



HEATED INGOT TRANSPORT - THEORY AND PRACTICE

František Ficek, Ludvík Martínek, Libor Vaverka*

***Summary:** The paper describes MSC.MARC software using for the numerical simulation of ingot cooling. Ingot of 650oC start temperature is wrapped into transport case. Furthermore there is evaluated the comparing numerical simulation results with experimental results.*

1. ÚVOD

V divizi metalurgie a.s. ŽDAS vznikl požadavek na přepravu teplých ingotů po území ČR. Realizovatelnost tohoto požadavku byla ověřována výpočtem. Ve spolupráci s přepravní firmou vznikl konstrukční návrh nádoby. Následovalo ověření navržené konstrukce výpočtem a poté i experimentálně.

2. POŽADAVKY NA PŘEPRAVNÍ NÁDOBU

Do nádoby lze umístit 2 ingoty o celkové hmotnosti cca 17t. Konstrukce nádoby musí umožňovat snadné naložení a vyložení ingotů. Na tomto místě jsou uvedeny pouze požadavky na tepelně izolační vlastnosti nádoby.

- Počáteční povrchová teplota ingotu 650°C.
- Povrchová teplota ingotu po 3 hodinách nesmí klesnout pod 500°C.
- Minimální okolní teplota při přepravě -25°C.

3. OVĚŘENÍ REALIZOVATELNOSTI POŽADAVKU

Po stanovení základních požadavků na přepravní nádobu, bylo provedeno ověření jejich realizovatelnosti. Ověření bylo provedeno výpočtovým modelováním i experimentálně. Pro ověření byl vybrán jeden typ ingotu (8K4.3) o hmotnosti 4t. Tento ingot byl umístěn na šamotové cihly do ingotové jámy v zemi a volně zasypan perlitem dle obr.1.

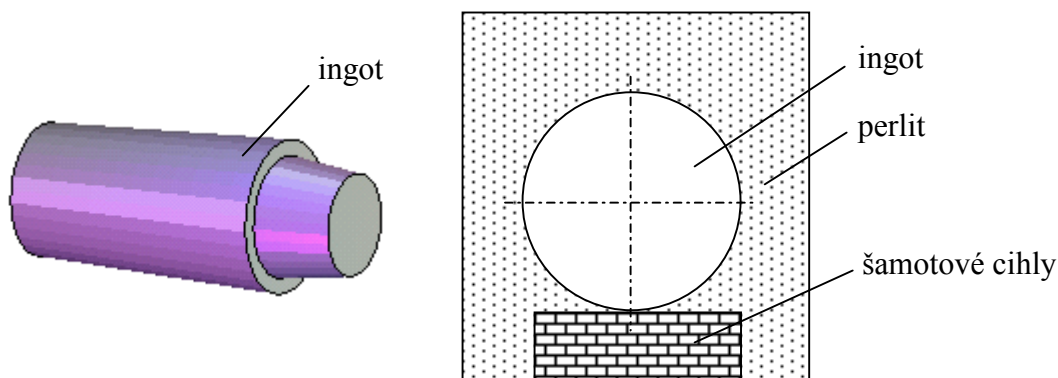
Výpočtové modelování

Výpočtový model je vytvořen za účelem modelování časové závislosti teploty ingotu při izolaci tvořené perlitem a šamotem s využitím programového systému pro metodu konečných prvků MSC.MARC. Geometrie výpočtového modelu je uvedena na obr.1.

Materiálové charakteristiky: Je uvažována teplotní závislost měrné tepelné kapacity a tepelné vodivosti materiálu ingotu. U šamotu a perlitu nejsou teplotní závislosti materiálových charakteristik uvažovány.

* ing. František Ficek, ŽDAS a.s., Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou, f_ficek@zdas.cz
ing. Ludvík Martínek, ŽDAS a.s., Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou
Libor Vaverka, ŽDAS a.s., Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou

Počáteční podmínky: Počáteční teplota šamotu a perlitu je uvažována ve všech místech izolace shodná. Tento předpoklad nelze použít pro ingot. V okamžiku zasypání ingotu perlitem existuje v tělese ingotu neznámé teplotní pole. Nutnost určení počátečního teplotního pole v tělese ingotu, vede k vytvoření dalšího výpočtového modelu.



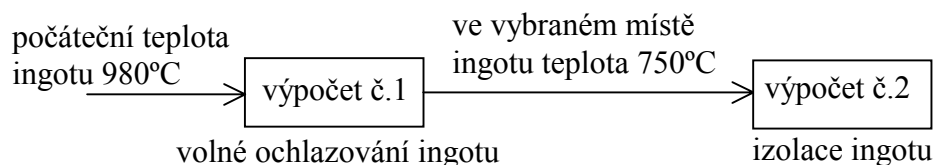
Obr.1 Výpočtový model a schéma izolace ingotu

Určení počátečního teplotního pole v tělese ingotu, výpočet č.1.

Počáteční rozložení teplot v tělese ingotu je určeno za předpokladu jeho rovnoměrného volného ochlazování z počáteční teploty 980°C , která je ve všech místech ingotu shodná. V průběhu ochlazování vzniká v tělese ingotu nerovnoměrné rozložení teplot. Stav, kdy ve teplota ve vybraném místě na povrchu ingotu dosáhne hodnoty 750°C , považujeme za počáteční stav pro řešení izolovaného ingotu.

Určení časové závislosti teploty ingotu, výpočet č.2

Počáteční rozložení teplot v tělese ingotu je dáno výsledkem výpočtu č.1. Postup výpočtu je patrný z obr.2.



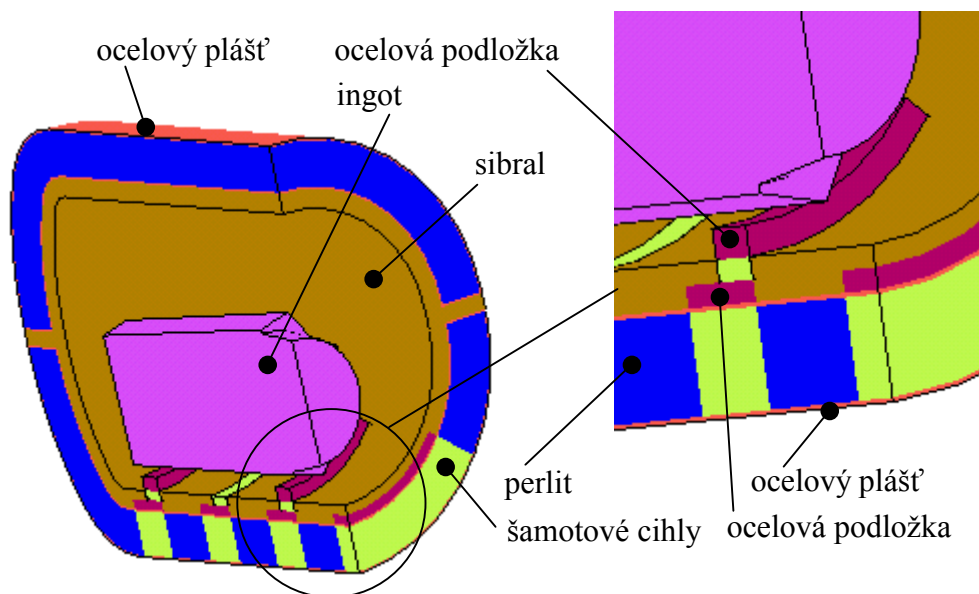
Obr.2 Schéma výpočtu

Výsledkem výpočtu je časová závislost teploty ve všech uzlech sítě konečných prvků tělesa ingotu a izolace. Výpočtem určená časová závislost teploty ve vybraném místě ingotu byla dále doplněna experimentálně určenou závislostí. Tyto závislosti jsou uvedeny na obr. 4.

Maximální rozdíl teploty, určené výpočtem a experimentálně, je v uvažovaném časovém intervalu menší než 5%. Důležité je, že povrchová teplota ingotu po 16 hodinách od počátku izolace je ve sledovaném místě 840°C . Izolace ingotu perlitem je velmi dobrá a požadavek na přepravu ingotů je reálný.

4. VÝPOČTOVÝ MODEL INGOTU V PŘEPRAVNÍ NÁDOBĚ

Po ověření realizovatelnosti požadavku, byl proveden konstrukční návrh přepravní nádoby. Nádoba sestává ze dvou ocelových plášťů, mezi kterými je nasypán perlit. V místě dotyku ingotu jsou pro zajištění přenosů síly mezi ocelové pláště vloženy šamotové cihly. Vnitřní povrch je pokryt sibralem (hlinitokřemičitá vlákna), v místě dotyku ingotu je sibral nahrazen vrstvou šamotových cihel. Na obr. 3 je uveden schématický řez přepravní nádoby s vyznačením jednotlivých materiálů.



Obr. 3 Schéma přepravní nádoby

Podobně jako v předchozím případě je výpočtový model vytvořen za účelem určení časové závislosti teploty ingotu a přepravní nádoby s využitím programového systému pro metodu konečných prvků MSC.MARC. Geometrie části výpočtového modelu je uvedena na obr.3. Jsou uvažovány dva různé ingoty společně umístěné v přepravní nádobě.

Materiálové charakteristiky: Je uvažována teplotní závislost měrné tepelné kapacity a tepelné vodivosti materiálu ingotů, ocelového pláště, podložky, sibrálu a perlitu. U šamotu nejsou teplotní závislosti materiálových charakteristik uvažovány.

Sdílení tepla mezi ingoty a vnitřním povrchem nádoby je uvažováno pouze sáláním tepla s uvažováním viditelnosti jednotlivých ploch.

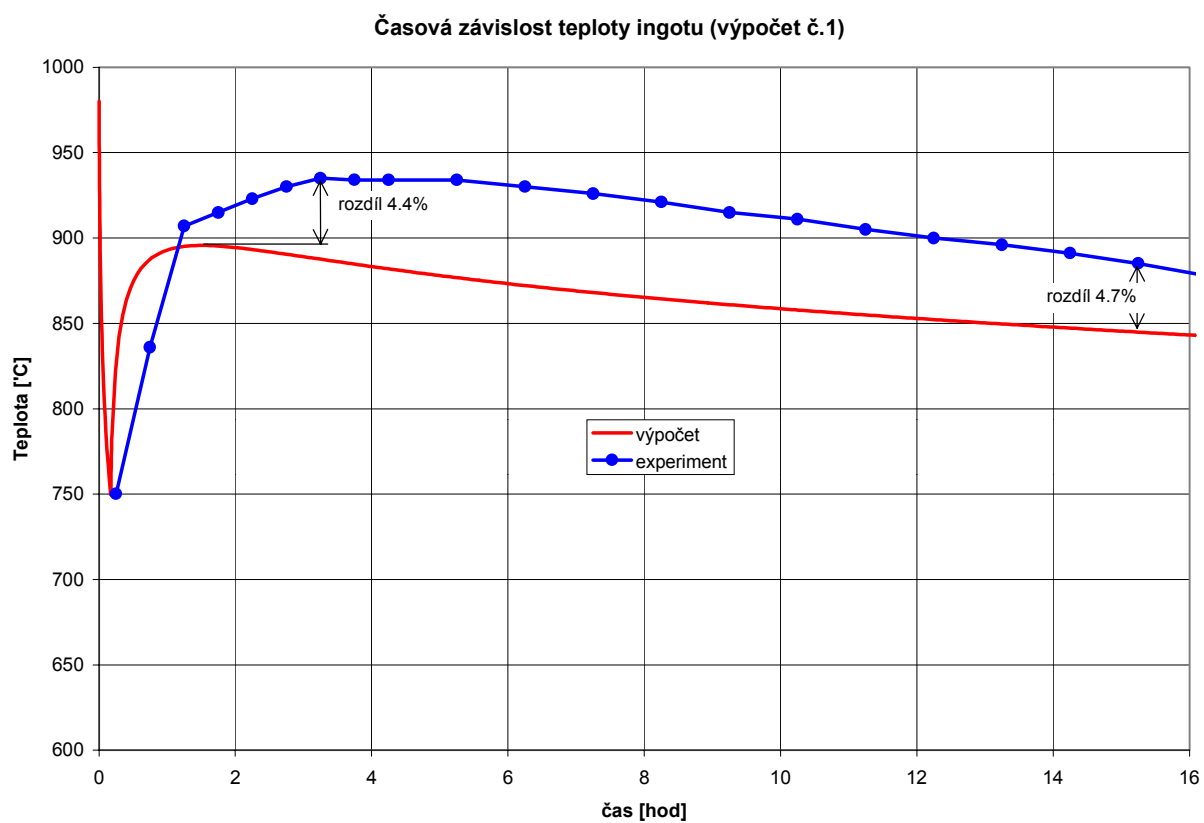
Počáteční podmínky: Počáteční teplota šamotu, perlitu, sibrálu, ocelového pláště a ocelových podložek je uvažována ve všech místech shodná. Podobně jako ve výpočtu č.2 nelze tento předpoklad použít pro ingoty. V okamžiku uložení ingotů do nádoby existuje v tělesech obou ingotů neznámé teplotní pole. Nutnost určení počátečního teplotního pole v tělesech ingotů, vede k vytvoření dalšího výpočtového modelu.

Určení počátečního teplotního pole v tělese dvou ingotů, výpočet č.3.

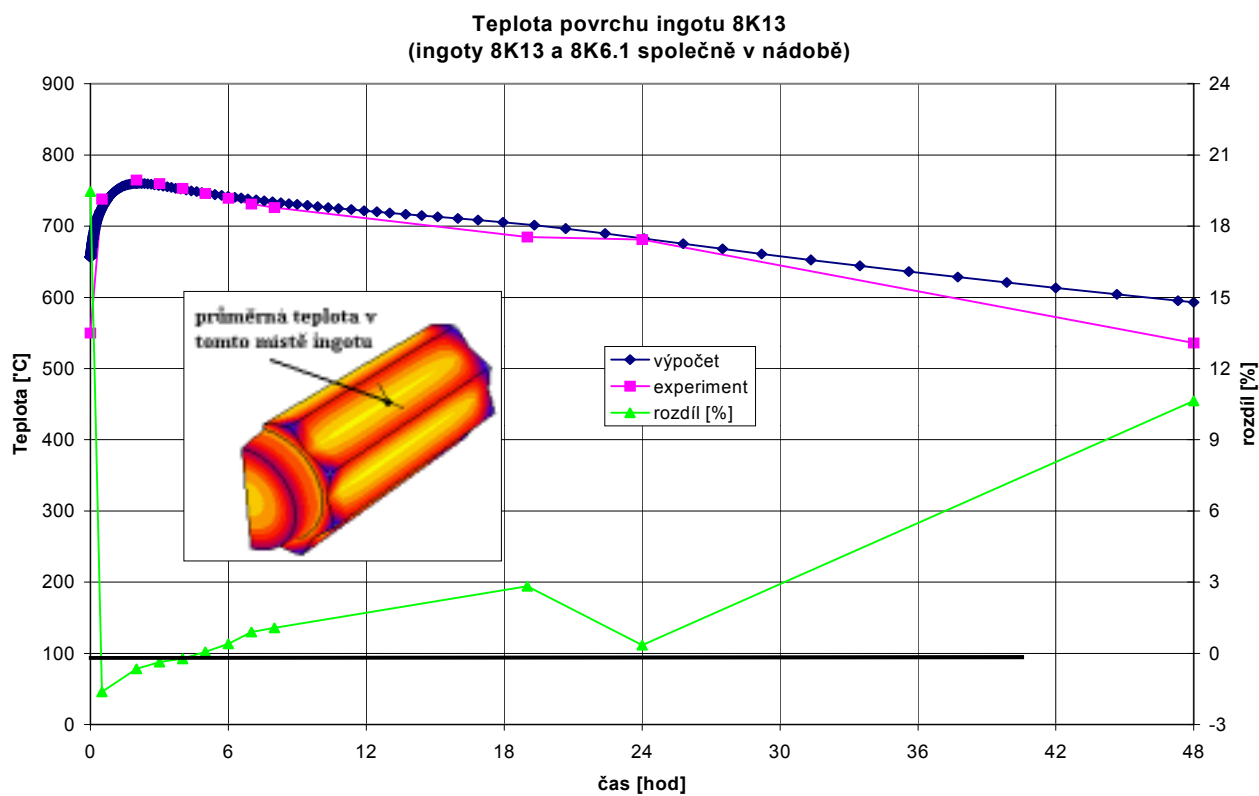
Počáteční rozložení teplot v tělese dvou ingotů je určeno za předpokladu rovnoměrného volného ochlazování dvou ingotů o stejné počáteční teplotě 980°C , která je ve všech místech obou ingotů shodná. Stav, kdy ve teplota ve vybraném místě na povrchu vybraného ingotu dosáhne hodnoty 650°C , považujeme za počáteční pro řešení teplotního pole ingotů umístěných v přepravní nádobě.

Určení časové závislosti teploty ingotů a přepravní nádoby, výpočet č.4

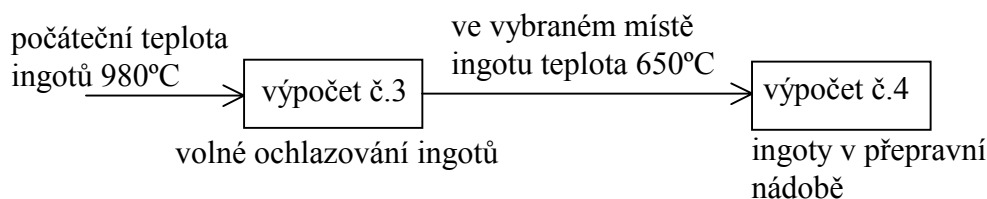
Počáteční rozložení teplot v tělese obou ingotů je dáno výsledkem výpočtu č.3. Postup výpočtu je patrný z obr.6.



Obr. 4 Časová závislost teploty ingotu pro výpočet č.1



Obr. 5 Časová závislost teploty ingotu pro výpočet č.4



Obr.6 Schéma výpočtu

Výsledkem výpočtu č.4 je časová závislost teploty ve všech uzlech sítě konečných prvků tělesa ingotu a přepravní nádoby. Výpočtem určená časová závislost teploty ve vybraném místě na obou ingotech byla doplněna experimentálně určenou závislostí. Tyto závislosti jsou uvedeny na obr.5.

Maximální rozdíl teploty ingotu určené výpočtem a experimentálně, je v časovém intervalu 24 hod menší než 3%. Největší rozdíl 19% se vyskytuje na počátku řešení, kdy je teplota určená experimentálně nižší než teplota určená výpočtem. Účelem výpočtu je určení teploty ingotů po několika hodinách izolace v přepravní nádobě. Z tohoto důvodu je možné považovat výsledky výpočtu za vyhovující s chybou do 3% v časovém intervalu 24h. Jak vyplývá z časové závislosti teploty ingotů tento rozdíl s časem postupně narůstá a po 48h dosahuje hodnoty 10.5%.

Příčinou tohoto rozdílu jsou patrně nepřesné hodnoty materiálových charakteristik a součinitelů přestupu tepla. Lze očekávat, že vliv těchto nepřesností bude narůstat postupně s rostoucím časem.

Izolace je velmi dokonalá, po 24h od umístění ingotů v přepravní nádobě je jejich povrchová teplota 630 až 680°C.

Poznámka k provedeným výpočtům

Výpočty byly prováděny na počítači DELL PE6300, 4xIPentiumII Xeon 400MHz, 4GB RAM. Časově nejnáročnější výpočet č.4 trval asi 2hod s využitím pouze jednoho procesoru, protože program MSC.MARC ve verzi K7.3 neumožňuje řešit úlohy s uvažováním viditelnosti jednotlivých ploch při sálení tepla s využitím více procesorů.

5. PRAKTICKÁ REALIZACE

Ve spolupráci s přepravcem byl navržen kontejner, jehož podstatou je, že dvouplošťová nádoba s vnitřním a vnějším pláštěm je podélně rozdělena na dno a víko.

Prostor dna mezi pláštěmi je vyztužen žáruvzdornými cihlami a dále vyplněn tepelnou izolací pláště, kterou je vyplněn i vnitřní prostor víka. Podstatou dále je, že tepelná izolace pláště může být tvořena granulovaným, tepelně izolačním materiálem a vnitřní tepelná izolace keramickou vatou.

Výhodou nového řešení jsou nízké pořizovací náklady a skutečnost, že zařízení může být dopravováno na dopravním prostředku (nákladní automobil, případně železniční vagon) bez nároku na jeho speciální konstrukci.

Od 13.9.2000 je navržený způsob chráněn osvědčením o zápisu užitného vzoru na Úřadu průmyslového vlastnictví pod číslem 10677.

Za tři měsíce, t.j. do konce roku 2000 činila celková hmotnost přepravovaných ingotů 643 tun. Při průměrné přepravované hmotnosti horkých ingotů 14.9t bylo uskutečněno 43 transportů.



Obr. č.7 Ukládání ingotu do přepravní nádoby



Obr. č.8 Přeprava nádoby

6. ZÁVĚR

Po provedení experimentu je možné považovat vytvořený výpočtový model za vyhovující pro určení časové závislosti teploty ingotu a přepravní nádoby. Přeprava ingotů v uvažované nádobě se stala rutinní záležitostí. Ingoty jsou převáženy do vzdálenosti stovek kilometrů po území České republiky.

7. REFERENCES

- [1] MSC.Software: Dokumentace programu MSC.MARC a MSC.MENTAT
- [2] PERLIT spol. s r.o.: Expandovaný perlit, podniková norma PN 721271, Šenov u Nového Jičína, 1997
- [3] ŽŽAS a.s., divize metalurgie: Katalog výrobků