Porovnání polévací metody a metody plněného profilu při výrobě litiny s kuličkovým grafitem v provozních podmínkách

Comparison of the Pouring Method and Cored Wire Method in Production of Ductile Cast Iron under Operating Conditions

doc. Ing. Ladislav Socha, MBA, Ph.D.[1]; **doc. Ing. Karel Gryc, MBA, Ph.D.**[1]; **Ing. Kamil Koza**[1]; **doc. Ing. Josef Odehnal, Ph.D.** [1]; **Ing. Bc. Jana Sviželová, Ph.D.**[1]; **Ing. Miroslav Chmiel**[2]; **Ing. Petra Fronková**[2]

[1] Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice, Česká republika
[2] KOVOSVIT MAS Foundry, a.s., Náměstí T. Bati 419, 391 02 Sezimovo Ústí, Česká republika

Při výrobě litiny s kuličkovým grafitem jsou nezbytnými kroky pro zisk kulovitého tvaru grafitu modifikace a očkování. Ve slévárně KOVOSVIT MAS Foundry, a.s. je pro modifikaci a očkování používána převážně polévací metoda v pánvi. V současné době je v provozních podmínkách testována metoda plněných profilů. Je využíván kombinovaný podavač modifikačního a očkovacího profilu, což umožňuje současnou modifikaci i očkování. Pro srovnání uvedených dvou metod byly provedeny série experimentálních taveb s odběrem vzorků pro hodnocení chemického složení, mikrostruktury a mechanických vlastností. Ze srovnání výsledků polévací metody a metody plněných profilů vyplynulo, že obě splňují požadavky pro materiál EN-GJS-400-18-LT a moderní metoda plněných profilů může nahradit tradiční polévací metodu.

***Klíčová slova**: litina s kuličkovým grafitem; modifikace; očkování; plněný profil; provozní experiment*

In the production of ductile cast iron modification and inoculation are necessary steps to produce nodular graphite. In KOVOSVIT MAS Foundry, a.s., the primary method used for modification and inoculation is the pouring method. Currently, the cored wire method is being operationally tested and implemented. It features a twin wire feeder allowing simultaneous modification and inoculation. To compare the two methods, experimental melts were carried out in the foundry with sampling for chemical analysis, metallography and mechanical tests. By comparing the results of the pouring method and the cored wire method, it was found that both meet the requirements for EN-GJS-400-18-LT material, and the cored wire method can therefore replace the pouring method.

***Key words**: ductile cast iron; modification; inoculation; cored wire; operational experiment*

Litina s kuličkovým grafitem je moderní materiál s vynikajícími mechanickými vlastnostmi [1-3]. Obzvláště litiny s kuličkovým grafitem a feritickou matricí dosahují houževnatosti a pevnosti srovnatelné s ocelí [4]. Výhodou oproti ocelím jsou lepší slévárenské vlastnosti [1]. Litina s kuličkovým grafitem je také relativně levná [5]. Díky svým vlastnostem tak nachází uplatnění například při výrobě pracovních strojů, v automotive, nebo v komponentech větrných elektráren [3, 6]. Mechanické vlastnosti litin jsou ovlivněny tvarem, nodularitou a rozložením grafitu [6, 7]. Velké množství rovnoměrně rozložených grafitových kuliček s vysokou nodularitou a malým průměrem má pozitivní vliv na vlastnosti litiny [2]. Grafit se v litině běžně vyskytuje ve formě lupínků, ovšem přídavkem Mg nebo Ce dochází k formování grafitických kuliček [4, 8] a ke změně mechanických vlastností materiálu.

Existuje několik teorií o působení prvků způsobujících vznik kulatého tvaru vyloučeného grafitu. Jedna z teorií tvrdí, že tvar vyloučeného grafitu je závislý na druhu krystalizačního zárodku. Zárodky FeS, SiO_2 či SiC mají hexagonální mřížku a způsobují růst lupínkového grafitu. Ovšem přídavkem Mg do taveniny dochází k redukci těchto vměstků se šesterečnou mřížkou a jsou nahrazovány sloučeninami MgS, MgO či Mg_2Si, které mají krychlovou mřížku a podporují růst nodulárního grafitu. Přítomnost Mg a S ve středu grafitové kuličky byla potvrzena metalografií a rentgenovou spektrální mikroanalýzou [9, 10]. Další teorie uvažují o vlivu fyzikálně chemických vlastností taveniny, především povrchového napětí, na utváření nodulárního grafitu. Přídavek Mg způsobuje nárůst povrchového napětí taveniny, které způsobuje vznik globulárního grafitu [9]. Poslední zde zmíněná teorie předpokládá, že grafit, či krystal grafitu, roste dendritickým způsobem tak, že vznikající drobná částice grafitu se rozvíjí do několika větví, které se dále rozvětvují. Jestliže je frekvence vzniku nových větví grafitického dendritu relativně nízká, vytváří se síť vnitřního propojení typická pro lupínkový grafit. Jestliže se frekvence větvení drasticky zvýší, vytváří se globulární, zrnitý grafit. Adsorpcí Mg na povrch grafitového zárodku se omezí rychlost růstu grafitu v různých směrech a grafit nabývá již od začátku svého růstu zrnitý tvar. Během dalšího tuhnutí je zcela obalen austenitem, takže jeho růst je možný pouze pomocí difuse uhlíku ze zbytkové taveniny přes austenit [10].

Přídavek Mg za účelem zisku kuličkového grafitu se nazývá modifikace. K dosažení kuličkového grafitu musí litina obsahovat alespoň 0,025 % Mg, obvyklý je obsah

Hutnické listy č. 5-6/2022, roč. LXXV
ISSN 0018-8069

0,030-0,060 %. Modifikace se provádí čistým Mg nebo jeho slitinami. Z důvodu bouřlivé reakce se obvykle nemodifikuje čistým Mg, ale předslitinami FeSiMg. Modifikace čistým Mg je použitelná u metod umožňujících omezit nebo regulovat bouřlivost reakce, např. ve sferoklávu nebo konvertoru. Mg se v tavenině vypařuje a jeho páry probublávají na povrch, přitom reagují se S a O rozpuštěným v litině a tvoří chemické sloučeniny. Tyto vměstky se nazývají sekundární struska. Část Mg par unikne z taveniny a oxiduje nebo reaguje na hladině. Jen ta část Mg, která se rozpustí v kovu, vede ke vzniku kuličkového grafitu. Tento Mg se nazývá zbytkový – Mg_{zbyt} a jeho obsah nemá být příliš vysoký, neboť vzniká více vměstků a litina má větší sklon k zákalce, tzv. bílému tuhnutí a vzniku cementitu. Dávkování Mg se provádí podle množství S ve výchozí slitině a podle předpokládaného využití Mg. Protože Mg působí antigrafitizačně, je nutné kov dobře očkovat. Očkování se provádí současně s modifikací nebo po ní, někdy také dvoustupňově, poprvé při modifikaci, podruhé během lití [11].

Existuje řada metod modifikace, lišících se způsobem vpravení Mg do kovu, druhem modifikačního prostředku, využitím Mg či investičními náklady. Polévací metoda, nazývaná též Sandwich, se provádí v otevřené pánvi, na jejímž dně je připravena vrstva předslitiny Mg pro modifikaci, na ní je vrstva očkovadla překrytá ocelovým plechem nebo plechovými odstřižky. Vrstva oceli brání vyplouvání Mg a očkovadla na hladinu a oddaluje začátek modifikační reakce. Bouřlivost reakce je potlačována metalostatickým tlakem, proto je vhodné používat vysoké štíhlé pánve. [11]. Modifikace plněným profilem využívá práškový modifikátor obalený dutým tenkostěnným ocelovým profilem o průměru 7–13 mm. Profil je podavačem zaváděn do pánve s taveninou takovou rychlostí, aby docházelo k roztavení u dna pánve. Metoda plněného profilu je použitelná pro taveninu z kuploven i z elektrických pecí [12]. Obecně je výhodou použití plněného profilu automatizované řízení, snížení výrobních nákladů a ochrana životního prostředí [13].

Pro zabezpečení dostatečného počtu zrn grafitu a eutektických buněk se provádí očkování. Zajišťuje tvorbu grafitizačních zárodků při eutektické krystalizaci a tím omezuje sklon litiny tuhnout s vyloučením volného cementitu. Mg používaný k modifikaci působí antigrafitizačně, čímž zvyšuje sklon k metastabilnímu tuhnutí a vylučování karbidů. Proto je vhodné litinu s kuličkovým grafitem očkovat podruhé (sekundárně, tzv. grafitizačně) [10]. Očkovadla jsou tvořena nosičem a krystalizační složkou. Nosič tvoří hlavní část hmoty očkovadla, sám o sobě však nemá očkující účinek. Očkovací složka je v očkovadle obsažena pouze v malé koncentraci. Aktivními prvky jsou Ca, Al, Sr, Ba nebo Zr. Tyto prvky reagují zejména s O a S za vzniku nukleačních zárodků grafitu, případně aktivizují zárodky v litině již přítomné. Očkovací účinek je omezený, průběhu času dochází k jeho odeznívání. To je způsobeno koagulací zárodků, jejich hrubnutím a rychlejším vyplouváním a homogenizací taveniny, kdy mizí oblasti s místním přesycením grafitotvorných prvků. Z tohoto důvodu je nutné litinu odlít co nejrychleji po naočkování, ideálně do 10 minut [11].

Metod očkování existuje velké množství, některé jsou shodné s metodami modifikace. Například metoda Sandwich umožňuje současné očkování spolu s modifikací, jak bylo popsáno výše. Pro očkování je možné využít taktéž plněného profilu, se stejným uspořádáním, principem a výhodami jako u modifikace. Při využití dvoužilového podavače, kdy jeden profil je modifikační a druhý očkovací, je možné provádět modifikaci s očkováním zároveň. Tímto uspořádáním je zajištěna stabilita a kvalita procesu, je zvýšena bezpečnost, kdy nedochází k úniku prachu a roztaveného kovu z pánve. Proces je méně náchylný na proměnlivý obsah síry, teplotu a množství zpracovávané taveniny v pánvi, řídící jednotka umožňuje automatický záznam procesních dat. Dochází ke zvýšení efektivity a redukci nákladů snížením tepelných ztrát, opotřebení vyzdívky a nároků na pracovní sílu [12, 14]. Poslední zde zmíněnou metodou očkování je tzv. In-mold, neboli očkování při lití ve formě. V tomto uspořádání je očkovadlo umístěno přímo ve vtokové soustavě formy a dochází k jeho postupnému rozpouštění a průběžnému očkování taveniny. Metoda je vhodná pro sekundární tzv. grafitizační očkování. Důležitým parametrem při výběru očkovadla pro technologii In-mold je jeho rozpustnost v tavenině [15].

Jak bylo uvedeno v dřívější práci [16], slévárna KOVOSVIT MAS Foundry, a.s. je schopna vyrábět litinu s kuličkovým grafitem v požadované kvalitě při využití různých kombinací vsázkových materiálů, modifikátorů a očkovadel. Běžně je v provozních podmínkách užívána pro modifikaci a očkování polévací metoda. V současnosti je však v provozních podmínkách zaváděna moderní technologie plněného profilu pro modifikaci a očkování, čímž dojde k zefektivnění procesu výroby.

Pro experimentální tavby byl vybrán odlitek typu SCHAFT 1, určený pro výrobce lodních manipulátorů pro lodě střední velikosti. U tohoto typu odlitku je požadována nadstandardní úroveň kvality materiálu. Odlitek je vyráběn z materiálu EN-GJS-400-18-LT, který představuje litinu s kuličkovým grafitem a feritickou matricí se zaručenou hodnotou nárazové práce při teplotě -20 °C dle ČSN EN 1563 [17]. V rámci realizované série experimentů byla u části taveb použita polévací metoda / sandwich a u části metoda plněného profilu. Souběžně s odlitkem byly v rámci vtokové soustavy formy přilévány zkušební vzorky, tzv. Y-bloky, ze kterých byla vyrobena zkušební tělesa pro zkoušky mechanických vlastností [17] a metalografickou analýzu [18-20]. Cílem práce bylo prokázání úspěšné implementace procesu plněných profilů do technologického procesu a schopnost standardizované výroby vysoce jakostních odlitků touto metodou.

Charakteristika použitých postupů výroby odlitku SCHAFT 1

Pro srovnání obou technologií byla od každé vybrána jedna reprezentativní tavba. Pro polévací metodu/ sandwich se jednalo o tavbu označenou TD75, pro metodu plněného profilu pak o tavbu označenou TO93.

Pro výrobu odlitku SCHAFT 1 bylo definováno chemické složení taveniny před odpichem, pro představu uvedené v tab. 1. Dále bylo navrženo finální chemické složení taveniny pro odlitek, které je uvedeno v tab. 2. Je vhodné uvést, že chemické složení taveniny se pro polévací metodu a metodu plněného profilu nelišilo.

V předchozích pracích bylo zjištěno, že výběr vsázkových materiálů nemá na konečnou kvalitu odlitku zásadní vliv, pokud jsou poměr a kombinace vsázkových materiálů správně vypočítány pro požadované složení [16]. Pro představu je složení vsázky obou vybraných taveb uvedeno v tab. 3.

Tab. 1 Chemické složení materiálu EN-GJS-400-18-LT před odpichem
Tab. 1 Chemical composition of material EN-GJS-400-18-LT before tapping

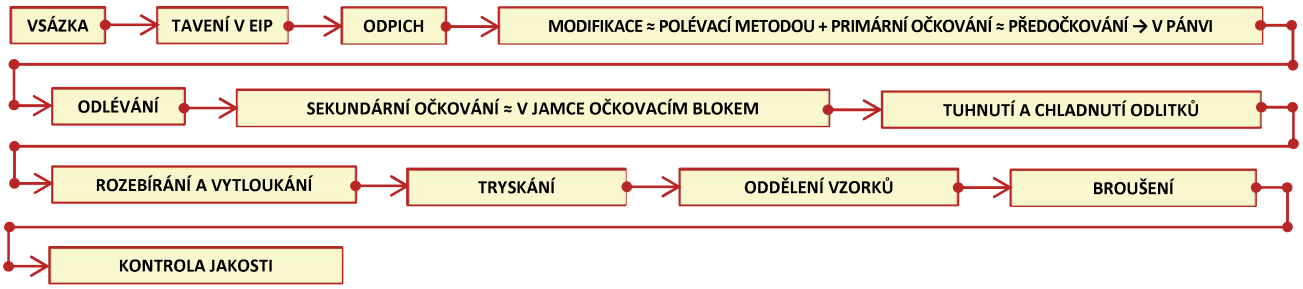
Rozsah	Chemické složení [hm. %]							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Cr
Min.	3,40	0,80	0,10	×××	×××	×××	×××	×××
Max.	3,50	0,90	0,15	0,040	0,015	0,05	×××	0,02

Tab. 2 Navržené finální chemické složení materiálu EN-GJS-400-18-LT pro odlitek SCHAFT 1
Tab. 2 Proposed chemical composition of material EN-GJS-400-18-LT for SCHAFT 1 casting

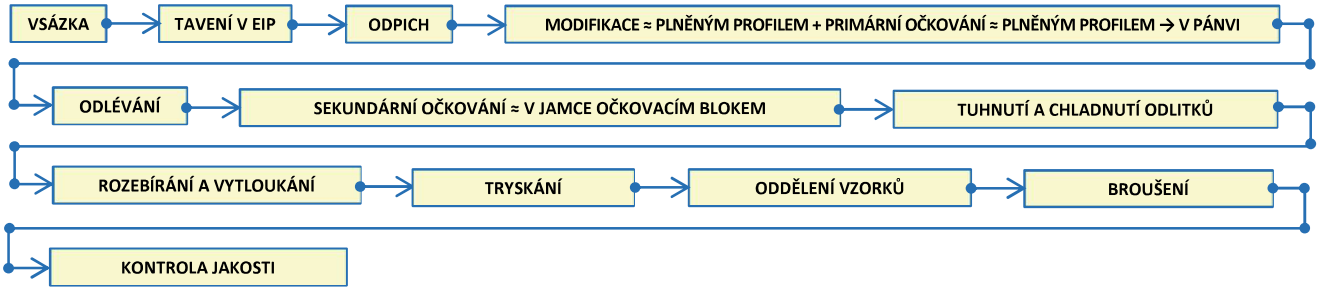
Rozsah	Chemické složení [hm. %]							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Cr
Min.	3,30	1,70	0,10	×××	×××	×××	0,040	×××
Max.	3,40	1,90	0,15	0,040	0,010	0,05	0,060	0,02

Tab. 3 Složení vsázky u taveb TD75 a TO93 při výrobě materiálu EN-GJS-400-18-LT
Tab. 3 Charge composition for melts TD75 and TO93 in the production of EN-GJS-400-18-LT

Označení tavby	Podíl vsázkových materiálů jednotlivých taveb [hm. %]				
	Surové železo		Ocelový odpad		Vratný materiál
	Sorel	Pig Nod	Kupol Mn 0,3 %	Si plechy	Najížděcí blok
TD75	38,5	20,0	27,7	13,8	×××
TO93	36,8	×××	36,8	×××	26,4



Obr. 1 Schéma technologického postupu při použití polévací metody / sandwich
Fig. 1 Schematic of the process flow using the pouring method



Obr. 2 Schéma technologického postupu při použití plněných profilů
Fig. 2 Schematic of the process flow using the cored wire method

Hutnické listy č. 5-6/2022, roč. LXXV
ISSN 0018-8069

V rámci provozních experimentů byla provedena série experimentálních taveb, při kterých byly vyzkoušeny 2 kombinace odlišných technologií modifikace a očkování. Na obr. 1 je zobrazen průběh technologického postupu při použití polévací metody, na obr. 2 pak průběh technologického postupu při použití plněného profilu. Oba technologické postupy se liší pouze způsobem modifikace a očkování, přičemž uvedené postupy se skládají z následujících kroků:

- vsázka → sestavení vsázky a její výběr byl řízen individuálně dle metalurgické a chemické kvality dostupných surovin se zaručeným chemickým složením. Pro výrobu byly použity následující vsázkové materiály: surové železo × ocelový odpad × vlastní vrat v různých poměrech
- tavba → byla vedena dle potřeby množství taveniny odpovídající počtu odlévaných odlitků, přičemž bylo prováděno odlévání 1 nebo 2 kusů. Byla používána středofrekvenční pec o kapacitě 6 t
- po roztavení vsázky a dosažení vzorkovací teploty (t = 1350-1400 °C) byla důkladně stažena struska, změřena teplota lázně a odebrán vzorek pro 1. zkoušku se zaměřením na následující prvky: C, Si, Mn, P, S, Cu a Cr. Následně byla provedena korekce chemického složení taveniny. V průběhu tavby byla tavenina udržována na minimální teplotě
- před odpichem bylo chemické složení ověřeno chemickou laboratoří se zaměřením na následující prvky: C, Si, Mn, P, S, Cu, Mg a Cr. Cílem tavby bylo dosažení požadovaného chemického složení a dodržení správného teplotního režimu → t_{max} = 1380-1420 °C.
- modifikace / polévací metoda / sandwich → před odpichem je do lázně přidána jedna houska surového železa Pig Nod pro lepší tvorbu zárodků. Před modifikací byla pánev vypláchnuta tekutým kovem pro dostatečné nahřátí vyzdívky. Následně byly na dno přidány předslitiny v následujícím pořadí: FeSiMg731 – modifikátor, Inocast100 – očkovadlo a třísky LLG – pro zpoždění reakce
- kromě modifikace je v pánvi při odpichu provedeno i primární očkování, tzv. předočkování pomocí očkovadel
- očkování / polévací metoda / sandwich → je prováděno ve dvou fázích, nejprve částečně v průběhu odpichu do pánve tzv. předočkování a následně probíhá tzv. hlavní očkování, které je realizováno v jamce pomocí očkovacích bloků, a to v průběhu odlévání odlitku
- pro optimalizaci struktury litiny očkováním bylo použito očkovadlo Inocast100 k tzv. předočkování a očkovací bloky Germalloy k tzv. hlavnímu očkování. Typ a množství očkovadla bylo zvoleno v závislosti na množství tekutého kovu a době lití vybraného typu odlitku
- modifikace / plněný profil → je provedena po odpichu při využití modifikačního boxu s plněným profilem typu Rumag 25HS. Množství modifikačního plněného profilu je dáno výpočtem. Do softwaru modifikačního boxu se zadává počáteční obsah síry, množství modifikovaného kovu a teplota taveniny. Dle zadaných parametrů (včetně přednastavených parametrů představující konečný obsah Mg a využití Mg) provede program výpočet délky modifikačního profilu
- očkování / plněný profil → je prováděno ve dvou fázích, nejprve tzv. předočkování, a to injektáží plněného profilu, a následně probíhá tzv. hlavní očkování, které je realizováno v jamce pomocí očkovacích bloků, a to v průběhu odlévání odlitku
- primární očkování / plněný profil / tzv. předočkování je provedeno injektáží očkovacího plněného profilu typu Inform SB13 v modifikačním boxu. Podávání očkovacího plněného profilu je zahájeno ke konci injektáže modifikačního plněného profilu typu Rumag 25HS tak, aby oba procesy skončily současně
- sekundární očkování / tzv. hlavní očkování je realizováno v jamce pomocí očkovacích bloků typu Germalloy, a to v průběhu odlévání odlitku. Typ a množství očkovadla bylo zvoleno v závislosti na množství tekutého kovu a době lití vybraného typu odlitku
- odlévání, dokončovací operace a výstupní kontrola → před odléváním byla stažena struska. Po odlévání a chladnutí následovalo rozebrání formy, vytloukání odlitku, otryskání a uložení do skladovacího prostoru
- ke každému odlitku byly v rámci formy souběžně přilévány zkušební Y-bloky, ze kterých byla poté vyrobena zkušební tělesa pro metalografickou analýzu a zkoušky mechanických vlastností. Následovaly kontroly odlitku, mezi něž patří vizuální kontrola a kontrola pomocí ultrazvuku.

Analýza vzorků z experimentálních taveb

V průběhu realizace experimentálních taveb byly průběžně a z vybraných míst odebírány vzorky z taveniny se současným měřením teplot. Proběhlo také souběžné odlévání Y-bloků umístěných ve vtokové soustavě. Odebrané vzorky byly označeny a postupně analyzovány. Specifikace jednotlivých analýz jsou uvedeny níže:

- analýza chemického složení → byla provedena pomocí optické emisní spektrometrie (OES) s vybuzením vysokoenergetickým jiskrovým výbojem na přístroji Q4 TASMAN. Přesný obsah C a S byl stanoven pomocí spalovací analýzy ve vysokofrekvenční peci LECO CS230 v proudu kyslíku. Dále byl z naměřených hodnot vypočten uhlíkový ekvivalent CE a stupeň nasycení (eutektičnosti) SC.
- metalografická analýza → byla zaměřena na mikroskopické hodnocení s cílem stanovení dosahované struktury materiálu EN-GJS-400-18-LT. Na vzorcích vyrobených ze zkušebních těles typu Y-blok bylo prováděno metalografické hodnocení s využitím světelného mikroskopu a obrazové analýzy se zaměřením na mikrostrukturu litiny s kuličkovým grafitem. Hodnocení grafitu bylo provedeno dle následujících norem: ČSN EN ISO 945-1 → zaměřeno na klasifikaci grafitu vizuální analýzou, ASTM A247 →

hodnocení nodularity grafitu a ČSN 420461 → hodnocení matrice litin. Tímto způsobem bylo možno získat komplexní představu o struktuře materiálu EN-GJS-400-18-LT.

- mechanické vlastnosti → byly zaměřeny na zkoušky v tahu, zkoušky tvrdosti a zkoušky rázem v ohybu (Charpyho kladivo). Uvedené testy umožnily stanovit mez pevnosti v tahu R_m, mez kluzu $R_{p0,2}$, tažnost A_5, tvrdost dle Brinella HB a nárazovou práci KV_2 za nízké teploty -20 °C.

Výsledky a diskuse

Po provedení experimentálních taveb bylo realizováno hodnocení se zaměřením na stanovení mechanických vlastností, metalografické vyhodnocení a hodnocení mikrostruktury [17-20]. Výsledky jsou souhrnně uvedeny v tzv. metalografických kartách. Příklad takovéto karty pro tavby TD75 a TO93 je uveden v tab. 4 až tab. 7 a na obr. 3 a obr. 4. Z výsledků lze získat představu o mechanických vlastnostech a výsledné struktuře materiálu EN-GJS-400-18-LT při odlévání odlitku typu SCHAFT 1 při aplikaci odlišných technologií modifikace a očkování.

Dosažené chemické složení uvedené v tab. 5 odpovídá chemickému složení potřebnému pro materiál EN-GJS-400-18-LT, jak je uvedeno v tab. 2, až na několik odchylek v řádu maximálně setin procenta u C, P a Cr. Nicméně tyto drobné odchylky nemají negativní vliv na mechanické vlastnosti materiálu, jak bude uvedeno dále.

Z tab. 6 vyplývá, že u tavby TD75 bylo dosaženo vyšších hodnot meze pevnosti R_m a tažnosti A_5. U tavby TO93 bylo dosaženo vyšších hodnot meze kluzu $R_{p0,2}$, tvrdosti HB a nárazové práce při -20 °C KV_2. Při srovnání s požadavky dle ČSN EN 1563 je patrné, že obě tavby splňují požadavky na mechanické vlastnosti pro materiál EN-GJS-400-18-LT definované normou při směrodatné tloušťce stěny $60 < t \leq 200$ mm [17].

Z výsledků uvedených v tab. 7 bylo zjištěno, že u tavby TD75 bylo získáno mírně více grafitových částic větší velikosti než u tavby TO93. Tvar grafitu a nodularita byly u obou taveb srovnatelné. Obsah perlitu byl u obou taveb minimální, do 2 %. Získaná mikrostruktura tak u obou taveb odpovídá litině s kuličkovým grafitem s velkým počtem částic grafitu malé velikosti, převážně pravidelně zrnitého tvaru VI a s feritickou matricí. Na obr. 3 a 4 jsou uvedeny snímky struktur obou taveb před leptáním → stanovení počtu částic, velikosti, tvaru a nodularity, a po leptání → určení poměru ferit/perlit [18-20].

Tab. 4 Charakteristika průběhu modifikace a očkování
Tab. 4 Characterisation of modification and inoculation processes

Technologie	**Označení tavby**	**Modifikátor: název → množství** [hm. %]	**Předočkování: název → množství** [hm. %]	**Hlavní očkování: název → množství** [hm. %]
Polévací metoda	TD75	FeSiMg731 → 1,8 %	SB10 → 0,1 %	Germalloy → 2x P2+P300
Plněný profil	TO93	Rumag 25HS → 0,51 %	Inform SB13 → 0,15 %	Germalloy → 2x P2+P300

Tab. 5 Dosažené chemické složení experimentálních taveb
Tab. 5 Achieved chemical composition of experimental melts

Označení tavby	**Chemické složení** [% hm.]								**Parametry**	
	C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cu**	**Mg**	**Cr**	**CE**	**S_C**
TD75	3,32	1,74	0,11	0,049	0,008	0,01	0,053	0,02	3,86	0,90
TO93	3,44	1,81	0,13	0,035	0,010	0,03	0,051	0,03	3,99	0,94

Tab. 6 Dosažené mechanické vlastnosti experimentálních taveb
Tab. 6 Achieved mechanical properties of experimental melts

Parametry	**Hodnoty dle ČSN EN 1563**		**Hodnoty dosažené**	
			Tavba TD75	**Tavba TO93**
Mez pevnosti R_m [MPa]	*Min. 360 MPa*		413 MPa	408 MPa
0,2 % smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	*Min. 220 MPa*		251 MPa	287 MPa
Tažnost A_5 [%]	*Min. 12 %*		21,4 %	18,4 %
Tvrdost → dle Brinella [HB]	*Min. 130 HB*		131 HB	164 HB
Min. hodnoty nárazové práce KV_2 [J]	**Nízká teplota (-20 ± 2) °C → tavba TD75**			
	Střední hod. (3 zk.)	**Jednotlivá hod.**	**Střední hod. (3 zk.)**	**Jednotlivá hod.**
	10 J	*7 J*	13 J	14 / 13 / 13 J
	Nízká teplota (-20 ± 2) °C → tavba TO93			
	Střední hod. (3 zk.)	**Jednotlivá hod.**	**Střední hod. (3 zk.)**	**Jednotlivá hod.**
	10 J	*7 J*	17 J	17 / 18 / 17 J