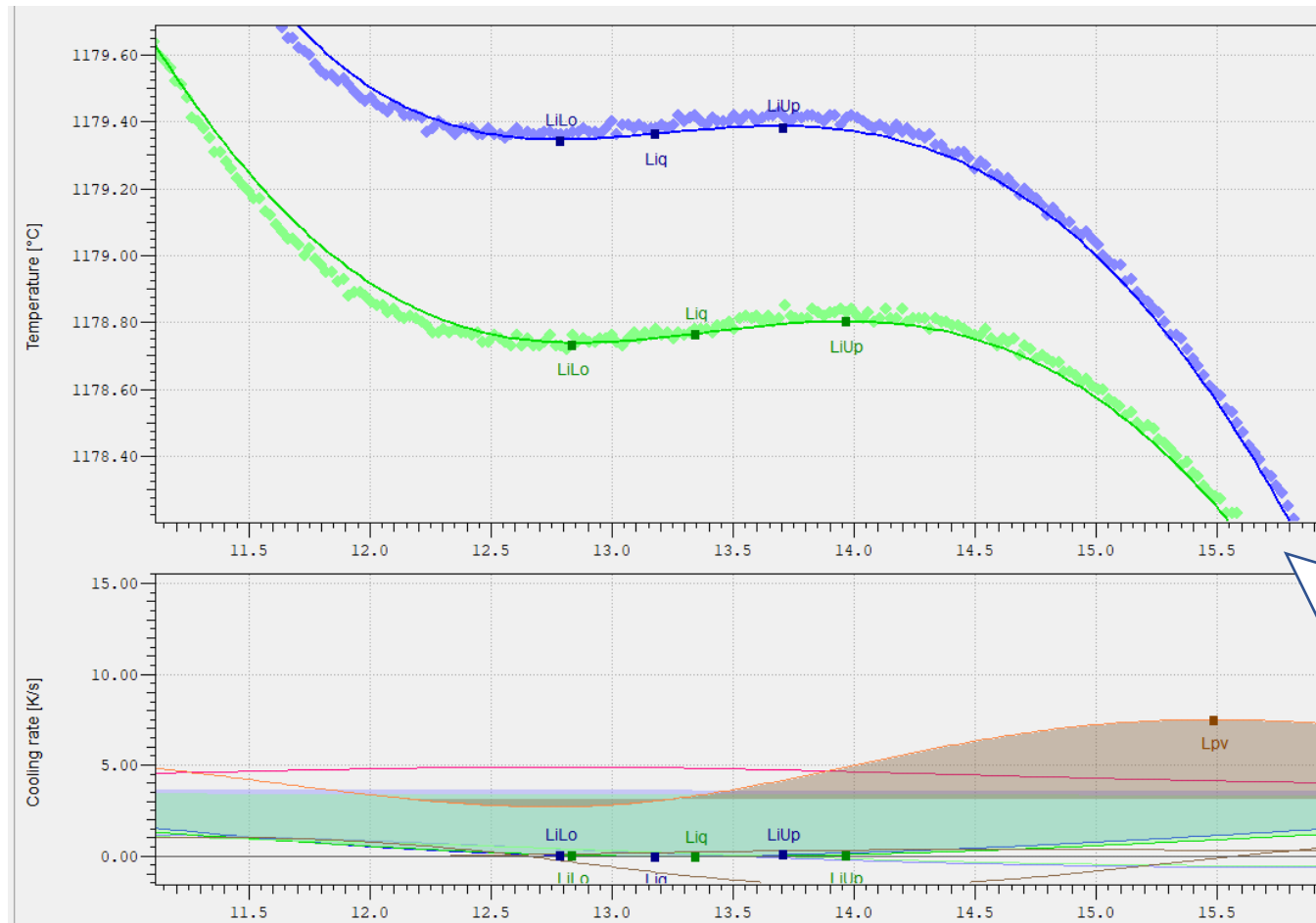
Vizualizace 1. i 2. derivace

Jen s AccuVo šlo naměřit u taveniny zcela evidentní rekalescenci v oblasti likvidu. Tuhnutí začíná v této oblasti a nás přeci zajímá, jak se taveniny chová. Neočkovaný kov (modrá křivka) eviduje rekalescenci 0,04°C a očkovaný kov (zelená křivka) 0,07 °C. Tyto nepatrné změny teploty v provozních podmínkách lze měřit jen špičkovým systémem.



Komentář folie 13 – oblast likvidu

Efekt rychlosti čtení signálu



<input checked="" type="checkbox"/>	Curve 1	<input checked="" type="checkbox"/>	Points
<input checked="" type="checkbox"/>	Curve 2	<input type="checkbox"/>	Baseline
<input type="checkbox"/>	Curve 3	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Curve 4	<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ur-Temperature	<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Cooling	<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	2. Derivate	<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Transition point	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Extreme values	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Turning points	<input type="checkbox"/>	

Možnosti vizualizace

Osa „X“ grafu zaznamenává časový úsek 4,3°C. V obou grafech je možné vidět efekt měření 40 teplot za sekundu. Také sledujte, jak sw proložil křivky teploty.



Příklady analýz GJL

Očkovací efekt

Očkováno
0,04% SMW



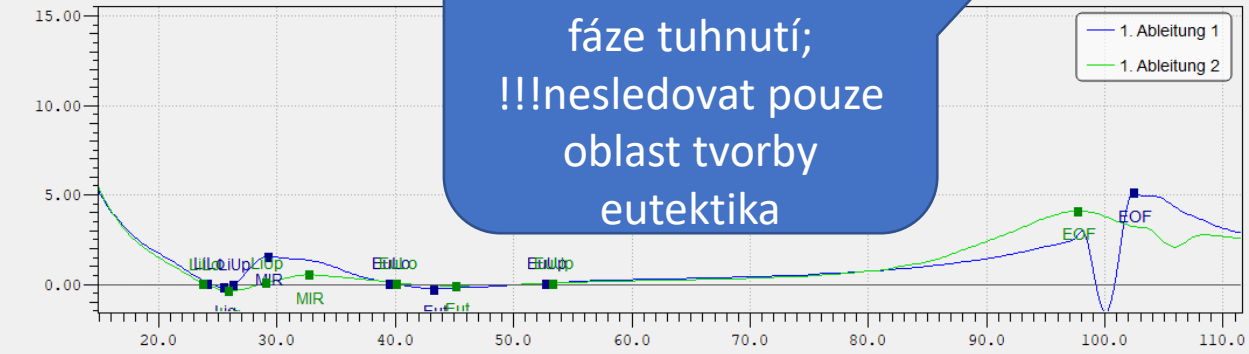
Modrá křivka

Zelená křivka



Schmelzmasse	
1000.0 kg	Kohlenstoffzugabe -1.54 kg
Temperatur Max 1 1332.53 °C	Temperatur Max 2 1332.35 °C
Temperatur LiLo 1 1142.48 °C	Temperatur LiLo 2 1143.31 °C
Temperatur Liquidus 1 1142.72 °C	Temperatur Liquidus 2 1143.95 °C
Temperatur LiUp 1 1142.85 °C	Temperatur LiUp 2 1144.74 °C
Temperatur EuLo 1 1131.51 °C	Temperatur EuLo 2 1141.78 °C
Temperatur Eutektikum 1 1132.24 °C	Temperatur Eutektikum 2 1142.24 °C
Temperatur EuUp 1 1133.87 °C	Temperatur EuUp 2 1142.90 °C
Temperatur Erstarrungsende 1 1094.52 °C	Temperatur Erstarrungsende 2 1097.27 °C
Messung	

Pozor na tvorbu
staženin na konci
fáze tuhnutí;
!!!nesledovat pouze
oblast tvorby
eutektika



Program
doporučuje ředit
(dovsázkovat
nízkouhlíkový
šrot), neboť C
1,54 kg nad limit



Příklad analýzy GJS

Očkování modifikované taveniny

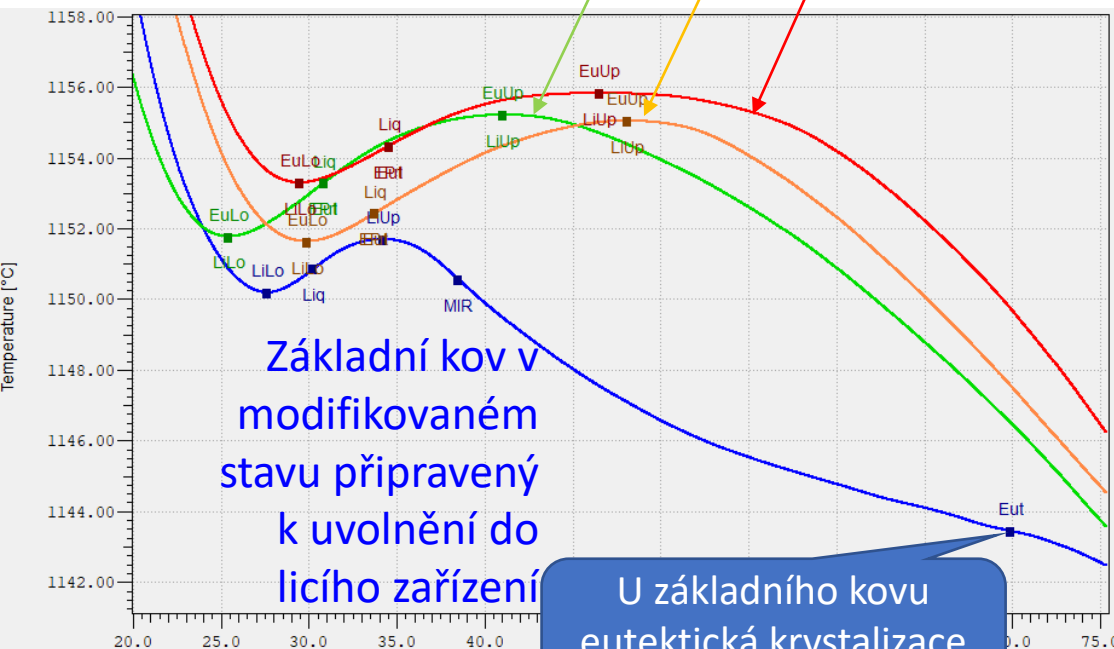
Mg	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
0,027	3,65	2,62	0,054	0,016	0,01	0,015	0,009

Sledujeme efekt různých očkovadel

Očkovadlo SMW206 (bismut) 0,04%

Očkovadlo Inoculin 90 (zirkon) 0,04%

Očkovadlo SB5 (barium, vápník) 0,04%



Základní kov v modifikovaném stavu připravený k uvolnění do licího zařízení

U základního kovu eutektická krystalizace identifikována až zde.

Modrá křivka

Schmelzermasse

1000.0 kg	-0.82 kg
Temperatur Max 1 1316.83 °C	Temperatur Max 2 1317.25 °C
Temperatur LiLo 1 1150.16 °C	Temperatur LiLo 2 1151.74 °C
Temperatur Liquidus 1 1150.82 °C	Temperatur Liquidus 2 1153.25 °C
Temperatur LiUp 1 1151.66 °C	Temperatur LiUp 2 1155.18 °C
Temperatur EuLo 1	Temperatur EuLo 2 1151.74 °C
Temperatur Eutektikum 1 1143.41 °C	Temperatur Eutektikum 2 1153.25 °C
Temperatur EuUp 1	Temperatur EuUp 2 1155.18 °C
Temperatur Erstarrungsende 1 1100.04 °C	Temperatur Erstarrungsende 2 1100.59 °C

Zelená křivka

Kohlenstoffzugabe



Příklad analýzy GJS

Očkování modifikované taveniny

Obsah hořčíku pod 0,03% nebývá v běžné praxi sléváren GJS považován za dostačující. Ale měření s AccuVo stejně tak jako hodnocení metalografického výbrusu (viz. tabulka) odhaluje efekty:

- již základní kov (neočkováný) je dostatečně modifikovaný
- očkování zvýší hustotu částic o 5% a tím mírně klesne kruhovitost
- jakým způsobem působí různá očkovadla na charakteristiky grafitu

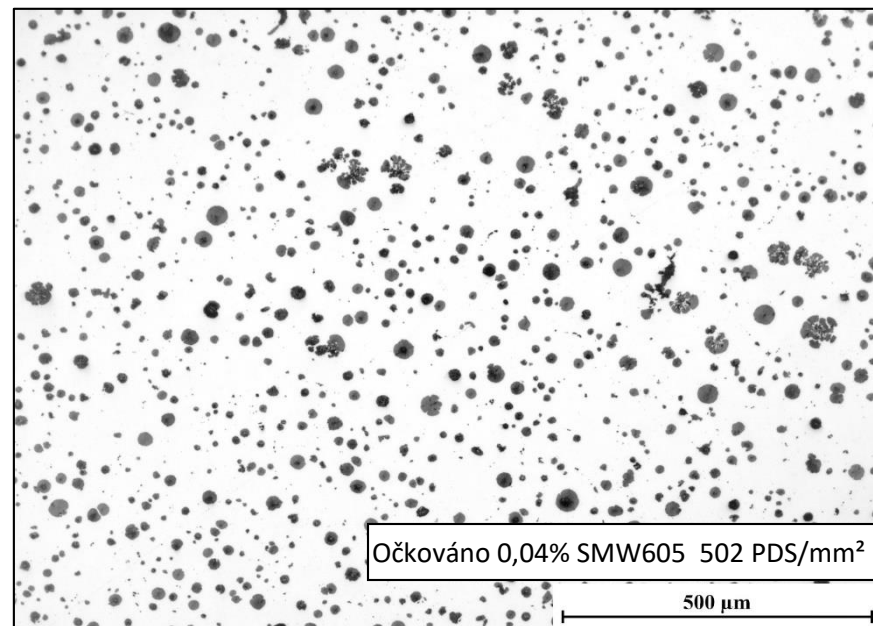
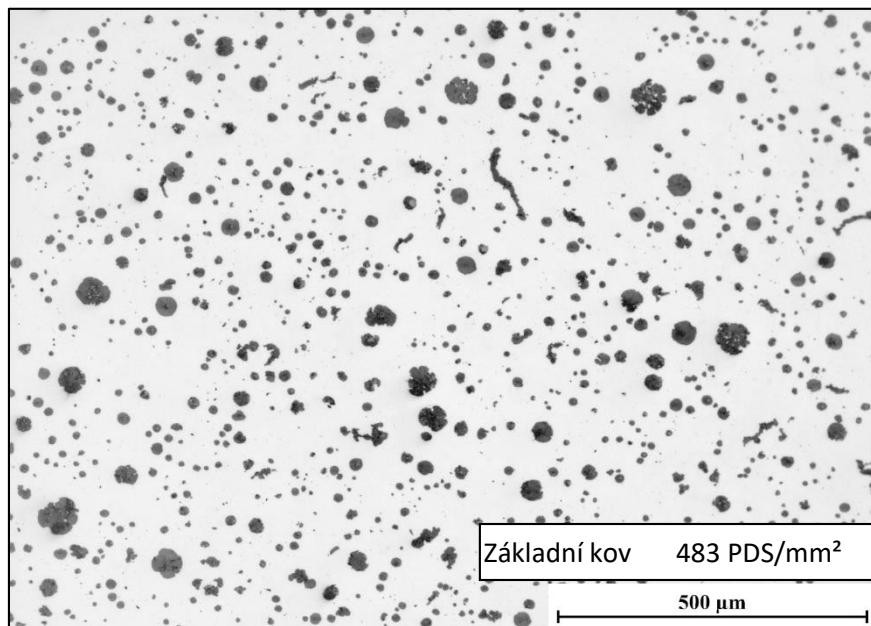
Očkování	PDS/mm ²	Počet částic grafitu					Charakteristika grafitu dle velikosti a tvaru dle EN ISO 945		
		8	7	6	5		III	V	VI
Plain	483	49	40	10	1,5		17	15	68
0,04% SMW 605	502	45	40	13	1,7		19	20	61
0,04% Inoculin	513	46	39	13	1,7		21	21	57
0,04% SB5	514	42	40	16	1,5		24	26	49

V rámci testu ověřeno, že již 0,04% očkovadla zajistilo eutektický typ tuhnutí slitiny daného chemického složení.



Příklad analýzy GJS

Očkování modifikované taveniny



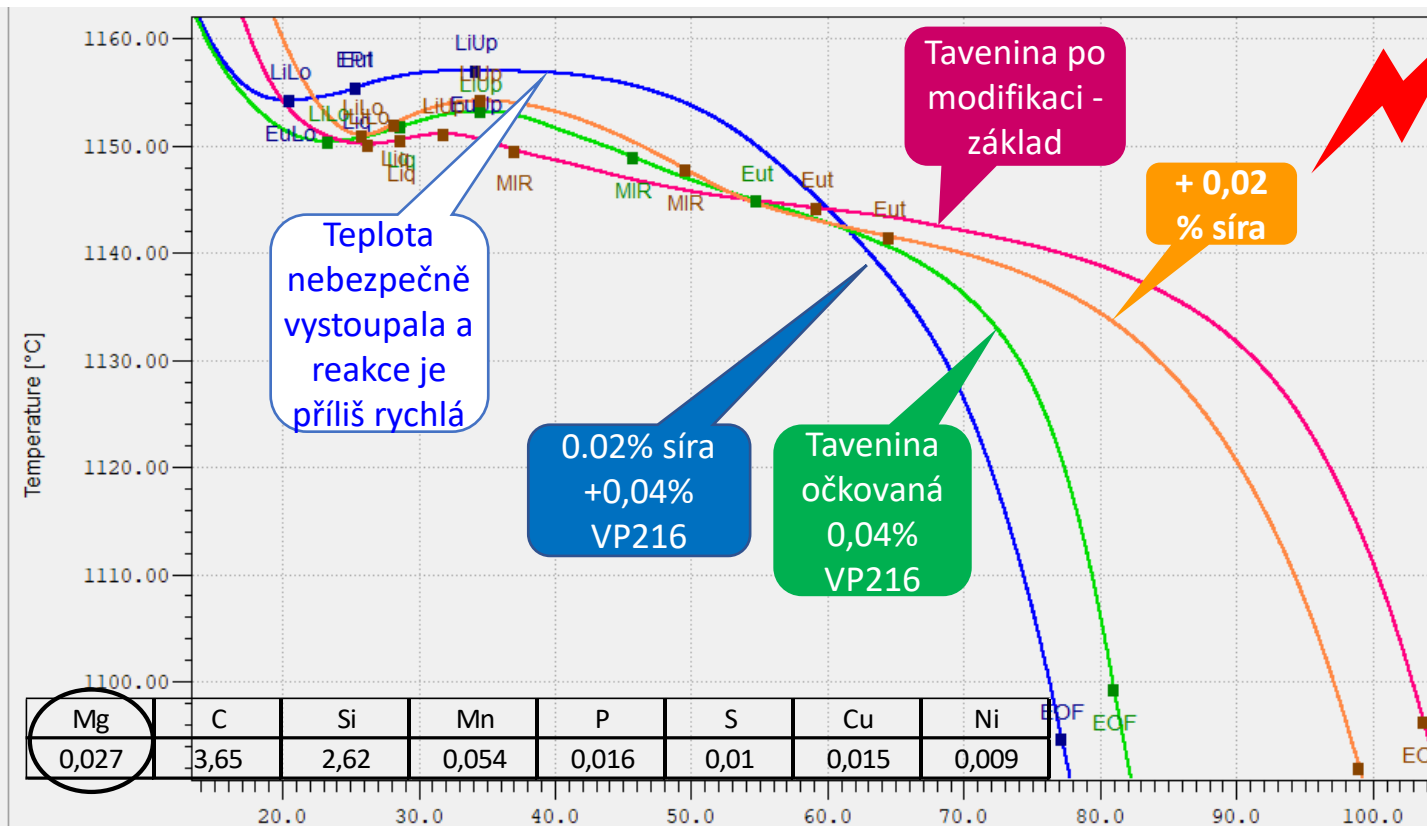
Analýza byla provedena samozřejmě i na metalografických výbrusech, které automaticky hodnotil software pro zpracování obrazu.



Příklad – když ↑ S, jaký je vliv na modifikaci/charakteristiku grafitu?

Lze očkovačem kompenzovat negativní vliv síry na modifikační účinek Mg?

Síra snižuje účinek Mg (nevzniká kuličkový grafit) – nelze kompenzovat očkovačem



Teplota nebezpečně vystoupala a reakce je příliš rychlá

0.02% síra +0,04% VP216

Tavenina očkovaná 0,04% VP216

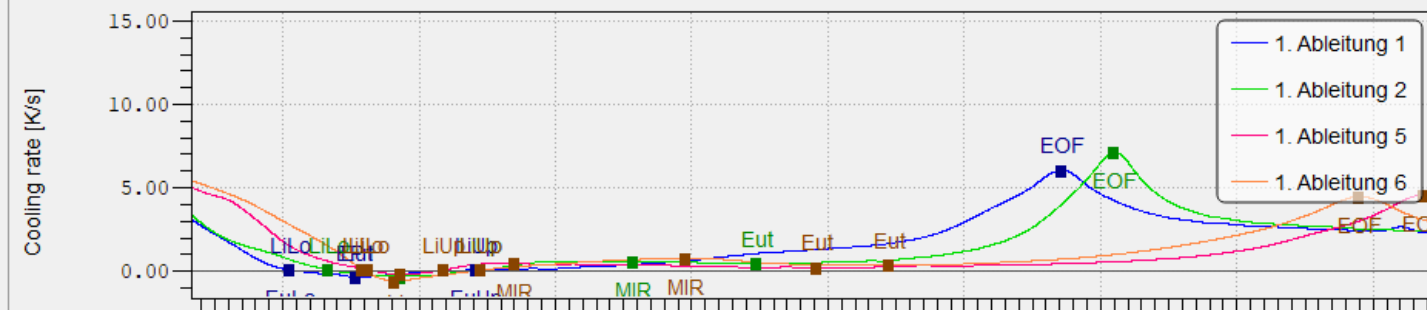
Tavenina po modifikaci - základ

+ 0,02 % síra



Fialová křivka		Oranžová křivka	
Schmelzmasse	1000.0 kg	Kohlenstoffzugabe	-0.85 kg
Temperatur Max 1	1305.48 °C	Temperatur Max 2	1304.51 °C
Temperatur LiLo 1	1150.02 °C	Temperatur LiLo 2	1150.87 °C
Temperatur Liquidus 1	1150.43 °C	Temperatur Liquidus 2	1151.88 °C
Temperatur LiUp 1	1150.98 °C	Temperatur LiUp 2	1154.09 °C
Temperatur EuLo 1		Temperatur EuLo 2	
Temperatur Eutektikum 1	1144.04 °C	Temperatur Eutektikum 2	1141.40 °C
Temperatur EuUp 1		Temperatur EuUp 2	
Temperatur Erstarrungsende 1	1096.09 °C	Temperatur Erstarrungsende 2	1091.86 °C

Modrá křivka		Zelená křivka	
Schmelzmasse	1000.0 kg	Kohlenstoffzugabe	-0.42 kg
Temperatur Max 1	1266.01 °C	Temperatur Max 2	1267.27 °C
Temperatur LiLo 1	1154.14 °C	Temperatur LiLo 2	1150.27 °C
Temperatur Liquidus 1	1155.26 °C	Temperatur Liquidus 2	1151.64 °C
Temperatur LiUp 1	1156.92 °C	Temperatur LiUp 2	1153.07 °C
Temperatur EuLo 1	1154.14 °C	Temperatur EuLo 2	
Temperatur Eutektikum 1	1155.26 °C	Temperatur Eutektikum 2	1144.74 °C
Temperatur EuUp 1	1156.92 °C	Temperatur EuUp 2	
Temperatur Erstarrungsende 1	1094.48 °C	Temperatur Erstarrungsende 2	1099.17 °C





Příklad analýzy GJS

1. stoupne síra

2. dávkování očkovadla

Efekt modifikace?



Trik ověřování modifikačního&očkovacího účinku spočívá v tom, že aniž by skutečně byla taveniny vždy zasažena vyšší sírou, tak ověřuji, jak se ve skutečnosti pod vlivem síry i očkovadla nebo jen očkovadla chová.

Jak vhodně provozně využít termickou analýzu: buď hodnotím taveninu termickou analýzou ještě před modifikací - obsah kyslíku, nebo 3 varianty po modifikaci (interakce hořčík-síra): nechat pánev v komoře a čekat 90s na analýzu, či dodatečné dávkování klasické pánve na vysokozdvížce, nebo v licí pánvi DGO (Druckvergießofen). Pozn.: vždy je potřeba zohlednit klesající teplotu taveniny s časem – rozhodování musí být rychlé.



Příklad – když ↑ S, jaký je vliv na modifikaci/charakteristiku grafitu?

Test ověřoval, zda-li lze snížení modifikačního účinku sírou kompenzovat očkovaním.

Velmi zřetelně je vidět negativní účinek síry na oranžové křivce, kdy stoupá teplota likvidu 1,4°C

Zjištění: Požadovanou litinu s kuličkovým grafitem při obsahu síry 0,02% a očkovaním očkovadlem typ VP nelze vyrobit (báze 0,027% Mg).

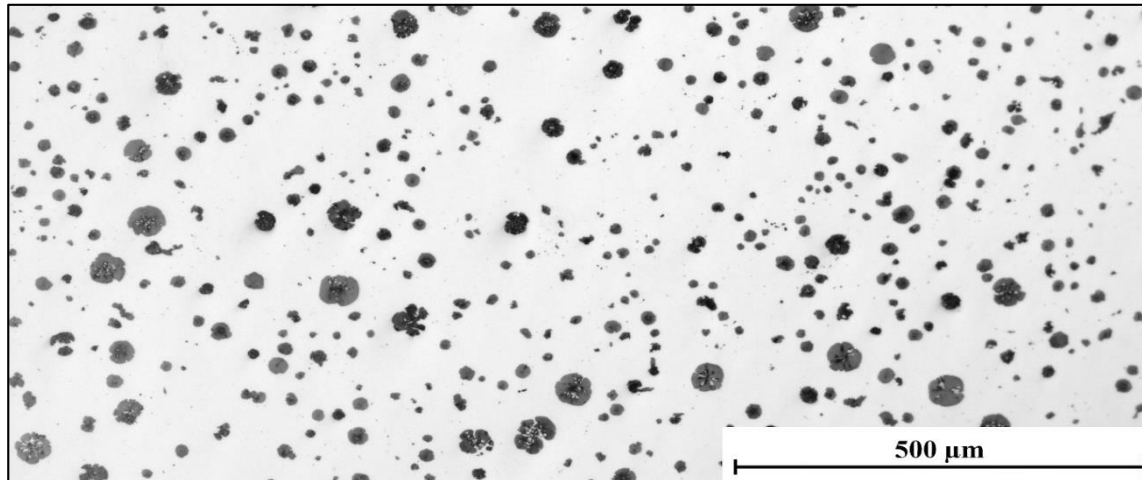
Kombinace s očkovadlem VP216 situaci nezachraňuje, viz. parametry 557 PDS/mm² a jen 67,5% nodularita, kdy se objevuje explodovaný grafit. Testovat by šlo jiné očkovadlo, resp. se dokazuje, že hořčíku je opravdu málo.

Stav	PDS/mm ²	8	7	6	5	III	V	VI
základní modif. kov	483	49	40	10	1,5	17	15	68
0,2% síra + 0,04% VP216	557	44	39	16	0,6	25	24	51
0,04% VP216	516	45	44	11	0,6	16	17	67
0,1% SMW206	557	52	36	12	0,6	15	22	63
0,1% Inoculin 90	516	46	43	10	0,7	16	17	67
0,02% síra	810	53	30	13	3,2	69	9	22

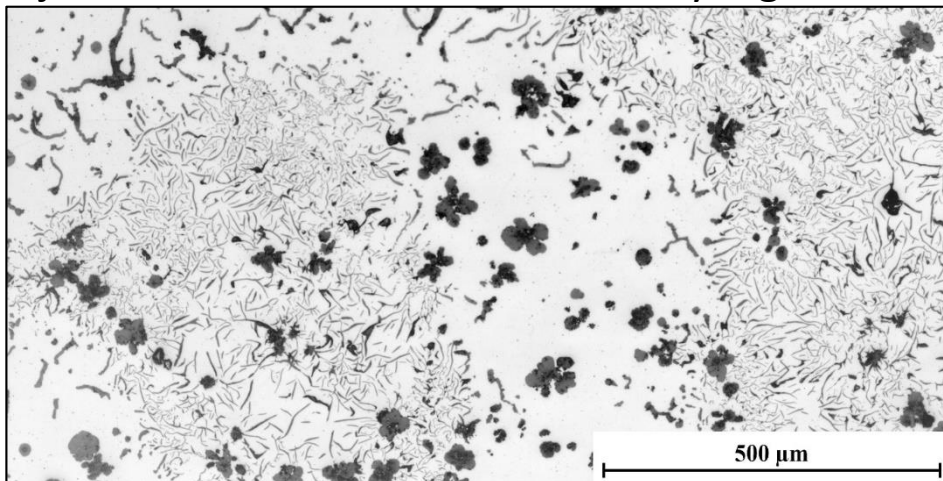


Příklad – když ↑ S, jaký je vliv na modifikaci/charakteristiku grafitu?

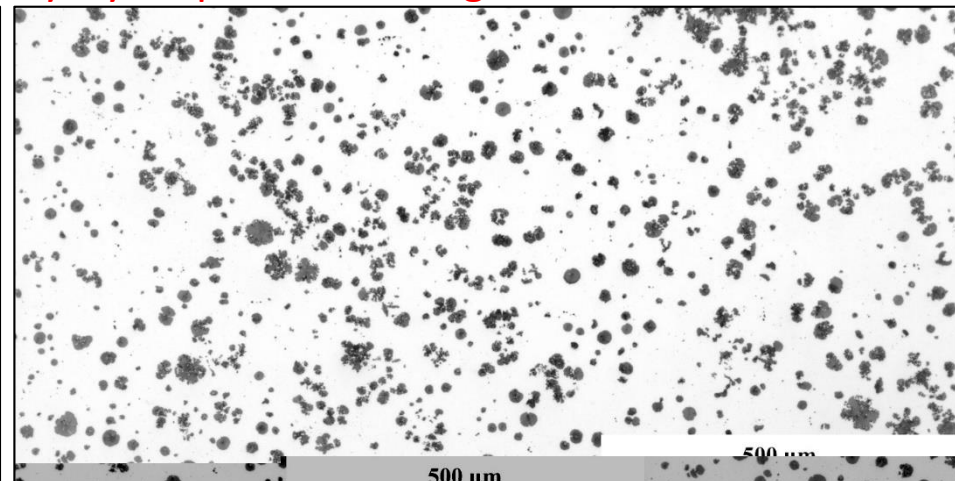
0,04% VP216
516 PDS/mm²;
84,0% Nodul



0,02% Síra
810 PDS/mm² **38,6% nodularita**
- již nelze hovořit o litině s kuličkovým grafitem



0,02% Síra+0,04% VP216
557 PDS/mm²; 67,5% nodul.
výskyt explodovaného grafitu

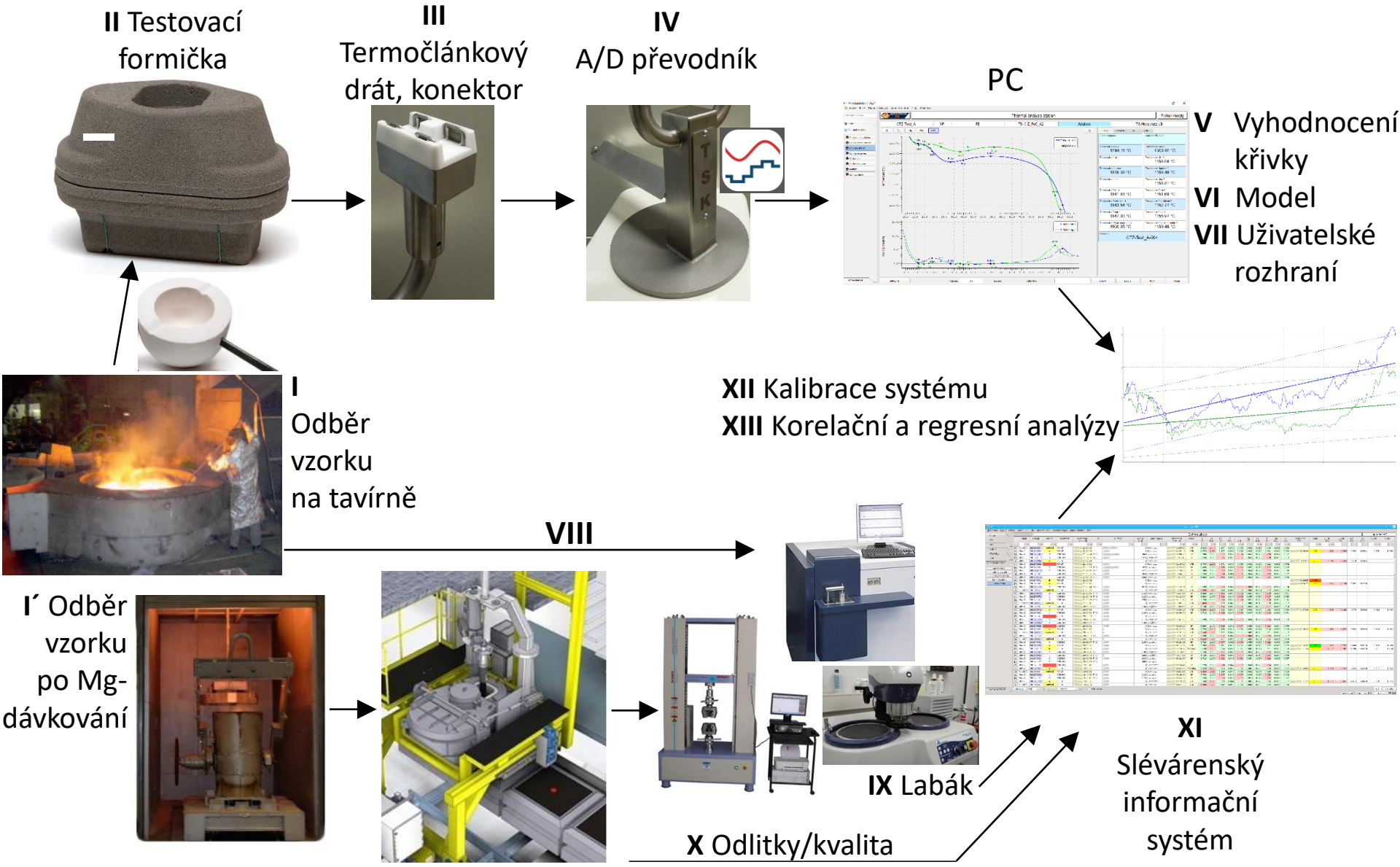


Spolupráce



Typické nasazení termické analýzy

Měřicí řetězec



Spolupráce

Termická analýza je jediná metoda, která vám řekne něco dříve, než odlijete 😊

Hmotnost odlitku 5 kg nebo 5 t, vliv designu ... - termická analýza vám sama o sobě nesdělí, zda-li bude odlitek zdravý, materiálové charakteristiky splněné.

Každá slévárna je typická od vstupů, šaržování, způsobu tavení až po vyhodnocování metalografických výbrusů – ani 2 různé mikroskopy nemusí vyhodnotit shodně charakteristiku grafitu jednoho a toho samého vzorku!

Pokud vám nestačí jen *hrubá orientace*, např. prosté srovnávání „dnešní šarže proti včerejší“ či režim ANO/NE, je potřeba používat diferenční termickou analýzu konst. objemu vzorku plus velmi přesné a rychlé měření. Již samotné měření T_{liq} se dá ovlivnit řadou chyb... Každý software pro termickou analýzu využívá vzorce, které popisují určité fyzikální závislosti – struktura těchto vzorců je známá. Pro každou závislost jsou ovšem platné **variabilní faktory** a ty má každá slévárna jiné! Získat se dají jen regresní analýzou dostatečně průkazných dat. Vzhledem k benefitům, které lze získat, je investice času a peněz do instalace a provozování termické analýzy AccuVo naprosto konkurenceschopná.

DĚKUJI ZA POZORNOST



Kvalita leadershipu a leadership v kvalitě