

Popis výsledku – software

Název: Program pro výpočet chladítek

Autor: doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D. (ÚST odbor slévárenství FSI, VUT v Brně)
Ing. Vladimír Krutiš, Ph.D. (MECAS ESI, ÚST odbor slévárenství, FSI)
doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc. (ÚST odbor slévárenství FSI, VUT v Brně)
Ing. Karel Martišek (ÚM, FSI, VUT v Brně)

Popis:

Pro dimenzování velikosti chladítek byl v rámci projektu TANDEM FT—TA5/048 vytvořen v programovém prostředí PASCAL algoritmus, který na základě velikosti (hmotnosti nebo objemu) ochlazovaného kovu určí velikost chladítka.

Obr. 1 Program pro dimenzování chladítek

Při stanovení dimenze chladítka se vychází z tepelné bilance tepla odváděného z odlitku, příp. jeho částí a tepla naakumulovaného chladítkem. Teplo akumulované chladítkem ($Q_{\text{chlad.}}$) musí být rovno teple odvedenému z taveniny v rozmezí maximální teploty a teploty likvidu (teplo přehřátí $Q_{\text{přeh.}}$) a dále teple krystalizačnímu (zjednodušeně latentnímu teple $Q_{\text{kryst.}}$). Tuto relaci lze vyjádřit rovnicí (1).

$$Q_{\text{chlad.}} = Q_{\text{přeh.}} + Q_{\text{kryst.}} \quad [J] \quad (1)$$

Uvažujeme-li, že tuhnutí probíhá přibližně za konstantní teploty a tlaku, pak uvedená tepla lze vyjádřit pomocí stavových funkcí – entalpií. Teplo přehřátí taveniny ($\Delta H_{tav}^{T_{likv}^{max}}$) i latentní teplo ($\Delta H_{lat.}$) vede k odpovídající změně entalpie materiálu chladítka ($\Delta H_{chlad.}^{T_{kon.}, T_{poč.}}$). Uvedenou filozofii výpočtu lze vyjádřit rovnicí (2).

$$x \cdot \Delta H_{tav}^{T_{likv}^{max}} + x \cdot \Delta H_{lat.} = y \cdot \Delta H_{chlad.}^{T_{kon.}, T_{poč.}} \quad (2)$$

kde

x – je počet kilomolů ochlazovaného množství taveniny (určeno jako poměr ochlazované hmotnosti taveniny a molární hmotnosti Fe, tzn. $x = m_{tav.}/M_{Fe}$ [kg/kg.kmol⁻¹])

y – je počet kilomolů chladítka (dáno jako poměr hledané hmotnosti chladítka a molární hmotnosti Fe, tzn. $m = m_{chlad.}/M_{Fe}$ [kg/kg.kmol⁻¹])

Teplo naakumulované chladítkem zvýší jeho teplotu chladítka z počáteční teploty na teplotu konečnou. Entalpie je obecně funkce, kterou lze vyjádřit pomocí měrného skupenského tepla za konstantního tlaku C_p (tabelovaná hodnota) viz rovnice (3).

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (3)$$

Změna entalpie je stanovena ze známé závislosti pro čisté železo podle vztahu (4). Použití termodynamických dat pro čisté Fe je v případě ocelových chladítek velice dobře splněno, neboť materiálem je zpravidla nelegovaná ocel s minimem přísadových prvků. Sestavený model počítá s tím, že během ohřevu chladítka může daný materiál procházet i fázovými přeměnami. Maximální teplota, se kterou model počítá je maximální teplota termodynamické stability austenitu (1673K, tj. 1400°C).

$$\Delta H_{chlad.} = H_0^{T_{kon.}} - H_0^{T_{poč.}} = \int_{273}^{1033} C_{p\alpha} dT + \Delta H^{\alpha \rightarrow \beta} + \int_{1033}^{1183} C_{p\beta} dT + \Delta H^{\beta \rightarrow \gamma} + \int_{1183}^{1673} C_{p\gamma} dT \quad (4)$$

V případě uvažování litinových chladítek je uvažována teplotní závislost entalpie pro litinu. Při výpočtu zadává uživatel parametry chladítka a to jednak provozní teploty (počáteční a konečnou) a dále tvar a velikost kontaktní plochy chladítka a odlitku.

Hodnota změny entalpie přehřátí ($\Delta H_{tav}^{T_{likv}^{max}}$) je vyjádřena teplotní závislosti entalpie pro čisté železo pomocí vztahu (5). Dále je zadáváno množství (objem nebo hmotnost) kovu – taveniny, které má být chladítkem odvedeno a tedy i počet kilomolů taveniny x. Tímto způsobem jsou vyjádřeny všechny členy prvního výrazu v rovnici (2). Ve druhém výrazu rovnice (2) vystupuje opět hmotnost taveniny vyjádřená počtem kilomolů x. Jako krystalizační - latentní teplo je opět uvažována tabelovaná hodnota pro čisté Fe.

$$\Delta H_{tav}^{T_{likv}^{max}} = \int_{1809}^{T_{likv}^{max}} C_{pL} dt \quad (5)$$

Posledními volitelnými parametry jsou tvar a velikost chladítka, která vychází z konkrétní konstrukce odlitku, tj. maximální plochy a tvaru, kde bude chodítko umístěno. Pro zadané rozměry (plochu) je pak dopočítán třetí rozměr – výška chladítka. Stanovení hmotnosti chladítka nastává po stisknutí tlačítka „Výpočet”.

Uvedený program umožňuje dimenzovat velikost chladítek na základě fyzikálních zákonitostí s vyloučením subjektivních a empirických pravidel. Velikost chladítka je dimenzována tak, aby odvedla pouze teplo přehřátí a krystalizační teplo a teplota chladítka nepřesáhla během tuhnutí navrženou teplotu. V praxi je nutné očekávat, že teplota chladítka během chladnutí odlitku se bude pochopitelně s rostoucím časem zvyšovat. Správná dimenze chladítka minimalizuje nebezpečí vzniku trhlin a dále snižuje i riziko nežádoucího svaření odlitku a chladítka.