

NUMERICKÁ OPTIMALIZACE PROCESU ODLÉVÁNÍ INGOTŮ

Václav Čermák, Aleš Herman

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Příspěvek se zabývá problematikou numerická optimalizace liti ingotů ze slitin hliníku, které se deformují vlivem prudkého chlazení při zachování vysokých vnitřních teplot a nedostatečně chlazených kokil.

Klíčová slova: Hliníková slitina; Deformace ingotů; Simulace; Flir; NovaFlow&Solid

1. Úvod

V tomto příspěvku bude analyzována výroba hutních polotovarů z Al slitin v závodě Metal Trade Comax a.s. Po rekonstrukci tavního a vybudování nové linky na odlévání polotovarů ingotů z přetavovaných hliníkových odpadů se zjistilo, že ingoty se poměrně dost deformují. Toto pak dělá problémy v dopravě palet ingotů, kdy do jednoho balíku ingotů je vyskládána cca 1t slitiny (viz obr. 1). Pak se stává, když kamion najede do nerovnosti na vozovce (V Čechách dost častý případ) se na korbě kaminonu celý balík rozsype a je nutné přepravu zastavit, zavolat pracovníky z hutního závodu a ručně vše přeskládat. Tím vznikají nežádoucí vícenáklady. Zde se zaměříme na analýzu deformací, příčiny vzniku a možnost jejich odstranění.

2. Analýza

Z průběhu liti na lince vyšla zajímavá zkušenost, že deformace ingotů na lince se s postupujícím časem výroby zhoršují.

Experimentálně jsme sledovali výrobní cyklus na výrobním pásu a první oběh výrobního pásu byl v pořádku. Problémy se začaly objevovat v druhém

a třetím cyklu odlévání. To nás svedlo k domněnce, že se kokily přehřívají a chlazení je nedostatečné.

Nejvíce se deformace projevuje u hliníkové slitiny AlSi12 od druhého až třetího cyklu liti do litinových kokil s pracovní teplotou cca. 50°C. Deformace vznikne až při projetí ingotu chladícím médiem a projeví se vznikem průhybu. Toto „zkroucení“, neovlivňuje vlastnosti materiálu ingotů, nicméně vznikají problémy při jejich skladování, manipulaci a dopravě pro další zpracování.



Obr.1 – ukázka naskladněného zdeformovaného ingotu

Vzhledem k průhybu vzniknou pouze dva opěrné body (červeně naznačeno) na krajích ingotu a při dopravě z místa A do místa B může dojít následkem brzdění či jízdy do kopce k sesunutí a nenávratnému poškození.

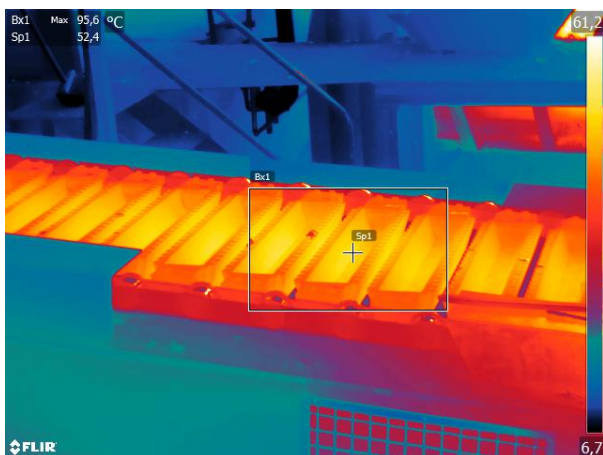
3. Metodika měření

K měření bylo využito následující kalibrované zařízení:

- Termokamera FLIR T640 a vyhodnocovací software TOOLS+
- Kontaktní teploměr AhlbornTherm 2420 s termočlánkem FT 106
- Stopky, svinovací metr

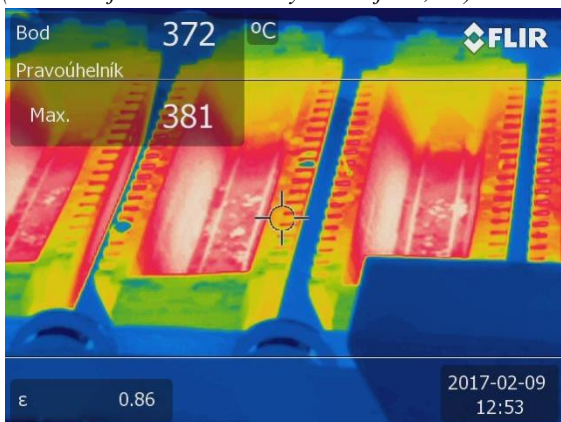
4. Proces lití

Celý proces lití 16 tunové pece trvá přibližně 4 hodiny, délka pásu je 21 metrů a čas jednoho cyklu (tj. od naplnění k naplnění) trvá přibližně 14 minut, čas nalití cca 3,8s. Konkrétně slitina AlSi12 se odlévá při teplotách 750°C. Počáteční teplota kokily je 50°C, koncová na konci lití přibližně 381°C



Obr.2 – termo snímek kokil na samotném začátku licího cyklu.

(bod směřující na dutinu kokily dosahuje 52,4°C)



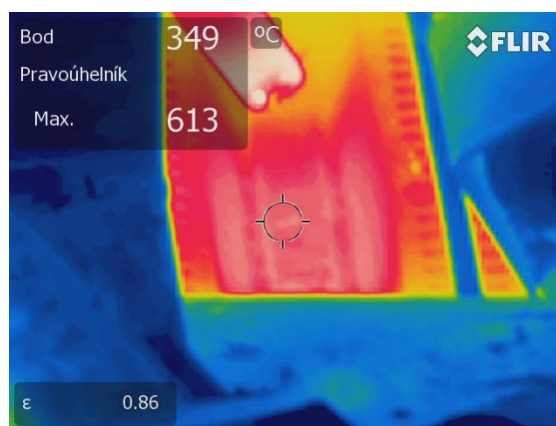
Obr.3 – termo snímek kokil bezprostředně po 4 hodinovém lití

5. Proces optimalizace

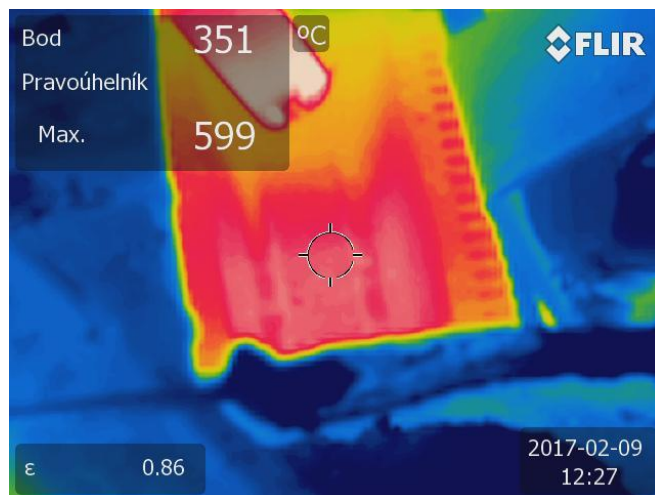
Pro optimalizaci procesu lití byl použit software NovaFlow&Solid. Na základě vstupních dat (délka pásu, čas lití, čas licího cyklu,...) a modelů ingotu a kokily (vytvořeno v Solidworksu) byla vytvořena simulace a navrženy optimalizace, například chlazení kokily vodní mlhou nebo vzduchem nebo kombinací obou. Cílem bylo snížit teplotu kokily pro její lepší odvod tepla z ingotu.

5.1 chlazení kokily pouze na vzduchu

Situace v současné době: kokily se chladí při cestě na zpět k licímu kolu pouze pasivně na vzduchu.



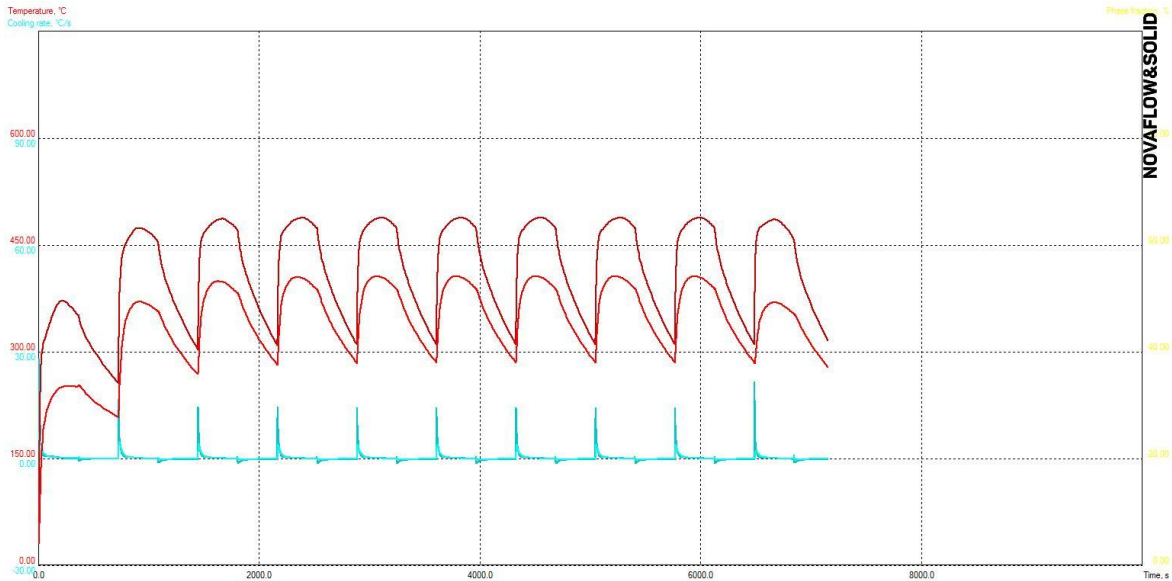
Obr. 4 – termo snímek dutiny kokily těsně před nalitím taveniny, měřeno 2 hodiny po začátku lití.



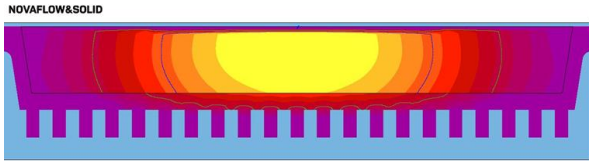
Obr.5 – termo snímek dutiny kokily těsně před nalitím taveniny, měřeno 3,5 hodiny po začátku lití.

Na začátku simulace v NovaFlow&Solid byly rozmístěny termočlánky na kokile a během průběhu lití měřeny na různých místech teploty. Graf zahrnuje pouze místa s nejvyššími dosaženými teplotami na kokile.

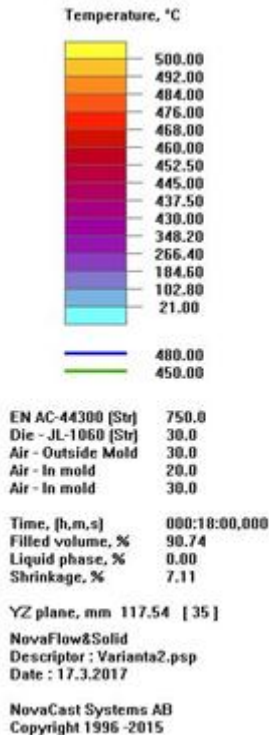
Graf 1. - průběhy teplot na kokile při současné situaci



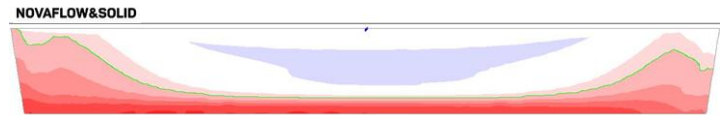
5.1.1 teplotní výsledky



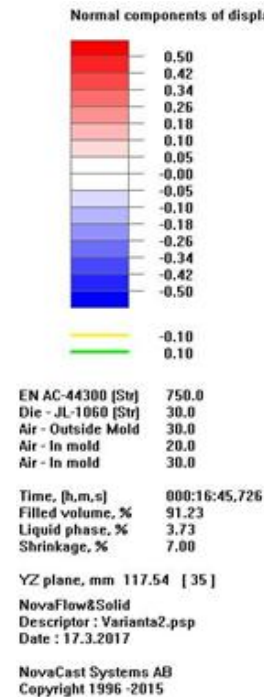
Obr.6 - Teplotní stav ingotu po 7 minutovém tuhnutí na vzduchu v okamžiku vyklopení z kokily



5.1.2 deformační výsledky



Obr.7 - Stav deformace ingotu v okamžiku vyklopení z kokily.

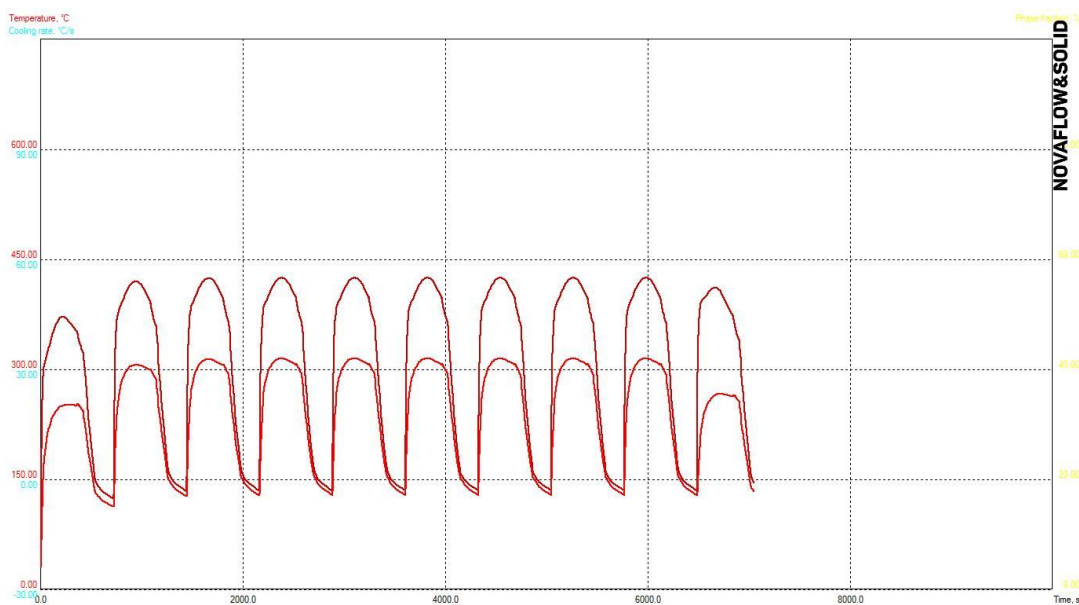


5.2 chlazení vodní mlhou a studeným vzduchem

Na začátku v procesu lití bylo zmíněno, že doba od nalití k nalití trvá 14 minut tj. 7 minut tuhnutí taveniny a 7 minut chladnutí prázdné kokily při

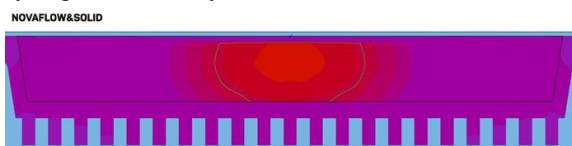
cestě zpět k licímu kolu. Tato optimalizace počítá s rozložením doby 7 minut chladnutí kokily na minutové pasivní chladnutí na vzduchu, dvouminutové chlazení vodní mlhou při průtoku 0,5l/s a tří minutový ofuk studeným vzduchem při objemu průtoku 0,5l/s.

Graf 2. - průběhy teplot na kokile u varianty chlazení vodní mlha/studený vzduch



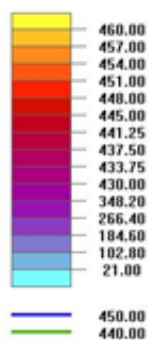
5.2.2 – teplotní výsledky

Výsledkem simulace je snížení teplot na kokile, snížení vnitřních teplot v ingotu těsně před vyklopením z kokily a částečné zmenšení zkroucení



Obr.8 - Teplotní stav ingotu po 7 minutovém tuhnutí na vzduchu v okamžiku vyklopení z kokily, po optimalizaci chlazení kokil.

Temperature, °C



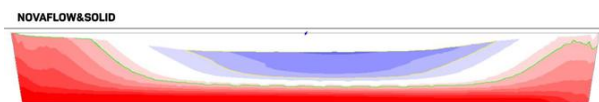
EN AC-44300 [Str]	750.0
Die - JL-1060 [Str]	30.0
Air - Outside Mold	30.0
Air - In mold	20.0
Coolant - Water	20.0
Air - Blowing	20.0
Air - In mold	30.0
Time, [h,m,s]	000:17:47,023
Filled volume, %	90.34
Liquid phase, %	0.00
Shrinkage, %	7.08

YZ plane, mm 117.54 [35]

NovaFlow&Solid
Descriptor : Varianta4.psp
Date : 17.3.2017

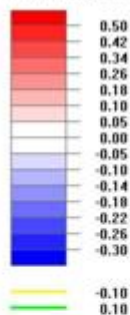
NovaCast Systems AB
Copyright 1996 -2015

5.2.2 – deformační výsledky



Obr.9 - Stav deformace ingotu v okamžiku vyklopení z kokily po optimalizaci chlazení kokil.

Normal components of displacement



EN AC-44300 [Str]	750.0
Die - JL-1060 [Str]	30.0
Air - Outside Mold	30.0
Air - In mold	20.0
Coolant - Water	20.0
Air - Blowing	20.0
Air - In mold	30.0
Time, [h,m,s]	000:15:05,726
Filled volume, %	91,36
Liquid phase, %	6,03
Shrinkage, %	6,88
YZ plane, mm	117,54 [35]
NovaFlow&Solid	
Descriptor : Varianta4.psp	
Date : 17.3.2017	
NovaCast Systems AB	
Copyright 1996-2015	

6. Mechanický obraceč

U procesu optimalizace chlazení vodní mlhou s kombinací studeného vzduchu došlo k závěru, že při průtoku 0,5l/s by v případě 4 hodinového liciho procesu byla spotřeba vody cca 7,2m³ v případě nepřetržitého provozu by vzrostly provozní náklady. Z tohoto důvodu byl vyzkoušen další experiment.

V místě, kde ingot vjíždí do chladicího media bylo vyzkoušeno převrácení ingotu na jeho delší stranu respektive teplejší stranou dolů. Výsledky byly vidět okamžitě viz obr. 10.



Obr.10 – ukázka naskladněného ingotu po převrácení

7. Závěr:

Byla provedena analýza výroby, ze které vyplynuly následující problémy:

- Kokily na ingoty se od druhého cyklu začínají přehřívat
- Je podceněné chlazení kokil od dodavatele linky

S ohledem na zjištěné problémy a simulaci procesu, která ukázala nejteplejší místo v ingotu na povrchu hladiny, jsme doporučili obracet ingoty touto plochou do vodního chlazení. Dále jsme navrhli možnosti úpravy linky přidáním chlazením. Po finanční analýze bylo rozhodnuto přistoupit k obracení ingotů při vstupu do vodní lázně, což problém odstranilo. Zatím je nevýhoda, že je řešeno člověkem. V budoucnu bude potřeba nahradit mechanizací