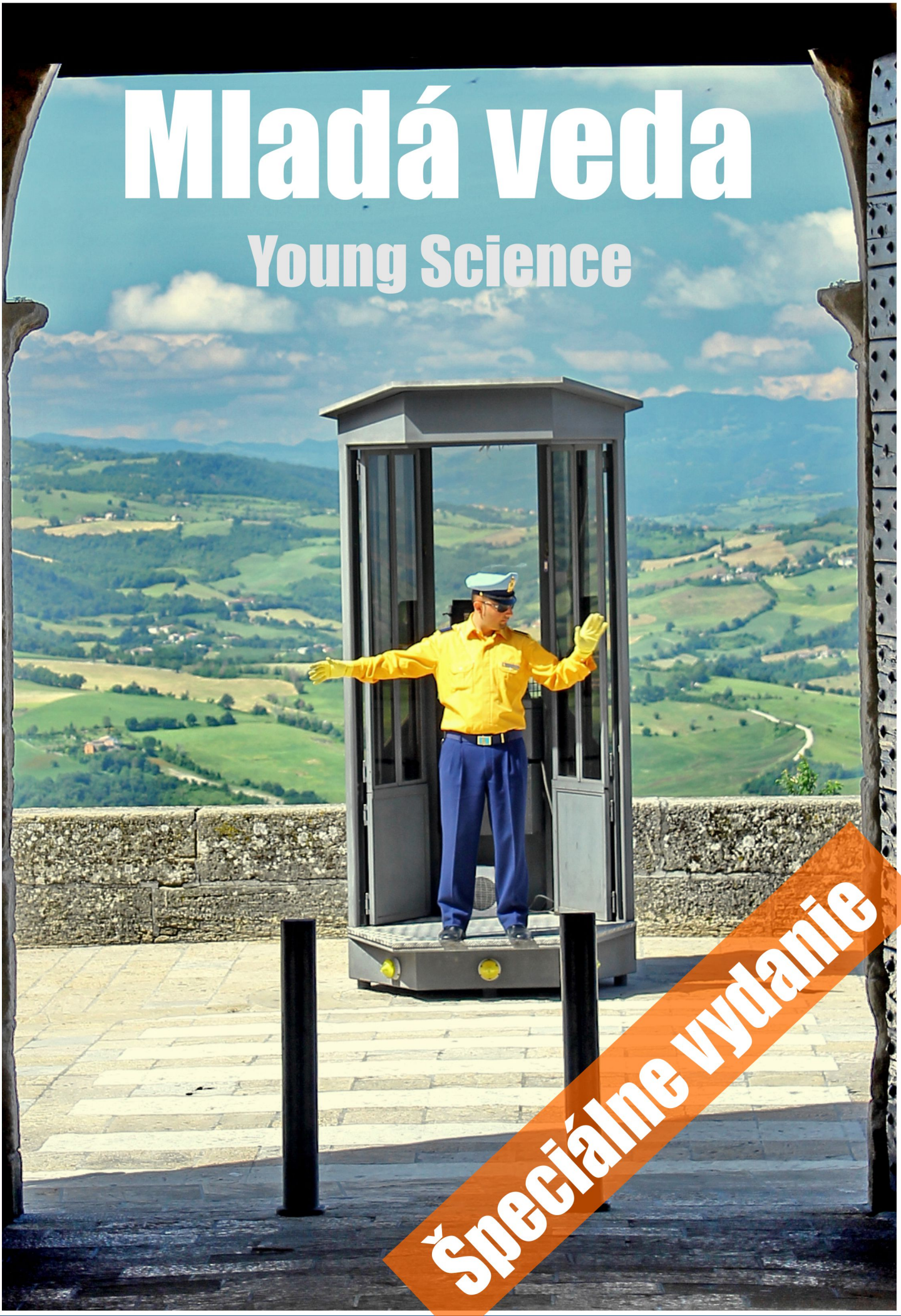
ISSN 1339-3189

7/2017

Mladá veda

Young Science



Špeciálne vydanie

www.mladaveda.sk

Mladá veda
Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 7, ročník 5., vydané v novembri 2017
ISSN 1339-3189
Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk
Fotografia na obálke: San Marino. © Branislav A. Švorc, foto.branisko.at

REDAKČNÁ RADA

doc. Ing. Peter Adamišin, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)
prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)
Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)
doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)
prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)
prof. PhDr. Peter Švorc, CSc.,predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra veřejné ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

REDAKCIA

PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD. (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)
Mgr. Martin Hajduk (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
RNDr. Richard Nikischer, Ph.D. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)
Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)
PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)
Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.
www.universum-eu.sk
Javorinská 26, 080 01 Prešov
Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

Mladá veda
Young Science
ISSN 1339-3189

Vol. 5 (7), pp. 45-52

VPLYV PODMIENOK KRYŠTALIZÁCIE NA MAKROŠTRUKTÚRU A POVRCHOVÚ TVRDOSŤ ODLIATKOV

INFLUENCE OF CRYSTALIZATION CONDITIONS ON MACROSTRUCTURE AND HARDNESS OF CASTING SURFACES

Ján Majerník[1]

Autor pôsobí ako odborný asistent na Katedre strojírenství Vysoké školy technické a ekonomické v Českých Budějovicích. Vo svojej problematike sa venuje technológii liatia kovov pod tlakom, so zameraním na vysokotlakové liatie hliníkových zliatin.

The author acts as an assistant professor at the Department of Mechanical Engineering of the Technical and Economic University in České Budějovice. He focuses on hight pressure die casting technology, focusing on high-pressure casting of aluminum alloys.

Abstract

The trend in machine hardening and hardening of machine parts is dominated by machine industry. In practice, different coating and surface curing technologies are available, but largely cause an increase in the economic burden of companies in increasing production capacities, machinery, or dependence on external suppliers. One way of increasing the hardness of components produced by foundry technologies is the possibility of influencing the technological process with a focus on the structure of the material. Understanding and acquiring the processes taking place during the solidification of the melt in its volume, it is possible to modify the technological parameters of the casting so that the hardness characteristics of the castings are increased by the crystallization process itself and thus by the morphology of the internal structure. The article deals with the issue of crystalline processes accompanying melt solidification in the form. The theoretical level describes the creation and location of crystalline grains in the casting wall. Based on the fact that the casting macrostructure is heavily influenced by the temperature conditions during solidification, an experiment was carried out in which the surface hardness of the castings produced by conventional methods and the high pressure casting method was investigated. The assessed parameter is the morphology of the structure in the sub-surface casting layer and the surface hardness. It is assumed that hardness and macrostructure closely correlate together. In case of

[1] Adresa pracoviska: Ing. Ján Majerník, PhD., Katedra strojírenství, Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice
E-mail: majernik@mail.vstecb.cz

castings produced by hight pressure casting technology, the influence of the design of the gully on the parameters monitored is also considered.
Key words: Crystallization, hardness, macrostructure

Abstrakt
V strojárskom priemysle prevláda trend zvyšovania povrchovej tvrdosti a odolnosti strojných súčiastok. V praxi sú dostupné rôzne technológie povlakovania a vytvrdzovania povrchov, no v prevažnej miere spôsobujú navýšenie ekonomického zaťaženia firiem spočívajúceho v navyšovaní výrobných kapacít, strojového zariadenia či závislosti na externých dodávateľoch. Jedným zo spôsobov zvyšovania tvrdosti súčiastok vyrábaných zlievarenskými technológiami je možnosť ovplyvnenia technologického procesu s orientáciou na štruktúru materiálu. Pochopením a osvojením si dejov prebiehajúcich počas tuhnutia taveniny v jej objeme je možné upraviť technologické parametre odlievania tak, aby tvrdostné charakteristiky odliatkov boli zvyšované samotným procesom kryštalizácie, a tým i tvorbou morfológie vnútornej štruktúry. Predkladaný článok je venovaný problematike kryštalických dejov sprevádzajúcich tuhnutie taveniny vo forme. Na teoretickej úrovni je popísaná tvorba a lokácia kryštalických zŕn v stene odliatku. Opierajúc sa o fakt, že makroštruktúra odliatku je silne ovplyvnená teplotnými podmienkami počas tuhnutia, bol prevedený experiment, v ktorom bola skúmaná povrchová tvrdosť odliatkov vyrobených konvenčnými metódami a metódou vysokotlakého liatia. Posudzovaným parametrom je morfológia štruktúry v podpovrchovej vrstve odliatku a povrchová tvrdosť. Je predpoklad, že tvrdosť a makroštruktúra spolu úzko korelujú. Pri odliatkoch vyrábaných technológiou tlakového liatia je súčasne posudzovaný i vplyv konštrukčného riešenia vtokového zárezu na sledované parametre.
Kľúčové slová: kryštalizácia, tvrdosť, makroštruktúra

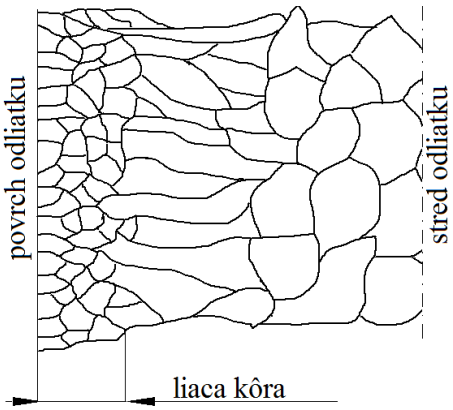
Úvod

Zvýšenie podielu odliatkov v moderných konštrukciách vyžaduje poznanie zákonitostí zlievarenských procesov a ich cielené využívanie. Práve technológia tlakového liatia kovov zaberá medzi zlievarenskými technológiami popredné miesto. Vďačí za to možnosti výroby tenkostenných, tvarovo náročných odliatkov s vysokou rozmerovou presnosťou a s presným kopírovaním povrchového reliéfu formy. Špecifickosť tejto technológie sa odráža i v mechanizme kryštalických pochodov a tvorbe kryštalickej štruktúry odliatkov. Ten je ovplyvnený hlavne vysokým stupňom podchladenia pri styku taveniny s lícom formy a kryštalizáciou pod tlakom. To sa prejavuje na tvorbe jemnozrnnej štruktúry v povrchovej vrstve, na ktorej je závislá tvrdosť odliatkov. (Gašpár, 2017) (Ružbarský, 2014)

Javy sprevádzajúce tuhnutie taveniny v zlievarenskej forme

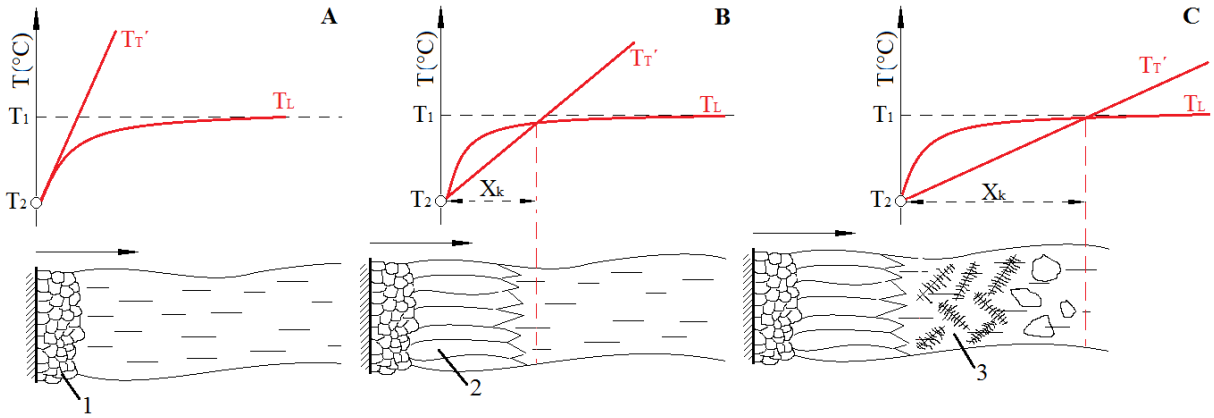
Kryštalizácia zlievarenských zliatin je vo všeobecnosti charakterizovaná vznikom kryštalického usporiadania tuhej fázy pri tuhnutí látky. Podľa teórie kryštalizácie môžu za určitých termodynamických podmienok vznikať kryštalizačné zárodky priamo z taveniny, kedy hovoríme o homogénnej kryštalizácii alebo na aktívnych cudzích zárodočných objektoch, t.j. pri vynútenej heterogénnej kryštalizácii. Výskumy dokázali, že k homogénnej

kryštalizácii dochádza pri podchladení väčšom než $\Delta T = 0{,}2\ T_L$, pričom T_L je teplota likvidu [°C]. Z praxe je však známe, že ku kryštalizácii dochádza pri podstatne menších podchladeniach. Pri odlievaní do foriem je príčinou vzniku kryštalizácie samotný mechanický dotyk taveniny s lícom formy Tým že stena formy odvádza teplo z prehriatej taveniny sa tavenina v mieste kontaktu viac podchladí a umožní vznik kryštalických zárodkov. So stúpaním hodnôt podchladenia sa kritické rozmery zárodkov, na ktorých vzniká kryštalizácia zmenšujú, v dôsledku čoho ich počet stúpa a štruktúra odliatku je tvorená menšími zrnami. Intenzita ochladzovania má výrazný vplyv na rast kryštálov. Zmena podmienok a rýchlosti tuhnutia je badateľná i na zmene štruktúry častí odliatku blízko relatívne chladnej steny formy a v tepelnej osi odliatku. Medzi povrchom odliatku a jeho tepelnou osou (stredom) je v dôsledku rôznych rýchlostí chladnutia štruktúra tvorená zónami zŕn s rozdielnou morfológiou, ako je znázornené na Obr. 1.



Obr.1 – Morfológia zón štruktúry v odliatku
Zdroj: Vlastný archív autora

Mechanizmus vzniku rôznorodej štruktúry odliatku v závislosti na zmenách podmienok tuhnutia je schematicky znázornený na Obr. 2.



Obr. 2 – Zmeny podmienok tuhnutia v priebehu chladnutia odliatku
Zdroj: Vlastný archív autora

Po naplnení zlievarenskej formy prehriatou taveninou sa v dôsledku styku taveniny so stenou formy začína táto zliatina ochladzovať, Pri dostatočnom podchladení na stenách formy

vznikne veľké množstvo kryštalizačných zárodkov pre heterogénnu kryštalizáciu. Na nich začne počiatočné štádium tuhnutia, ktoré prejde do stacionárneho procesu tuhnutia. Dôsledkom intenzívneho odvodu tepla (Obr. 2A) sú na začiatku tuhnutia s vysokým gradientom teploty dTT/dx prvé zrná veľmi jemné (1), rastú rýchlo a po ukončení rastu ich časť vykonáva funkciu zárodkov pre ďalšiu kryštalizáciu. S pokračujúcou tvorbou tuhej fázy sa teplota povrchu formy zvyšuje a dochádza k postupnému poklesu odvodu tepla a znižovaniu teplotného gradientu (Obr. 2B). Za rýchlo stuhnutou, tzv. liacou kôrou odliatku tuhnutie v objeme postupuje pomalšie a ďalšie zrná (2) rastú na časti kryštálov liacej kôry. Z tohto dôvodu sú hrubšie a dlhšie s pozdĺžnymi osami kolmými na tepelnú os odliatku. Táto orientácia osy je vyvolaná dominujúcim vplyvom smeru odvodu tepla. V blízkosti teplotnej osi odliatku vplyvom veľkého koncentračného podchladenia (Obr. 3C) sa prestáva uplatňovať orientovaný odvod tepla a na zárodkoch vznikajúcich v tavenine pred rozhraním solidus-likvidus sa tvoria náhodne orientované tzv. rovnoosé polydendrické zrná (3) s dendritickou stavbou. (Murgaš 2002) (Gašpár 2016)

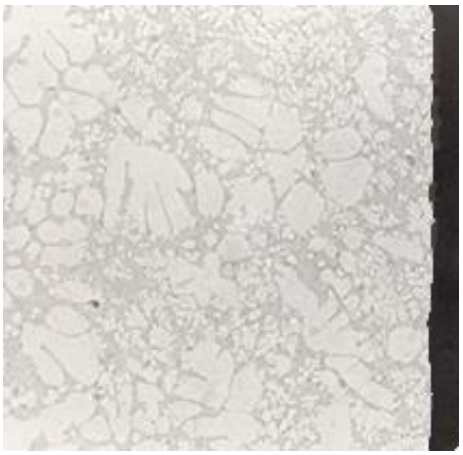
Experimentálny materiál, metodika experimentov a zariadenia

Analýze makroštruktúr boli podrobené odliatky vyrobené so zliatiny EN AC 47100 – AlSi12Cu(Fe). Teplota taveniny v taviacej a udržiavacej peci dosahovala hodnotu 708°C, teplota tlakovej formy 220°C. Makroskopické vyhodnocovanie vzoriek odobratých z odliatkov bolo vykonané mikroskopom OLYMPUS GX51. Meranie tvrdosti vzoriek bolo realizované pomocou metódy podľa Brinella na meracom prístroji HPO 250. Podmienky merania tvrdosti boli stanovené v súlade s normou STN EN 6506-1 (STN 42 0371):

- priemer guľôčky D = 2,5 mm,
- zaťažujúca sila F = 613 N
- doba zaťažovania t = 10s.

Analýza makroštruktúry a tvrdosti konvenčne vyrábaného odliatku

Na Obr. 3 je znázornená snímka makroštruktúry odliatku vyrobeného gravitačným liatím.



Obr. 3 – Makroštruktúra okrajovej časti vzorky z gravitačného odliatku /250x/
Zdroj: Vlastný archív autora

V podpovrchovej oblasti odliatku pri styku taveniny s lícom formy je pozorovateľná jemnozrnná štruktúra prechádzajúca v zónu polydendrických, náhodne orientovaných zŕn čím sú potvrdené predpoklady vychádzajúce z teoretických základov v oblasti zlievarenstva.
Hodnoty tvrdosti HB boli merané na piatich miestach vybraných posudzovaných odliatkov. Namerané hodnoty sú zaznamenané v Tabuľke 1.

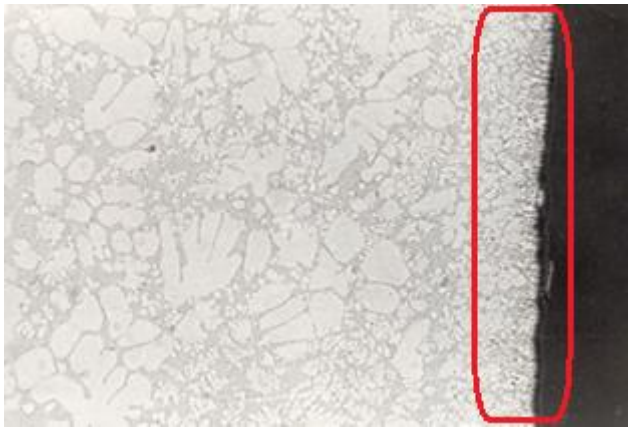
Hodnoty tvrdosti povrchu odliatku *HB* podľa Brinella gravitačne liateho odliatku							
vzorka č.	meranie					aritmetický priemer meraní	celkový aritmetický priemer
	Č. 1	Č. 2	Č. 3	Č. 4	Č. 5		
1	75	76	75	76	74	75,2	75,28
2	76	76	75	77	76	76	
3	74	75	74	76	76	75	
4	73	74	75	76	75	74,6	
5	78	76	74	73	76	75,6	

Tabuľka 1 – Tvrdosť povrchu HB gravitačne liateho odliatku
Zdroj: Vlastný archív autora

Podľa nameraných hodnôt tvrdosti HB sa priemerná hodnota všetkých meraní pohybuje na hodnote 75,28 HB. Táto hodnota je v súlade s hodnotami uvedenými v materiálovom liste zliatiny uvádzanými dodávateľom.

Analýza makroštruktúry a tvrdosti odliatku vyrobeného technológiou tlakového liatia

Obr. 4 zobrazuje makroštruktúru odliatku vyrobeného gravitačným liatím. Snímka demonštruje jemnozrnnú štruktúru v oblasti styku taveniny s lícom formy (oblasť vymedzená červenou farbou).



Obr. 4 – Makroštruktúra okrajovej časti vzorky liatej pod tlakom /250x/
Zdroj: Vlastný archív autora

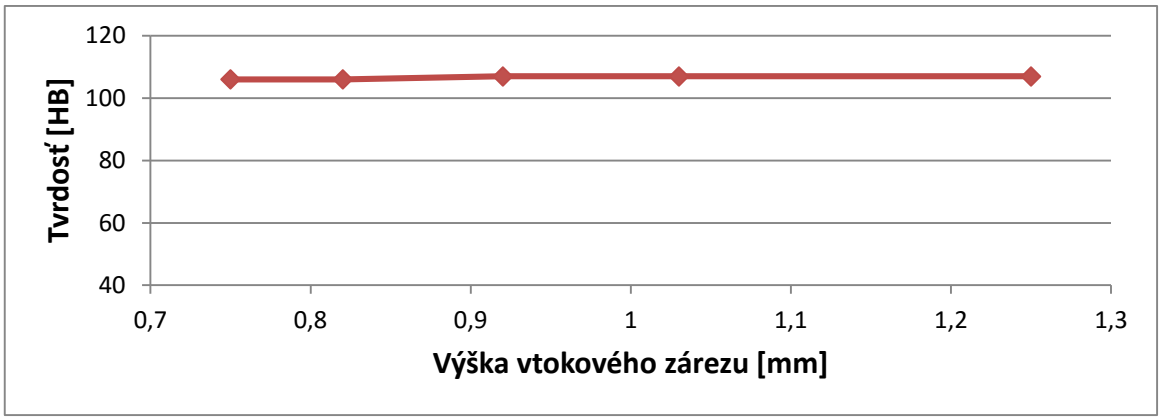
Skúšky tvrdosti odliatkov boli realizované na piatich sériách odliatkov vyhotovených pri rôznych výškach vtokového zárezu. Tvrdosť HB bola posudzovaná na piatich miestach vybraných odliatkov v každej sérii. Cieľom takejto úpravy bolo overenie vplyvu výšky

vtokového zárezu na tvrdosť. Keďže vo vtokovom záreze dochádza k modulácii prúdu taveniny a zvýšeniu jej rýchlosti nastáva tu i zmena režimu prúdenia a vyplňovania tvarovej dutiny. Výsledky skúšok sú zaznamenané v Tabuľke 2.

Hodnoty tvrdosti povrchu odliatku *HB* podľa Brinella v závislosti na zmene výšky vtokového zárezu gravitačne liateho odliatku								
vzorka č.	výška vtokového zárezu [mm]	šírka vtokového zárezu [mm]	meranie [HB]					aritmetický priemer
			Č. 1	Č. 2	Č. 3	Č. 4	Č. 5	
1	1,25	60,968	108	107	108	107	107	**107 HB**
2	1,03		109	107	106	108	106	**107HB**
3	0,92		106	108	107	108	107	**107 HB**
4	0,82		106	104	107	107	107	**106 HB**
5	0,75		105	107	105	106	107	**106 HB**

Tabuľka 2 – Tvrdosť povrchu HB tlakovo liateho odliatku
Zdroj: Vlastný archív autora

Tak ako vyplýva z nameraných hodnôt, tvrdosť odliatkov vyhotovených technológiou tlakového liatia kovov sa priemerne pohybovala na hodnotách 106 HB a 107 HB. Priebeh zmeny tvrdosti v závislosti na výške vtokového zárezu je znázornený na Obr. 5.



Obr. 5 – Závislosť tvrdosti povrchu odliatku HB na výške vtokového zárezu
Zdroj: Vlastný archív autora

Analýza dosiahnutých výsledkov

Cieľom predkladaného článku bolo overiť a popísať vplyv podmienok kryštalizácie na makroštruktúru a tvrdosť povrchu odliatkov. Podmienky za akých kryštalizácia prebiehala boli ovplyvnené zmenou zlievarenskej technológie. Vyhodnocované odliatky boli vyrobené gravitačným liatím a liatím pod tlakom. Rozličné podmienky tuhnutia taveniny vo forme zabezpečili odlišne prebiehajúce kryštalizačné deje ovplyvnené hlavne dobou tuhnutia odliatku a teplotným gradientom na rozhraní tavenina – stena formy. Pri tlakovom liatí kryštalizácia prebieha pod vplyvom tlaku.

Porovnaním snímkov makroštruktúr (Obr. 3 a Obr. 4) je evidentné, že štruktúra tlakovo liateho odliatku vykazuje jemnejšiu štruktúru tvorenú vyšším počtom zŕn menších rozmerov. Tento jav je úzko korelujúci s tvrdosťou povrchov skúmaných odliatkov. Tvrdosť gravitačných odliatkov dosahovala hodnoty okolo 75 HB, čo je v súlade s materiálovým listom skúmanej zliatiny. Využitím technológie tlakového liatia sa povrchová tvrdosť zvýšila na hodnotu 106 HB – 107 HB. Tým sa zvýšila tvrdosť povrchu odliatku vyrábaného z tej istej zliatiny o 24%.

Na základe porovnania snímkov makroštruktúr s hodnotami tvrdosti je možné konštatovať, že zvyšovaním jemnozrnnosti štruktúry je možné dosiahnuť zvýšenie tvrdosti povrchu odliatkov.

Vplyv výšky vtokového zárezu, a tým i zmeny režimu plnenia tvarovej dutiny formy na hodnoty tvrdosti preukázaný nebol. Nevýrazný rozdiel v nameraných hodnotách poukazuje na fakt, že tvrdosť povrchu odliatkov nie je závislá na spôsobe plnenia dutiny formy, ale súvisí hlavne so stupňom podchladenia pri styku taveniny so stenou formy, dobe tuhnutia odliatku a tiež na vplyve tlaku pôsobiaceho na taveninu počas tuhnutia.

Záver

Pochopenie zákonitostí dejov prebiehajúcich v tavenine počas priebehu tuhnutia vo forme umožňuje konštruktérom a návrhárom technologických zariadení na báze kryštalických zliatín optimálnejšie projektovanie technologických uzlov. Jedným zo základných a hlavných javov sprevádzajúcich tuhnutie je kryštalizácia. Správnou voľbou zlievarenskej technológie a vhodným nastavením technologických parametrov môžeme výrazne ovplyvniť mechanické vlastnosti odliatkov.

Článok je venovaný vplyvu podmienok kryštalizácie na štruktúru a tvrdosť odliatkov. Ako bolo preukázané, zmenou podmienok, pri ktorých kryštalizácia prebiehala bolo dosiahnuté zmeny štruktúry povrchovej vrstvy materiálu. Následne bolo potvrdené, že štruktúra povrchových vrstiev odliatkov má priami vplyv na hodnoty tvrdosti HB. Tvorba a morfológia kryštalickej štruktúry je teda priamo závislá na stupni podchladenia taveniny pri styku s lícom formy, čase tuhnutia a rozhodujúcim faktorom je i pôsobenie tlaku počas kryštalizácie.

Možno konštatovať, že využitím modulácie kryštalizácie a podmienok pri ktorých prebieha tak, aby bolo dosahované jemnozrnnej štruktúry podpovrchových vrstiev je možné výrazne zvýšiť tvrdosť odliatkov.

Tento článok odporúčal na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda: doc. Ing. Ján Kmec, CSc.

Použitá literatúra

1. GAŠPÁR, Štefan, Ján PAŠKO a Ján MAJERNÍK,2017. *INFLUENCE OF STRUCTURE ADJUSTMENT OF GATING SYSTEM OF CASTING MOULD UPON THE QUALITY OF DIE CAST*. Lüdenscheid: RAM – Verlag. ISBN 978-3-942303-47-7.
2. MURGAŠ, Marián, Anton POKUSA, Marcela POKUSOVÁ a Štefan PODHORSKÝ, 2002. *Teória zlievarenstva*. 1vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU v Bratislave. ISBN 80-227-1684-7.

3. RUŽBARSKÝ, Juraj, et al. 2014. Techniques of Die Casting. Lüdenscheid : RAM-Verlag.. ISBN 978-3-942303-29-3.
4. GAŠPÁR, Štefan et al. 2016. Specific Pressure and Mechanical Properties of the Alternator Flange from EN AC 47100 Alloy in HPDC Technology. In: *TEM Journal*. vol. 5, no. 2, p. 160–164. ISSN 2217-8309
5. MAJERNÍK Ján et al. 2017. Analysis of the Impact of the Construction of a Gate on the Macroscopic Structure of a Casting and Its Influence on the Mechanical Properties of Castings. In: *MANUFACTURING TECHNOLOGY*. vol. 17, no. 1, p. 62–66. ISSN 1213–2489.