

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE LITÍ VYSOKOTLAKÝCH ODLITKŮ A VLIVY PŮSOBÍCÍ NA JEJICH KVALITU

TECHNOLOGY OF HIGH PRESSURE DIE-CASTINGS AND INFLUENCES HAVING EFFECT ON
THEIR QUALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL ŠTIPL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROMÍR ROUČKA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Štipl

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Slévárenská technologie (2301T014)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologie lití vysokotlakých odlitků a vlivy působící na jejich kvalitu

v anglickém jazyce:

Technology of high pressure die-castings and influences having effect on their quality

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis výroby a vlivů působících na výslednou kvalitu odlitků válce pro motorovou pilu, vyráběných technologií tlakového lití. Řešení problematiky převedení výroby odlitku do sériové produkce.

Cíle diplomové práce:

Návrh opatření pro převedení odlitku do sériové výroby. Zhodnocení vlivů působících na výslednou kvalitu odlitku.

Seznam odborné literatury:

MICHNA, S., aj. Encyklopedie hliníku. Děčín: ALCAN, 2005. 699 s. ISBN 80-89041-88-4.

ROUČKA, J. Metalurgie neželezných slitin. Skripta VUT. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.

CAMPBELL, J. Complete Casting Handbook. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 13 978-1-85617-809-9.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.10.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá technologií lití vysokotlakých odlitků a především vlivy, které působí na jejich výslednou kvalitu. Cílem práce je navrhnout opatření vedoucí k převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové produkce. Práce zahrnuje popis výroby odlitků technologií vysokotlakého lití, teoretický rozbor faktorů, které ovlivňují výslednou kvalitu odlitků a praktický popis převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové výroby. Problematika převedení výroby byla řešena pomocí několika vzorkování a závěrečné ověřovací série. Součástí každého vzorkování je analýza a návrh opatření vedoucích k odstranění nebo minimalizaci vzniku nedostatků a vad, které se v průběhu vzorkování objevily.

Na základě tohoto postupu se podařilo úspěšně optimalizovat výrobní proces a převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové výroby. Výsledky této práce umožnily plynulý převod do sériové produkce také u dalšího typu válce vyráběného firmou MOTOR JIKOV Slévárna a.s.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vysokotlaké lití, AlSi9Cu3(Fe), tlaková forma, stroje pro tlakové lití, optimalizace výroby tlakového odlitku.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the technology of high pressure die casting and especially influences having effect on their final quality. The aim of this thesis is to design the measures to convert casting of the cylinder for chainsaw into the serial production. The thesis contains a description of the production of castings by technology of high pressure die casting, theoretical analysis of the factors with effects on their final quality and practical description of the conversion casting of cylinder for chainsaw into the serial production. The problem of converting to serial production has been solved by several samplings and final test series. Part of each sampling is analysis of defects and design of measures leading to elimination or at least minimization of such defects.

On the basis of the production process has been successfully optimized and casting of the cylinder for chainsaw was successfully converted into the serial production. The results of this work also allowed for a smooth conversion into the serial production of another type of cylinder, manufactured by company MOTOR JIKOV.

KEYWORDS

High pressure die casting, AlSi9Cu3(Fe), die, die casting machines, optimize of production of pressure die casting.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠTIPL, P. *Technologie lití vysokotlakých odlitků a vlivy působící na jejich kvalitu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 95 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technologie lití vysokotlakých odlitků a vlivy působící na jejich kvalitu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 5. 5. 2014 v Brně

.....
Pavel Štípl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jaromíru Roučkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji také Ing. Tomáši Prášilovi a celému technologickému oddělení z firmy MOTOR JIKOV Slévárna a.s. za poskytnuté materiály a konzultace.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
1 Úvod	9
1.1 Představení projektu – válec pro motorovou pilu	9
2 Technologie vysokotlakého lití	11
2.1 Rozdělení technologií vysokotlakého lití	11
2.1.1 Konvenční vysokotlaké lití.....	11
2.1.2 Lití s krystalizací pod tlakem – Squeeze casting	11
2.1.3 Lisování v polotuhém stavu – Semi-solid processing	12
2.1.4 Lití do vakuované formy	12
2.2 Historie.....	13
2.3 Popis technologie konvenčního vysokotlakého lití	14
2.3.1 Požadavky kladené na odlitky	15
2.3.2 Požadavky kladené na odlitek válce pro motorovou pilu	16
2.3.3 Použití a ukázka vyráběných odlitků	16
3 Hliníková slitina, požadavky na ní kladené a vliv na výslednou kvalitu odlitku	17
3.1 Slévárenské slitiny hliníku	17
3.1.1 Slitiny typu Al–Si	17
3.1.2 Slitiny typu Al–Cu.....	19
3.1.3 Slitiny typu Al–Mg	19
3.2 Požadavky kladené na hliníkové slitiny	20
3.3 Vliv hliníkové slitiny na výslednou kvalitu odlitku	21
3.4 Analýza hliníkové slitiny válce pro motorovou pilu - AlSi9Cu3(Fe).....	21
3.4.1 Chemické složení	22
3.4.2 Mechanické, technologické a fyzikální vlastnosti.....	25
4 Stroje pro konvenční vysokotlaké lití	27
4.1 Vývoj tlakových licích strojů.....	27
4.2 Stroje s teplou komorou	27
4.3 Stroje se studenou komorou.....	28
4.4 Specifikace strojů	29
4.5 Analýza stroje vyrábějící odlitek válce pro motorovou pilu	30
5 Formy pro konvenční vysokotlaké lití	33
5.1 Konstrukce tlakových forem	33
5.1.1 Řešení vtokového systému	34
5.1.2 Odvzdušnění tlakových forem.....	35
5.1.3 Chlazení, temperace tlakových forem	36
5.2 Materiály tlakových forem a jejich tepelné zpracování	37
5.2.1 Oceli na formy.....	38

5.2.2	Jiné materiály na formy	40
5.3	Trvanlivost tlakových forem	40
5.4	Výroba tlakových forem	41
5.5	Tlaková forma pro výrobu odlitku válce pro motorovou pilu	41
6	Výroba odlitku technologií konvenčního vysokotlaké lití a vlivy působící na kvalitu odlitku	43
6.1	Zkoušení licí formy	43
6.2	Technologická karta odlitku	44
6.3	Tavení slitin a jejich udržování v roztaveném stavu	44
6.3.1	Vsázkové suroviny	45
6.3.2	Tavicí a udržovací pece	45
6.4	Proces tlakového lití – lisování	47
6.5	Forma při lití	49
6.6	Postřik tlakové formy, typy a význam mazadel	50
6.7	Bezpečnostní opatření	51
7	Vyjmutí odlitku a jeho apretace	52
7.1	Vyjmutí odlitku z formy	52
7.2	Manipulace s odlitkem po vyjmutí z formy	52
7.3	Apretace odlitku	53
8	Tepelné zpracování - žihání	54
9	Vady odlitků litých pod tlakem	56
10	Převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové výroby	62
10.1	Vzorkování číslo 1	62
10.2	Vzorkování číslo 2	66
10.3	Vzorkování číslo 3	70
10.4	Vzorkování číslo 4	75
10.5	Ověřovací série	79
11	Srovnání počítačové simulace a vzorkování	83
12	Závěr	88
	Seznam použitých zdrojů	89
	Seznam obrázků	93
	Seznam grafů	95
	Seznam tabulek	95
	Seznam příloh	95

1 ÚVOD

Výroba odlitků technologií vysokotlakého lití, patří mezi technologie „net shape“ („na hotovo“). Vyráběné odlitky jsou velmi blízké hotovým výrobkům a není proto nutné provádět další dokončovací operace. Technologie vysokotlakého lití umožňuje vyrábět tenkostěnné odlitky s vysokou kvalitou povrchu, rozměrovou přesností a tvarovou rozmanitostí z materiálů s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. To vše při krátkých výrobních cyklech a vysoké produktivitě výroby. Díky tomu jsou tyto odlitky využívány v široké průmyslové praxi, především pak v automobilovém průmyslu.

Vlastní výrobu kvalitních odlitků metodou vysokotlakého lití ovlivňuje celá řada různých faktorů, mezi které patří například konstrukce tlakové formy, tavení odlévané slitiny, parametry procesu lisování, postřik a temperace formy a další. Tyto faktory mají buď kladný, nebo záporný vliv na výslednou jakost odlitku.

Především vlivy, které působí na výslednou kvalitu odlitků vyráběných technologií vysokotlakého lití, se bude zabývat tato diplomová práce. Cílem pak je navrhnout opatření vedoucí k převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové produkce. Obsahem práce je popis výroby odlitků technologií vysokotlakého lití, teoretický rozbor jednotlivých faktorů, které ovlivňují výslednou kvalitu odlitků a praktický popis převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové výroby.

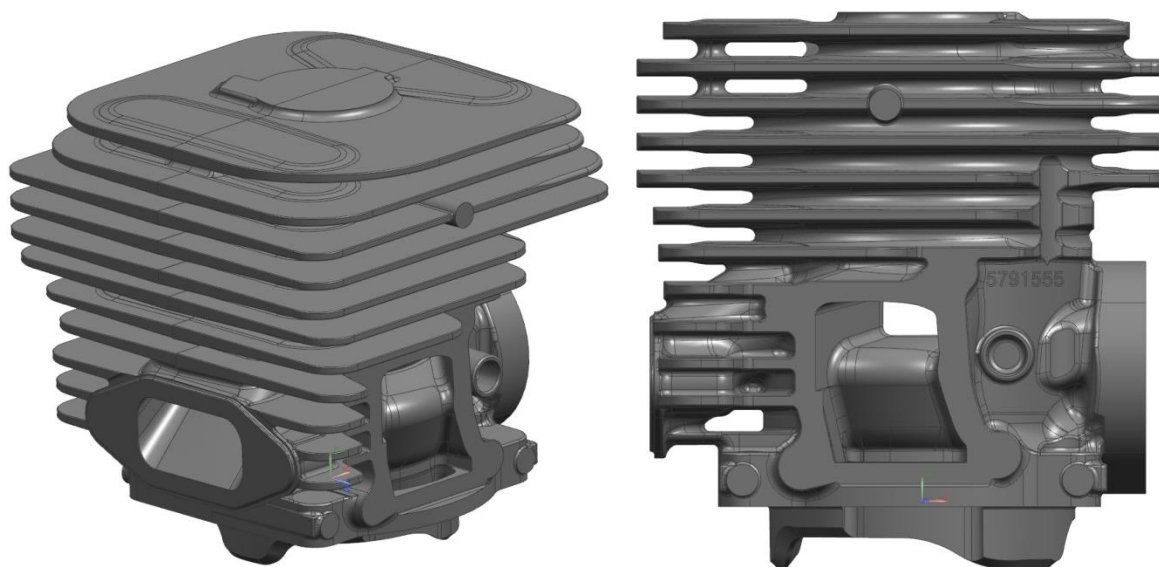
Problematika převedení výroby je řešena pomocí několika vzorkování a závěrečné ověřovací série. Součástí každého vzorkování je popis jeho průběhu, analýza nedostatků a vad, které se objeví buď na odlitku, nebo na tlakové formě a návrh opatření vedoucích k odstranění nebo minimalizaci jejich vzniku. Na základě tohoto postupu by mělo být dosaženo postupné optimalizace výrobního procesu a převedení odlitku do sériové produkce. V závěru práce je provedeno srovnání počítačové simulace vytvořené před začátkem vzorkování se skutečnými výsledky dosaženými při vzorkování.

1.1 Představení projektu – válec pro motorovou pilu

Projekt výroby odlitku válce pro motorové pily (viz obr. 1) odstartoval ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s. v Českých Budějovicích koncem roku 2011. Odběratelem odlitku je německá firma Mahle, která patří světově mezi třicet největších dodavatelských společností v automobilovém průmyslu. Firma Mahle po finálním obrobení a montáži odlitek v podobě podsestavy dodává švédskému výrobcí zahradní techniky Husqvarna. [27]

Výroba celkem čtyř typů odlitku válce v součtu 220 000 kusů za rok, byla relokalizována firmami Mahle a Husqvarna z Číny, kde se nedařilo zvládnout vysoké požadavky projektu. Ten klade vysoké nároky na vývoj odlitku, návrh konstrukce a výrobu tvarově složitých forem (výměnná žebra, 6 šoupat aj.) a ostříhovacích nástrojů. Proces lití je také parametricky velmi náročný. Důraz se klade na složení materiálu, přípravu, údržbu a čištění forem, složení postřiku forem a samotné parametry lití. Odlitky jsou proto odlévané na vysoce automatizovaných a výkonných pracovištích Colosio PFO 560, které jsou ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s. určeny právě pro podobně náročné projekty. Proces lití je komplexně sledován a data zaznamenávána, jak pro slévárnu, tak pro

zákazníka. Odlitky jsou náročné také z pohledu následné apretace a zpracování v návaznosti na požadavky zákazníka. [27]



Obr. 1 – Počítačový model odlitku válce pro motorovou pilu

2 TECHNOLOGIE VYSOKOTLAKÉHO LITÍ

Výroba odlitků metodou vysokotlakého lití, patří mezi technologie „net shape“ („na hotovo“). Vyráběné odlitky jsou velmi blízké hotovým výrobkům a není proto nutné provádět další dokončovací operace. Tato metoda umožňuje odlévat odlitky se složitou geometrií, ze široké škály slitin hliníku, zinku, hořčíku, olova a mosazi. [1]

2.1 Rozdělení technologií vysokotlakého lití

Technologie vysokotlakého lití lze rozdělit do několika skupin:

1. Konvenční vysokotlaké lití:
 - Stroje s teplou komorou.
 - Stroje se studenou komorou.
2. Lití s krystalizací pod tlakem – Squeeze casting:
 - Přímý squeeze casting.
 - Nepřímý squeeze casting.
3. Lisování v polotuhém stavu – Semi-solid processing:
 - Rheocasting .
 - New Rheocasting.
 - Thixocasting.
 - Thixomolding.
 - Thixoforming.
 - Vexocasting.
4. Lití do vakuované formy [3], [35]

2.1.1 Konvenční vysokotlaké lití

Jedná se o způsob výroby odlitku, kdy je trvalá kovová forma plněna roztaveným kovem o vysoké rychlosti, které se dosahuje použitím zdroje hydraulické energie. Kovová forma absorbuje napětí vyvolané vstříknutým kovem a masivně odvádí teplo obsažené v kovu. [2]

2.1.2 Lití s krystalizací pod tlakem – Squeeze casting

Lití s krystalizací pod tlakem je charakterizováno použitím velkých vtokových zářezů (oproti konvenčnímu tlakovému lití) a pomalým laminárním plněním formy kovem. Po celou dobu tuhnutí působí na odlitek vysoký tlak. [1]

U přímého squeeze castingu se přesně odměřená dávka kovu volně nalije do spodní části kovové formy. Kov je uzavřen a stlačen horní částí formy. Po ztuhnutí se odlitek pomocí vyhazovačů vytlačí z formy. U nepřímého squeeze castingu se roztavený kov dává do komory lisu pod vlastní kovovou formou. Válec se vrátí do pracovní polohy a kov se vtlačí do formy. [4]

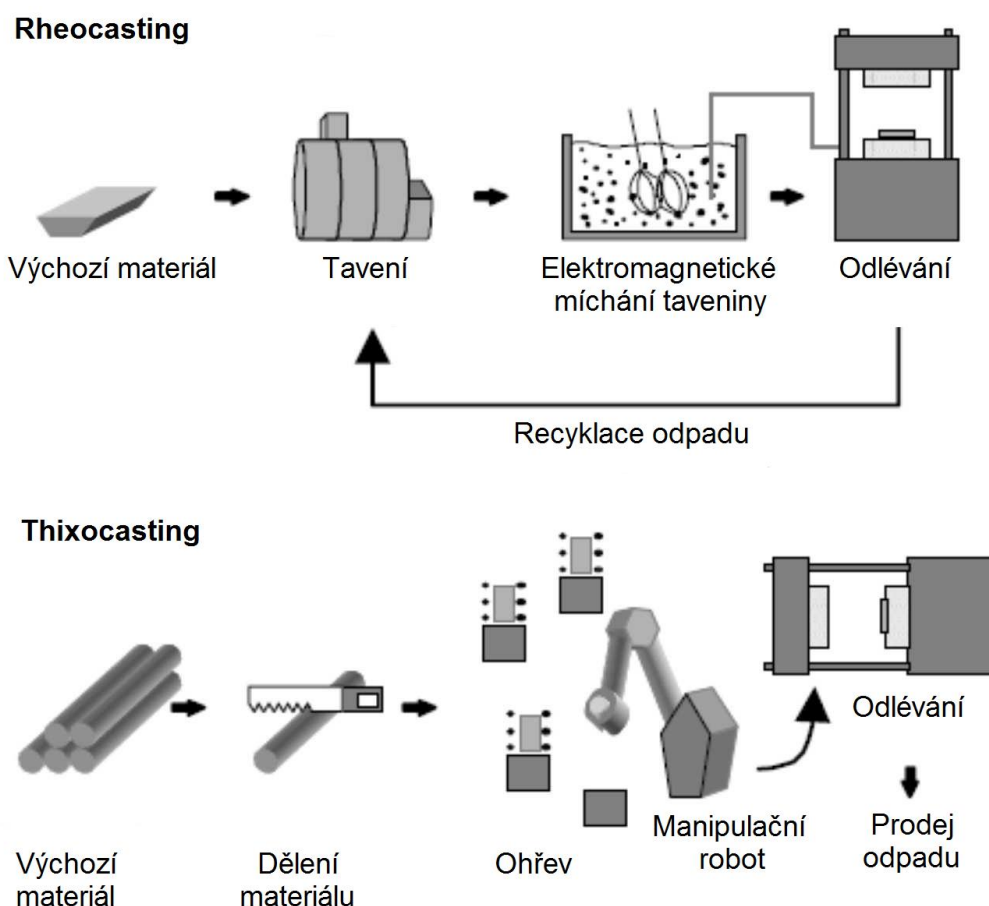
Díky pomalému rovnoměrnému plnění a působení vysokého tlaku, se minimalizuje vznik plynových dutin a mikrostaženin. Odlitky vyráběné touto

metodou mají vysokou vnitřní integritu. Nevýhodou této technologie je značná investiční i provozní náročnost a delší pracovní cykly. [1, 4]

2.1.3 Lisování v polotuhém stavu – Semi-solid processing

Jedná se o proces, při kterém se pracuje s materiálem v polotuhém stavu. Nejprve je zhotoveno výchozí těleso vsázky, které svou hmotností odpovídá konečnému výrobku. Každé takové těleso je ohřáto do teplotní oblasti mezi solidem a likvidem. Následuje vložení do lisovací komory tlakového stroje a vtlačení materiálu do dutiny kovové formy (viz obr. 2). Jednotlivé metody se od sebe liší v přípravě výchozího tělesa vsázky a v poměru tuhé a tekuté fáze. [1, 4]

Výsledné odlitky téměř neobsahují plynové dutiny a mikrostaženiny, mají stejnoměrnou strukturu a velmi dobré mechanické vlastnosti. Nevýhodou jsou počáteční investice a vyšší energetická náročnost, která je způsobena nutností ohřevu kovu do polotuhého stavu. [1, 4]



Obr. 2 – Schéma metody Rheocasting a Thixocasting [37]

2.1.4 Lití do vakuované formy

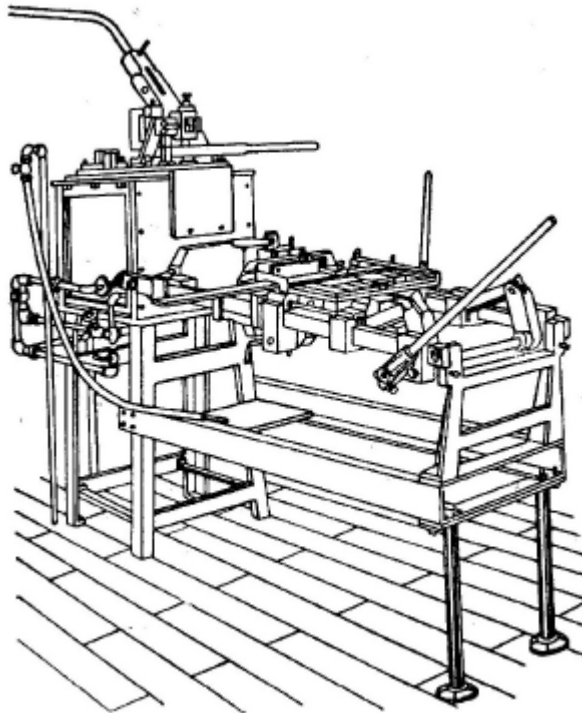
Touto metodou se pomocí řízeného vakua odstraňuje uzavřený vzduch ve formě a ve vtokovém systému, který je hlavním zdrojem vnitřních dutin u odlitků vyráběných konvenčním vysokotlakým litím. Výhodou této metody je možnost spojení právě s konvenčním vysokotlakým litím, což je ekonomicky přínosné.

Vakuované formy lze použít také u metody lití s krystalizací pod tlakem a lisování v polotuhém stavu. [1]

2.2 Historie

Kovové formy byly používány již ve středověku, kde je řemeslníci využívali pro výrobu cínových předmětů. Významný milník v historii trvalých kovových forem představuje vynález Johannese Gutenberga. Ten sestrojil mechanický knihtisk využívající pohyblivých liter, čímž došlo k prvnímu masivnímu použití trvalých forem. [1]

Samotný vývoj tlakového lití lze rozdělit do tří období. V období 1850-1925 dochází k vývoji strojů s teplou komorou a lití nízkotavitelných slitin (cín, olovo). První komerčně vyráběný stroj byl postaven roku 1870 firmou Soss Manufacturing v USA (viz obr. 3). Měl základní prvky a uspořádání jako dnešní stroje s teplou komorou. Uzavírací i vstřikovací síly byly malé, protože stroj byl ovládán ručně pomocí pák. Ke konci tohoto období se hledaly způsoby, jak lít pod tlakem i kovy o vyšší teplotě tavení. [5]



Obr. 3 – První komerčně vyráběný stroj s teplou komorou firmou Soss Manufacturing [5]

Druhé období začíná v roce 1927 vynálezem vertikální studené komory inženýrem Polákem, který oddělil pec od stroje. Princip studené komory dovolil odlévat slitiny kovů s vyšší teplotou tavení. Původně byl sice vyvinut pro odlévání mosazi, velmi brzo se však uplatnil především pro lití slitin hliníku. Tato skutečnost znamenala velký pokrok a rozvoj v mnoha průmyslových odvětvích. Dochází také k prvnímu praktickému uplatnění strojů s horizontální komorou v USA. V tomto období značně vzrostla spotřeba slitin zinku a hliníku pro odlitky lité pod tlakem. Neustále se také vyvíjely stroje jak s teplou tak i studenou komorou. Vznikaly

poloautomatické a automatické stroje řízené převážně elektrohydraulicky. Velikost strojů však zůstávala stejná, protože převládal názor, že ekonomicky výhodné je lít pouze odlitky do 10 kg hliníku. [5, 17]

Ve třetím období, které začíná v roce 1951, dochází ke změně pohledu na maximální hmotnost odlitků, které je možné tlakově odlévat. Začínají se konstruovat stroje a formy pro náročné odlitky vážící 20 i více kilogramů. Snahou je také co nejvíce výrobní proces u strojů se studenou komorou zautomatizovat. Zavádějí se především zařízení pro automatické dávkování kovu a objevují se první zařízení pro vakuové lití. Ani v tomto období se však nerozšiřuje spektrum používaných slitin s vyšší teplotou tavení, než jsou mosazi. Jsou ale zaznamenány snahy o lití oceli a litiny. [5]

Do dnešní doby prošla technologie lití pod tlakem výrazným vývojem. Především pak v oblasti automatizace výrobních procesů a robotizace pracovišť. Nové stroje obsahují řadu moderní měřicí techniky, která slouží pro získání dat zpětné vazby o výrobním procesu, díky čemuž je možné ideálně nastavit licí parametry stroje. Nadále pokračují vývoje zabývající se možnostmi odlévat tlakově litiny a oceli. Stále vyšší nároky na jakost vyráběných odlitků nutí výrobce stále častěji realizovat jejich výrobu zvláštními způsoby tlakového lití, mezi které patří: lití do vakuovaných forem, thixotropní lití a squeeze casting. Tyto technologie jsou označovány jako metody vysokotlakého lití s ohledem na vysokou vnitřní integritu dílu a jsou ve stavu intenzivního vývoje. [25]

2.3 Popis technologie konvenčního vysokotlakého lití

Principem výroby je vstřikování roztavené slitiny do dutiny kovové formy pod vysokým tlakem až 250 MPa. Dosahuje se vysoké rychlosti značným zúžením vtoku v místě, které se nazývá vtokové naříznutí, tím, že na něj působí vysoký tlak. Během krátké doby tuhnutí zůstává kov pod tlakem. Velká rychlost plnění a vysoký tlak umožňují odlévat tenkostěnné a tvarově komplikované odlitky, které velmi často nevyžadují jiné opracování než odstranění vtoků a ořepů. [4, 5]

Formy jsou vyráběny nástrojařským způsobem. Vzhledem k mimořádným mechanickým a tepelným nárokům se funkční části vyrábí z vysoce legovaných Cr-Mo ocelí a tepelně se zpracovávají. Tvar odlitku musí respektovat možnosti rozebrání formy a vytažení volných částí a jader. Velká část otvorů se předlévá. Do forem je před litím možno vkládat kovové zálitky. Z důvodu vysoké ceny forem je technologie vysokotlakého lití vhodná pouze pro vysoce sériovou výrobu odlitků. [4, 5]

Dále jsou uvedeny hlavní výhody a nevýhody technologie konvenčního vysokotlakého lití a její srovnání s dalšími vybranými metodami (viz tab. 1).

Výhody:

- Vysoká produktivita výroby.
- Vysoká rozměrová a povrchová přesnost.
- Vysoké využití kovu.
- Možnost výroby tvarově složitých odlitků.
- Tenkostěnnost odlitků.
- Dobré mechanické vlastnosti odlitků.
- Úspora na váze odlitku.

- Nízké náklady na pracovní sílu. [5, 41]

Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady na stroj a formu.
- Limitovaná životnost formy.
- Nižší vnitřní homogenita odlitků.
- Dodací doba, dlouhá příprava výroby odlitku. [41]

Tab. 1 – Srovnání tlakového lití s dalšími technologiemi odlévání [29], [30]

Technologie	Pískové formy	Tlakové lití	Přesné lití
Rozměry odlitku [mm]	5 až $5 \cdot 10^3$	1 až $2 \cdot 10^3$	5 až $2 \cdot 10^3$
Tolerance IT	15	10	10
Hmotnost odlitku [kg]	$2 \cdot 10^{-2}$ až $3 \cdot 10^5$	10^{-3} až 50	10^{-3} až 10^2
Drsnost povrchu R_a [μm]	12,5 až 200	1,6 až 12,5	1,6 až 25
Ekonomická série [ks]	1 až 10^3	10^3 až 10^5	10^2 až 10^4
Cena formy	Nízká	Vysoká	Střední
Doba přípravy výroby odlitku	Krátká	Dlouhá	Střední
Možnost změny tvaru odlitku ve výrobě	Výborná	Špatná	Dobrá

2.3.1 Požadavky kladené na odlitky

Do značné míry se požadavky na vysokotlaké odlitky odvíjejí podle použité slitiny. Z možností, které nám technologie vysokotlakého konvenčního lití nabízí, lze obecně říci, že od odlitků vyráběných touto metodou požadujeme:

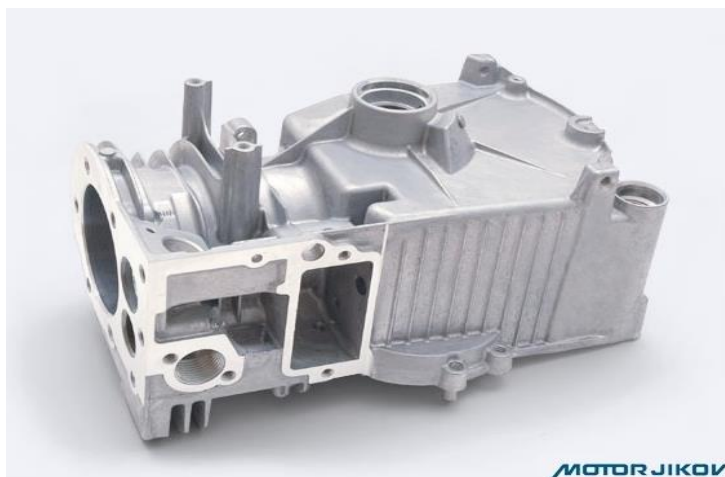
- Vysokou rozměrovou a povrchovou přesnost.
- Tvarovou složitost.
- Tenkostěnnost.
- Mez pevnosti R_m [MPa]: 200 až 240.
- Tvrdost HB [-]: 70 až 80.
- Nízkou hmotnost.
- Korozní odolnost.
- Odolnost proti vzniku prasklin.
- Ekonomickou efektivitu. [4]

2.3.2 Požadavky kladené na odlitek válce pro motorovou pilu

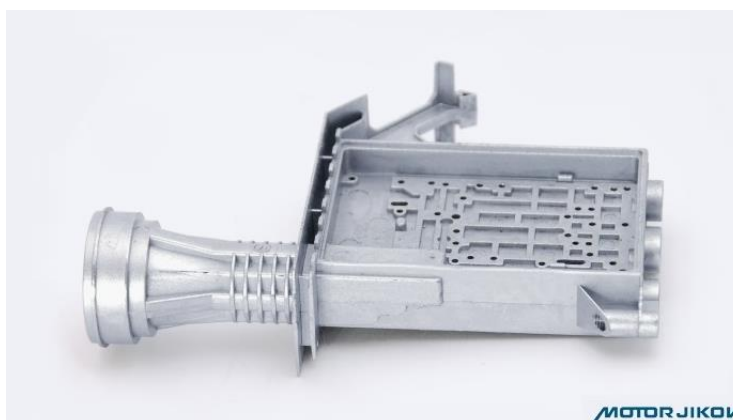
Mechanické vlastnosti jsou ovlivněny zvolenou hliníkovou slitinou AlSi9Cu3(Fe), díky níž jsou splněny základní požadavky na fyzikální a mechanické vlastnosti, především na pevnost a tvrdost odlitku. Díky zvolené výrobní technologii je možné dosáhnout požadované tvarové složitosti, tenkostěnnosti a přesnosti jak rozměrové, tak povrchové. U geometrické přesnosti je pak důraz kladen především na tenkostěnná chladičí žebra, boční otvory a vnitřní kulový spalovací prostor (viz příloha 1 – výkres válce pro motorovou pilu). Kromě předepsané drsnosti povrchu je požadován povrch bez viditelného mechanického poškození, trhlin a puchýřů. Zásadní je pak požadavek na příznivou finální cenu odlitku a efektivitu výroby.

2.3.3 Použití a ukázka vyráběných odlitků

Převážná většina odlitků vyráběných touto metodou nachází své uplatnění v automobilním průmyslu (hlavy válců, klikové skříně, součástky pro motory aj.). Odlitky se dále používají v elektrotechnice (skříně, víka, kryty aj.), jako součásti pro kancelářské stroje, pro domácí spotřebiče, optické přístroje, potravinářský průmysl, ozdobné předměty či kování. [4]



Obr. 4 – Odlitek válce motoru pro zahradní techniku [46]



Obr. 5 – Odlitek snímače satelitního signálu [46]

3 HLINÍKOVÁ SLITINA, POŽADAVKY NA NÍ KLADENÉ A VLIV NA VÝSLEDNOU KVALITU ODLITKU

Hliníkové odlitky hrály zásadní roli v rozvoji průmyslu především na konci 19. století. Po prvních experimentálních aplikacích hliníku, vznikají první komerční výrobky, například kuchyňské potřeby či dekorativní předměty. Rychlý rozvoj umožnil brzo splňovat požadavky na širokou škálu technických specifikací. Velký rozvoj ve výrobě hliníkových slitin přinesly obě světové války, kdy se hliníkové slitiny začaly masivně využívat při stavbě letadel. Po 2. světové válce došlo k prudkému nárůstu výroby odlitků z hliníkových slitin díky rozvoji lití do kovových forem a to především pod tlakem. [2, 4]

V dnešní době je možné odlitky vyrábět ze stovek hliníkových slitin, což rozšiřuje možnosti sléváren nabízet ekonomicky výhodné a provozně spolehlivé díly, splňující požadavky kladené zákazníky. [2]

3.1 Slévárenské slitiny hliníku

Technicky čistý hliník má velmi špatné mechanické ($R_m < 100$ [MPa], $HB < 40$ [-]) a slévárenské vlastnosti, a proto se k výrobě používá naprosto výjimečně tam, kde je určující vlastností vysoká elektrická vodivost, např. pro vodiče rotorů asynchronních motorů. [8]

Běžné odlitky pro průmyslové použití jsou vyráběny ze slitin hliníku. Použitím vhodných přísadových prvků se zvyšují mechanické a také technologické vlastnosti. Ve slévárenské praxi se podle hlavního přísadového prvku rozdělují slitiny hliníku na tyto základní typy:

- Slitiny Al–Si (Siluminy)
- Slitiny Al–Cu (Duraluminium)
- Slitiny Al–Mg (Hydronalium) [8, 4]

Přidáním dalšího (vedlejšího) přísadového prvku lze ovlivnit některé další vlastnosti dané slitiny (obrobitelnost, mechanické vlastnosti, tepelné zpracování aj.). Mezi nejpoužívanější typy patří:

- Al–Si–Cu
- Al–Si–Mg
- Al–Cu–Si
- Al–Mg–Si [8, 4]

3.1.1 Slitiny typu Al–Si

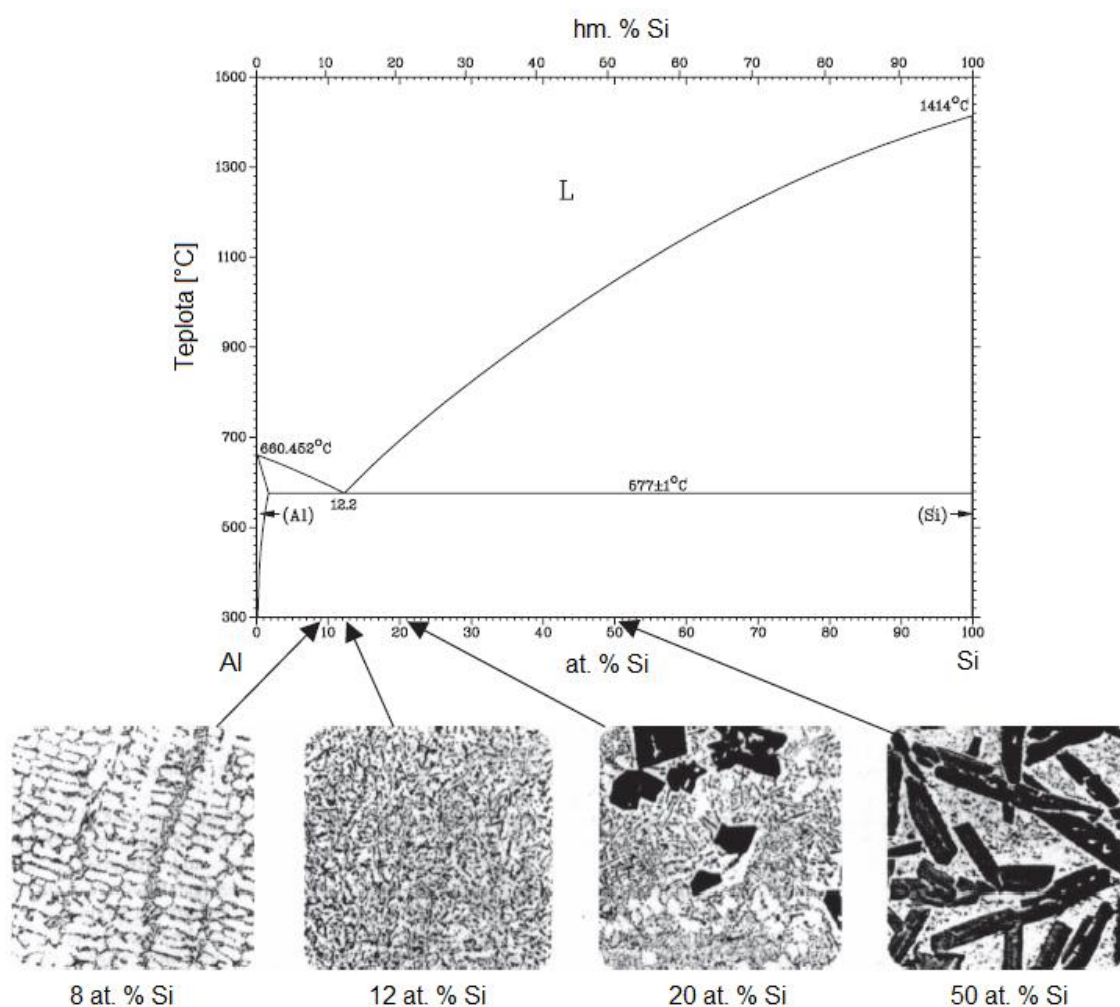
Obsah křemíku jako hlavního přísadového prvku ve dvou a vícesložkových slitinách typu Al–Si je vždy vyšší, než je jeho maximální rozpustnost v tuhém roztoku $\alpha(\text{Al})$. Podle rovnovážného diagramu pak tvoří $\alpha(\text{Al})$ s křemíkem (fáze β) eutektický systém $\alpha(\text{Al})$ –Si s omezenou rozpustností křemíku v hliníku. Eutektická koncentrace křemíku je 12,2 % a eutektická teplota 577 °C. (viz rovnovážný diagram obr. 6) [8, 4, 7]

Slitiny tohoto typu lze rozdělit na:

- Podeutektické – obsah Si obvykle 7-10 %.
- Eutektické – obsah Si obvykle 11,5-13 %.
- Nadeutektické – obsah Si obvykle 14-17 %, výjimečně až do 25 %.

Obvykle se používají slitiny podeutektické až eutektické. Jako vedlejší přísadový prvek se u slitin Al–Si používá nejčastěji měď (viz kapitola 3.4 – Analýza hliníkové slitiny odlitku válce pro motorovou pilu) a hořčík. [8, 4]

Průmyslový význam těchto slitin je dán jejich dobrými slévárenskými vlastnostmi, těsností vůči plynům i kapalinám, dobrou svařitelností a odolností proti korozi. Obrobitelnost je pouze střední. Obsah Si ovlivňuje slévárenské vlastnosti. Platí, že čím vyšší je obsah Si, tím lepší jsou slévárenské vlastnosti. [8, 4, 7]



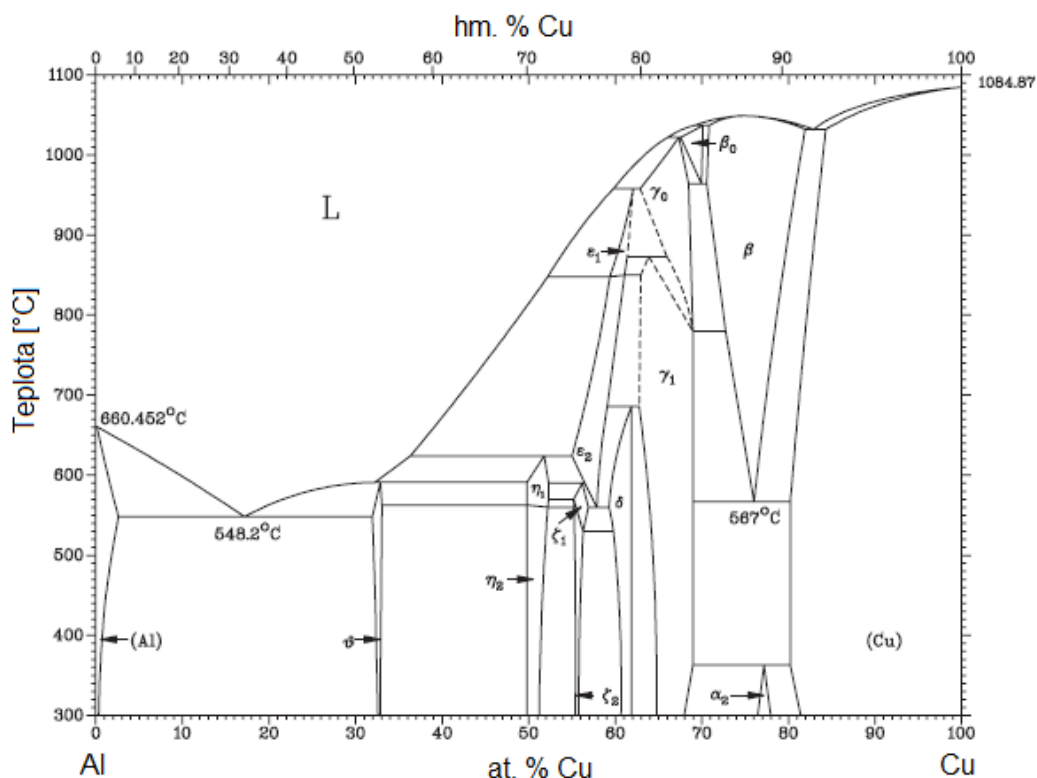
Obr. 6 – Fázový diagram systému Al–Si a charakteristiky mikrostruktur slitin s různým obsahem křemíku [7]

3.1.2 Slitiny typu Al–Cu

Měď tvoří s hliníkem slitiny s omezenou rozpustností v tuhém roztoku $\alpha(\text{Al})$ a s eutektikem, které je tvořeno fázemi $\alpha(\text{Al})$ a intermetalickou fází Al_2Cu , označovanou jako fáze θ (viz rovnovážným diagram obr. 7). Rozpustnost mědi v hliníku je při eutektické teplotě $548\text{ }^\circ\text{C}$ maximálně $5,7\%$. Snižující se rozpustnost Cu umožňuje provádět vytvrzování, které lze aplikovat za tepla i za studena. Obvyklý obsah mědi je 4 až 5% . Dalším přísadovým prvkem bývá hořčík, který zvyšuje pevnost, nebo mangan. [4, 8]

Tyto slitiny se vyznačují vysokou pevností (R_m až nad 400 [MPa]), tažností, houževnatostí a vynikající obrobiteľností. Odolnost proti korozi je poměrně špatná a svařitelnost podmíněná. Slévárenské vlastnosti slitin Al–Cu jsou velmi špatné. Obtížně se nálitkují v důsledku širokého intervalu tuhnutí. Mají sklon ke vzniku rozptýlených staženin a k praskání. Slévárenské vlastnosti lze vylepšit zvýšením obsahu křemíku, ovšem za cenu výrazného snížení pevnostních vlastností. [4, 8]

Slitiny Al–Cu se používají omezeně a vzhledem ke špatným slévárenským vlastnostem je snaha převádět odlitky z těchto slitin na slitiny typu Al–Si. [4, 8]



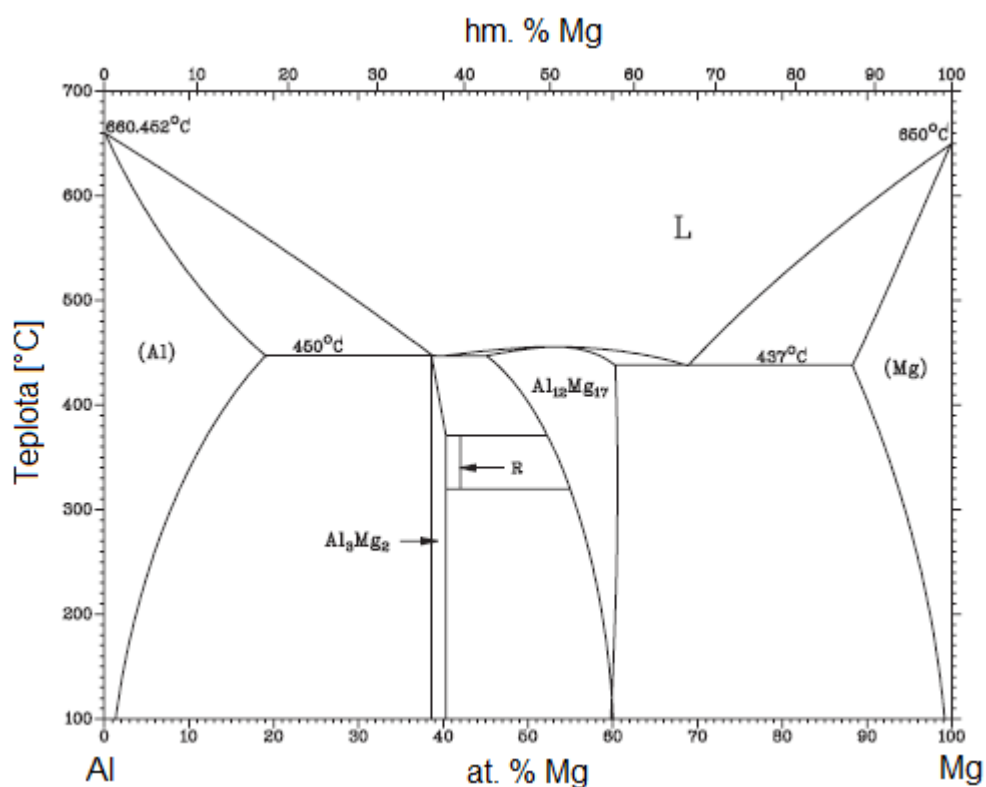
Obr. 7 – Fázový diagram systému Al–Cu [7]

3.1.3 Slitiny typu Al–Mg

Hořčík tvoří s hliníkem slitiny s maximální rozpustností $17,4\%$ při eutektické teplotě $450\text{ }^\circ\text{C}$. S poklesem teploty a vlivem přísadových prvků se rozpustnost snižuje. Eutektikum je tvořeno fázemi $\alpha(\text{Al})$ a Al_8Mg_5 , označované jako fáze β (viz rovnovážným diagram obr. 8). Pokud je obsažen ve slitině také křemík v množství asi 1% , váže se hořčík do sloučeniny Mg_2Si , která umožňuje vytvrzování. [4, 8]

Slitiny Al–Mg se podle obsahu hořčíku dělí na typy se 3, 5 a 9 % Mg. Platí, že čím vyšší je obsah hořčíku, tím horší jsou slévárenské vlastnosti (z důvodu širšího dvoufázového pásma), proto se slitiny s 9 % hořčíku odlévají pouze pod tlakem. Slitiny jsou náchylné k tvorbě oxidů MgO, naplynění a objevuje se u nich také sklon ke tvorbě rozptýlených staženin a propadlin na povrchu odlitků. [4, 8]

Mechanické vlastnosti jsou poměrně špatné (horší než u siluminů). Příznivou vlastností tohoto typu slitin je vynikající obrobiteľnosť a leštitelnosť. Dále vysoká odolnosť proti korozi, zejména v mírně alkalickém prostředí a v mořské vodě. Proto nacházejí tyto slitiny časté využití při stavbě lodí, v chemickém průmyslu, potravinářství a zejména pro dekorativní účely. [4, 8]



Obr. 8 – Fázový diagram systému Al–Mg [7]

3.2 Požadavky kladené na hliníkové slitiny

Při volbě vhodné hliníkové slitiny, pro zhotovení odlitku požadovaného tvaru a rozměru, se sleduje těchto pět hlavních faktorů:

1. Slévárenské vlastnosti

Požaduje se dobrá slévateľnosť, která je ovlivněná především teplotním intervalem krystalizace, viskozitou a povrchovým napětím taveniny. Interval krystalizace by měl být co nejmenší. Dále sledujeme odolnosť proti vzniku trhlin za tepla, která je všeobecně nižší, čím má slitina větší interval krystalizace a nižší pevnostní vlastnosti za vyšších teplot. Vyžadují se také dobré vlastnosti pro lití pod tlakem. [7]

2. Požadované mechanické vlastnosti

Sledují se pevnostní a plastické vlastnosti, tvrdost a možnost zvýšení pevnostních vlastností tepelným zpracováním. [7]

3. Chemické vlastnosti

Zásadní je odolnost proti korozi, možnost povrchové úpravy – eloxování. U hliníkových slitin odolnost proti korozi výrazně zhoršuje přítomnost mědi. [7]

4. Vlastnosti hotových výrobků

Vyžaduje se nepropustnost kapalin v odlitku působením tlaku, rozměrová a teplotní stabilita. [7]

5. Ekonomické faktory

Sledují se náklady na mechanické obrábění, tavení a lití, tepelné zpracování a svařitelnost. [7]

3.3 Vliv hliníkové slitiny na výslednou kvalitu odlitku

Výsledná kvalita odlitku je ovlivněna již samotným výběrem hliníkové slitiny, která by za předpokladu, že byla správně zvolena pro konkrétní aplikaci, měla splňovat všech pět hlavních faktorů, které u slitin sledujeme. Kvalita samotné slitiny se poté přímo projevuje na kvalitě finálního odlitku, je tedy nutné pracovat se slitinou v požadované kvalitě. Ta je ovlivněna především správností metalurgických postupů, mezi které patří:

- Tavení slitiny.
- Modifikace slitiny.
- Očkování slitiny.
- Rafinace slitiny.
- Odplynění slitiny.
- Volba licí teploty.

Ke zvolené hliníkové slitině musí být správně zvolena také technologie tepelného zpracování (vytvrzování, žíhání), která má výrazný dopad na konečné vlastnosti odlitku, ovlivněné slitinou.

Jedná se o velice komplexní problematiku. Některé z vyjmenovaných vlivů, jsou dále popsány a rozebrány v následujících kapitolách.

3.4 Analýza hliníkové slitiny válce pro motorovou pilu - AlSi9Cu3(Fe)

Pro výrobu válce motorové pily byla zvolena hliníková slitina AlSi9Cu3(Fe) , která patří do skupiny slitin Al-Si-Cu , které tvoří asi polovinu celkové produkce hliníkových odlitků a je dominantním typem ve výrobě automobilních odlitků. To je dáno především vysokým poměrem mezi mechanickými vlastnostmi a hmotností, dobrými slévárenskými vlastnostmi, obrobiteľností a odolností proti korozi. Významná je také vysoká nákladová efektivita výroby v kombinaci s technologií vysokotlakého lití a možností recyklace. V současné době evropský automobilový trh obsahuje přibližně z 90 % odlitky z recyklovatelných hliníkových slitin. To má pozitivní dopad na životní prostředí a vede ke značné úspoře energie. Téměř 95 % všech energetických úspor je dosaženo přetavováním recyklovaného kovu místo výroby primárního hliníku. [12, 14, 4]

3.4.1 Chemické složení

Slitina AlSi9Cu3(Fe) je podeutektickou slitinou, jejíž chemické složení je dáno normou (viz tab. 2). Vliv jednotlivých přísadových prvků a nečistot je následující:

Křemík

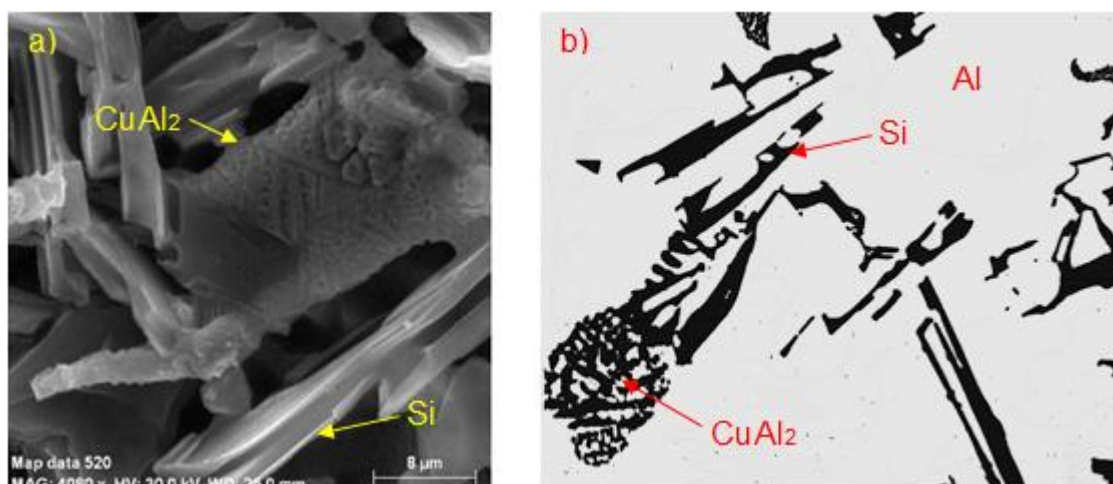
Ve slitině je hlavním přísadovým prvkem. Zužuje interval tuhnutí a zlepšuje téměř všechny slévárenské technologické vlastnosti. Zvyšuje zabíhavost, zmenšuje součinitel stahování během tuhnutí a sklon ke vzniku mikrostaženin. Dále křemík snižuje nebezpečí trhlin, prasklin a zvyšuje korozní odolnost. [4, 8]

Vzhledem k rychlému chladnutí při tlakovém lití, není nutné provádět modifikaci slitiny, protože se křemík vylučuje v jemných částicích.

Měď

Významný vedlejší přísadový prvek, který má v tuhém roztoku $\alpha(\text{Al})$ omezenou rozpustnost, proto již při obsahu kolem 1 % Cu se ve struktuře objevuje potrojně eutektikum Al–Si–CuAl₂ (viz obr. 9). Za přítomnosti hořčíku tvoří měď vícesložková eutektika, zejména eutektikum Al–Si–CuAl₂–Al₅Mg₈Cu₂Si₆, které při reálné rychlosti ochlazování tuhne při teplotě kolem 480 °C. Měď se do slitiny dostává převážně ze vsázkových surovin, pro dolegování se používá předslitina AlCu. Měď nelze běžnými metalurgickými postupy odstranit. [4, 8]

Měď zvyšuje pevnost a tvrdost, snižuje tažnost a odolnost proti korozi. Výrazně zlepšuje obrobitelnost. [8]



Obr. 9 – Eutektická fáze mědi - a) snímek z elektronového mikroskopu [14], b) snímek z optického mikroskopu [38]

Hořčík

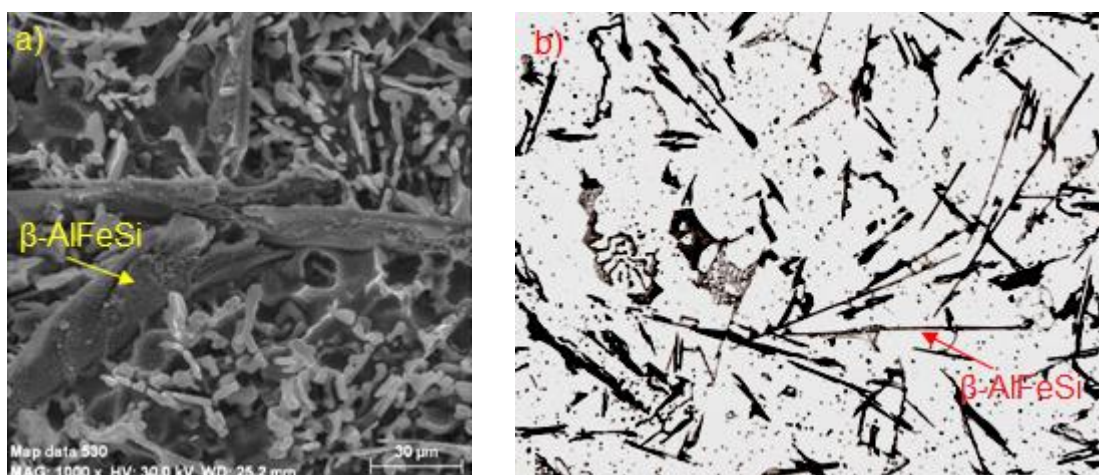
V litém stavu tvoří intermetalickou fázi Mg₂Si, které tvoří eutektikum Al–Si–Mg₂Si. Jeho vliv v litém stavu na pevnost je malý, snižuje však tažnost. [4, 8]

Obecně je uváděno, že hořčík spolu s mědí a zinkem zvyšují mechanické vlastnosti, zejména v případě tepelného zpracování. Experimentálně bylo také dokázáno, že hořčík má ve slitině AlSi9Cu3(Fe) pozitivní vliv na mikroporozitu. [12, 13]

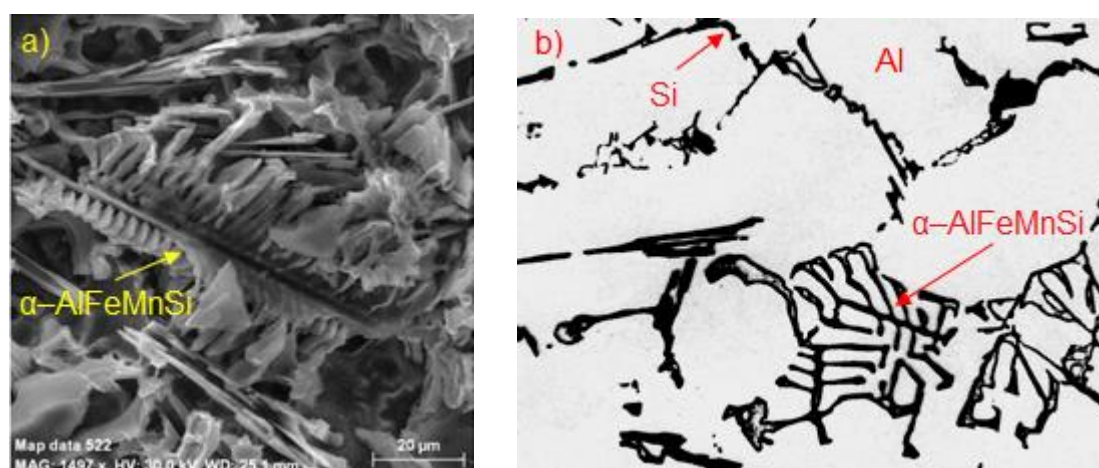
Železo

Jeho vliv se spojuje především s nepříznivým účinkem na mechanické vlastnosti. Železo nemá v hliníku téměř žádnou rozpustnost, a proto již při malém obsahu tvoří řadu intermetalických fází. Nejdůležitější jsou jehlicové fáze označované jako fáze β -AlFeSi (viz obr. 10), výrazně zhoršující vlastnosti slitiny a fáze označovaná jako α -AlFeMnSi (viz obr. 11) nebo také podle tvaru jako „čínské písmo“. [4]

Vlivem prudkého ochlazení při lití pod tlakem se intermetalické fáze železa vylučují jako drobnější částice a jsou mnohem méně škodlivé. Na slévárenské vlastnosti ani na obrobitelnost nemá železo podstatný vliv, pouze mírně zhoršuje odolnost proti korozi. Železo má pozitivní vliv na lepení kovu na formu, čímž se prodlužuje její životnost. [4]



Obr. 10 – Jehlicová fáze železa - a) snímek z elektronového mikroskopu [14], b) snímek z optického mikroskopu [38]



Obr. 11 – Fáze typu „čínské písmo“ - a) snímek z elektronového mikroskopu [14], b) snímek z optického mikroskopu [38]

Mangan

Hlavním úkolem manganu je kompenzace nepříznivého vlivu železa. Vzhledem k vysokému rozdělovacímu koeficientu má mangan pouze malou segregaci a netvoří vlastní fáze, ale vstupuje do fází železa a mění jejich

morfologii. Způsobuje změnu velmi škodlivé jehlicové fáze β -AlFeSi na kompaktní částice α -AlFeMnSi. Obsah manganu by měl být roven přibližně polovině obsahu železa. [4]

Díky kompenzaci vlivu železa se zmenšuje křehkost slitiny. Na slévárenské vlastnosti nemá mangan žádný vliv. [4]

Nikl

Tvoří ve slitině intermetalickou fázi Al_3Ni s teplotou tuhnutí 640 °C. Za přítomnosti mědi a železa vznikají vícesložkové fáze. Slévárenské vlastnosti se s obsahem niklu zhoršují. Na obrobitelnost ani na odolnost proti korozi nemá prakticky žádný vliv. [4]

Zinek

Zvyšuje tekutost, zabíhavost a obrobitelnost slitiny. Napomáhá snižovat lepení kovu na formu. Při obsahu do 2 až 3 % dochází také k mírnému zvýšení mechanických vlastností. Při vyšším obsahu roste sklon ke vzniku trhlin. [4]

Titan

Při vyšším obsahu než 0,2 % vznikají ve struktuře tvrdé krystaly Al_3Ti a TiC , které se vylučují ve shlucích a činí problémy při obrábění a provádění povrchových úprav. Nejvýznamnějším vlivem titanu je jeho očkovací účinek, který způsobuje zjemnění primárního zrna, čímž se mírně zlepšuje obrobitelnost, odolnost proti korozi i možnosti povrchové úpravy odlitků. [4]

Olovo

Nežádoucí prvek velmi nepříznivě ovlivňující houževnatost odlitků. [4]

Tab. 2 – Chemická složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) dle EN 1706:2010 [44]

EN AC-AlSi9Cu3(Fe)		
Chemické složení (%)	Si	8,0-11,0
	Cu	2,0-4,0
	Fe	max. 1,3
	Mn	max. 0,55
	Mg	0,05-0,55
	Cr	max. 0,15
	Ni	max. 0,55
	Zn	max. 1,2
	Pb	max. 0,35
	Sn	0,25
	Ti	0,25
	Al	zbytek
Nečistoty (%)	Jeden prvek	0,05
	Celkem	0,25

3.4.2 Mechanické, technologické a fyzikální vlastnosti

Slitina AlSi9Cu3(Fe) je považována za univerzální slitinu, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly. Slitina má dobré slévárenské vlastnosti, mezi které patří velmi dobrá zabíhavost, odolnost proti vzniku trhlin a dobrá nepropustnost. Velmi dobrá je také obrobiteľnosť a odolnosť proti korozi. Naopak slitina AlSi9Cu3(Fe) není vhodná pro svařování a nedoporučuje se pro anodickou oxidaci. [4]

V praxi se slitina AlSi9Cu3(Fe) často žihá teplotním režimem T5. Jedná se o umělé stárnutí při relativně nízkých teplotách bez předchozího homogenizačního žihání (viz kapitola 8 Tepelné zpracování – žihání). [4]

Slitina se obvykle nevytvzuje. Hodnoty základních mechanických, technologických a fyzikálních vlastností slitiny jsou shrnuty v tabulce 3.

Tab. 3 – Mechanické, technologické a fyzikální vlastnosti slitiny AlSi9Cu3(Fe) [44], [45]

EN AC- AlSi9Cu3(Fe)	
Metoda lití	Tlakové lití
R _{p0,2} [MPa]	140
R _m [MPa]	240
A5 [%]	1
Tvrdość HB [-]	80
Modul pružnosti v tahu [MPa]	75 000
Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]	100-110
Součinitel tepelné roztažnosti 20-200 °C [10 ⁻⁶ /K]	22
Vrubová houževnatost KCV [J/cm ²]	~30
Smrštění [%]	1,2
Teplota lití [°C]	610-650
Teplota likvidu [°C]	521
Teplota solidu [°C]	593

4 STROJE PRO KONVENČNÍ VYSOKOTLAKÉ LITÍ

Stroje pro vysokotlaké konvenční lití rozdělujeme podle toho, zda je roztavená slitina v trvalém nebo přechodném styku se vstřikovacím systémem:

- Stroje s teplou komorou:
 - Vstřikování kovu pístem.
 - Vstřikování kovu vzduchem.
- Stroje se studenou komorou:
 - Vstřikovací ústrojí vertikální.
 - Vstřikovací ústrojí horizontální. [5]

Podle směru pohybu plnicího pístu mohou být stroje se svislou nebo vodorovnou komorou. [4]

4.1 Vývoj tlakových licích strojů

Vývoj tlakových licích strojů z historického hlediska byl již částečně popsán v kapitole 2.1.

Hlavním cílem vývoje tlakových strojů je snaha o dosažení vyšší produktivity při zvyšujících se nárocích na jakost. Snahou je také zvýšit úspory ve spotřebě energie, materiálu a pracovní síly. Stále vyšší požadavky na tlakově lité odlitky nutí výrobce strojů k plné mechanizaci a automatizaci, tím k omezení vlivu pracovníka a dosažení maximální reprodukovatelnosti nastavených technologických parametrů v průběhu celého procesu lití. [17, 18]

Vedle zajištění hlavních cílů, jsou moderní tlakové licí stroje schopny pomocí řídicího systému určit diagnostiku poruch, evidenci výpadků stroje z jakéhokoliv důvodu a z toho pořídit záznam pro vyhodnocení směny. Stroje jsou dále vybaveny prvky zvyšující bezpečnost provozu, lepší vzhled, ovladatelnost a udržovatelnost. Většina strojů je vybavena řízením v reálném čase a doplněna robotem, plnicího řadu funkcí. Zajišťuje vyjmutí odlitku z formy, jeho kontrolu a přesně vsazení do ostřihovacího lisu. Některé roboty jsou kromě manipulační hlavice vybaveny ještě postřikovací hlavicí pro nanesení mazadla do dutiny formy. Takto vybaveným robotem se šetří za další zařízení a zrychluje se kadence tlakového licího stroje. [18]

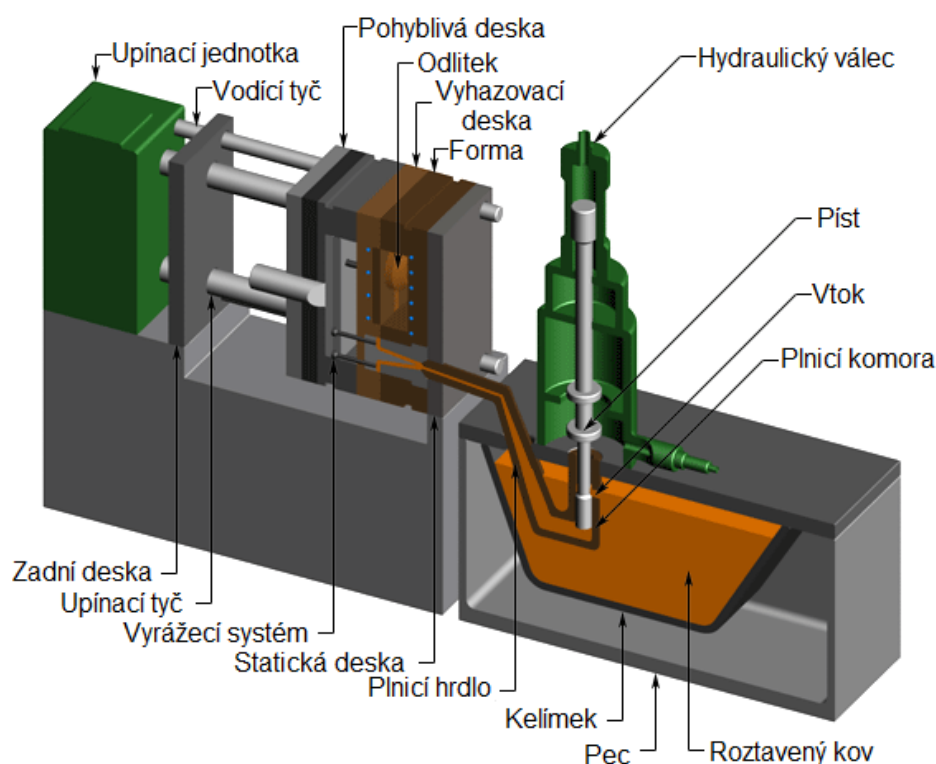
Do budoucna se dá očekávat stálý vývoj, protože především automobilový průmysl jako hlavní odběratel tlakově litých odlitků požaduje stále vyšší jakost za co nejnižší cenu. Očekávaný je další vývoj v oblasti řídicích systémů a v mechanické části strojů, díky kterému bude možnost odlévat masivnější, tvarově složitě odlitky se zvýšenou vnitřní a vzhledovou jakostí. [18]

4.2 Stroje s teplou komorou

Tyto stroje mají plnicí komoru umístěnou pod hladinou kovu v udržovací peci. Část vstřikovacího systému je tak v neustálém kontaktu s roztavenou slitinou. Kov se z udržovací do plnicí komory nepřelévá a nedochází tak k jeho oxidaci, vzniku turbulencí a tepelným ztrátám. Jeden pracovní cyklus proto trvá minimální dobu. Komora se zužuje v hrdle, na jehož konci je tryska, která je

před vstřikem kovu přitlačena k pevné polovině formy (k jejímu vtokovému otvoru). Píst vytláče kov z komory do dutiny formy. Plnicí komora je spojena s ostatním prostorem kelímku otvorem, kterým se při zpětném pohybu pístu naplňuje komora roztaveným kovem. Při pracovním pohybu pístu se tento otvor uzavře, takže kov při dalším pohybu pístu může z komory uniknout pouze přes plnicí hrdlo tryskou, a tím do dutiny. [4, 5, 2]

Stroje s teplou komorou jsou schopné produkovat drobné odlitky s hmotností několika gramů za méně než jednu sekundu. U odlitků s hmotností několika kilogramů trvá odlití přibližně 30 sekund. Plnění formy trvá obvykle 5 až 40 milisekund. Stroje s teplou komorou se používají pro odlévání slitin s nízkým bodem tavení (slitiny zinku, olova, cínu a hořčíku). U slitin s vyšší teplotou tavení, včetně slitin hliníku, dochází k výrazné degradaci systému pro vstřikování kovu. Schéma stroje s teplou komorou viz obr. 12. [1]

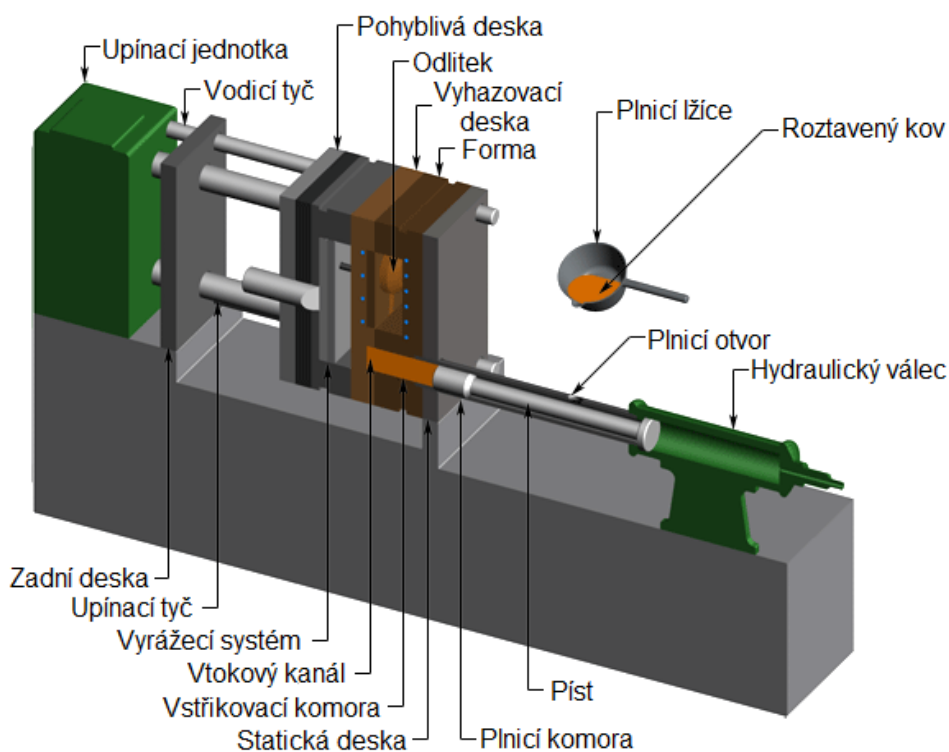


Obr. 12 – Schéma stroje s teplou komorou [41]

4.3 Stroje se studenou komorou

U strojů se studenou plnicí komorou na rozdíl od strojů s teplou komorou není udržovací pec s roztaveným kovem součástí stroje. Vstřikovací systém tak není v trvalém kontaktu s roztaveným kovem, což umožňuje odlévat kovy s vyšším bodem tavení (slitiny hliníku, mědi). Dávkování kovu do plnicí trubice lze provádět manuálně, u modernějších zařízení je však dávkování automatické a to buď plnicí lžící, nebo pneumatickým dávkovacím zařízením z udržovací pece, která bývá součástí každého pracoviště tlakového stroje. V současné době se využívají především stroje s horizontální komorou, ve které se pohybuje vstřikovací píst. Vnitřní otvor plnicí komory pokračuje pevnou polovinou formy až do její dělicí roviny. Během vlévání kovu je vstřikovací píst v zadní poloze. Při pohybu pístu

dopředu je kov vtlačován plnicí komorou do dutiny formy. Proces vstříknutí kovu trvá jen několik milisekund tak, aby byl píst vystaven působení roztaveného kovu, co nejkratší dobu. Schéma stroje se studenou komorou viz obr. 13. [1, 4, 5]



Obr. 13 – Schéma stroje se studenou komorou [41]

4.4 Specifikace strojů

Jak stroje s horkou tak i studenou komorou jsou běžně charakterizovány velikostí poskytované uzavírací síly uváděné v tunách. Určení velikosti stroje se provádí na základě výpočtu otevírací síly F_o v okamžiku zalisování kovu do formy. [15]

$$F_o = S_p - p_s \quad (1)$$

kde: S_p – projekční plocha odlevu (včetně vtoku a přetoků) [m^2],
 p_s – specifický tlak kovu v dutině formy [MPa]. [15]

Na základě zjištěné otevírací síly je vypočtena potřebná uzavírací síla stroje F_u :

$$F_u = F_o - k \quad (2)$$

kde: k – koeficient volený na základě složitosti formy (pro formu bez bočních jader s jednoduchou dělicí rovinou se volí $k = 1,1$; v případě složité formy s několika bočními jádry se volí $k = 1,2-1,25$). [15]

Z tohoto důvodu je při výrobě větších odlitků vyžadována větší uzavírací síla. Velikost uzavírací síly může ovlivnit také odlévaný kov, protože některé

materiály vyžadují vysoké vstřikovací tlaky. Vyráběný odlitek musí být v souladu s dalšími specifikacemi stroje, mezi které patří maximální vstřikovací síla, vyhazovací síla, vyhazovací zdvih či maximální váha nalité slitiny. Tlakově odlévané odlitky se mohou výrazně lišit ve velikosti rozměrů, a proto výrobci stroje pro tlakové lití dodávají v široké škále. Hlavní technická data některých z nich jsou uvedeny v tabulce 4. [41]

Tab. 4 – Hlavní technická data vybraných strojů [32, 33]

Parametr	Uzavírací síla [t]	Max. vstřikovací síla [t]	Vyhazovací síla [t]	Vyhazovací zdvih [mm]	Max. váha nalité slitiny [kg]	Rozměry upínací desky [mm]	Počet licích cyklů [cykly/minutu]
Horká komora	46	5,6	4,6	70	1,6	465x465	20
	200	10,4	13,6	100	4,6	700x700	14
	320	15,9	18,8	130	5,9	880x880	10
Studená komora	140	23	9,2	90	1,9	625x625	15
	1235	82,5	46,2	210	20	1540x1540	5
	3323	217	97	350	72	2580x2580	2,5

4.5 Analýza stroje vyrábějící odlitek válce pro motorovou pilu

Odlitek válce pro motorovou pilu je odléván na vysoce automatizovaném a výkonném pracovišti s licím strojem se studenou horizontální komorou Colosio PFO 560 (hlavní technická data viz tab. 5), které je ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s. určeno právě pro náročné projekty. Jedná se o moderní stroj, který disponuje řadou pokročilých funkcí:

- Lisování v reálném čase a teleasistence, tzv. vzdálený přístup, pomocí kterého je možné stroj ovládat odkudkoliv.
- On-line měření a zobrazení parametrů proporcionálních ventilů (napětí, tlak), servisní podpora a vizualizace servisních úkonů.
- Řídicí systém stroje je vybaven PLC Siemens Simatic S7, PC Siemens Simatic Microbox a PC WinLC RTX. Umožňuje vkládání a archivaci dat tlakového licího stroje a periférií, registraci změn výrobních a servisních dat, servisních a výrobních alarmů. Stroj je vybaven výstupem USB.
- Možnost programovat 20 bodů rychlosti lisovací křivky a 10 bodů tlaku s kontrolou v reálném čase s dvojitou vizualizací závislosti čas, dráha.

- Digitální redukce tlaku tahačů a vyhazovačů na pevné a pohyblivé desce. Možnost nastavení zpožděného vyjetí vyhazovačů.
- Stroj je vybaven dvěma nezávisle řízenými hydraulickými rozvody bočních tahačů jader na pohyblivé desce a jedním hydraulickým rozvodem bočních tahačů jader na pevné desce včetně elektro řízení umožňující nastavení rychlosti a tlaků.
- Boční ochranné automatické kryty poháněné elektricky, nezávisle ovládané se středovým vedením.
- Vodící sloupy jsou ošetřeny tvrdou chromovou povrchovou úpravou.
- Desky stroje jsou kované z oceli, přičemž pevná deska je opatřena inoxovou vrstvou.
- Rychloupínání centrálního vyrážení a forem.
- Stroj je vybaven dvěma automaticky vyjímatelnými horními sloupy.
- Měření napětí sloupů s autoregulací uzavírací síly.
- Ovládání mazacího zařízení RELBO PLUS 2/130 je integrováno do společného elektrického rozvaděče tlakového licího stroje.
- Automatické mazání lisovacího pístu olejovým mazadlem.
- Stroj je vybaven vanou umístěnou pod tlakovým licím strojem pro svod odpadních vod. Vana má integrované rozvody energií a příslušných kabelů.



Obr. 14 – Tlakový licí stroj Colosio PFO 560 ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s.

Pracoviště s tlakovým licím strojem Colosio PFO 560 je ještě doplněno o dávkovací pec od firmy StrikoWestofen, robotizovaným systémem od firmy Kawasaki a ostříhovacím lisem od firmy Diesse Presse. Průmyslový robot má 6 stupňů volnosti, přičemž jeho nosnost včetně uchopovacích kleští je 10 kg. Robot

pokrývá pracovní prostor v úseku 360° do vzdálenosti 1625 mm od středu otáčení. Ostříhovací lis je vybavený stejně jako tlakový stroj teleasistencí.

Automatizovaná pracoviště vybavená stroji Colosio–Kawasaki–Diesse Presse mají celosvětově řadu pozitivních referencí a splňují ty nejpřísnější požadavky, které na ně kladou tlakové slévárny.

Tab. 5 – Hlavní technická data stroje Colosio PFO 560

Parametr	Hodnota
Uzavírací síla [t]	580
Minimální výška formy [mm]	350
Maximální výška formy [mm]	850
Rozměry upínací desky [mm]	1120x1140
Průměr vodících sloupů [mm]	145
Rozteč mezi vodícími sloupy [mm]	715x715
Zdvih pohyblivé desky stroje [mm]	720
Zdvih vyhazovačů [mm]	170

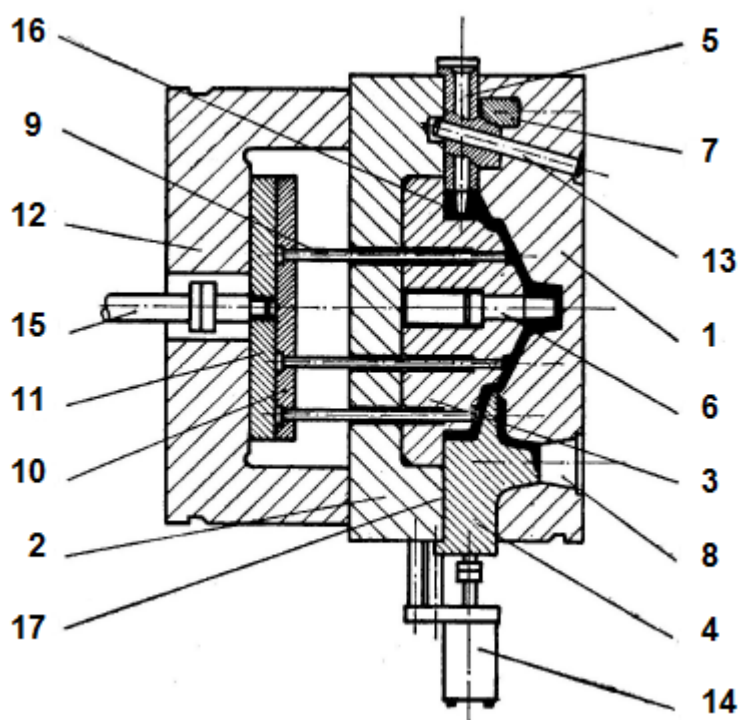
5 FORMY PRO KONVENČNÍ VYSOKOTLAKÉ LITÍ

Výsledná jakost odlitku a produktivita výroby úzce souvisí s potřebnými nástroji, obzvláště s tlakovými formami. Vzhledem k povaze výrobního procesu vysokotlakého odlévání (výroba tenkostěnných tvarově složitých odlitků při vysokých rychlostech plnění) jsou na formy kladeny značné nároky. Optimální řešení konstrukčních parametrů formy závisí na schopnostech komunikace mezi konstrukcí odlitku, formy, technologií slévárny a nástrojárny. Odstranění chyb v konstrukci formy je v mnoha případech nákladné a časově náročné, přesto se však někdy úpravám při zkouškách formy nevyhneme. Správné nastavení všech technologických a metalurgických parametrů pak dává předpoklad pro výrobu odlitků bez vad. [16, 2, 15]

5.1 Konstrukce tlakových forem

Forma pro tlakové lití se obvykle skládá z pevné a pohyblivé části. Na obr. 15 jsou znázorněny hlavní části formy s jejich popisem. Při konstrukci formy pro tlakové lití je vhodné dodržet následující hlavní zásady:

- Optimalizovat odlitek pro tlakové lití v souladu se zásadami správného konstruování, které vyhovuje technologii lití s ohledem na druh odlévané slitiny (tloušťka stěn, tepelné uzly, zaoblení hran, úkosy, značení a další technické požadavky atd.).
 - Volit násobnost odlitků ve formě v závislosti na jeho velikosti, složitosti a požadované sériovosti.
 - Zaformování odlitku řešit tak, aby byl při otevírání formy unášen s pohyblivou částí formy a při vyjíždění pohyblivých jader nebyl deformován.
 - Vhodně rozmístit vyhazovače a polohu stop po vyhazovačích na odlitku a určit jejich optimální počet a tlačnou plochu.
 - Zvolit otvory, které budou předlity vzhledem k jejich průměru a délce.
 - Určit velikost licího stroje vzhledem k potřebné uzavírací síle, licímu tlaku, velikosti formy a rozložení tahačů jader.
 - Konstrukčním řešením zajistit potřebnou tuhost formy vzhledem k zatížení uzavírací a lisovací silou licího stroje.
 - Zvolit vhodný vtokový systém (průřez naříznutí, zaústění do odlitku) a průměr licí komory.
 - Zvolit odvzdušňovací systém a jeho rozmístění ve formě.
 - Zvolit systém okruhů pro chlazení a ohřev obou částí licí formy s ohledem na vnitřní jakost odlitku.
 - Určit umístění a zabudování případných dohutňovačů.
 - Části formy vystavené značnému namáhání proudící slitiny při plnění dutiny formy konstruovat jako vyměnitelné vložky.
 - Zaústění vtokového naříznutí do odlitku volit také s ohledem na apretaci odlitků.
 - Rozhodnout o způsobu vyjímání odlitku.
 - Navrhnout způsob ošetření formy a nanesení dělicího prostředku.
- [15, 16]



Obr. 15 – Hlavní části tlakové formy

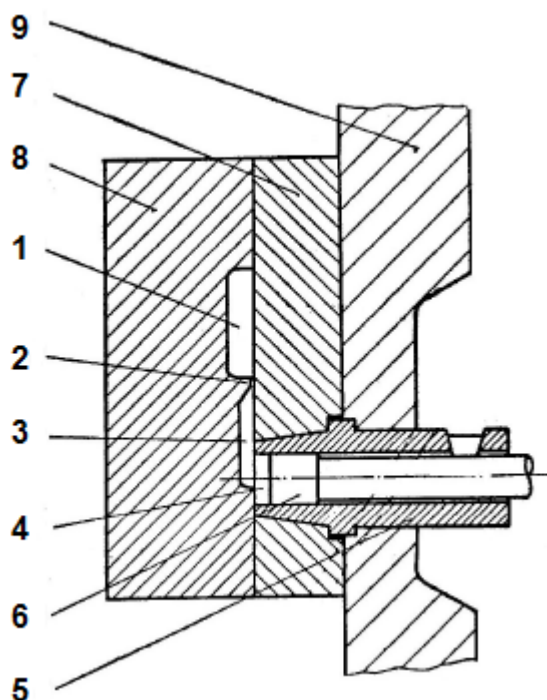
1 – Pevná polovina formy, 2 – Pohyblivá polovina formy, 3 – Pevná vložka v polovině formy, 4 a 5 – Pohyblivé jádro, 6 – Pevné jádro, 7 – Kalená opěrná vložka zámku, 8 – Dutina pro plnicí komoru, 9 – Vyhazovač odlitku, 10 – Vodící deska vyhazovačů, 11 – Opěrná deska, 12 – Upínací skříň formy, 13 – Šikmý kolík, 14 – Hydraulický tahač jádra, 15 – Středový čep vyhazovačů, 16 – Dutina formy, 17 – Dělicí rovina formy [5]

5.1.1 Řešení vtokového systému

Vtokový systém, viz obr. 16, se skládá z vtokového naříznutí, vtokového kanálu, přetoku a zbytku z plnicí komory (tzv. tablety). Velký důraz se klade především na správný návrh vtokového naříznutí a vtokového kanálu, protože rozhoduje o správném urychlení a usměrnění kovu uvnitř dutiny formy, případně o nalepování kovu na formu nebo vymývání formy. Velice často se při návrhu a optimalizaci vtokového systému využívá počítačové simulace. [26, 16]

Vtokový systém je navrhován tak, aby byly dodrženy následující požadavky:

- Zajistit správné plnění dutiny formy potřebným množstvím tekutého kovu.
- Navrhnout dutinu formy s dostatečnou odolností vůči proudící tavenině (kolmé rázy na stěnu formy či jádra).
- Omezit lokální vzrůst teploty, který vede k nadměrnému opotřebení a zhoršení povrchové čistoty odlitku.
- Zamezit vzniku vírů, které způsobuje uzavírání vzduchu a plynů.
- Dosáhnout požadovaného vzhledu odlitku. [28]



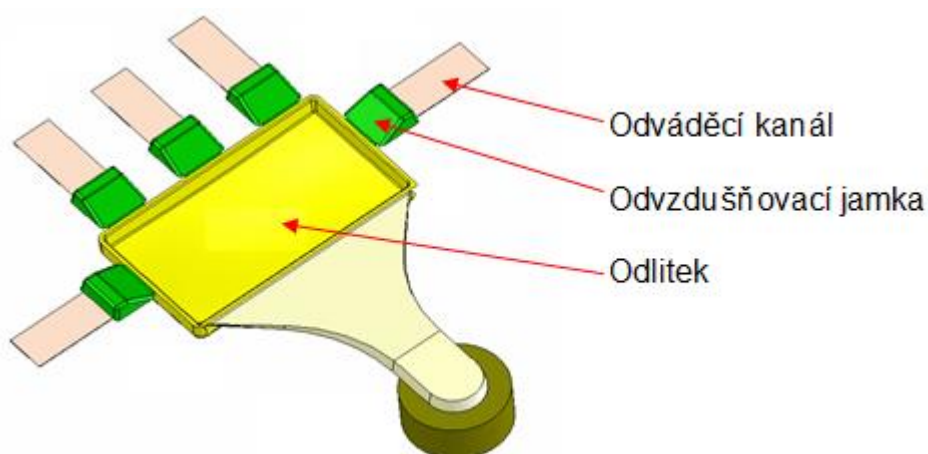
Obr. 16 – Vtokový systém formy

1 – Dutina formy, 2 – Vtokové naříznutí, 3 – Vtokový kanál, 4 – Zbytek v plnicí komoře, 5 – Plnicí komora, 6 – Píst plnicí komory, 7 – Pevná polovina formy, 8 – Pohyblivá polovina formy, 9 – Upínací plocha pevné poloviny [5]

5.1.2 Odvzdušnění tlakových forem

Při řešení vtokového systému formy je nutné také správně zvolit odvzdušnění formy, které může mít zásadní vliv na kvalitu výsledného odlitku. Při plnění dutiny formy dochází k mísení vzduchu v dutině se vstříkovaným kovem. Vzduch absorbovaný v kovu pak vede ke vzniku vad. Proto je nutné minimalizovat množství vzduchu v dutině formy a provádět odvzdušnění forem. [2]

Nejběžnější metodou odvzdušnění je použití přetoků. Jedná se o odvzdušnění v dělicí rovině formy, kdy přibližně 3 až 6 mm od tvaru dutiny formy jsou v pohyblivé polovině formy vytvořeny jamky („ledvinky“), z kterých vedou kanály široké 20 až 40 mm a hluboké 0,18 až 0,38 mm. [2, 5]



Obr. 17 – Odvzdušnění pomocí přetoků [26]

Vedle tohoto běžného odvzdušnění forem je také rozšířeno používání vlnovitých odvzdušňovacích vložek – valch (vlnovců) a vakuování forem pomocí vakuovaných ventilů. Valchy mohou být ocelové nebo bronzové. Bronzové valchy mají sice lepší tepelnou vodivost a kov v nich rychleji zatuhne a zastaví se, ale mají menší odolnost před vymytí kovem než valchy ocelové. Valchy se také používají při vakuování formy místo drahých vakuových ventilů. Jejich účinnost je však proti ventilu znatelně nižší. [16]

Vakuování forem přináší výrazné zlepšení jakosti odlitku především s ohledem na jeho vnitřní integritu, zvýšení životnosti formy a po širším zavedení je také ekonomicky výhodné. Vakuování forem pomocí ventilu se používá u odlitků s vysokými požadavky na porozitu a vnitřní jakost. [16]



Obr. 18 – Odsávaná valcha a vakuový ventil [47]

5.1.3 Chlazení, temperace tlakových forem

Dutina formy odvádí svým povrchem teplo tuhnoucí slitiny. Odvádět teplo je třeba při každém licím cyklu. Pokud by forma nebyla chlazená, došlo by ke zvýšení její teploty, nalepování slitiny na dutinu formy a jádra, zadírání při vyhazování odlitku a zvýšení rizika deformace odlitku při vyhazování. Přílišné přehřátí také výrazně snižuje životnost tlakové formy. Proto je nutné při návrhu formy pamatovat na účinné chlazení všech aktivních částí formy. Pro teplotní regulaci se vyvrtávají do obou polovin tlakové formy kanály, které se šroubením a gumovými hadicemi napojují na vodovodní a odpadní potrubí. Tyto kanály se také vrtají do všech pevných vložek formy a pohyblivých jader. [5]

Temperace tlakových forem je velice důležitá pro dodržení požadované teploty formy, která se hliníkových slitin pohybuje od 200 °C do 250 °C (s tím úzce souvisí postřik forem, viz kapitola 6.6). Běžně se používají následující způsoby temperace forem:

Temperace olejem

Obvykle se pracuje s teplotami 180 °C až 220 °C. Používá se převážně k ohřevu forem u tenkostěnných odlitků. U tlustostěnných odlitků se v průběhu výroby forma ochlazuje. V případě intenzivnějšího chlazení se pak používají následující způsoby. [10]

Temperace vodním ohřevem

Zde se pracuje s teplotami 20 °C až 160 °C. Slouží především k ochlazování přehřátých částí formy (jádra, oblasti kolem vtoku) a k ochlazování celých forem u tlustostěnných odlitků. [10]

Temperace vodou

U tohoto způsobu temperace se pracuje s teplotou kolem 20 °C. Ochlazují se jím přehřáté části formy (jádra, oblasti kolem vtoku, vtokové vložky). Moderní stroje umožňují chlazení vodou po celou dobu cyklu nebo jen po určitý zadaný čas, případně přívod vody zcela zastavit (zejména na začátku výroby, po odlití přibližně 10 až 20 odlitků je přívod vody opět spuštěn). [10]

Pro temperaci a regulaci teploty forem se využívá termoregulačních zařízení (viz obr. 19). Vývoj směřuje jak směrem k chlazení vodou, tak k použití olejů a speciálních médií.



Obr. 19 – Termoregulační zařízení pro temperaci tlakových forem od firmy IECI [48]

5.2 Materiály tlakových forem a jejich tepelné zpracování

Materiály pro výrobu forem musí splňovat požadavky, které vycházejí z namáhání tlakových forem. Mezi hlavní vlastnosti, které se u forem sledují, patří:

- Teplotní roztažnost a modul pružnosti.
- Tepelná vodivost.
- Mechanické vlastnosti.
- Rozměrová stálost při tepelném zpracování.

- Prokalitelnost.
- Obrobitelnost.
- Odolnost proti tepelné únavě.
- Odolnost proti chemickému namáhání. [6, 36]

Výběr materiálu formy záleží především na požadované trvanlivosti a na možnostech tepelného zpracování. Výběr materiálu tlakové formy vychází vždy z určitého kompromisu. [5]

5.2.1 Oceli na formy

Hlavním materiálem pro výrobu tlakových forem jsou oceli a to uhlíkové, nízkolegované a nástrojové oceli chromové, wolframové a chrommolybdenové. Pro získání potřebných vlastností jsou tyto oceli legované. [6, 5]

Uhlíkové oceli

Používají se především na části forem, které nepřicházejí do kontaktu s roztavenou slitinou. Typickým příkladem použití uhlíkové oceli je upínací skříňka formy (ČSN 11 340), vodící a opěrná deska vyhazovačů (ČSN 11 500) nebo hydraulický tahač jádra (ČSN 12 020). [6, 5]

Nízkolegované oceli

Jedná se uhlíkové, konstrukční oceli třídy 14 a 15, které dosahují vysoké pevnosti 1000 až 1200 MPa po tepelném zpracování. Obsah uhlíku v těchto ocelích se pohybuje mezi 0,30 až 0,45 %. Legované jsou chromem, případně vanadem a molybdenem. S karbidotvornými prvky je možné dosáhnout tvrdé martenzitické struktury do větší hloubky. Při popouštění dochází k posunu poklesu rozpadu martenzitu na perlit do vyšších teplot. To omezuje jejich použití na formy pro slitiny s vyšším bodem tavení. Nízkouhlíkové oceli se používají především na výrobu forem pro slitiny zinku, u kterých jsou nižší teploty lití, a pokles tvrdosti není tak velký. [6, 5]

Vysokolegované oceli

Tyto oceli obsahují vysoké množství karbidotvorných prvků, což vede během popouštění při teplotě vyšší než 400 °C ke zvýšení tvrdosti, která se označuje jako druhotná tvrdost. Ta je vyšší při větším množství karbidotvorných prvků, což souvisí se vznikem komplexních karbidů. Nejčastěji se přitom posouvá oblast druhotné tvrdosti do vyšších teplot popouštění. To je také hlavní důvod, proč se oceli na formy vyvíjely směrem ke kombinacím W-Cr, W-Cr-Co, Cr-Mo, Cr-Mo-V, Cr-Mo-W-V. Při zakalení pod teplotou počátku tvorby martenzitu obsahuje ocel martenzit a zbytkový austenit, který se při popouštění rozpadá na martenzit nebo bainit a tím může přispět k druhotné tvrdosti. [6, 5]

Chromové oceli

Jedná se o vysokolegované převážně martenzitické oceli s vysokým obsahem chromu 15 %, aby byly antikorozi a žáruvzdorné obsahem uhlíku 0,25 %, aby oceli byly kalitelné. Přísadou karbidotvorných prvků se dosahuje jemnějšího zrna při vyšší teplotě austenizace a zejména posunutí oblasti druhotné tvrdosti do vyšších teplot. Nevýhodou je velmi nízká tepelná vodivost. Kalení

těchto ocelí se provádí do oleje. Doporučuje se popouštět při 500 °C po dvou hodinách pro dosažení tvrdosti jádra 38 HRC. U částí forem vystavených větším teplotám se popouští dvakrát na 700 °C. Činné povrchy formy lze nitridovat. Typickou chromovou ocelí je ČSN 17 027 F. [6, 5]

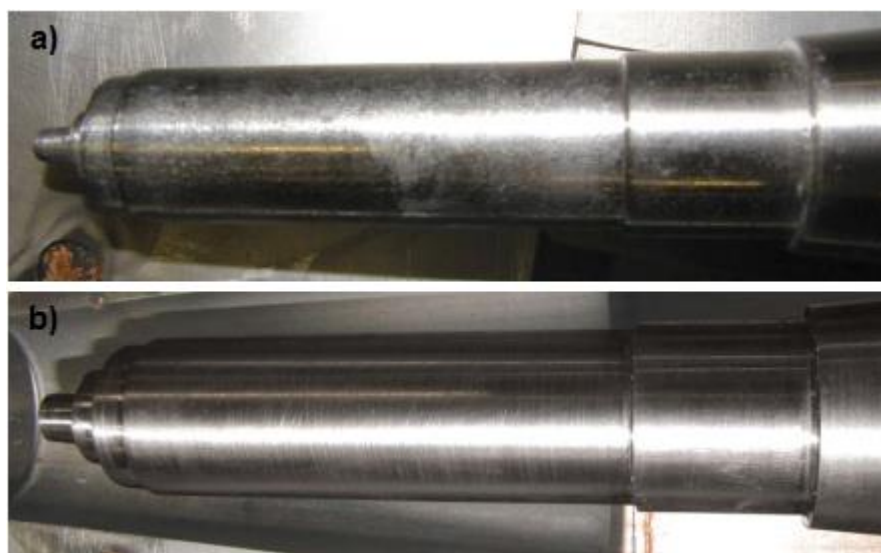
Wolframové oceli

Všechny tyto oceli obsahují 0,30 až 0,35 % uhlíku, 2 až 2,5 % chromu a 4,5 až 11 % wolframu. Wolframové oceli jsou vhodné pro tlakové formy s požadavkem na vysokou trvanlivost. Teplota austenizace závisí na obsahu wolframu. Pro ocel ČSN 19 720 se doporučuje 1020 až 1080 °C, pro ocel ČSN 19 721 pak 1120 až 1180 °C. Pro dosažení pevnosti 1600 MPa je popouštěcí teplota pro ČSN 19 720 580 až 640 °C, pro ČSN 19 721 620 až 650 °C. [6, 5]

Chrommolybdenové oceli

Jedná se o oceli s obsahem 0,30 % uhlíku, 2,8 až 5 % chromu a 0,5 až 2,5 % molybdenu. Nejčastější přísadou je vanad, někdy také wolfram a kobalt. Snížením obsahu chromu a použitím dalších přísad se dosáhlo značného zlepšení trvanlivosti. U oceli ČSN 19 552 je teplota austenizace 1030 až 1060 °C. Teplota opakovaného popouštění na pevnost 1600 MPa je 580 až 620 °C na 1300 MPa pak 620 až 650 °C. Pracovní teplota těchto ocelí je 200 až 250 °C, kdy se projevuje zlepšení tepelné vodivosti. [6, 5]

Při lití hliníkových slitin je však potřebné zvýšení účinku ochranných vrstev, kterých se dosáhne nitridací nebo sulfonitridací. Lze aplikovat duplexní PVD (Physical Vapor Deposition) povlaky, které vedou k výraznému zvýšení chemické a tepelné stability, snižuje se ulpívání kovu na formě, s čímž je spojeno lepší vyjímání odlitku z formy. Povlakováním lze také zabránit vydírání formy v místě vtoku a zvýšit odolnost vůči cyklickému tepelnému namáhání, což má vliv na zvýšení životnosti povlakovaných dílů. Jako nejúčinnější kombinace ochranných vrstev se podle výzkumů jeví nitridování a nanesení PVD povlaku. [6, 5, 31]



Obr. 20 – Srovnání stavu jádra po 15000 odlitých kusech – a) Standardní úprava (nitridace), b) PVD povlak [31]

5.2.2 Jiné materiály na formy

Mezi další materiály pro tlakové formy lze zařadit měď, která však i přes svou vysokou tepelnou vodivost nevyhovuje, protože má za vyšších teplot nedostatečné pevnostní vlastnosti. Vytvrditelnou slitinou mědi je beryliový bronz. Z hlediska tepelné vodivosti je toto řešení kompromisem, protože tepelná vodivost beryliového bronzu je asi pětkrát menší než čisté mědi. Teplota solidu je značně nižší než u čisté mědi. [6, 5]

Jako perspektivní materiál pro výrobu tlakových forem se jeví molybden. Vyznačuje se vysokou tepelnou vodivostí a nízkým koeficientem teplotní roztažnosti. Pevnost a tvrdost si zachovává až do vysokých teplot. Nevýhodou je, křehkost při nízkých teplotách, špatná odolnost proti tepelným rázům a vysoká cena. Pokud nemá molybden ochrannou vrstvu, dochází při lití k sublimaci. Molybden se velmi těžko obrábí. Proto se formy zhotovují práškovou metalurgií nebo tavením a litím ve vakuu. [6, 5]

Perspektivní jsou také kompozitní materiály zpevněné částicemi titanu (TiB a TiC). V USA proběhly pokusy, při kterých byla z kompozitního materiálu vytvořena plnicí komora pro tlakové lití hliníkové slitiny. Bylo zjištěno, že plnicí komora z kompozitního materiálu oproti konvenčním plnicím komorám z oceli výrazně lépe odolává reakcím na styčné ploše s hliníkovou slitinou. [6, 5]

5.3 Trvanlivost tlakových forem

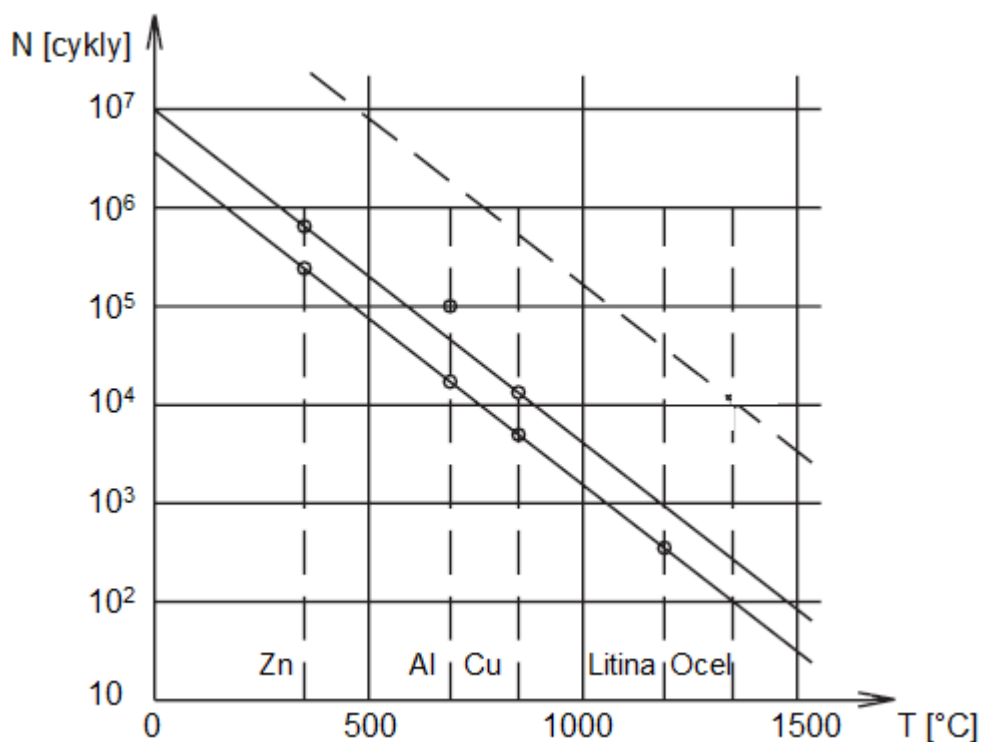
Trvanlivost tlakových forem závisí na řadě činitelů. Podstatný vliv na trvanlivost má tepelná únava povrchu formy zapříčiněná tepelnými šoky, ke kterým dochází při plnění formy roztaveným kovem a následným otevřením formy, vyhozením odlitku a ošetřením povrchu postříkem. Trvanlivost je také značně ovlivněna regulací teploty formy. Tepelně regulovaná forma dosahuje zvýšení trvanlivosti oproti vodou chlazené formě přibližně o jednu třetinu. Závislost trvanlivosti formy na teplotě lití, kterou zobrazuje graf 1, vychází ze závislosti dekadického logaritmu počtu cyklů N na teplotě lití T dle vzorce:

$$\log N = A - K \cdot T \quad (3)$$

kde: A – konstanta,
 K – konstanta [$^{\circ}\text{C}$]. [22]

Trvanlivost forem je podmíněna dalšími vlivy, mezi které patří:

- Materiál formy, jeho vlastnosti a tepelné zpracování.
- Provozní podmínky při odlévání a plynulost výroby.
- Mezižihání tvarových vložek a jader k odstranění vnitřního prnutí.
- Údržba, čištění formy a chladicího systému.
- Způsob opravy formy (navarování). [16]



Graf 1 – Závislost trvanlivosti formy při lití pod tlakem na teplotě lití [22]

5.4 Výroba tlakových forem

Výroba formy pro tlakové lití je značně náročná a vyžaduje technologické, konstrukční a výrobní zkušenosti. U výroby tlakových forem jsou některé díly nakupovány nebo v kooperaci vyráběny, jako rámy, normalizované vyhazovače, pouzdra, kolíky, případně jádra, která se opatřují speciální chemicko-tepelnou úpravou povrchu, která zabraňuje zadírání a nalepování kovu. Časově nejnáročnější je výroba tvarových vložek forem. [16, 20]

Rychlou a přesnou výrobu tvarových vložek umožňuje obrábění na CNC strojích. Obráběcí program vychází z počítačově zpracovaného 3D modelu. Současně se také obrábí i složitější kanály vtokového systému včetně zaoblení. Vzhledem k používání vysoce kvalitních ocelí s tepelným zpracováním ve vakuu lze tvarové části obrábět „téměř na hotovo“. Při použití kvalitních obráběcích nástrojů lze některé tvary obrábět až po tepelném zpracování tj. po zakalení tvarové vložky. U hlubších tvarů se používá elektrojiskrové obrábění grafitovými elektrodami. Při dokončování je zde i podíl ručních prací. Povrch dutiny formy je možné leštit. Z důvodu dobrého vyplňování dutiny kovem a zachycování dělicího prostředku je však vhodnější jemně tryskaný nebo jinak tvarově upravený povrch. V průběhu výroby formy se provádí důsledné kontroly po každé operaci, převážně na 3D měřicích strojích. Ke kontrole dolícování se využívá lícovacího lisu. [16, 20]

5.5 Tlaková forma pro výrobu odlitku válce pro motorovou pilu

Návrh tlakové formy, její konstrukce a výroba probíhala v úzké kooperaci mezi konstruktérem, slévárenským technologem a nástrojařem ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s. a samotným zákazníkem, jehož základní požadavky jako

například násobnost formy bylo nutné respektovat. Základem pro vývoj formy byly obecně známé doporučení, předpoklady a především zkušenosti zúčastněných pracovníků.

Dutina formy je tvarově značně složitá a členitá. Forma obsahuje pět tahačů, přičemž čtyři jsou umístěny v pohyblivé polovině formy a jeden na pevné polovině formy. Odvzdušnění formy je provedeno čtyřmi odvzdušňovacími jamkami. U dvou jamek je pak odvzdušňovací kanál napojen na bronzovou valchu. Obě poloviny formy mají temperační systém vytvořený zvlášť, nezávisle na sobě ve dvou okruzích.

Rám formy je vyroben ze zušlechtěné Cr-Mn-Mo legované nástrojové oceli s označením materiálu W.Nr. 1.2312 (40CrMnMoS8-6). Tento materiál nabízí výborné mechanické vlastnosti jako houževnatost, rozměrovou stálost a zároveň dobrou obrobiteľnosť. Má dobrou prokalitelnost a pevnost za tepla a zároveň je vhodný pro nitridování a cementování. [42]

Tvarové vložky formy (výměnná žebra) jsou vyrobeny z Cr-Mo-V legované nástrojové oceli Dievar od firmy Uddeholm s označením materiálu W.Nr. 1.2343 v kvalitě ESU (X38CrMoV5-1). Jedná se o ocel s vysokou prokalitelností a houževnatostí. Vyznačuje se velmi dobrými pevnostními vlastnostmi za tepla. Má dobrou tepelnou vodivost, odolnost k tvorbě trhlin za tepla a malou citlivost na prudké změny teploty (umožňuje chlazení vodou). Je dobře lešitelná. Je vhodná k nitridaci. Má obzvláště dobrou kalitelnost na vzduchu a ve vakuu. Nejvíce tepelně namáhané části tvarových vložek byly v průběhu vzorkování povlakovány duplexním PVD povlakem. [43]

Tab. 6 – Hlavní technická data formy odlitku válce pro motorovou pilu

Hmotnost pevné poloviny [kg]	700
Hmotnost pohyblivé poloviny [kg]	1300
Rozměry [mm]	1400x1300x640
Vyosení komory [mm]	-200

6 VÝROBA ODLITKU TECHNOLOGIÍ KONVENČNÍHO VYSOKOTLAKÉ LITÍ A VLIVY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU ODLITKU

Vlastní výroba kvalitních odlitků technologií vysokotlakého lití je ovlivněna několika základními technologickými činiteli, které mají buď kladný, nebo záporný vliv na jakost odlitku. Mezi jednotlivé technologické činitele patří:

Licí forma

Z uváděných činitelů má rozhodující význam správně konstrukčně řešená a přesně vyrobená forma. O tom, zda jsou splněny všechny předpoklady, se lze přesvědčit jen praktickými zkouškami - vzorkováním. [5]

Technologické karty odlitků

Každou formu doprovází technologická karta, která bývá východiskem pro konstrukci podobných forem. [5]

Tavení slitin a jejich udržování v roztaveném stavu

O výrobě kvalitních odlitků rozhoduje také správné zacházení s roztavenou slitinou. To zahrnuje tavení kovu, jeho udržování a dávkování. Zde se významně projevuje mechanizace a automatizace výrobního procesu. [5]

Proces tlakového lití - lisování

Jedním z nejdůležitějších faktorů lití odlitků pod tlakem je způsob lisování roztaveného kovu do dutiny formy. [5]

Forma při lití

Udržování formy při lití, její tepelná rovnováha, chlazení a mazání jsou základními předpoklady pravidelnosti výroby a značně rozhodují o jakosti výroby a produktivitě práce. [5]

Postřík tlakové formy, typy a význam mazadel

Mazadla mají velký význam, protože neovlivňují jen výslednou jakost odlitku, ale mají vliv také na životnost formy a její spolehlivou funkci. [5]

Bezpečnostní opatření

Všichni pracovníci slévárny ovlivňují výrobu a tím i kvalitu vyráběných odlitků. Je proto nutné vyžadovat zodpovědnou práci při současném dodržování bezpečnostních opatření, především při práci s roztaveným kovem. [5]

V následujících kapitolách jsou tyto činitele popsány detailněji.

6.1 Zkoušení licí formy

Každá nově vyrobená licí forma, musí projít řadou zkoušek. Ty ověřují vlastní funkčnost formy a schopnost dodržení požadovaných rozměrů odlitku. Zkoušky se na začátku provádí obvykle s nízkotavitelným kovem nebo parafínem. V praxi se obvykle používá pouze předepsaná slitina, pomocí které se optimalizuje vtoková soustava. Plnění se zahajuje nižšími rychlostmi. Během optimalizace se

tak odlévá pouze vtoková soustava a vzniká torzo odlitku, viz obr. 21. V případě příznivých výsledků se zkouší za použití předepsané slitiny. Zářez formy je vyrobený s nejmenším průřezem a postupně se zvětšuje až do dosažení dobrého plnění formy. Odlitek vyrobený za dobrého plnění se pak rozřeže, aby bylo možné zkontrolovat pórovitost. U dalších odlitků následuje kontrola rozměrů a váhy odlitku. Tepelná regulace formy, vodní chlazení a vzduchové kanály se vypracovávají až během zkoušek z důvodu významného vlivu na jakost povrchu odlitku. [5, 6]

Po dosažení všech technologických hodnot, tj. seřízení funkce licí formy, nastavení tlaku a rychlosti plnění kovu, dosažení správné teploty formy a odlévaného materiálu musí být odléváno nejméně jednu hodinu v pravidelném cyklu. Odlitky jsou odkládány v postupném sledu, aby bylo možné určit skutečnou neshodnost. O provedené zkoušce se sepíše protokol s údaji o výsledku zkoušky a zjištěných nedostatcích s návrhem na jejich odstranění. [5, 6]



Obr. 21 – Torzo odlitku s vtokovou soustavou

6.2 Technologická karta odlitku

Tato karta obsahuje veškerá základní technická data pro výrobu kvalitního odlitku. Zaznamenávané údaje jsou důležité pro statistickou kontrolu a sledování životnosti formy. Pomocí technologické karty je také možné sledovat výskyt nejčastějších závad, příčiny jejich vzniku a náklady spojené s opravami. [5, 6]

Zásadní vliv mají tyto karty při konstrukci a výrobě nových forem. Díky nim je možné vycházet z předchozích zkušeností. Záznamy mají být vodítkem pro zhotovení ideální formy. [5, 6]

6.3 Tavení slitin a jejich udržování v roztaveném stavu

Cílem tavicího procesu je natavení slitiny v požadované kvalitě, za co možná nejnižších nákladů. Kvalitní tavenina se vyznačuje požadovaným

chemickým složením, co nejnižším obsahem oxidických i neoxidických vměstků a nízkým naplyněním. O výsledné kvalitě roztaveného kovu rozhodují:

- Vsázkové suroviny.
- Typ a konstrukce tavicích a udržovacích pecí.
- Způsob vedení metalurgického procesu.
- Metalurgické zpracování a způsob lití. [4]

6.3.1 Vsázkové suroviny

Volba vsázkových surovin je vždy kompromisem mezi kvalitou a ekonomikou. Použití dražších surovin bývá často ekonomicky výhodnější, než zdánlivá úspora použitím levnějších surovin. [4]

Nejkvalitnějším a nejdražším vsázkovým materiálem jsou housky slitin dodávané z hutí. Lze je rozdělit na tzv. primární a sekundární. Primární slitiny jsou vyráběné hutnickým způsobem z kovových rud. Sekundární slitiny pochází z nejrůznějších zdrojů a surovin různorodého složení. Obsahují větší množství přísadových prvků a nečistot než je tomu u primárních slitin. [4]

Další významnou složkou vsázky je vratný materiál, který tvoří vtoky, nálitky a neshodné výrobky. Z praktických zkušeností vyplývá, že podíl vratného materiálu je podle velikosti odlitku od 20 % u velkých odlitků do 75 % u malých odlitků z jejich hrubé hmotnosti. Vratný materiál obsahuje vždy větší množství vměstků, nečistot a rozpuštěných plynů než bývá v houskách. Podíl použitého vratného materiálu proto záleží na požadované kvalitě kovu. Při výrobě méně kvalitních odlitků lze použít až 100 % vratného materiálu. [4, 6]

Z kvalitativního hlediska nejméně spolehlivou vsázkovou surovinou je hliníkový šrot. Jedná se o vsázkový materiál s často neznámým chemickým složením, s velkým množstvím oxidických vměstků a chemickým znečištěním řadou prvků. Do slitin s vysokými kvalitativními požadavky by se hliníkový šrot používat neměl. [4]

Aby se zabránilo negativním jevům, které plynou z nedokonale připravené vsázky, je třeba dbát jednoduchých opatření: vsázet nekorodované a suché materiály, vybírat vsázku dobré jakosti a všechny materiály včetně rafinačních solí vsázet jen po dokonalém vysušení. Skladování vsázkových materiálů a solí musí být provedeno v naprosto suchých prostorách. [24]

6.3.2 Tavicí a udržovací pece

Ve středních a velkých slévárnách je obvyklé, že natavení slitin se provádí v tavicích pecích a kov se rozváží do pecí udržovacích. [4]

V tavicích pecích se kov ohřívá na technologickou lící teplotu, provede se úprava chemického složení, rafinace a odplynění. Při přelévání z tavicí pece do transportních pánví se často tavenina také filtruje. Objem tavicích pecí se pohybuje od 500 do 5000 kilogramů, v zahraničí až do 20 000 kilogramů hliníkové slitiny. [4, 6]

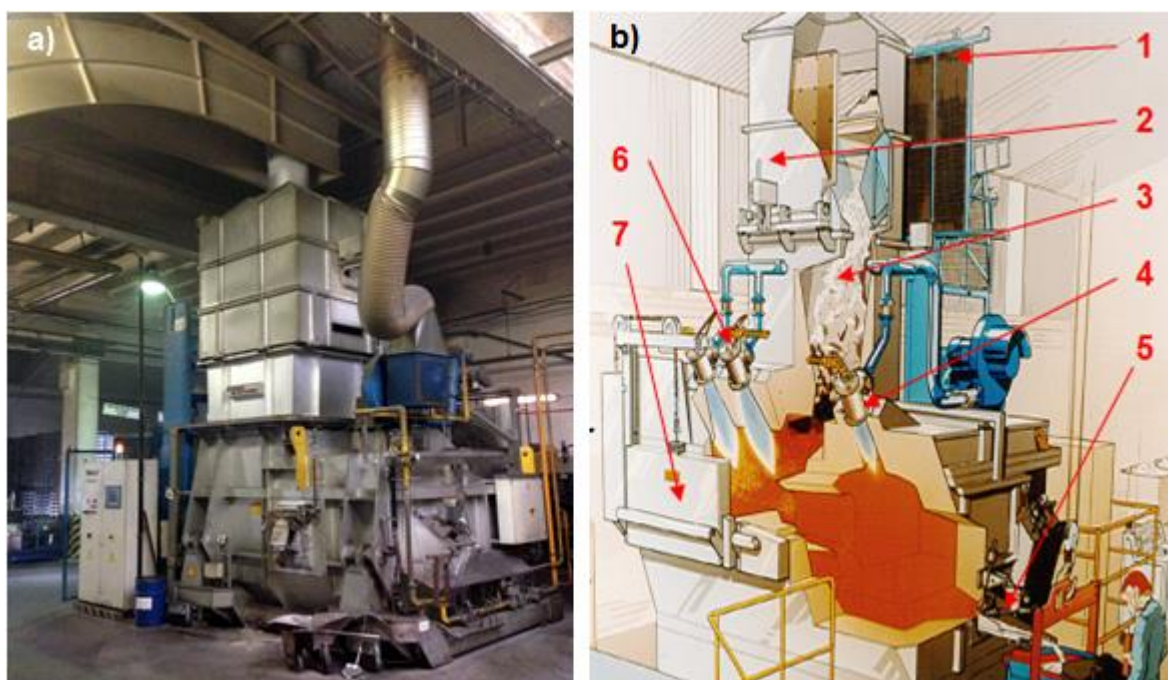
Udržovací pece slouží k udržování teploty taveniny, kterou lze regulovat. V těchto pecích současně dochází k homogenizaci a stabilizaci taveniny. U strojů s teplou komorou jsou tyto pece přímo součástí lícího agregátu. U strojů se studenou komorou se používají udržovací pece, které jsou v bezprostřední

blízkosti licího agregátu. V udržovacích pecích se obvykle neprovádí zásadní úprava chemického složení ani větší metalurgické zásahy. Je ale možné taveninu očkovat nebo modifikovat. [4, 6]

Pro tavení a udržování se běžně používají tyto pece:

Šachtové pece

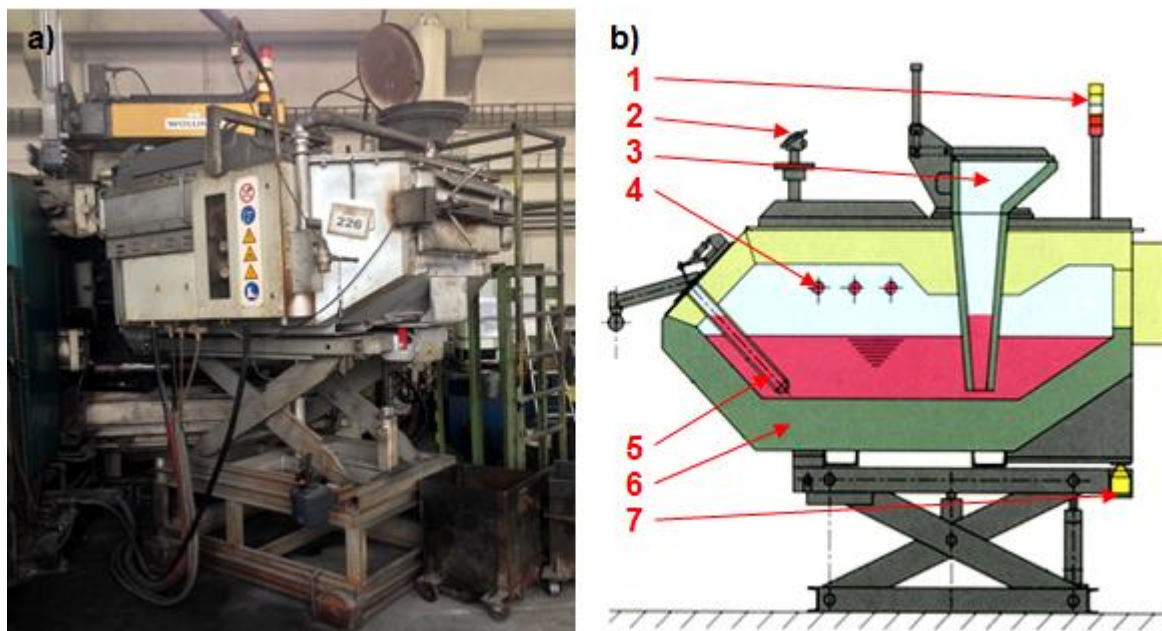
Jedná se o průběžné tavicí pece s vysokým tavicím výkonem od 0,5 do 5 tun slitiny za hodinu. Vsázka dopravená zavážecím zařízením do šachtice pece je díky pomalému předehřevu dobře vysušena a zbavena případných organických nečistot. Tím se výrazně snižuje riziko naplynění H_2 . Typická je vertikální koncepce se sběrnou nístějí (uvnitř nebo vně pece), hořákem na spodním konci a sázecím systémem na vrcholu. Hořáky jsou obvykle plynové. Pecní plyny se odsávají a čistí. Pec je vyzděna žáruvzdorným materiálem a vnější izolační vrstvou, která zajišťuje minimální tepelné ztráty. Životnost vyzdívky se pohybuje v intervalu od 4 do 8 let. [11, 4]



Obr. 22 – Šachtová pec – a) Pec StrikoWestofen ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s., b) Popis hlavních částí: 1 – Posuvné dveře zavážecího otvoru, 2 – Horní kryt šachty, 3 – Předehřívaná vsázka, 4 – Tavicí hořáky, 5 – Hořák udržovací komory, 6 – Čistící dvířka tavicí komory, 7 – Odpichový ventil [40]

Dávkovací pece

Jsou určeny k automatickému dávkování tekutého kovu, především při odlévání do kovových forem pod tlakem. Pec se tekutým kovem plní pomocí plnicího trychtýře. Vana dávkovací pece je hermeticky uzavřena víkem s řadou odporových prvků. Teplota je udržována pomocí odporových topných článků SiC nad hladinou kovu. Dávkování se provádí zvýšením tlaku v komoře pece, čímž se vytlačí kov do dávkovací trubice. Dávkování kovu lze řídit nastavením údaje velikosti přetlaku a času. [4, 11]



Obr. 23 – Dávkovací pec – a) Pec ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s.,
 b) Popis hlavních částí: 1 – Signalizace, 2 – Termočlánek, 3 – Nalévací otvor,
 4 – Odporové prvky, 5 – Stupací trubice, 6 – Vyzdívka, 7 – Tenzometrická váha
 [39]

Kelímkové pece

Používají se pro natavení menšího množství kovu obvykle s jílografitovými kelímkami nebo kelímkami z SiC. Velikost kelímků bývá do 100 až 200 kg hliníkové slitiny. Pro větší tavicí výkony se používají kelímkové pece sklopné. Kelímkové pece bývají vyzdívány žáruvzdornou vyzdívkou na bázi Al_2O_3 a SiO_2 . Udržovací kelímkové pece jsou pevné. [4, 6]

Komorové pece

Tyto pece se skládají z tavicí a nístějové části. Vsázka je vsazena do tavicí části a nepřichází do přímého kontaktu s taveninou. [4]

Vanové pece

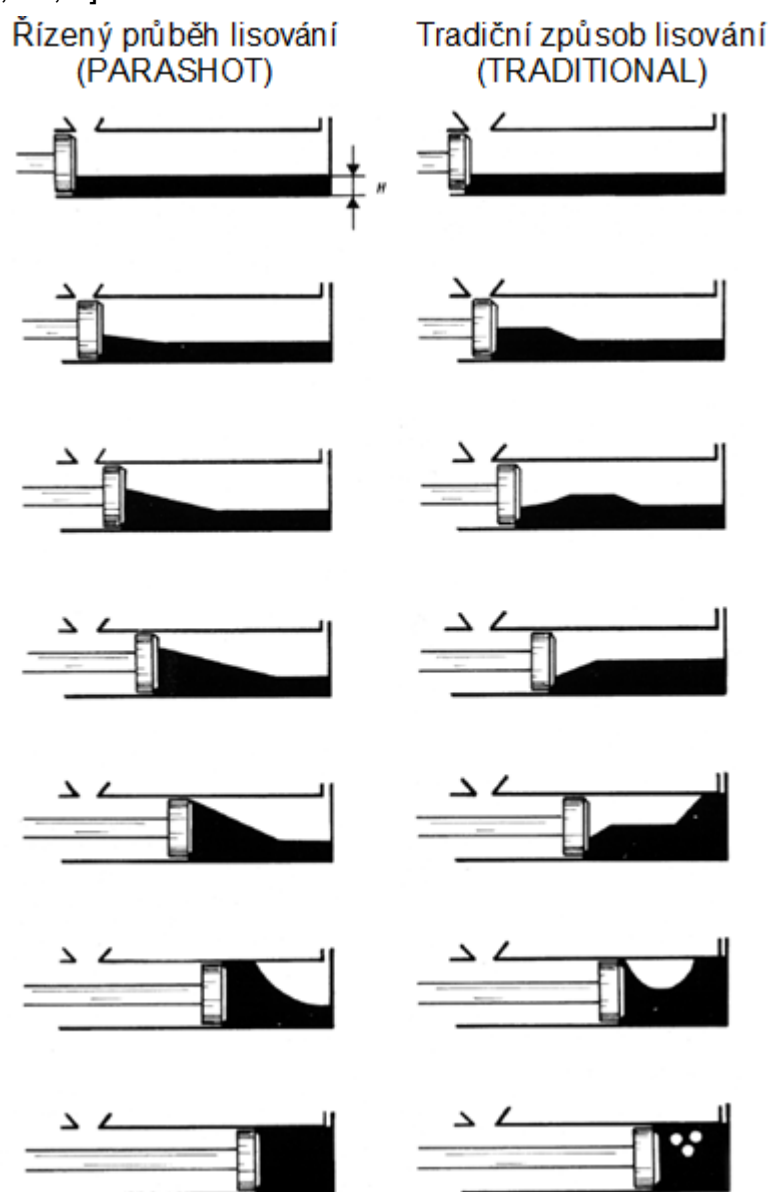
Pec má tvar vany s poměrně malou hloubkou. Podle půdorysného členění mohou být jednokomorové až třikomorové. Používají se především jako udržovací pece. Vsázkou je tedy tekutý kov, který se nalévá do plnicí komory. Kov se odebírá z odebírací komory. [4]

6.4 Proces tlakového lití – lisování

Průběh lisování a jeho nastavení zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu výsledných odlitků. Při procesu tlakového lití se dělí do tří fází:

- 1. fáze – předplnění,
- 2. fáze – lisování,
- 3. fáze – dotlak. [9, 10]

Fáze předplnění začíná po naplnění plnicí komory tekutým kovem, kdy je lisovací píst uveden z výchozí polohy do pohybu vpřed. Píst se pohybuje nízkou rychlostí (0,1 až 0,4 m/s), zakryje dávkovací otvor a pokračuje konstantní rychlostí, až do chvíle kdy je plnicí komora úplně zaplněna roztaveným kovem. Tento pohyb má zajistit, aby nedocházelo k víření kovu a absorpci vzduchu, který se nachází v licí komoře. V tomto stavu je nutné kov dopravit před naříznutí do odlítku, kde může být rychlost pístu o něco větší než na začátku (0,6 až 1,5 m/s). Zde se využívá možností moderních licích strojů, které umožňují použití velkých rychlostí lisovacího pístu s následným řízeným brzděním. Díky tomu lze dosáhnout požadované rychlosti v naříznutí i při volbě plnicí komory menšího průměru. To zaručí dosažení potřebného doporučeného dvoutřetinového zaplnění plnicí komory tekutým kovem. Splněním této podmínky dojde při plnění dutiny formy ke správnému výchozímu stavu pro odvzdušnění plnicí komory a formy. Porovnání řízeného průběhu lisování (parashot) s klasickým (tradičním) způsobem je patrné z obr. 24. [10, 15, 6]



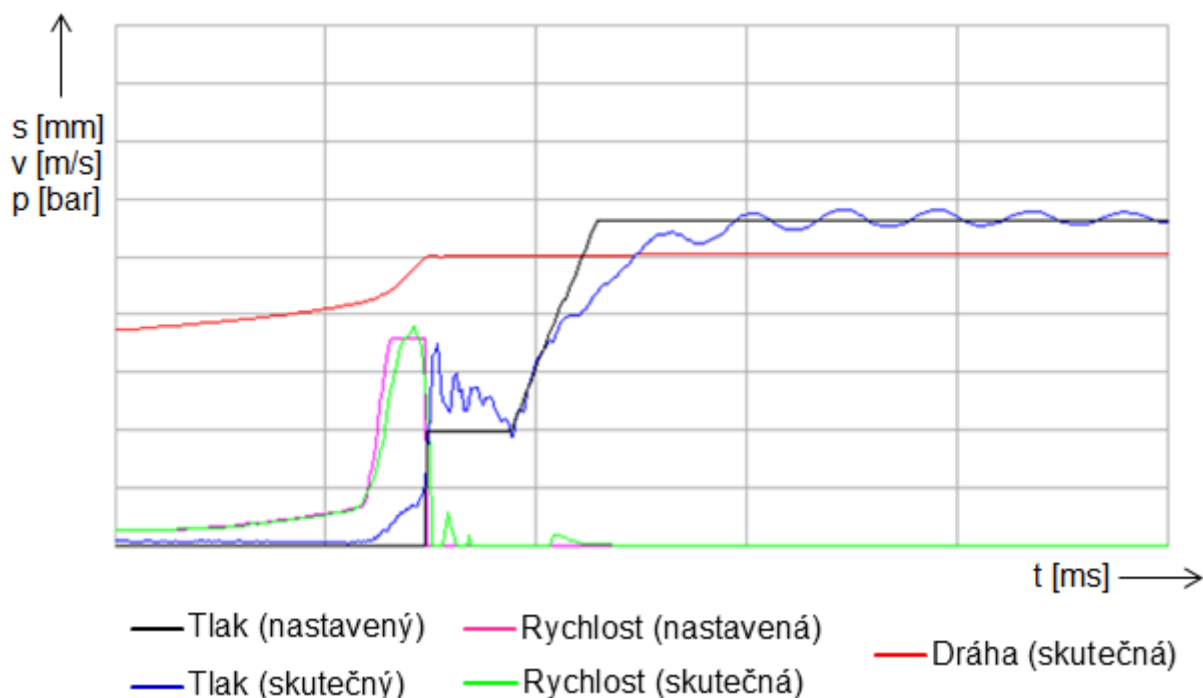
Obr. 24 – Porovnání řízeného průběhu lisování s tradičním způsobem [15]

Fáze lisování nastává ve chvíli, kdy se roztavený kov dostane do nařiznutí do odlitku. V praxi bývá začátek fáze lisování jak před nařiznutím, tak i za nařiznutím do odlitku. Nastává prudké zrychlení pohybu pístu. V této fázi je rychlost v nařiznutí 40 až 60 m/s (u tlustostěnných odlitků může být menší, u tenkostěnných může být větší). Dochází také k nárůstu plnicího tlaku (60 až 120 bar). Fáze lisování trvá až do úplného zastavení úderníku, kdy je dutina formy kompletně zaplněná kovem. [10, 9, 6]

Fáze dotlaku eliminuje stahování odlitku během jeho tuhnutí, při kterém dochází ke smrštění (u hliníkových odlitků je přibližně 4%) a vzniku staženin. Působení dotlaku zajišťuje dosazování kovu do formy. Obvykle se aplikuje tlak 400 až 1200 bar po dobu 5 až 20 sekund. Velikost dotlaku závisí:

- na požadavcích na vnitřní kvalitu,
- na tloušťce stěny odlitku,
- na typu slitiny. [10, 9, 6]

V této fázi je také možné problematická místa dohutňovat pomocí squeeze pinů. Většina moderních licích strojů umožňuje nastavené parametry sledovat pomocí grafu lisování (viz graf 2). [10, 9, 6]



Graf 2 – Graf lisování [10]

6.5 Forma při lití

Velmi důležitým technologickým faktorem, který ovlivňuje především povrchovou kvalitu odlitku litého pod tlakem, je dodržování optimální teploty licí formy. Do studené formy se tekutý kov plní velmi obtížně, odlitky nemají dostatečnou kvalitu, protože ve struktuře materiálu vznikají velká vnitřní pnutí vlivem velkého podchlazení. To se v některých případech projevuje povrchovými

trhlinami. Tato problematika úzce souvisí s chlazením, temperací forem, která byla detailněji popsána v kapitole 5.1.3. [5]

Aby nedocházelo ke zvyšování teploty lící formy vlivem tepelných nárazů, je důležité dodržet také správný lící rytmus. Tím lze zachovat rovnováhu mezi teplem přiváděným a odváděným. Lící rytmus je časový sled pracovních úkonů jednotlivých operací při lití pod tlakem. Časový rozptyl jednotlivých pracovních úkonů má zásadní vliv lící rytmus. Již při konstrukci formy a volby stroje by se mělo dbát na zajištění pravidelného lícího rytmu, který významně ovlivňuje členitost odlitku, velikost odlitku a typ stroje. Pravidelnost lícího rytmu má přímý vliv na výkon lícího stroje a formy i na kvalitu vyráběného odlitku. Ovlivňuje také životnost a poruchovost lícího stroje a lící formy. [5]

6.6 Postřik tlakové formy, typy a význam mazadel

Hlavním funkcí postřiku tlakových forem je:

- Nanesení dělicího prostředku.
- Namazání pohyblivých částí formy.
- Odstranění nečistot.
- Ochlazení formy. [19]

Vytvořením chemické ochranné vrstvy se zabraňuje nalepení odlitku na formu, čemuž napomáhá také dělicí prostředek obsažený v postřiku. Mazací prostředky jsou nezbytné pro správnou funkci pohyblivých částí formy (jádra, vyhazovače). [19]

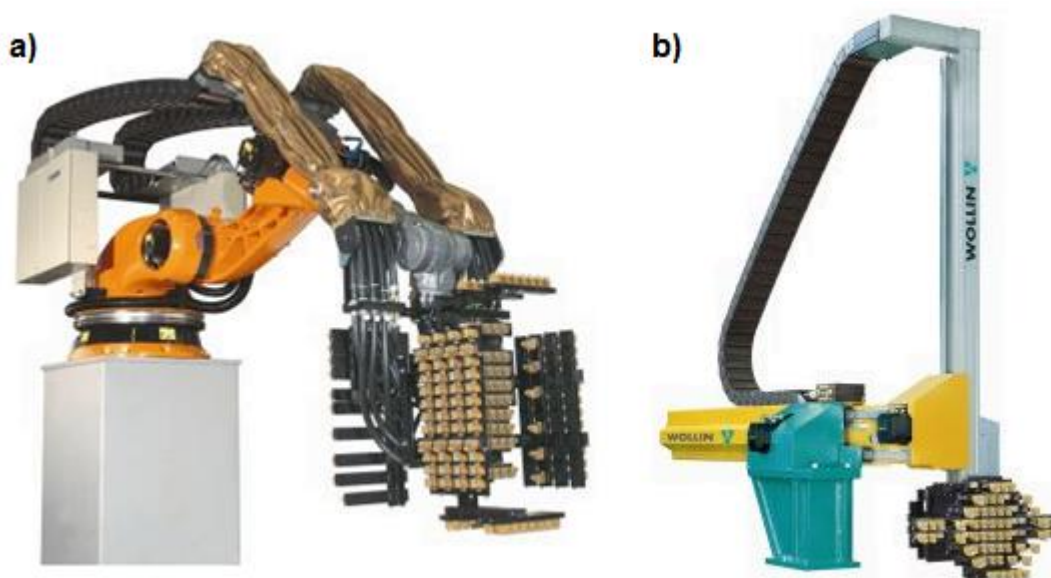
Předpokladem pro správnou funkci dělicího prostředku je stejnoměrná teplota formy, která by měla ležet v rozsahu 180 °C až 250 °C. Tento požadavek je hlavní úlohou konstrukce formy a její teploty. Je-li teplota povrchu příliš vysoká, k nanesení dělicího prostředku nedojde, protože kapky na základě Leidenfrostova efektu horký povrch nesmáčejí a odskakují. Je-li teplota naopak příliš nízká, vodní podíl mazadla se neodpařuje a odkapává z povrchu formy, aniž by došlo k vytvoření ochranné vrstvy. V případě nízké teploty formy dochází také k uzavření zbytkové vody ve formě, která se při plnění taveninou odpařuje, což vede ke tvorbě vzduchových bublin v odlitku. Nevhodné je také nadměrně dlouhé trvání postřiku nebo použití příliš velkého množství dělicího prostředku. [19]

Na účinnost proudu postřiku a jeho vlastnosti má vliv zejména:

- Hustota postřiku.
- Velikost a rychlost kapek dělicího prostředku (větší množství malých kapek má výrazně vyšší chladicí účinek než malé množství velkých kapek).
- Velikost postřikované plochy.
- Tlak vzduchu zajišťující rozprašení dělicího prostředku (čím větší je tlak, tím jemnější a rychlejší kapky jsou).
- Tlak dělicího prostředku (ovlivňuje hustotu postřiku).
- Doba postřiku (ovlivňuje spotřebu postřiku).
- Vzdálenost mezi tryskou a formou (ovlivňuje velikost postřikované plochy).
- Úhel mezi osou trysky a rovinou formy. [19]

Postřik tlakových forem se provádí pomocí vodou ředitelných mazadel. Mezi další způsoby mazání forem patří grafitová pasta, kterou lze použít během rozjezdu formy, dokud teplota formy není uzpůsobená mazání vodou ředitelnými mazadly. Dále se používá antiletovací pasta, pomocí které lze odstranit nalepenou hliníkovou slitinu z některých částí formy (jádra, okolí vtoku). Podobnou funkci jako antiletovací pasta má také stříbrná pasta, která navíc nezanechává stopu na odlitku. [10]

Postřik forem je možné provádět ručně pomocí postřikovací pistole nebo automaticky. V případě automatického postřiku se uplatňují dvouosé ošetřovací zařízení, ošetřovací roboti nebo kombinace robotu a postřikovací hlavy. [10]



Obr. 25 – a) Kombinace robotu a postřikovací hlavy, b) Dvouosé ošetřovací zařízení [49]

6.7 Bezpečnostní opatření

U strojů pro lití pod tlakem je potřeba pravidelně kontrolovat, zda fungují všechna jisticí zařízení. K nehodám dochází především při výměně forem, proto při ní musí být uzavřeny všechny ventily. Jádra obsluhovaná tahači jader musí být zabezpečena tak, aby přetlakem vstříknutého kovu nebyla vyražena a kov nepostříkal pracovníka obsluhující kov. [5, 6]

Obsluha stroje by měla neustále nosit ochranné brýle. Vhodné je také chránit pracovníka štítem z plexiskla, který je připevněn přímo na stroji. Obsluha nikdy nesmí stát proti dělicí rovině v okamžiku lití. U studené vodorovné komory není vyloučeno, že při vstřiku nevystříkne kov plnicím otvorem, proto musí být postaráno o automatické zakrývání otvoru. [5, 6]

Formy chlazené vodou se musí pravidelně prohlížet a zkoušet, aby voda nevnikala do dutiny formy. Totéž platí i o pístech studených komor, pokud jsou vodou chlazené. [5, 6]

V případě používání oleje jako tlakové kapaliny, musí být tlakové potrubí vedeno tak, aby při jeho porušení nestříkal olej do udržovací pece, což by mohlo vést ke vzniku požáru. V případě použití vodních emulzí musí být zabráněno tvoření vodní páry, jejíž exploze může mít vážné následky. [5, 6]

7 VYJMUTÍ ODLITKU A JEHO APRETACE

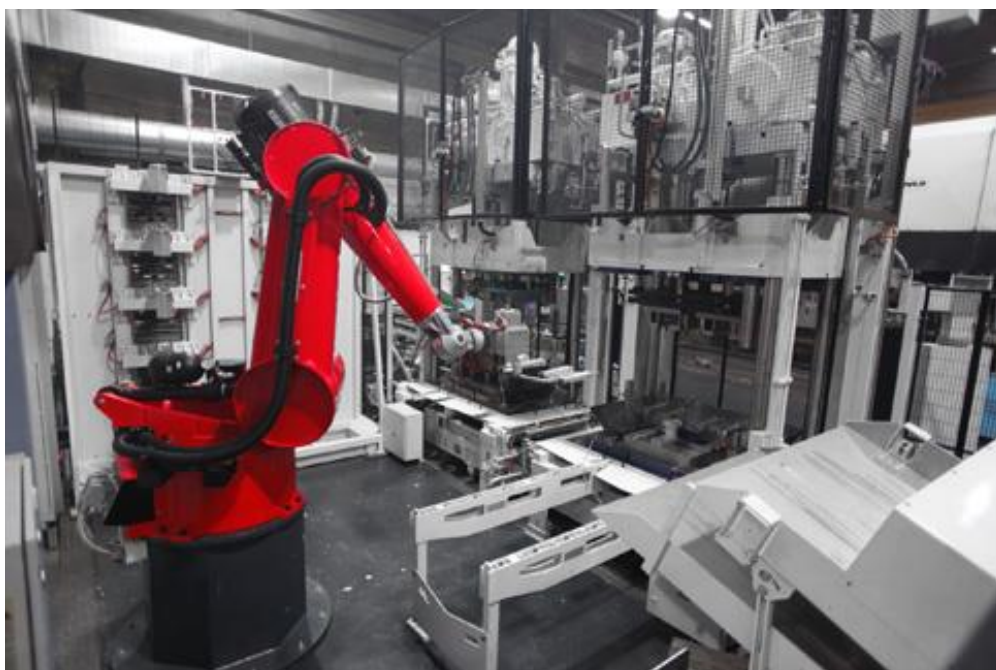
7.1 Vyjmutí odlitku z formy

Po ztuhnutí a ochlazení, musí být odlitek vyjmut z formy. V první řadě musí být vytažena jádra. Následuje otevření formy, přičemž se do pohybu dostávají vyhazovače, které odlitek vytlačí z dutiny formy. Celý proces vyhození odlitku končí zastavením desky s vyhazovači. Odlitek je poté odebrán buď ručně pomocí kleští, nebo automaticky pomocí robotu. [2]

Vyhazovače, které se volí téměř výhradně s kruhovým průřezem, by měly být umístěny co nejbližší těm částem odlitku, které drží odlitek v pohyblivé polovině formy. Pokud jsou vyhazovače rozmístěny jiným způsobem, hrozí porušení geometrického tvaru odlitku a jeho deformace při vyjímání. U návrhu umístění vyhazovačů je velice důležitá komunikace mezi technologem a konstruktérem. Podstatné je, aby vyhazovací systém zajišťoval po mechanické a konstrukční stránce dostatečnou stabilitu a podporu odlitku během vyhazování. Vyhazovací systém musí vyvinout dostatečnou sílu, aby byly překonány blokovací síly licího stroje bez zbytečného vychýlení odlitku. [2, 5]

7.2 Manipulace s odlitkem po vyjmutí z formy

Odlitek vyhozený z formy je dle finančních prostředků a zavedené organizace práce ve slévárně odebrán buď ručně, nebo pomocí robotu. Následuje odložení odlitku do chladicí nádrže. Doba chlazení ve vodní lázni musí být krátká, aby nedocházelo ke zbytečnému prodlužování pracovního cyklu. V případě, že je následná apretace prováděna mimo pracoviště lití, jsou odlitky paletovány přímo do přepravních boxů a odváženy k dalšímu zpracování. Pokud je opracování prováděno u pracoviště tlakového lití, je odlitek po vyjmutí z chladicí nádrže přímo zakládán do střížného nástroje. [23]



Obr. 26 – Robot obsluhující hranicí lis [50]

7.3 Apretace odlitku

Apretací odlitku rozumíme provádění dokončovacích operací, mezi které patří:

1. Ohranění, případně odlomení všech toků, přetoků a proděrování otvorů:
 - Hranění (hranící lis se střížným nástrojem).
 - Odlomení (ulamovadla).
 - Uražení (palička, kladivo).
2. Pilování odlitků:
 - Pneumatický pilník.
 - Ruční pilník.
3. Broušení odlitků:
 - Pásové brusky.
 - Ruční brusky (úhlové, vibrační.)
4. Povrchové úpravy odlitků:
 - Omílání.
 - Tryskání. [10]

Součástí tlakových odlitků po vyjmutí z formy je vtoková soustava, odvzdušňovací přetoky a další výronky. Tyto části jsou kompletně ostříženy. Po opracování, je vtoková soustava odložena do přepravního boxu. Ostřížené odlitky jsou vyjmuty z ostříhovacího nástroje jednoduchým manipulátorem mechanicky spojeným s ostřihovacím nástrojem nebo pomocí jednoduchého přípravku, který robot uchopí po odložení vtokové soustavy. Odlitky jsou pomocí skluzů dopraveny na třídící stoly, kde odlitek prochází vizuální kontrolou. Následují další apretační operace, aby odlitek v konečném stavu odpovídal etalonovému kusu. Poté co odlitky projdou všemi apretačními operacemi, jsou ručně paletovány do přepravních boxů. [23, 2, 10]

V současné době je snaha v moderních slévárnách s automatizovanými pracovišti provádět co nejvíce apretačních činností přímo u liciho stroje.

8 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ - ŽÍHÁNÍ

Tepelné zpracování hliníkových slitin se provádí především z důvodu zvýšení mechanických vlastností, snížení vnitřních pnutí v odlitcích nebo ovlivnění způsobu rozložení prvků ve struktuře. Dále lze zlepšit také obrobiteľnosť eventuálně dosáhnout změnu i jiných technologických vlastností nebo korozní odolnosti. [4]

Žihání patří do skupiny tepelného zpracování. Žihací cyklus je pak definován jako změna teploty odlitku v určitém rozmezí v závislosti na čase. U odlitků se používají tyto hlavní způsoby žihání. [7]

Žihání na odstranění vnitřního pnutí

Vnitřní pnutí u odlitků vzniká následkem nestejně rychlého ochlazování různých průřezů nebo vlivem brzděného smršťování v nepoddajné formě či tuhou konstrukcí odlitku. Žihání se provádí při teplotách 200 až 250 °C po dobu 6 až 8 hodin s následujícím pomalým ochlazováním v peci nebo na vzduchu. Pro dokonalé snížení vnitřních pnutí je nutné zvýšit žihací teplotu na 250 až 350 °C, je zde však riziko určitého poklesu pevnostních charakteristik. [4]

Stabilizační žihání

Používá se v případě, že se odlitky používají v podmínkách se zvýšenou teplotou nebo kolísajících teplot. Cílem je stabilizovat rozměry u velmi přesných odlitků, případně stabilizovat jejich mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Žihací teplota se volí vyšší než je maximální provozní teplota, obvykle v rozsahu 240 až 350 °C. Ochlazování probíhá na vzduchu. [4, 7]

Žihání na měkko

Uplatňuje se jen výjimečně u slitin, které byly vytvrzeny a u nichž se má dosáhnout rovnovážného stavu. Teplota žihání se volí v rozmezí 350 až 450 °C. Pozvolné ochlazování se provádí v peci alespoň na teplotu 200 °C, dále na vzduchu. [4]

Homogenizační žihání

Provádí se v případech, kdy je nutné odstranit chemickou heterogenitu, která v odlitcích vzniká během tuhnutí. Provádí se za teplot vyšších, než odpovídá křivce změny rozpustnosti přísadového prvku v tuhém roztoku α -Al po dobu, která je závislá na stupni heterogenity složení a na disperzitě struktury, obvykle v rozmezí 3 až 15 hodin. Doba žihání by se neměla zbytečně prodlužovat, protože dochází k hrubnutí zrna, které zhoršuje mechanické vlastnosti. Homogenizační žihání bývá obvykle součástí vytvrzování. [4]

Tepelné zpracování válce pro motorovou pilu

U válce pro motorovou pilu bylo navrženo a zákazníkem odsouhlaseno tepelné zpracování s označením T5. Jedná se o umělé stárnutí při relativně nízkých teplotách bez předchozího homogenizačního žihání. Používá se pro stabilizaci tvaru a rozměrů, pro zlepšení obrobiteľnosti a pro odstranění vnitřního pnutí. [4]

V případě válce se žihání provádí v žihací peci od firmy Realistic (viz obr. 27), do které se dílce zavážejí maximálně v šesti koších pomocí dopravníku

žíhací pece. Do jednoho koše se vejde orientovaně ve dvou vrstvách maximálně 140 odlitků. Náběh na žíhací teplotu 225 ± 5 °C 60 až 70 minut. Výdrž na žíhací teplotě je 300 minut. Chladnutí vsázky probíhá na vzduchu.



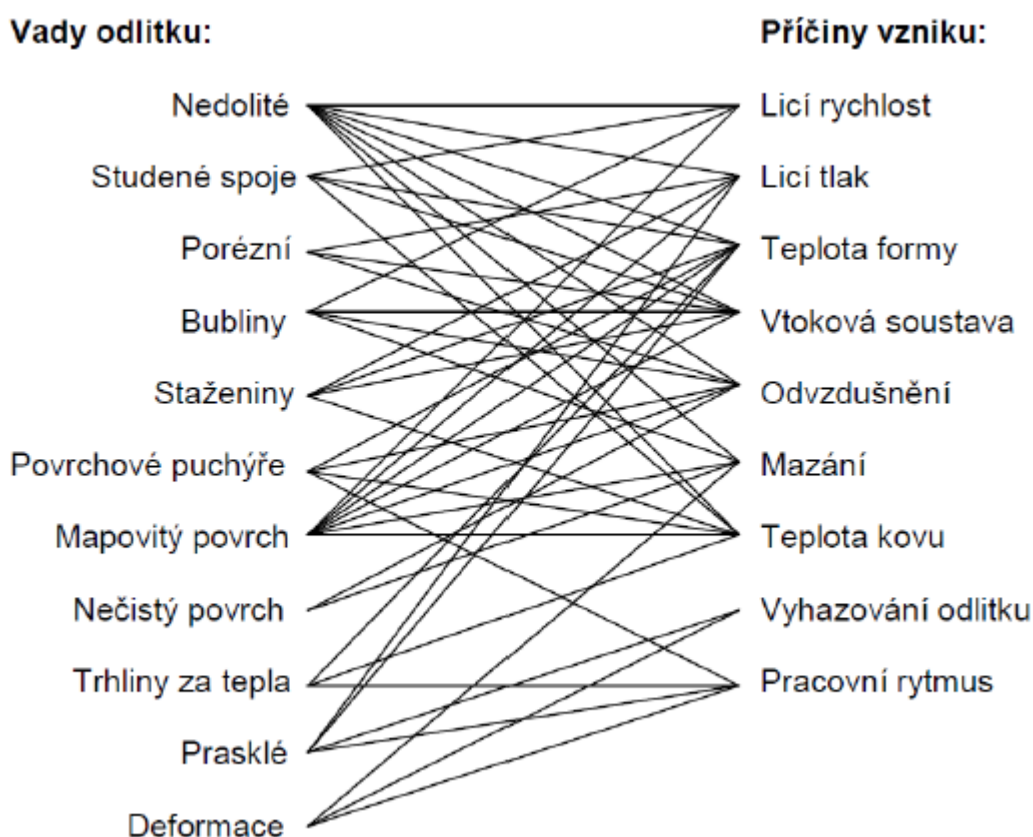
Obr. 27 – Žíhací pec pro tepelné zpracování režimu T5 ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s.

9 VADY ODLITKŮ LITÝCH POD TLAKEM

Odlévání odlitků je obecně velmi složitý proces vzhledem k fázové transformaci z kapalného do pevného stavu. U takto složitého procesu, může vzniknout celá řada závad, které vedou ke vzniku neshodných odlitků. Výskyt vad u odlitků litých pod tlakem ovlivňuje mnoho faktorů:

- konstrukce tlakové formy,
- návrh vtokové soustavy a odvzdušňovacího systému,
- volba chladicího systému formy,
- tlakový licí stroj,
- typ odlévané slitiny a její metalurgické zpracování,
- nastavení technologických parametrů,
- obsluha tlakového licího stroje. [1, 6]

Přehled vztahu jednotlivých vad a jejich příčin u tlakově litých odlitků znázorňuje Savenův diagram.



Obr. 28 – Savenův diagram [15]

Za vadu odlitku se považuje takový stav, při kterém není možné použít jeho užitkové vlastnosti. Vada odlitku může být přípustná nebo nepřípustná. Během celého technologického cyklu vznikají odchylky (rozměrové, hmotnostní, vzhledové aj.) od vlastností předepsaných technickými normami nebo dohodnutými s odběratelem. Tyto odchylky mohou vést ke vzniku vad. V případě

výskytu vady, je pro její odstranění nebo alespoň zmírnění jejího dopadu, nezbytné přesně určit příčinu vzniku vady. Řada defektů si je vzhledově blízká, ale původ vady je jiný. Kromě Savenova diagramu lze příčinu kvalifikované vady určit také pomocí tabulky 7, která vyjadřuje vliv parametrů na výskyt jednotlivých vad. [6, 2]

Tab. 7 – Vliv parametrů formy, licího stroje a slitiny na vady odlitků [15]

vliv formy						vliv stroje a plnicí komory										vliv slitiny		síla vlivu parametrů na vady: <input checked="" type="checkbox"/> velmi silný vliv <input type="checkbox"/> silný vliv <input checked="" type="checkbox"/> slabý vliv	
tloušťka a průřez nařiznutí	umístění nařiznutí	druh a velikost odvzdušnění	chladič systém	přesnost dutiny formy	teplota formy	množství a druh dělicího postříku	doba náběhu dotlaku (III. fáze lisování)	čas plnění dutiny formy	rychlost kovu v nařiznutí	rychlost lisovacího pístu (I. fáze lisování)	doba cyklu	průměr plnicí komory	teplota plnicí komory	mazání lisovacího pístu	uzavírací síla stroje	obsah železa v Al slitinách	složení slitiny (obsah křemíku)		licí teplota
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	porezita, staženiny
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vzdušná a plynná porezita, bubliny
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vměstky
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nedolití
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	deformace
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	propadliny
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	puchýře
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nalepení
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mapovitý povrch
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	studené spoje
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	stopy po vyhazovačích
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	zadřeniny
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	stopy po dělicím prostředku
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trhliny, praskliny
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	rozměrové odchylky
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	otřepy

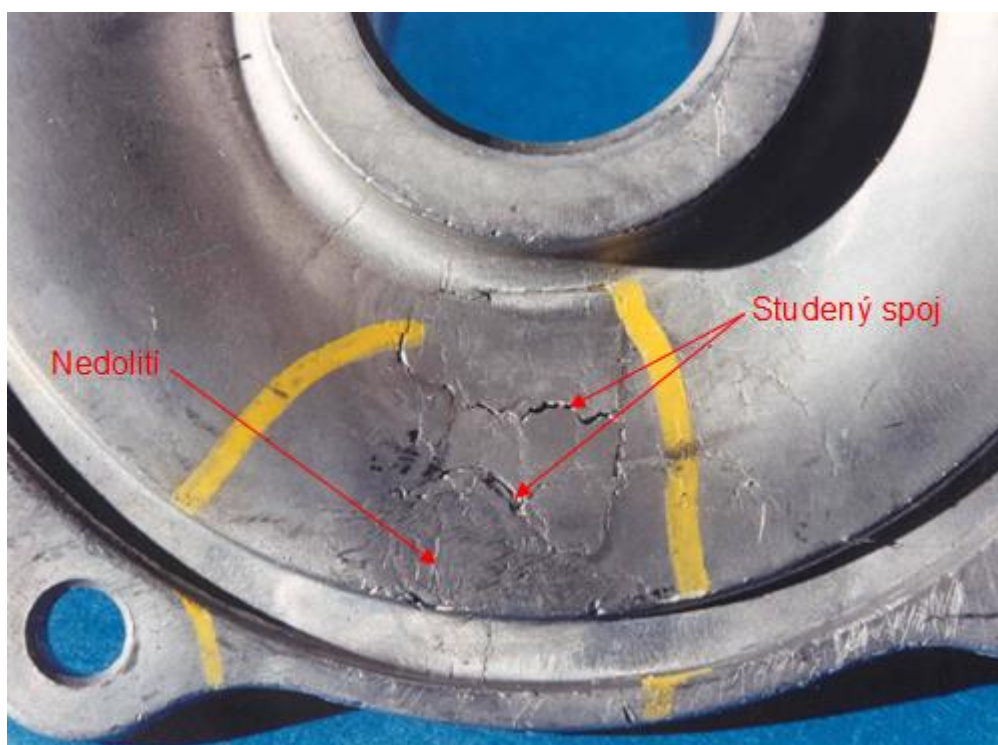
Níže jsou popsány vybrané typické vady, které se vyskytují u tlakově litých odlitků:

Nedolití

Jedná se o vadu způsobenou nedolitím kovu v některých částech formy. Obvykle se jedná o místa nacházející se nejdále od vtokového nařiznutí, která nejsou dostatečně odvzdušněna nebo jsou proudícím kovem zanesena zbytky mazadel, které nebyly odvedeny do přetoků. Také záleží na celkovém zaformování odlitku a na umístění a nasměrování vtokového nařiznutí. Snahou je aby kov po vstupu do dutiny formy přes nařiznutí nenarážel přímo na stěnu. V některých případech na vzdálenějších místech však lze náraz využít k dokonalejšímu vyplnění hlubšího tvaru. Tuto vadu může způsobovat také příliš nízká licí teplota, nízká teplota formy nebo příliš nízký tlak lisování. [15, 3]

Studený spoj

Tato vada je povrchová a projevuje se prohloubeninami, které mají zaoblený tvar. Studený spoj vzniká v místech, kde se střetávají dva proudy kovu, které nejsou dostatečně natavené. Příčinou vady může být nízký lisovací tlak, nízká teplota lití nebo nerovnoměrné tuhnutí kovu ve formě odlitku způsobené špatně navrženou vtokovou soustavou. Studený spoj může být zapříčiněn také špatnou konstrukcí odlitku. Doporučuje se vyhnout především příliš dlouhým a tenkým plochám. Eliminovat tuto vadu lze dodržováním konstrukčních doporučení při návrhu formy, technologického postupu, správným nastavením tlakového lícího stroje a správnou lící teplotou a teplotou formy. [6, 2, 3]

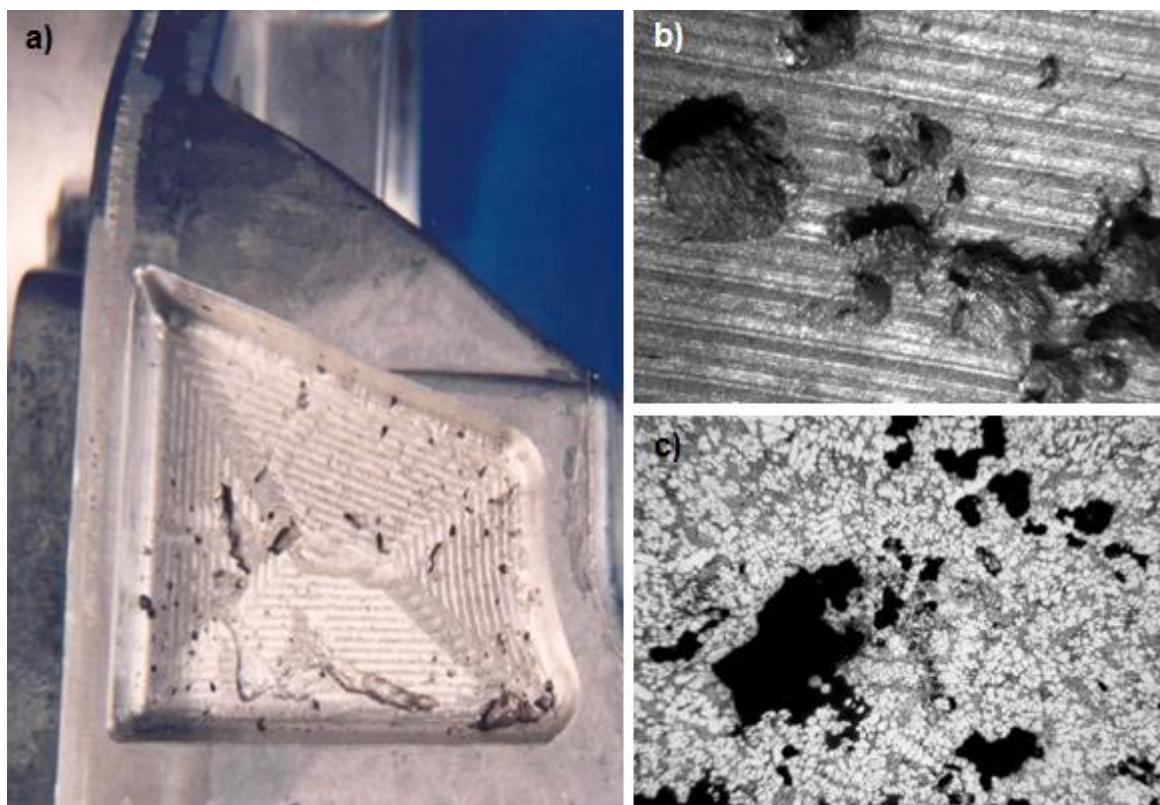


Obr. 29 – Vada nedolití a studený spoj [34]

Porozita

Jde o porozitu vzniklou stahováním tekutého kovu v místech tepelných uzlů odlitku. V případě, že má odlitek stěny o rozdílné tloušťce a není zaručeno dosazování taveniny po zalisování do míst s posledním tuhnutím, vznikají v těchto oblastech dutiny s drsným a nepravidelným povrchem. Porozita se často vyskytuje ve shlučích a má negativní vliv na těsnost odlitků. Tato vada nelze zjistit běžnou vizuální kontrolou, proto u odlitků s požadavkem na těsnost, či vysokou vnitřní integritu je nutné provádět zkoušku rentgenem nebo počítačovou tomografií. Průběžnou kontrolou lze tuto vadu včas odhalit a provést opatření vedoucí k jejímu odstranění. V opačném případě by mohly vzniknout vysoké náklady na neshodné odlitky. Snahou je vznik porozity potlačit již při konstrukci formy. K odstranění nebo zmenšení porozity přispívá zmenšení počtu tepelných uzlů a jejich velikosti. Dále je nutné provést vhodné zaformování odlitku a navržení vtokové soustavy s větším nařiznutím, odvzdušňovací soustavy a k usměrněnému tuhnutí přispět správně

řešeným chladicím systémem formy. Při konstrukčním řešení formy ve vazbě na odlitek se významně využívá také počítačová simulace. [15]



Obr. 30 – a) Porozita a staženiny na tlakovém odlitku odkryté obráběním [34], b) Detailní snímek staženiny v kombinaci s bublinami [21], c) Mikrostruktura staženiny v kombinaci s porozitou a bublinami [21]

Bubliny

Tato vada je charakteristická malými dutinami s hladkým povrchem. Bubliny jsou tvořeny především vzduchem z plnicí komory a dutiny formy, ale také z naplyněné slitiny. Při lisování roztaveného kovu do dutiny formy nestačí všechn vzduch uniknout a zůstává po ztuhnutí uzavřen v odlitku. Mezi příčiny nadměrného množství vzduchu při lisování patří příliš prázdná plnicí komora (nadměrný průměr nebo délka), nedostatečné odvzdušnění formy, nadměrné používání maziva či zbytková vlhkost od postřiku formy. [15, 2]

Ke zmenšení nebo odstranění této chyby napomáhá postupné plnění, které by mělo být ukončeno v místech, kde je možné aplikovat účinné odvzdušnění. Vtokovou soustavu je nutné navrhnout tak, aby nedocházelo k uzavření vzduchu tekutým kovem při plnění formy. I zde lze využít simulační programy pro správnou volbu vtokového a odvzdušňovacího systému. [15, 2]

Puchýře

Jedná se o typickou vadu vyskytující se u tlakových odlitků. Tato vada vzniká uzavřením vzduchu v oblasti těsně pod povrchem stěny odlitku. Díky velkému tlaku v bublině a malé pevnosti tenké stěny ještě horkého odlitku dochází k vytvoření puchýře. Příčinou vzniku této vady je především v nedostatečném odvzdušnění formy v zaústění vtokového nařiznutí a umístění chladicích kanálů.

Na vznik puchýřů má také vliv vysoká licí teplota, vysoká teplota formy nebo malý, nesprávně naběhnutý dotlak. [15]

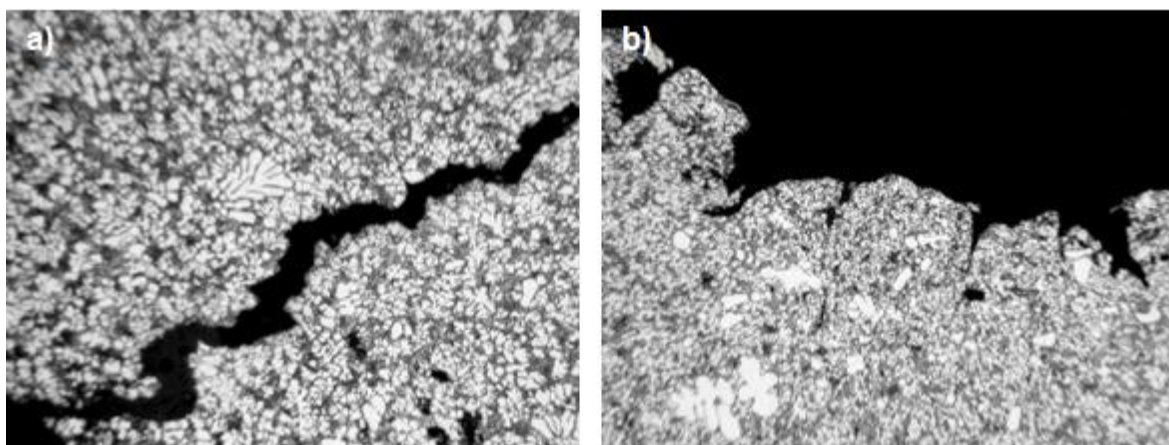
Trhliny

Jde o vady, které vznikají v průběhu tuhnutí jako volné smršťování mechanicky nebo tepelně bržděné. Trhliny souvisle přecházejí od povrchu do vnitřku odlitku a projevují se jako křivé roztržení stěny odlitku, vznikající za tepla s mírně oxidovaným povrchem. [6, 3]

Praskliny

Prasklina je definována jako křivé povrchové roztržení stěny, které vzniklo za studena. Povrch praskliny je čistý. Příčinou vzniku této vady je pnutí vyvolané smršťováním, nevhodnou strukturou odlitku způsobující po vychladnutí napětí v odlitku nebo předčasným vyhozením odlitku z formy. Praskliny se šíří vnitřní částí zrn, protože za studena jsou hranice zrn pevnější než samotná zrna. [6]

Mezi opatření, která zamezují vzniku trhlin a prasklin patří rychlé a plynulé plnění dutiny formy vhodným vtokovým systémem. Značný důraz se klade na konstrukci odlitku. Je nutné se vyvarovat ostrým přechodům mezi tenkými a tlustými sekcemi. Tenké sekce by měly být zesíleny přidáním materiálu nebo navržením žeber. [3]



Obr. 31 – Mikrostruktura – a) Trhliny, b) V oblasti praskliny [21]

Deformace

Na deformace odlitku má značný vliv konstrukce formy, z tohoto pohledu mohou být deformace zapříčiněny především:

- nedostatečnými úkosy tvarové části pevné poloviny formy,
- malými úkosy hlubokých tvarů odlitku,
- špatným rozmístěním a nedostatečnou plochou vyhazovačů,
- nedostatečnou opěrnou plochou odlitku při vyjíždění pohyblivých jader,
- vymletí formy v místě nevhodně zaústěného vtokového naříznutí,
- nevhodným řešením chladicího systému formy. [15]

Deformace úzce souvisí s další vadou, kterou jsou trhliny za tepla. Kromě konstrukčního provedení formy, působí na vznik deformace také kvalita vyrobené formy, její postřík a vliv některých dalších faktorů. [15]

Rozměrové odchylky

Aby bylo možné odlitek použít dle svého určení, musí kromě celistvosti, vnitřní a povrchové jakosti a požadovaných mechanických vlastností, odpovídat také rozměrovým požadavkům. Požadavek na přesnost rozměrů je nutné brát v úvahu již při rozhodování o zaformování odlitku a při řešení celkové konstrukce formy. Rozměrové odchylky mají z pohledu konstrukčního řešení formy a způsobu zaformování odlitku tyto příčiny:

- rozměry přes dělicí rovinu nelze udržet v úzké toleranci,
- špatně zvolený systém chlazení a ohřevu formy, není dosažena tepelná rovnováha formy při procesu lití,
- chybně řešená hodnota smrštění odlitku při konstruování formy vzhledem k druhu odlévané slitiny,
- deformace formy vlivem nedostatečného dimenzování jednotlivých dílů formy. [15]

Rozměrové odchylky souvisejí také se samotným procesem lití a dodržováním pravidelného cyklu lití. Tato vada také souvisí s nepřesnostmi při výrobě formy. [15]

10 PŘEVEDENÍ ODLITKU VÁLCE PRO MOTOROVOU PILU DO SÉRIOVÉ VÝROBY

V této kapitole jsou popsána jednotlivá vzorkování, díky kterým bylo možné výrobní proces odlitku válce optimalizovat a převést do sériové produkce. V rámci každého vzorkování je popsán jeho průběh a podmínky, za kterých bylo provedeno. Dále jsou popsány nedostatky a vady, které v průběhu daných vzorkování vznikly buď na odlitku, nebo tlakové formě. Součástí každého vzorkování je také návrh opatření vedoucích k odstranění nebo minimalizaci vzniku stejných nedostatků a vad jako v předešlém vzorkování.

10.1 Vzorkování číslo 1

V rámci prvního vzorkování bylo úkolem ověřit především funkčnost formy. Forma byla nasazena na tlakový licí stroj Colosio PFO 560 se studenou licí komorou o průměru 70 mm a licí komorou o aktivní délce 480 mm. Licí komora je vyosena vůči horizontální ose hrubého odlitku o -200 mm. U tohoto vzorkování se naplánovala produkce 100 odlitků, přičemž odběr odlitku a postřík formy byl prováděn ručně. Postřík byl namíchán v poměru jeden díl dělicího prostředku ku 100 dílům vody. Pevná i pohyblivá část formy byla temperována olejem na 200 °C. Obě poloviny formy byly zapojeny zvlášť nezávisle na sobě ve dvou okruzích. Chlazení pak bylo zapojeno u rozdělovače a horního tahače. Teplota lití hliníkové slitiny AlSi9Cu3(Fe) byla 720 °C. Doba tuhnutí odlitku ve formě je 7 až 8 sekund. Z důvodu velkého rizika přetržení odlitku při rozevírání formy, byla doba tuhnutí stanovena na 12 sekund, čímž se nebezpečí přetržení odlitku minimalizovalo.

Parametry testu plnění jsou patrné z následující tabulky. Tyto parametry se však v průběhu vzorkování mění, aby bylo možné během krátké doby vzorkování vyzkoušet větší množství nastavení. Platí však, že rozjezd formy se provádí za nižších rychlostí, které jsou v průběhu vzorkování postupně zvyšovány. Hodnota dotlaku byla nastavena na 300 bar.

Tab. 8 – Navržené parametry testu plnění pro vzorkování č. 1

Poloha pístu [mm]	Rychlost pístu [m/s]
100	0,17
355	0,17
370	2,5
450	2,5
480	0,5
Rozjezd na redukovanou rychlost 1,5-2,0 [m/s]	

Rozjezdu formy byla věnována značná pozornost, protože v době prvního vzorkování tohoto typu válce byly již známy negativní výsledky prvního vzorkování

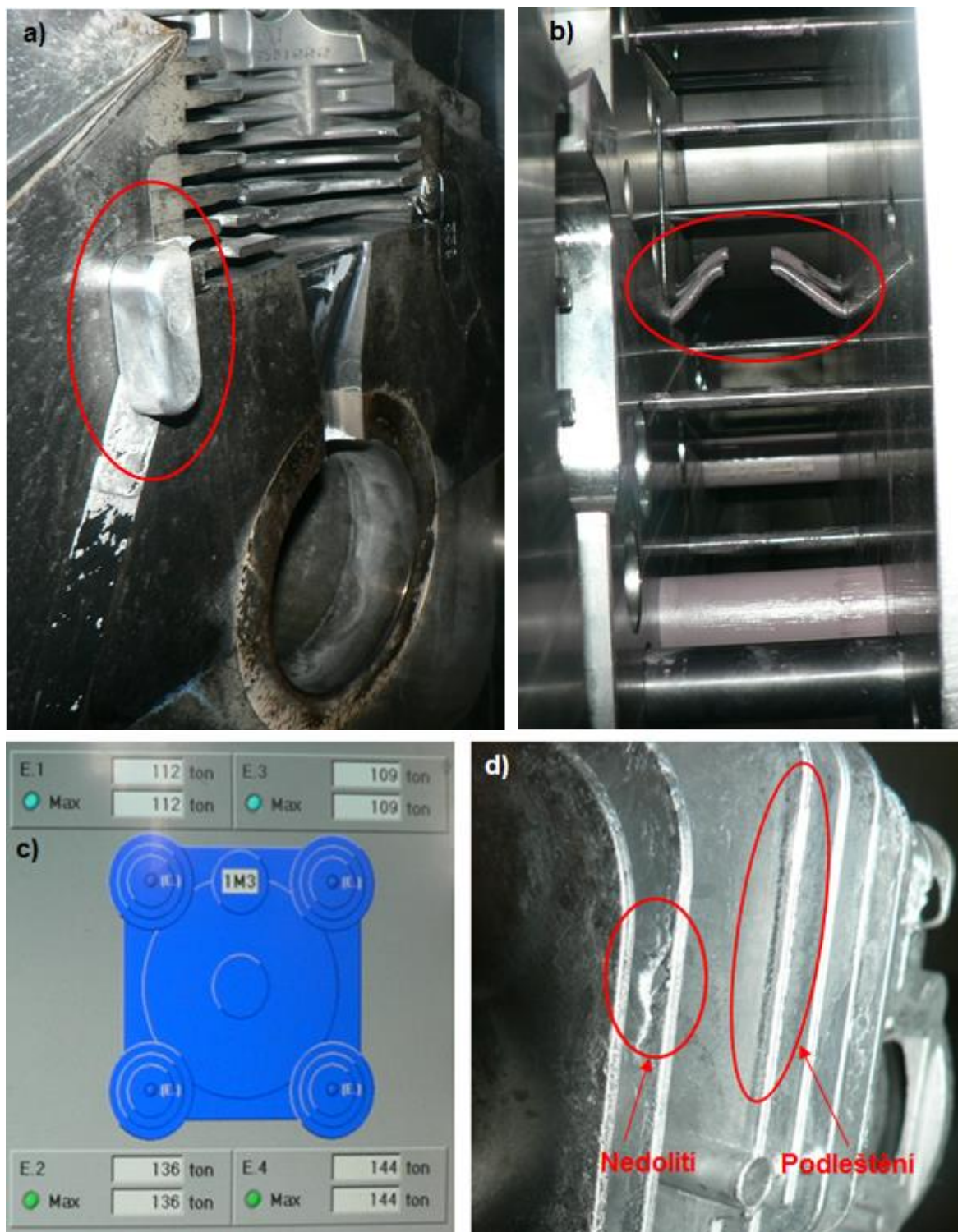
u jednoho z dalších typů válce. Před prvním lisovacím cyklem byla na formu aplikována stříbrná pasta, která se používá před prvním lisovacím cyklem také u sériové produkce. Ihned po prvním lisovacím cyklu, u kterého byla rychlost druhé fáze lisování snížena na 1,8 m/s došlo k úplnému zavaření obou naříznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek umístěných u vtoku. K zavaření došlo také u naříznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek napojených na bronzovou valchu. Následovalo dalších šest lisovacích cyklů se sníženou rychlostí pístu v druhé fázi lisování na 1,8 m/s. U celkově osmému lisovacího cyklu došlo ke zvýšení rychlosti pístu v druhé fázi lisování na 2,5 m/s. Odlitek válce z tohoto licího cyklu uvízl v pohyblivé části formy a došlo ke zlomení vyhazovače, čímž bylo vzorkování ukončeno.



Obr. 32 – Graf lisování ze vzorkování č. 1

Zjištěné nedostatky a vady

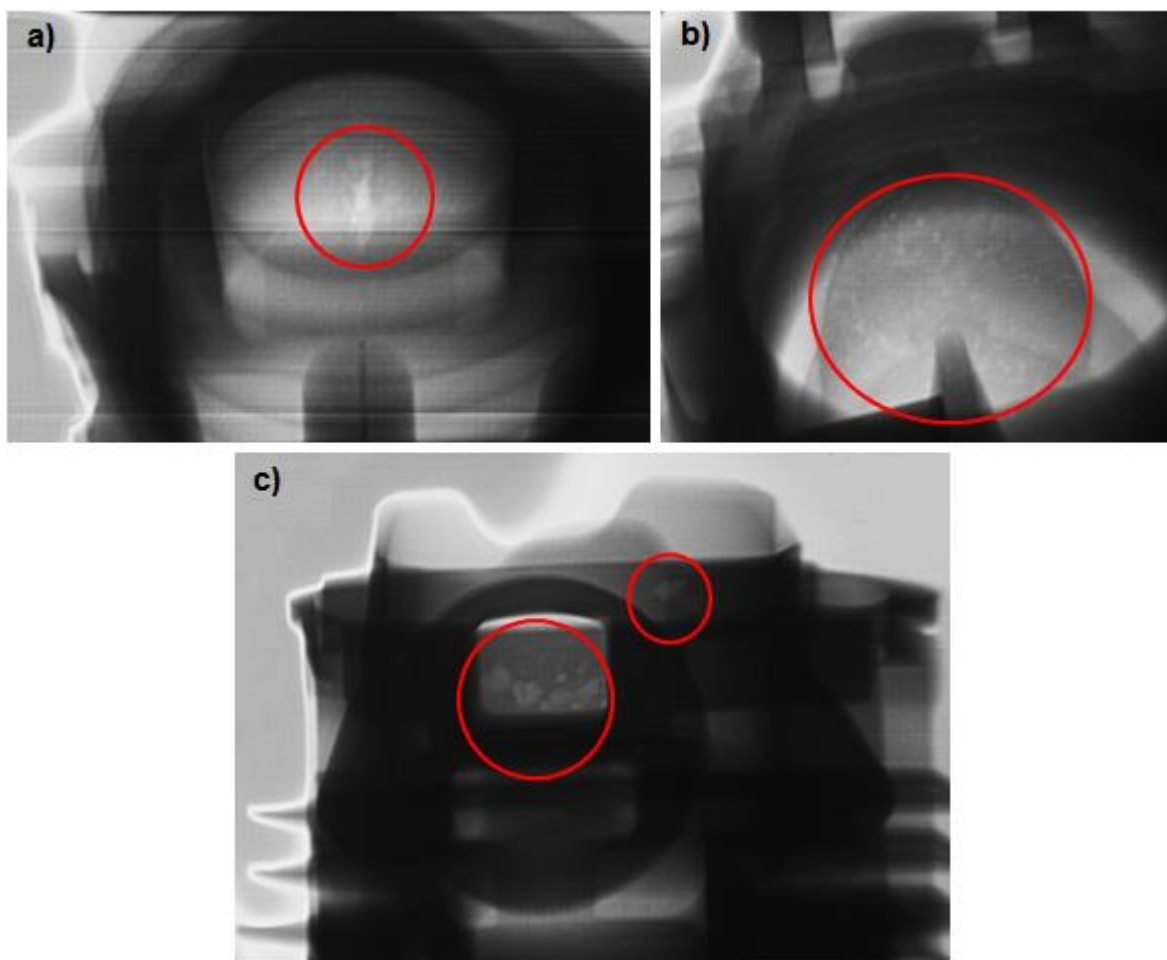
- Navařené naříznutí do odvzdušňovacích jamek umístěných u vtoku i u napojení na valchu.
- Uvíznutý odlitek v pohyblivé části formy.
- Zalomené žebro odlitku v pevné části formy.
- Zlomený vyhazovač.
- Podleštění žebér a jejich částečné nedolití.
- Signalizace licího stroje o nerovnoměrném rozložení uzavírací síly.
- Odhaleny vnitřní vady na rentgenových snímcích.



Obr. 33 – Zjištěné vady a nedostatky - a) Navařené nařiznutí do odvědušňovací jamky, b) Zlomený vyhazovač, c) Nerovnoměrné rozložení uzavírací síly, d) Podleštění žebér a jejich částečné nedoliti



Obr. 34 – Odlitek, který uvízl v pohyblivé části formy



Obr. 35 – Vnitřní vady odlitku ze vzorkování č. 1 odhalené rentgenem –
a) Staženina pod vtokovým naříznutím, b) Porozita v oblasti nad vnitřním kulovým
spalovacím prostorem, c) Porozita ve spodní části odlitku

Navržená opatření

- Navařování lze odstranit úpravou geometrie nařiznutí (prohloubením), snížením rychlosti v místě nařiznutí do odvzdušňovacích jamek, případně snížením teploty formy nebo lící teploty kovu. Krátkodobě lze situaci stabilizovat také použitím past.
- Uváznutí odlitku ve formě a s tím spojenému ulamování žeber, jejich podleštění a lámání vyhazovačů lze zamezit vyleštěním žeber ve formě, PVD povlakováním a kontrolou geometrie formy (především úkosů).
- Nerovnoměrné rozložení uzavírací síly je pravděpodobně způsobeno formou, její členitostí a složitostí. Správné dovření je zajištěno automatickou regulací stroje.
- Vzhledem k tomu, že není možné provést výraznou změnu licích parametrů ani zásah do konstrukce odlitku, bude nutné upravit tloušťku a průřez nařiznutí vtokového systému. Úpravy nařiznutí se obvykle aplikují až po odstranění hlavních problémů zjištěných během prvních vzorkování. Obecně totiž platí, že zvětšením vtokového nařiznutí se průběh plnění dutiny formy zlepší spolu s vnitřní integritou odlitku.

Výsledek vzorkování

Výsledek vzorkování číslo 1 lze považovat za neúspěšné, protože nebylo možné ověřit tlakovou lící formu ve vztahu k dolévání a funkčnosti. Nebyla splněna naplánovaná produkce odlitků a nebylo také možné označit žádný odlitek jako shodný. Byla zjištěna řada nedostatků a vad, které je nutné alespoň částečně odstranit na základě navržených opatření před dalším vzorkováním.

10.2 Vzorkování číslo 2

Vzhledem k dosaženým výsledkům ze vzorkování číslo 1, bylo cílem vzorkování číslo 2, ověřit funkčnost formy za podmínek blízkých se vzorkování číslo 1. Dalším cílem bylo posoudit funkčnost chlazení horního jádra. Naplánovaná produkce byla 100 odlitků, přičemž odběr odlitku byl oproti předchozímu vzorkování prováděn automaticky pomocí robotu. Postřik formy byl prováděn ručně. Složení postřiku bylo zachováno v poměru jeden díl dělicího prostředku ku 100 dílům vody, pouze doba postřiku se prodloužila. Nezměněn zůstal způsob temperace, chlazení formy a jejích částí a také teplota lití slitiny.

Z navržených opatření, vedoucích k odstranění nedostatků a vad ze vzorkování číslo 1, nebylo aplikováno žádné z opatření týkající se tlakové lící formy. To z důvodu značného pracovního vytížení divize MOTOR JIKOV Fostron a.s., která formu vyrobila a provádí její úpravy. Byly proto provedeny pouze drobné úpravy pracovníky slévárny u nařiznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek napojených na valchu. Tyto úpravy byly provedeny po nasazení formy na tlakový lící stroj.

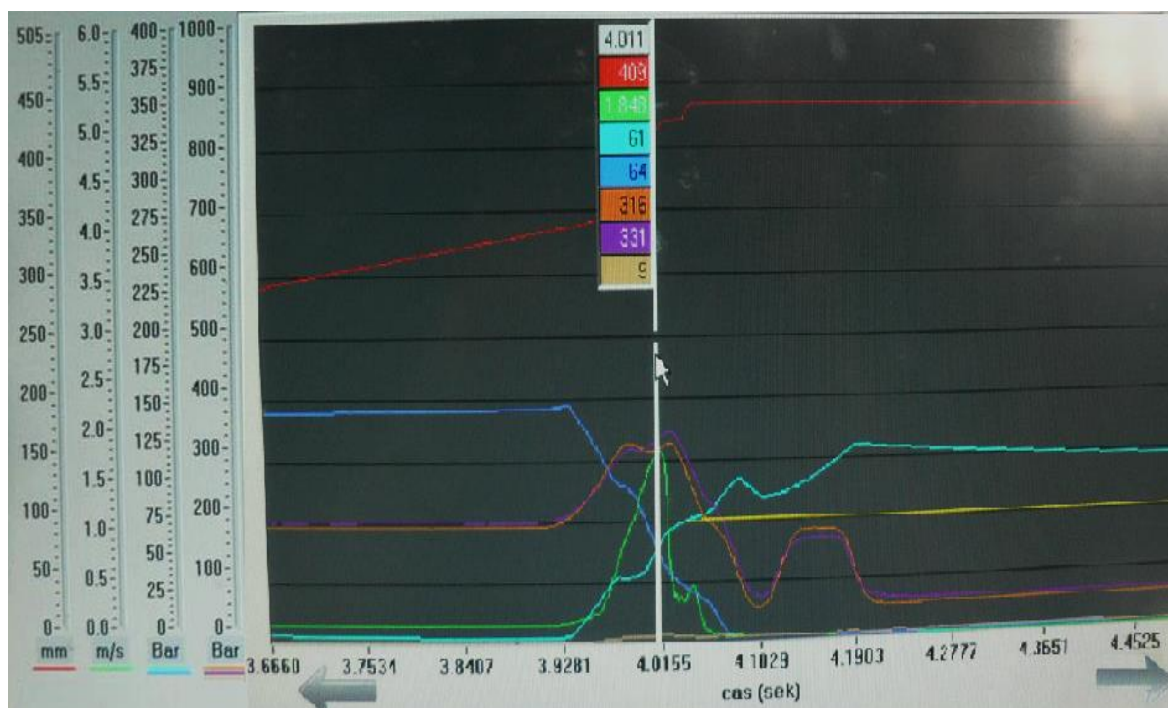
Na základě neprovedení změn na lící formě, byly upraveny parametry testu plnění. V druhé fázi lisování byla snížena rychlost na 1,8 m/s, což mělo vést

ke snížení rizika navařování nařiznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek. Účinek dotlaku byl pro vzorkování číslo 2 snížen.

Před prvním lisovacím cyklem byla, na základě vzorkování číslo 1, věnována značná pozornost rozjezdu formy. Ihned po prvním lisovacím cyklu došlo k úplnému zavaření jak obou nařiznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek umístěných u vtoku, tak u nařiznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek napojených na valchu. U celkově pátého lisovacího cyklu došlo k uvíznutí odlitku v pohyblivé části formy, ke zlomení vyhazovače a zalomení žebra odlitku v pevné části formy. Část odlitku byla také v pohyblivé části formy. Po tomto cyklu bylo vzorkování ukončeno.

Tab. 9 – Navržené parametry testu plnění pro vzorkování č. 2

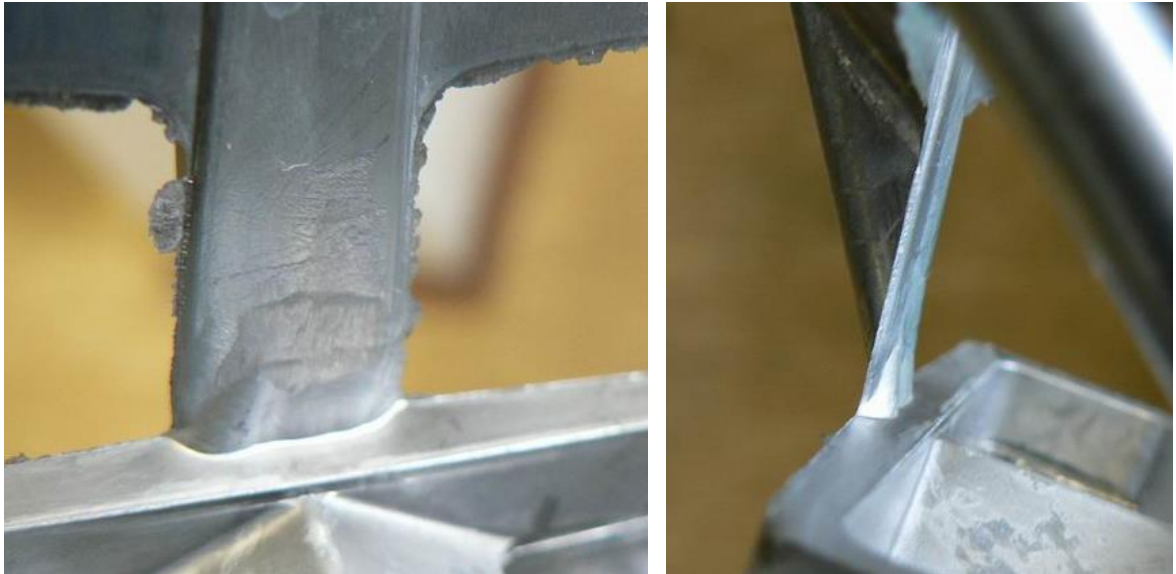
Poloha pístu [mm]	Rychlost pístu [m/s]
100	0,17
355	0,17
370	1,8
450	1,8
480	0,5
Rozjezd na redukovanou rychlost 1,5 [m/s]	



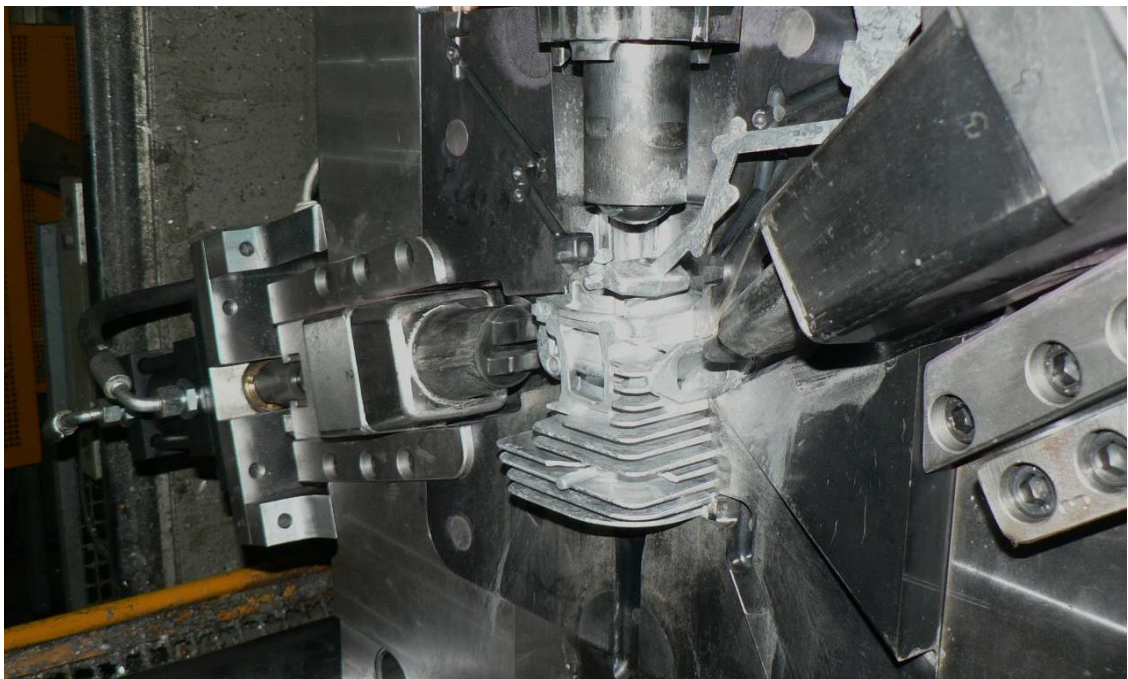
Obr. 36 – Graf lisování ze vzorkování č. 2

Zjištěné nedostatky a vady

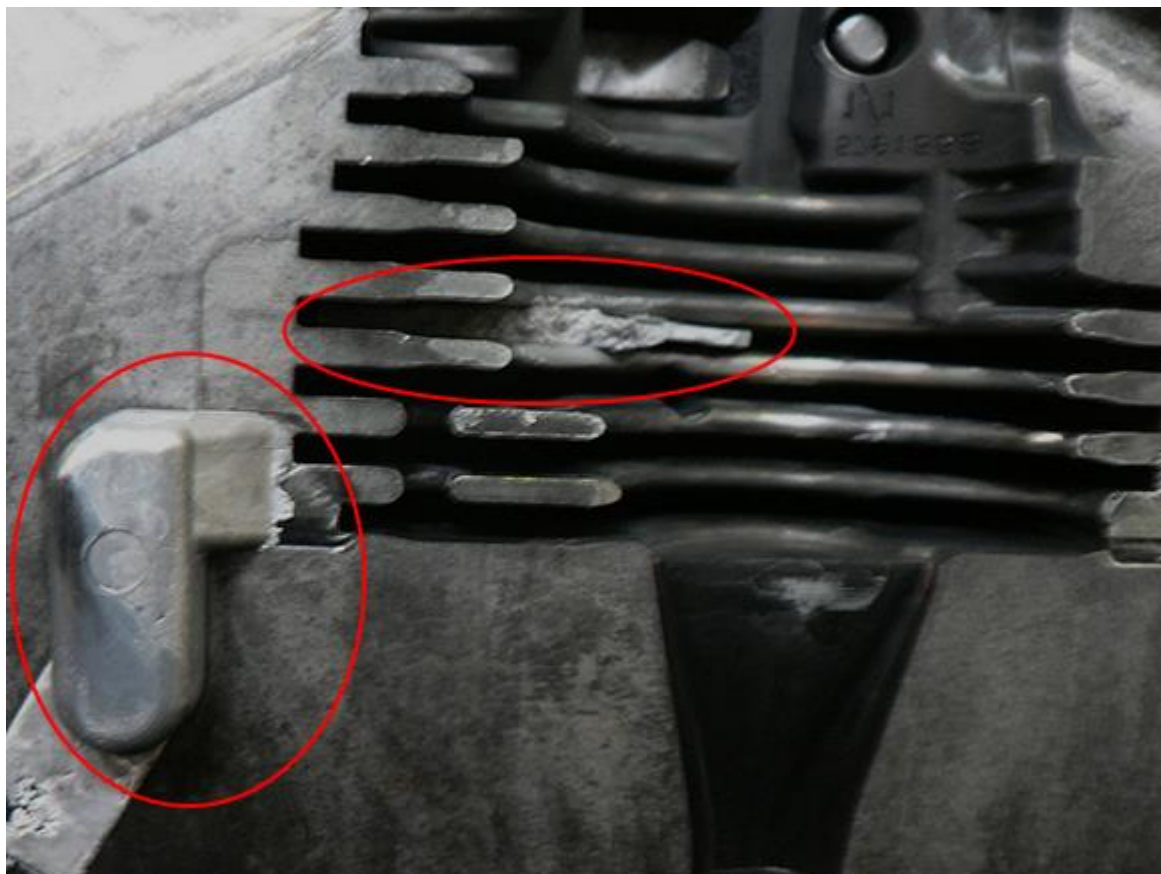
- Navažené naříznutí do odvzdušňovacích jamek umístěných u vtoku i u napojení na valchu.
- Uváznutý odlitek v pohyblivé části formy.
- Ulomené žebro v pevné části formy.
- Zlomený vyhazovač.
- Podleštění žeber a jejich částečné nedolití.
- Nutnost optimalizace řídicího programu obslužného robotu.



Obr. 37 – Úpravy provedené pracovníky slévárny u naříznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek napojených na valchu



Obr. 38 – Odlitek, který uvízl v pohyblivé části formy



Obr. 39 – Navařené naříznutí do odvědušňovací jamky a ulomené žebro v pevné části formy

Navržená opatření

- Upravit tlakovou licí formu dle navržených opatření ze vzorkování číslo 1. To znamená především úpravu geometrie v místě naříznutí do odvědušňovacích jamek prohloubením. V případě naříznutí do odvědušňovací jamky bez napojení na valchu to znamená provést prohloubení naříznutí z 0,4 mm na 1,0 mm. U naříznutí do odvědušňovací jamky s napojení na valchu pak zesílit naříznutí na 1,8 mm.
- Provést vyleštění žeber ve formě, aplikovat PVD povlakování a zkontrolovat geometrii formy (především úkosů).
- Provést optimalizaci řídicího programu obslužného robotu zajišťující vyjímání odlitku.

Výsledek vzorkování

Výsledek vzorkování číslo 2 lze považovat za neúspěšné, protože nebylo možné ověřit tlakovou licí formu ve vztahu k dolévání a funkčnosti. Stejně jako u vzorkování číslo 1 nebyla splněna naplánovaná produkce odlitků a nebylo také možné označit žádný odlitek jako shodný. Vzhledem k průběhu a délce vzorkování nebylo možné posoudit funkčnost chlazení horního jádra. Nebyl však zaznamenán žádný únik chladicího média, proto se předpokládá správná funkčnost.

Před dalším vzorkováním je zcela zásadní provést úpravy formy na základě navržených opatření a pokusit se o rozběh formy.

10.3 Vzorkování číslo 3

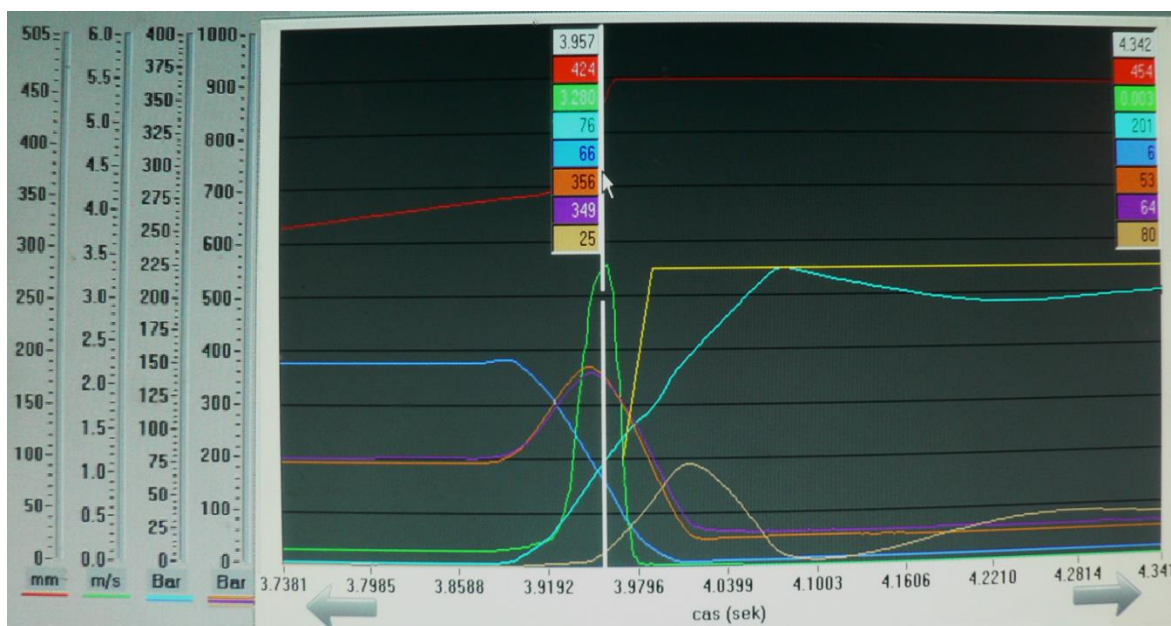
Před vzorkováním číslo 3 byly provedeny požadované úpravy geometrie formy v místě nařiznutí do odvzdušňovacích jamek. Bylo provedeno také vyleštění žeber a kontrola geometrie formy. Cílem vzorkování číslo 3 bylo ověřit funkčnost formy s ohledem na provedené geometrické úpravy formy. Dalším cílem vzorkování bylo zaměřit se na horní tahač s jádrem, které vytváří spalovací prostor válce. Vzorkováním číslo 2, se potvrdila funkčnost chlazení jádra, ovšem z praktických zkušeností ze sériového lití podobných odlitků je způsob chlazení především čela jádra zásadním problémem. Proto je nutné provést dlouhodobějších vzorkování, při kterých bude možné případné problémy odhalit a následnou optimalizací odstranit. Naplánovaná produkce byla 120 odlitků. Odběr odlitku byl po celou dobu vzorkování číslo 3 prováděn ručně, protože nutné úpravy řídicího programu robotu nebyly včas dokončeny.

Rozjezd formy byl proveden velmi pečlivě. Při prvních 10 licích cyklech byl aplikován ruční postřík, jehož složení zůstalo od předchozích vzorkování nezměněno, spolu s přimazáváním antiadhezní stříbrné pasty. Rychlost druhé fáze lisování byla 1,8 m/s. Následujících 10 licích cyklů bylo provedeno již s automatickým postříkem. Forma však byla nadále přimazávána antiadhezní pastou. Rychlost druhé fáze lisování byla zachována na hodnotě 1,8 m/s. Po zbytek vzorkování byl postřík formy automatický. Rychlost druhé fáze byla postupně zvyšována až na hodnotu 3,5 m/s. V průběhu vzorkování číslo 3 byla upravována také poloha pístu na konci první fáze z 355 mm až na 380 mm a teplota kovu při lití ze 710 °C až na 690 °C. Tyto změny byly v průběhu vzorkování aplikovány z důvodu nalepování kovu na jádro horního tahače, které se objevilo po několika licích cyklech.

Kritickým parametrem byla rychlost plnění u druhé fáze lisování, přičemž poloha pístu na konci první fáze byla 360 mm. Snížení rychlosti pod 2 m/s odstraňovalo nalepování kovu na jádro horního tahače, což vedlo k odlití čistého spalovacího prostoru válce, ale také k celkovému nedolití. Při zvýšení rychlosti nad 2 m/s docházelo ke značnému nalepování kovu na jádro (viz srovnání na obr. 44, obr. 45). Změnou polohy pístu na konci první fáze z 360 mm na 355 mm, došlo ke zvýraznění efektu nalepování kovu na jádro. Při změně polohy pístu na konci první fáze na 380 mm bylo viditelné zalévání. K odstranění tohoto problému bylo během vzorkování použito:

- Přimazávání antiadhezní stříbrnou pastou – bez efektu.
- Prodloužení doby postříku formy – bez efektu, vznik začerněných odlitků.
- Úprava teploty kovu ze 710 °C až na 690 °C – bez efektu.
- Chlazení jádra – efekt pouze mírný, ukázalo se, že jádro je přechlazené i při minimálním možném průtoku chladicího média, což vedlo ke vzniku začerněných odlitků. Chlazení u stroje Colosio PFO 560 není možné časově regulovat (maximální průtok v daném časovém úseku), protože stroj není touto funkcí vybaven.

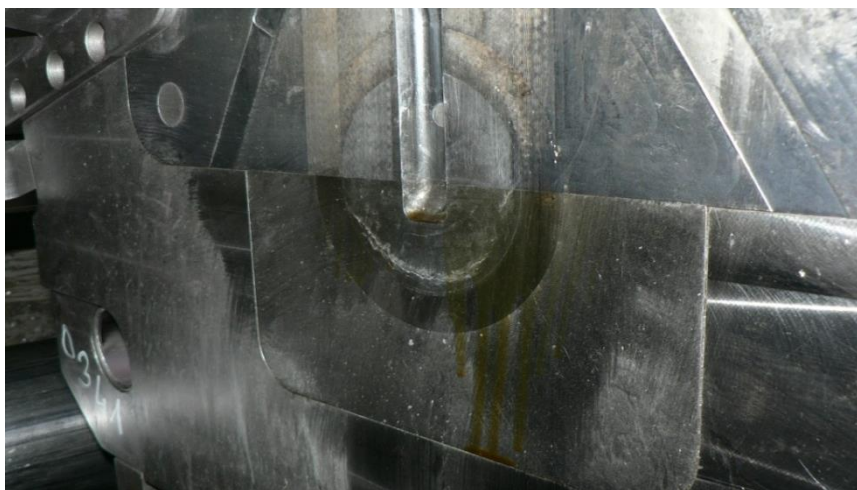
Po odlití naplánovaných 120 odlitků, bylo vzorkování ukončeno.



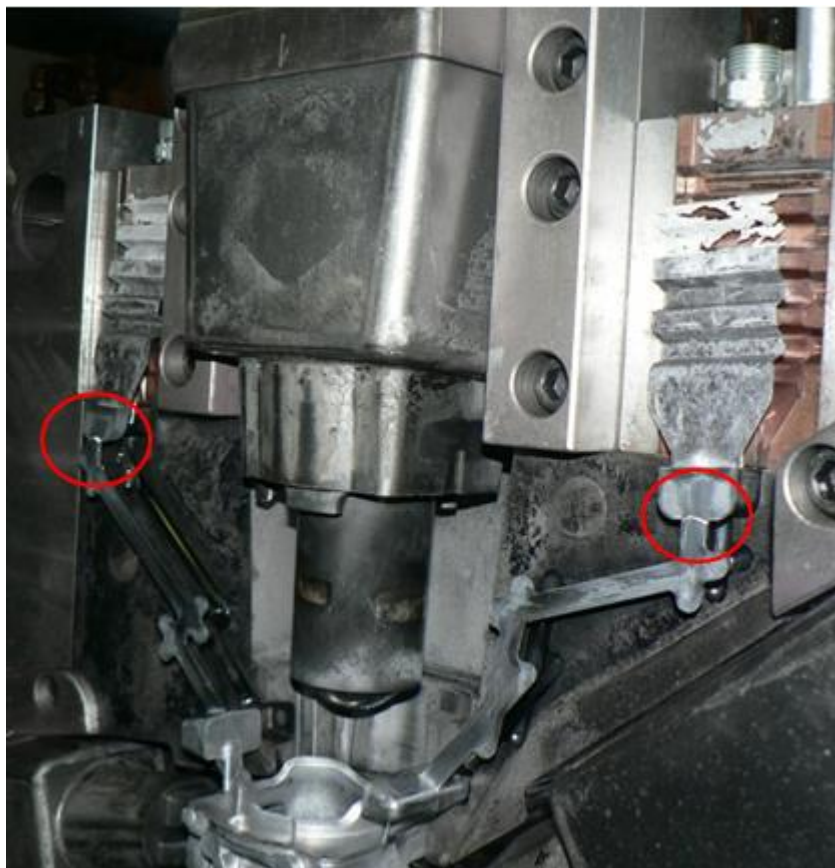
Obr. 40 – Graf lisování ze vzorkování č. 3

Zjištěné nedostatky a vady

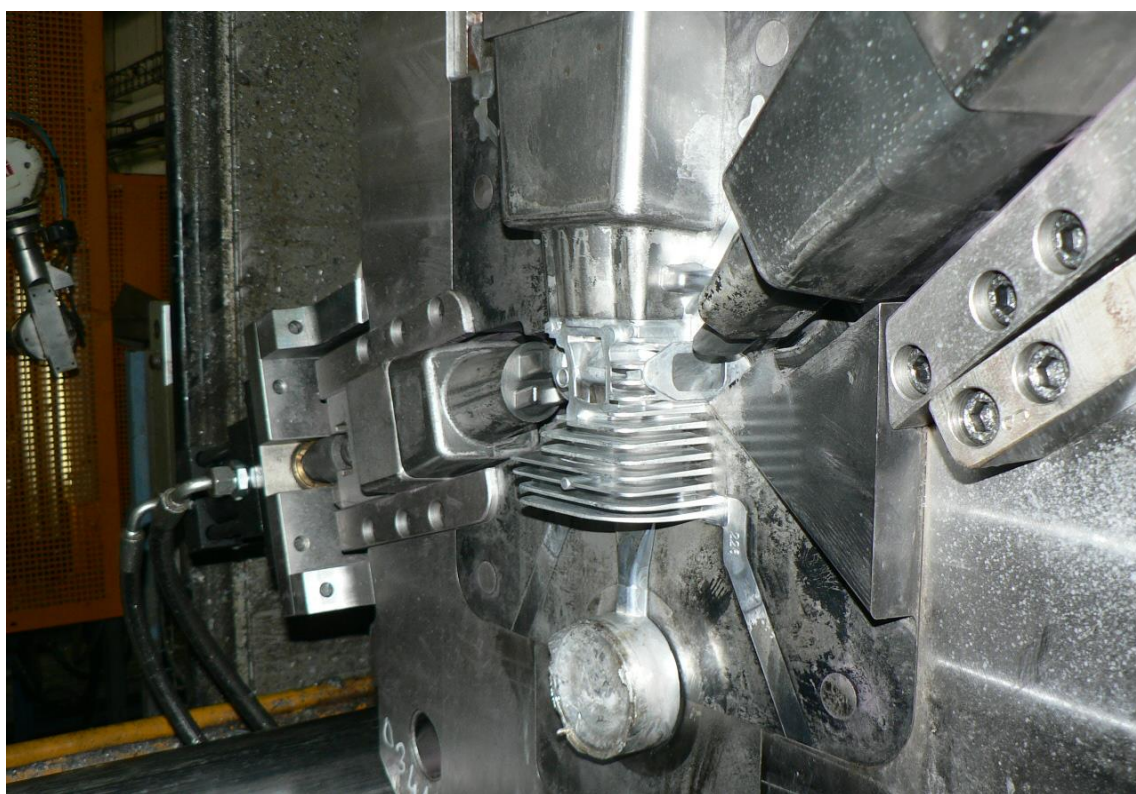
- Problém s chlazením jádra horního tahače, který je spojený s nalepováním kovu na jádro, čímž dochází ke snížení kvality spalovacího prostoru válce.
- Při vyhazování odlitku občasné rozlomení v místě napojení na odvzdušňovací valchu.
- Silné prosakování (tzv. prolínání) oleje mezi vložkami u rozdělovače v pohyblivé polovině formy.
- V jednom případě zaseklý tahač horního jádra – vyřešeno zvýšením tlaku pro otevření na maximum.
- Nutnost optimalizace řídicího programu obslužného robotu.



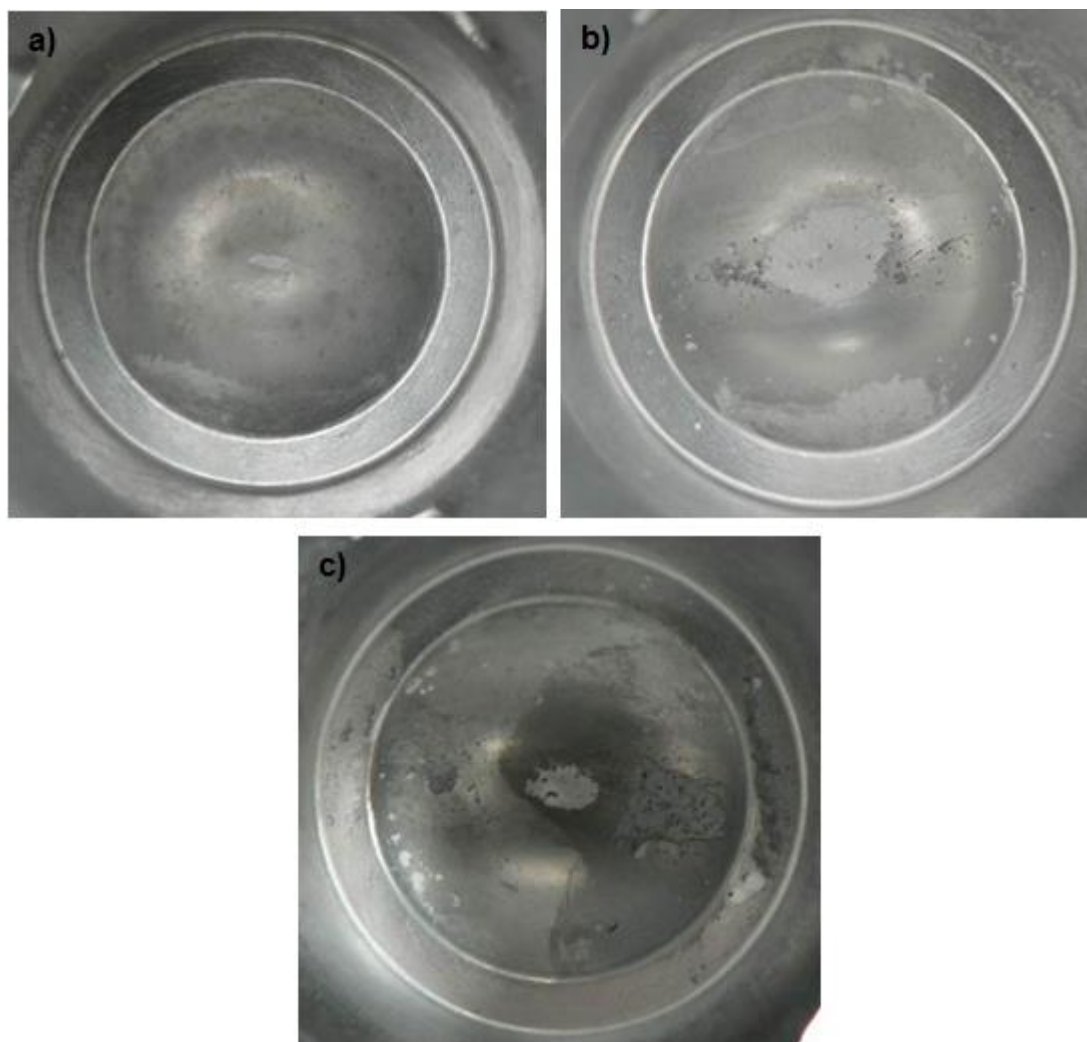
Obr. 41 – Prosakování oleje v pohyblivé polovině formy



Obr. 42 – Rozlomení v místě napojení na odvzdušňovací valchu



Obr. 43 – Zaseklý tahač horního jádra



Obr. 44 – Srovnání dosažené kvality spalovacího prostoru válce při rozdílných lisovacích rychlostech v druhé fázi lisování – a) 2 m/s, b) 3 m/s, c) 3,5 m/s





Obr. 45 – Srovnání dosažené kvality žebíř valce při rozdílných lisovacích rychlostech v druhé fázi lisování – a) 2 m/s, b) 3 m/s, c) 3,5 m/s

Navržená opatření

- Povolakovat jádro horního tahače.
- Změnit způsob chlazení jádra, které bylo chlazeno pomocí spirálovitého chladicího kanálu, tzv. šneku. Chlazení bylo příliš intenzivní, avšak nedostatečné na čele jádra. Provést konstrukční úpravu chlazení jádra tzv. trubičkou, kdy chladicí kanál bude zasahovat o 10 mm blíže k čele jádra než v předchozím případě, čímž bude zajištěno dostatečné chlazení kritického místa na jádru a zároveň nebude docházet k přechlazování obvodu jádra.
- Temperovat jádro horního tahače vodním temperačním zařízením, které se běžně u lití odlitků ze slitin hliníku nepoužívá a je běžnější u výroby odlitků ze slitin zinku.
- Upravit geometrii formy v místě napojení na valchu sražením všech ostrých hran a přechodů.
- Před dalším nasazením formy je nutné provést kontrolu prosakování a případně aplikovat konstrukční úpravy, které tento problém odstraní.
- Provést optimalizaci řídicího programu obslužného robotu zajišťující vyjímání odlitku.

Výsledek vzorkování

Výsledek vzorkování číslo 3 lze považovat za úspěšnější než předchozí dvě vzorkování, protože bylo možné ověřit funkčnost tlakové licí formy. Po kvalitativní stránce však mají odlitky stále značné nedostatky. Bylo možné ověřit funkčnost provedených úprav na tlakové licí formě. Nedošlo již k zalamování žebíř a navařování nařiznutí vedoucích do odvzdušňovacích jamek. Na základě těchto úprav lze konstatovat, že odformování a vyhazování odlitku z formy je až na občasné rozlomení odlitku v místě napojení na odvzdušňovací valchu bezproblémové.

Dalším cílem vzorkování bylo ověřit funkčnost chlazení jádra při odlití většího množství odlitků. Vzorkování číslo 3 se ověřil předpoklad, že chlazení

jádra horního tahače bude u výroby odlitku válce problematické. Výsledky vzorkování číslo 3, ukázaly vliv rychlosti lisování v druhé fázi lisování na výslednou kvalitu odlitku válce. Z těchto výsledků je možné také usuzovat, že lisovací rychlost v druhé fázi lisování v sériové výrobě bude přibližně 4 m/s. Před následujícím vzorkováním je nutné provést navržené úpravy jádra, na základě kterých by měly být odstraněny problémy s chlazením a nalepováním kovu na jádro. Tyto problémy měly významný vliv na kvalitu spalovacího prostoru odlitku válce.

10.4 Vzorkování číslo 4

Vzorkování číslo 4 předcházela aplikace některých navržených opatření týkajících se problému nalepování kovu na jádro horního tahače spojeného s výrazným zhoršením kvality spalovacího prostoru odlitku válce. Provedena byla také navržená konstrukční úprava chlazení jádra tzv. trubičkou. Jádro horního tahače bylo napojeno na vodní temperační zařízení, běžně používaného u lití odlitků ze slitin zinku. Aplikován prozatím nebyl PVD povlak z důvodu finanční náročnosti.

Cílem vzorkování číslo 4 bylo ověřit funkčnost provedených úprav jádra horního tahače. Dalším cílem bylo splnit naplánovanou produkci 180 odlitků, přičemž 100 vybraných odlitků bylo určeno pro zaslání k zákazníkovi, který vyhodnotí aktuální stav vzorkování a dosahovanou kvalitu odlitků. V rámci tohoto vzorkování bylo také úkolem vyzkoušet na 30 kusech vliv vodní temperace jádra na výslednou kvalitu odlitku jejím odpojením. Odběr odlitku byl po celou dobu vzorkování prováděn robotem, s již upraveným řídicím programem, bez následného ostříhu.

Rozjezd formy byl proveden úspěšně na základě zkušeností z předchozích vzorkování. Teplota kovu při lití byla v průběhu vzorkování udržována na hodnotě 710 °C.

Tab. 10 – Navržené parametry testu plnění pro vzorkování č. 4

Poloha pístu [mm]	Rychlost pístu [m/s]
100	0,17
360	0,17
375	3,7
450	3,7
480	0,5

Temperace jádra horního tahače byla zahájena na 80 °C. V průběhu produkce byla teplota postupně snižována až na hodnotu 25 °C, přičemž skutečná teplota neklesla pod 35 °C. V průběhu vzorkování bylo možné pozorovat na čele jádra drobné stopy nalepování kovu. Přesto bylo možné konstatovat, že v porovnání se vzorkováním číslo 3 došlo k výraznému zlepšení. Posledních 30

licích cyklů bylo provedeno bez zapojení vodní temperace jádra, což vedlo ke zhoršení kvality, avšak v porovnání s výsledky dosaženými ve vzorkování číslo 3 ne tak zásadnímu (srovnání viz obr. 46). V průběhu vzorkování bylo také možné pozorovat drobné navařování vtokového naříznutí. To by mělo být odstraněno plánovanou úpravou geometrie naříznutí, kdy bude šířka naříznutí zvětšena o 1 mm. Po těchto úpravách se předpokládá výrazné zlepšení plnění odlitku a také jeho vnitřní integrity.

Po odlití naplánovaných 180 odlitků, bylo vzorkování ukončeno.

Zjištěné nedostatky a vady

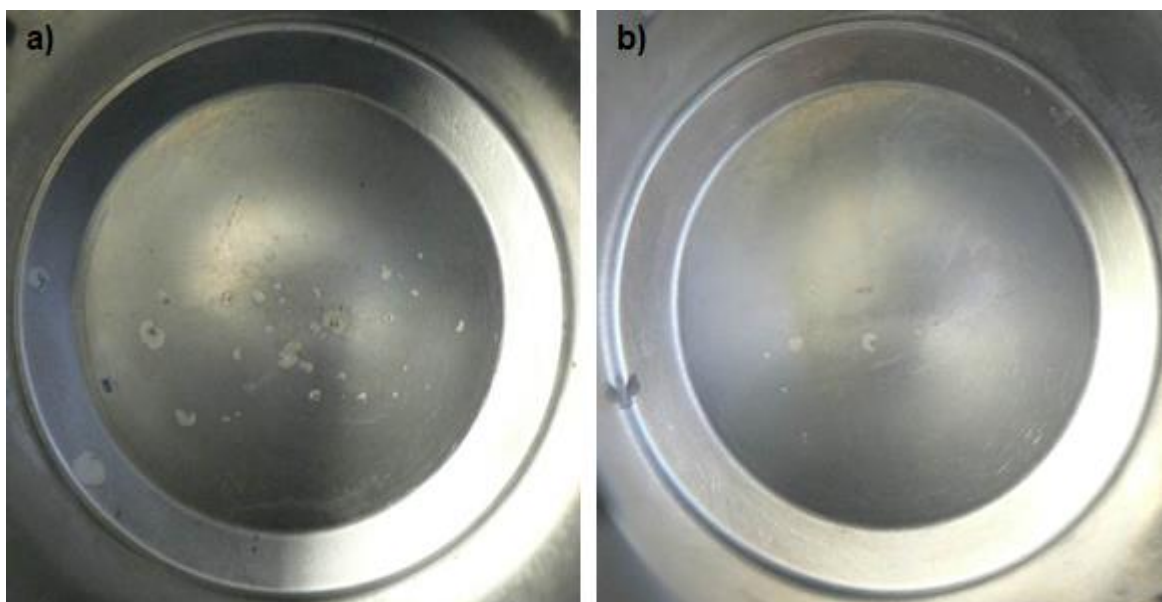
Po vzorkování číslo 4 byly detailněji analyzovány tři hlavní problémy, které jsou úzce propojeny a vzájemně se ovlivňují:

- Nalepování odlévané slitiny na čelo jádra horního tahače.
 - Způsobeno rychlostí a teplotou odlévaného kovu při plnění, společně s umístěním jádra proti vtokovému naříznutí.
 - Teplota čela jádra je po aplikaci postřiku 130 až 140 °C, což je vyhovující.
 - Chlazení vodní temperací (20 až 80 °C) situaci značně zlepšilo, ovšem problém zcela neodstranilo.
 - Přimazávání antiadhezní stříbrnou pastou bylo buď bez efektu, nebo bylo účinné po dobu maximálně tří lisovacích cyklů.
 - Postřík na tento nedostatek neměl žádný vliv.
 - Snížení rychlosti ve vtokovém naříznutí pomocí parametrů lití vzhledem ke stavu jádra bylo bez efektu na výslednou kvalitu.
 - Na tento problém výrazně navazuje problém s dolitím odlitku.
- Navařování vtokového naříznutí.
 - Nejzávažnější problém formy, úzce spojený s nalepováním kovu na jádro horního tahače.
 - Po navaření vtokového naříznutí dochází ke zmenšení průřezu, čímž se ještě více zvětšuje rychlost v naříznutí.
 - Bylo zjištěno, že k tomuto problému dochází po delší přestávce mezi jednotlivými lisovacími cykly.
- Problematické dolévání (především žeber), výskyt studených spojů.
 - Pro dolití odlitku je nutná lisovací rychlost v druhé fázi lisování vyšší než 3,5 m/s. Problémem je, že při této rychlosti dochází k silnému nalepování kovu na jádro horního tahače.
 - Je tedy možné získat buď odlitek kompletně dolitý, ale s nekvalitním povrchem spalovacího prostoru nebo odlitek s jakostním povrchem spalovacího prostoru, ale nedolitymi žebry.

Dále bylo zjištěno několik vedlejších nedostatků:

- Přetrvávající prosakování oleje mezi vložkami u rozdělovače v pohyblivé polovině formy. Kontrola před nasazením formy byla opomenuta.

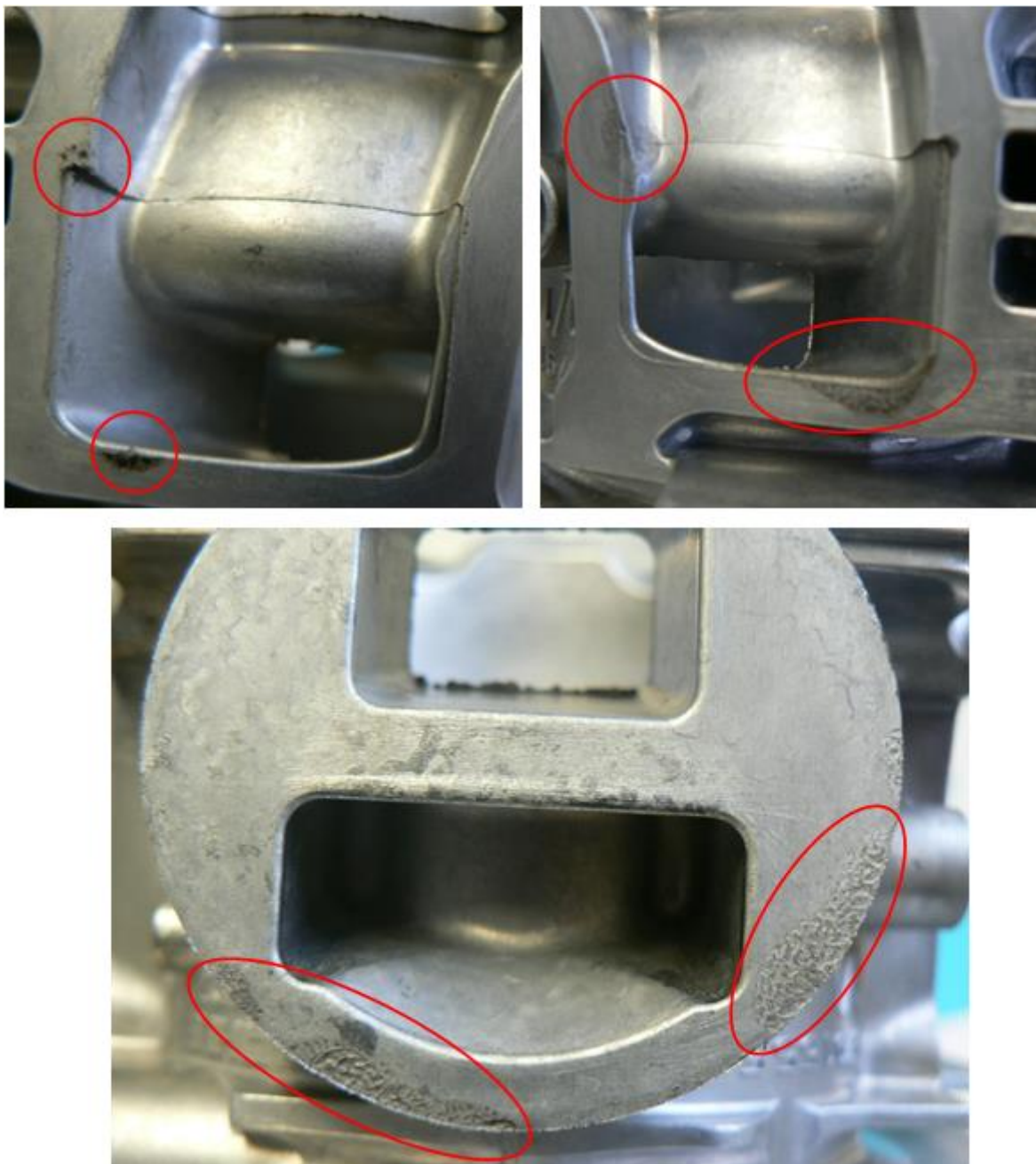
- Výskyt nečistot ve formě. Téměř na všech styčných plochách mezi tahačem a formou byly objeveny stopy zřejmě po mazací pastě použité při sestavování formy. Pokus o vyřešení vymytím formy.
- Ulpívající postřík ve formě. Značná členitost a složitost formy vede k zachycování postřikového média, které je velmi složité odstranit. Postřikové médium poté stéká do formy, což vede ke vzniku černých kusů a je nutný velmi dlouhý postřík, během kterého se v podstatě čeká na odpaření postříku.



Obr. 46 – Srovnání dosažené kvality spalovacího prostoru válce při rozdílném chlazení jádra horního tahače – a) bez vodní temperace, b) s vodní temperací 30 °C



Obr. 47 – Navařený vtokový zářez a nečistoty na povrchu odlitku



Obr. 48 – Nečistoty na povrchu odlitku

Navržená opatření

- Nalepování odlévané slitiny na čelo jádra horního tahače.
 - Jediným navrhovaným a neaplikovaným opatřením před vzorkováním číslo 4 je povlakování jádra velmi kvalitním PVD povlakem, který zajistí dobrý odvod tepla a značnou odolnost jádra proti mechanickému opotřebení.
- Navařování vtokového naříznutí.
 - Zvýšit počet rozběhových odlitků.

- Vzhledem k faktu, že kov během celé distribuce značně vychladne, zvýšit lící teplotu kovu na 730 °C.
 - Snížit rychlost ve vtokovém nařiznutí pomocí parametrů lití (zvýšení rizika nedolití).
 - Rozšíření vtokového nařiznutí (zvýšení potenciálního problému při ostřížení vtoku).
 - Aplikace povrchové úpravy vtokového nařiznutí.
- **Problematické dolévání (především žeber).**
- Nutné zvýšení lisovací rychlost v druhé fázi lisování na hodnotu vyšší než 3,5 m/s, ovšem s ohledem na stav zbývajících problémů, úzce spjatými s rychlostí lisování.
 - Zvýšení hodnoty dotlaku.
- Změna složení postřiku. Nutnost pravidelné údržby formy.
 - Změna složení postřiku, zvýšení tlaku vzduchu zajišťující rozprášení postřiku.

Výsledek vzorkování

Vzorkování číslo 4 lze považovat v dosavadním průběhu optimalizace výroby za nejúspěšnější. Kombinací přijatých opatření bylo možné odstranit některé z nedostatků, případně zmírnit jejich dopad na kvalitu odlitku. Výsledkem vzorkování byla také analýza hlavních problémů, které ovlivňují dosavadní vzorkování a nastíněna opatření pro finální řešení.

Dalším cílem vzorkování bylo ověřit funkčnost provedených úprav jádra horního tahače. Zde bylo možné pozorovat výrazné zlepšení, ovšem k úplnému odstranění nalepování kovu na jádro horního tahače úpravy nevedly. Potvrdil se také významný vliv temperace jádra na výslednou kvalitu povrchu spalovacího prostoru. Splněna byla také naplánovaná produkce 180 odlitků, společně s výběrem 100 odlitků určených pro zaslání k zákazníkovi.

10.5 Ověřovací série

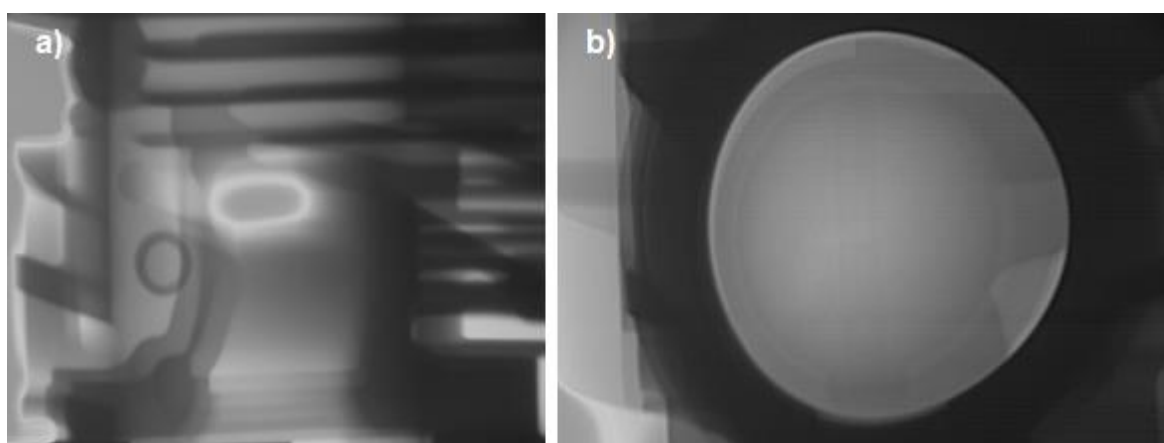
Po vzorkování číslo 4 bylo provedeno několik zásadních úprav, na základě kterých bylo po konzultaci se zákazníkem rozhodnuto provést již místo vzorkování ověřovací sérii. Ta na rozdíl od vzorkování sleduje výrobní proces a jeho kvalitu z dlouhodobějšího hlediska.

Vzhledem k analýze hlavních problémů ze vzorkování číslo 4 byl na nejvíce exponovaná místa formy (žebra) a především na jádra aplikován PVD povlak od firmy SHM. Použitý povlak ALWIN (CrAlSiN), který je speciálně modifikován pro tlakové lití, se aplikuje po ošetření základního materiálu adhezní vrstvou CrN. Povlakem byla na nejvíce zatížených místech formy vytvořena velice tvrdá, otěruvzdorná, chemicky a tepelně stabilní vrstva. Dále byla provedena úprava vtokového nařiznutí, které bylo rozšířeno o 1 mm. Jako opatření proti navařování vtokového nařiznutí byl přijat rozjezd formy se zvýšeným počtem rozběhových odlitků, společně se zvýšenou teplotou kovu při lití 730 °C. Problém s dolitím odlitku byl řešen zvýšením lisovací rychlosti v druhé fázi lisování na hodnotu 4,0 m/s a zvýšením hodnoty dotlaku na 800 bar. Výskyt nečistot a ulpívající postřik

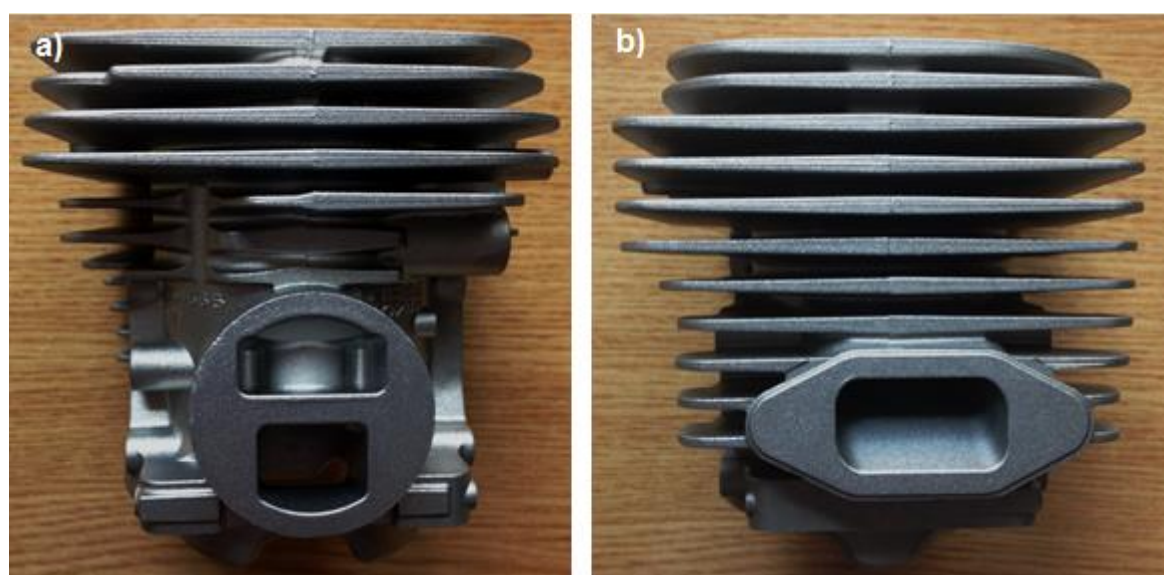
ve formě byl odstraněn změnou dělicího prostředku v postřiku. Bylo použito jemného, plně syntetického prostředku, přičemž byl zachován poměr jeden díl dělicího prostředku ku 100 dílům vody. Došlo také ke zvýšení tlaku vzduchu zajišťující rozprášení postřiku na 12 bar.

Cílem ověřovací série bylo ověřit funkčnost provedených úprav a celkovou funkčnost formy z dlouhodobého hlediska blížícího se sériové produkci. Naplánována byla výroba 4500 odlitků. Odběr odlitku byl po celou dobu produkce prováděn robotem, s již následným ostřihem.

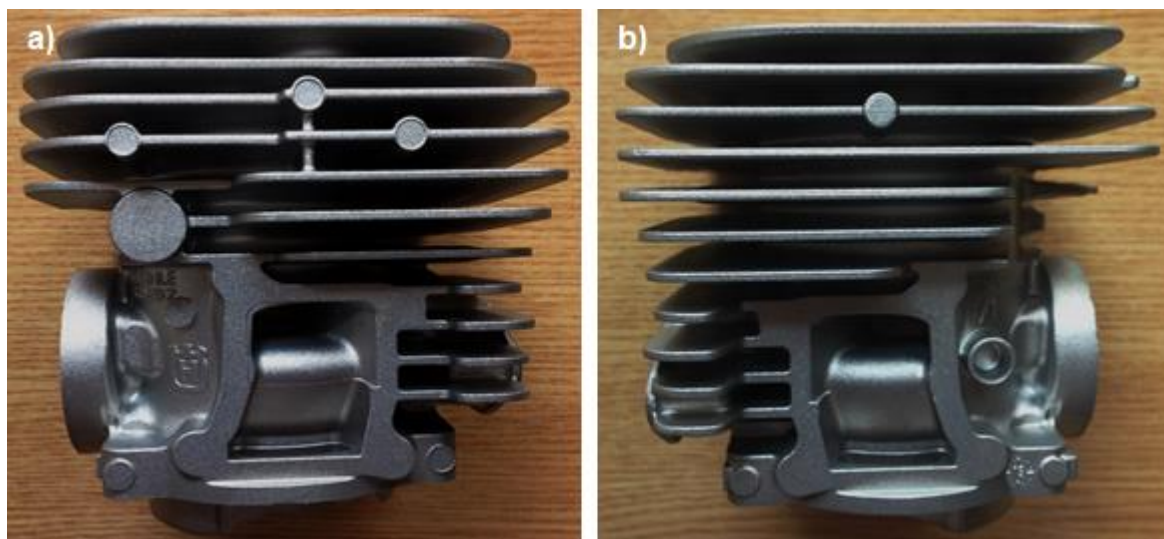
V průběhu produkce ověřovací série nebyly zaznamenány žádné významné vady či nedostatky, které se objevovaly v průběhu předchozích vzorkování. Nebyly objeveny ani nové nedostatky, které by významně ovlivňovaly kvalitu produkovaných odlitků. Po odlití naplánované série 4500 odlitků, byla ověřovací série ukončena.



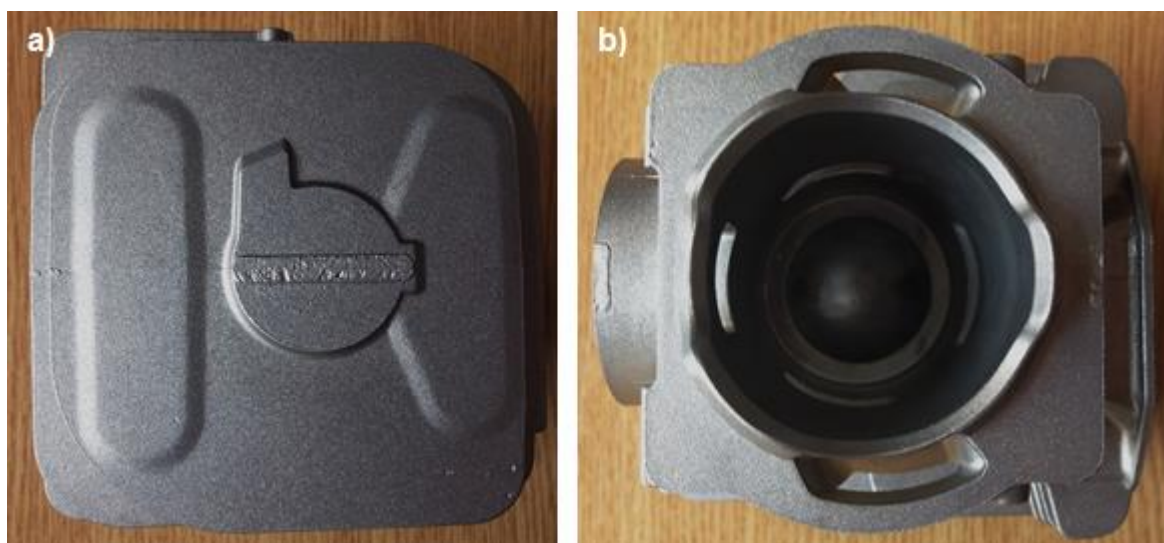
Obr. 49 – Rentgenové snímky odlitku z ověřovací série – a) Boční pohled, b) Oblast pod vnitřním kulovým spalovacím prostorem



Obr. 50 – Odlitek z ověřovací série po tryskání – a) Pohled zezadu, b) Pohled zepředu



Obr. 51 – Odlitek z ověřovací série po tryskání – a), b) Pohled z boku



Obr. 52 – Odlitek z ověřovací série po tryskání – a) Pohled shora, b) Pohled zespodu

Výsledek ověřovací série

Výsledek ověřovací série lze jednoznačně označit za úspěšný. Kombinací přijatých opatření se podařilo odstranit nedostatky ze vzorkování číslo 4, které negativně ovlivňovaly výslednou kvalitu odlitků. Za zásadní úpravu lze považovat aplikaci PVD povlaku na kritických místech formy, kde se při předchozích vzorkováních objevovalo navaření či nalepení hliníkové slitiny. Povlakem se docílilo požadované tepelné a chemické stabilizace, díky které se mohlo provést rozšíření vtokového naříznutí. Tím bylo možné odstranit drobné navařování vtokového naříznutí, zlepšit plnění odlitku a také zvýšit jeho vnitřní integritu. Navařování vtokového naříznutí se předešlo také zvýšeným počtem rozběhových odlitků během rozjezdu formy a zvýšením teplotou kovu při lití. Problém s dolitím odlitku byl vyřešen zvýšením lisovací rychlosti v druhé fázi lisování a zvýšením

hodnoty dotlaku na 800 bar. Zvýšením lisovací rychlosti v druhé fázi lisování již nepředstavovalo riziko především díky aplikaci povlaku a rozšíření vtokového nařiznutí.

V ověřovací sérii se podařilo dosáhnout požadovaného intervalu procenta neshodných výrobků 2-3 %. V porovnání s předchozími vzorkováními, kdy se procento neshodných výrobků pohybovalo v intervalu 7-15 %. Je tedy možné konstatovat, že kombinací přijatých opatření navržených analýzou vad a nedostatků po vzorkování číslo 4 se podařilo proces dostatečně optimalizovat a je tedy možné proces převést do sériové výroby.



Obr. 53 – Balení odlitků z ověřovací série

11 SROVNÁNÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE A VZORKOVÁNÍ

Před zahájením optimalizačního procesu pomocí jednotlivých vzorkování, byla vytvořena sada počítačových simulací v predikčním softwaru Magma, za účelem ověření správnosti konstrukce tlakové formy a predikci možných úskalí při převodu výroby do sériové produkce. Jednotlivé modely simulace byly vytvořeny na základě vstupních parametrů tak, aby predikovaly co nejvíce podmínky blížíící se sériové produkci. To znamená například použití lisovací rychlosti v druhé fázi lisování kolem hodnoty 4,0 m/s a hodnoty dotlaku přibližně 800 bar. V rámci sady simulací byly vytvořeny predikční modely sledující:

- teplotní pole při plnění dutiny formy,
- zbytky vzduchu při plnění dutiny formy,
- množství uzavřeného vzduchu,
- výsledný přetlak vzduchu v dutině formy po naplnění,
- rychlost plnění dutiny formy,
- trasování částic,
- teplotní pole při tuhnutí odlitku,
- dobu tuhnutí odlitku,
- výskyt staženin v odlitku.

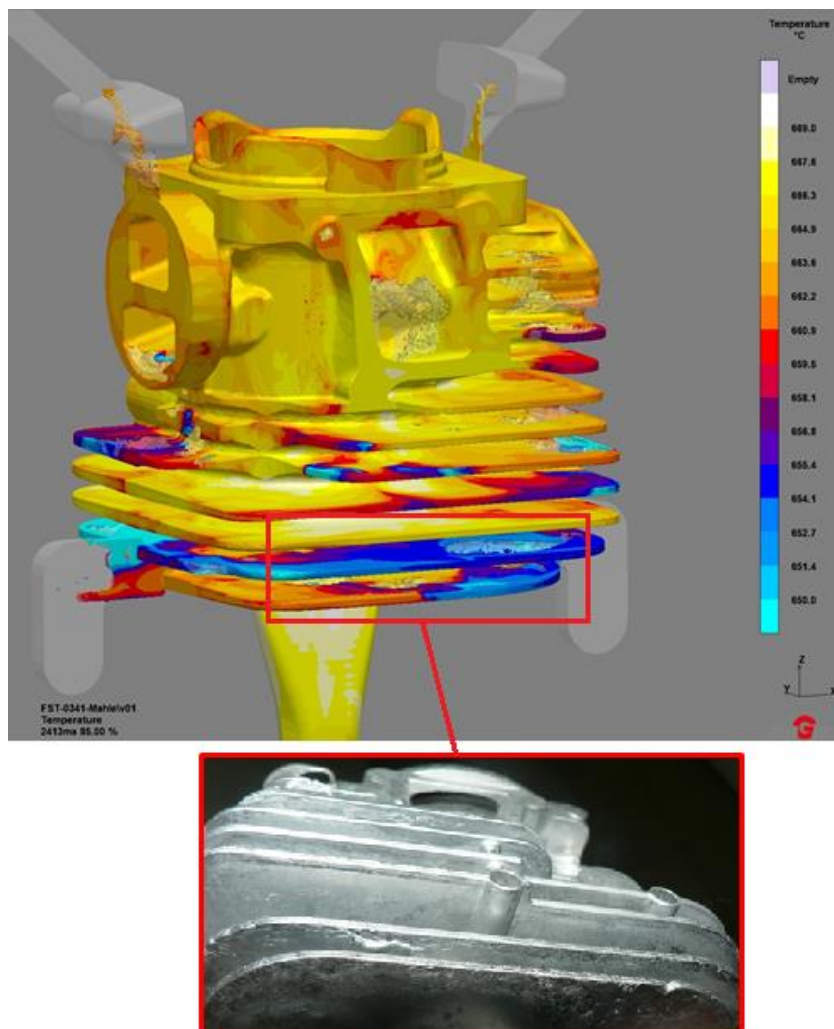
Níže jsou popsána vybraná srovnání počítačové simulace se skutečnými výsledky dosaženými při vzorkování:

Teplotní pole v dutině formy při plnění

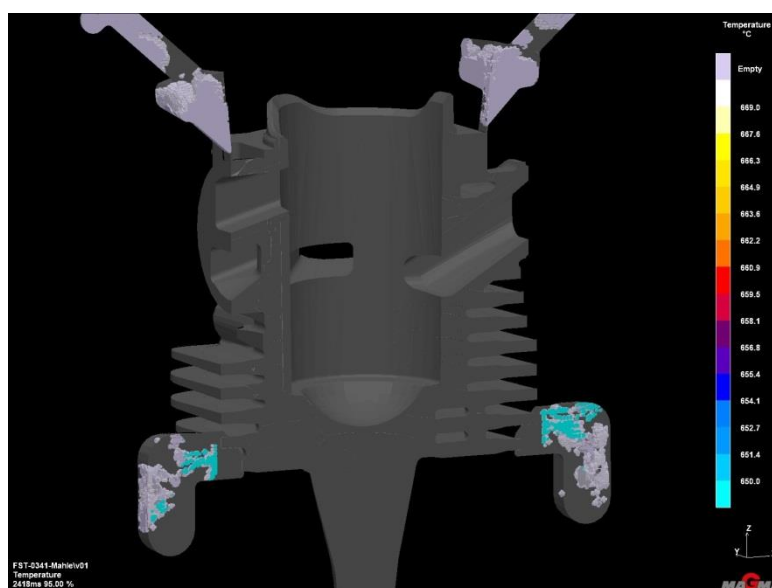
U tohoto modelu byly sledovány především oblasti odlitku, které se plní jako poslední a kde by mohlo dojít k problému s nedolítím. Simulace poukazovala na poslední plnění bočních částí odlitku, dvou horních žebér a také menších žebér ve spodní části odlitku. V průběhu reálného vzorkování se problém nedolítí zejména žebér objevil několikrát. Jednalo se o jeden z nejdůležitějších problémů, který se objevoval především v situacích, kdy byla snížena hodnota lisovací rychlosti v druhé fázi lisování, případně dotlaku. Nedolítí se pak vyskytovalo právě na místech označených simulací (viz obr. 54).

Zbytky vzduchu při plnění dutiny formy

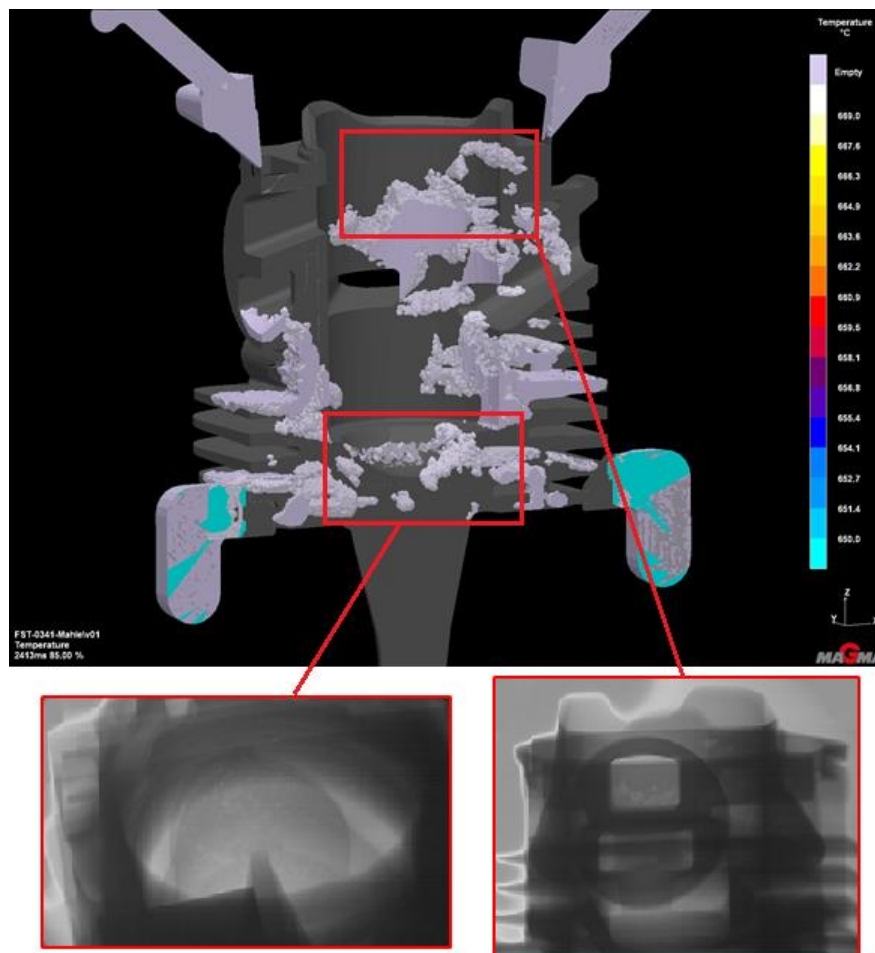
Tímto modelem bylo možné ověřit správnost navrženého odvzdušňovacího systému a určit místa s možným rizikem výskytu porozity z důvodu uzavřeného vzduchu v odlitku. Vzhledem k výsledkům ze simulace bylo možné konstatovat, že systém odvzdušnění byl navržen správně, protože poslední místa s uzavřeným vzduchem při 95% naplnění jsou v odvzdušňovacích jamkách a kanálech pro spojení s odvzdušňovací valchou (viz obr. 55). Jako oblasti s možným rizikem výskytu porozity byly na základě simulace označeny oblasti ve střední části odlitku kolem středového jádra a oblast za vtokovým naříznutím, nad kulovou částí spalovacího prostoru. To potvrzují také rentgenové snímky odlitků především z prvních vzorkování, kde v prostoru nad kulovou částí spalovacího prostoru lze sledovat výskyt porozity (viz obr. 56).



Obr. 54 – Teplotní pole v dutině formy při 85% naplnění a srovnání s nedolitím z reálného vzorkování



Obr. 55 – Zbytky vzduchu v dutině formy při 95% naplnění – svislý řez



Obr. 56 – Zbytky vzduchu v dutině formy při 85% naplnění a srovnání s výskytem porozity z reálného vzorkování – svislý řez

Rychlost plnění dutiny formy

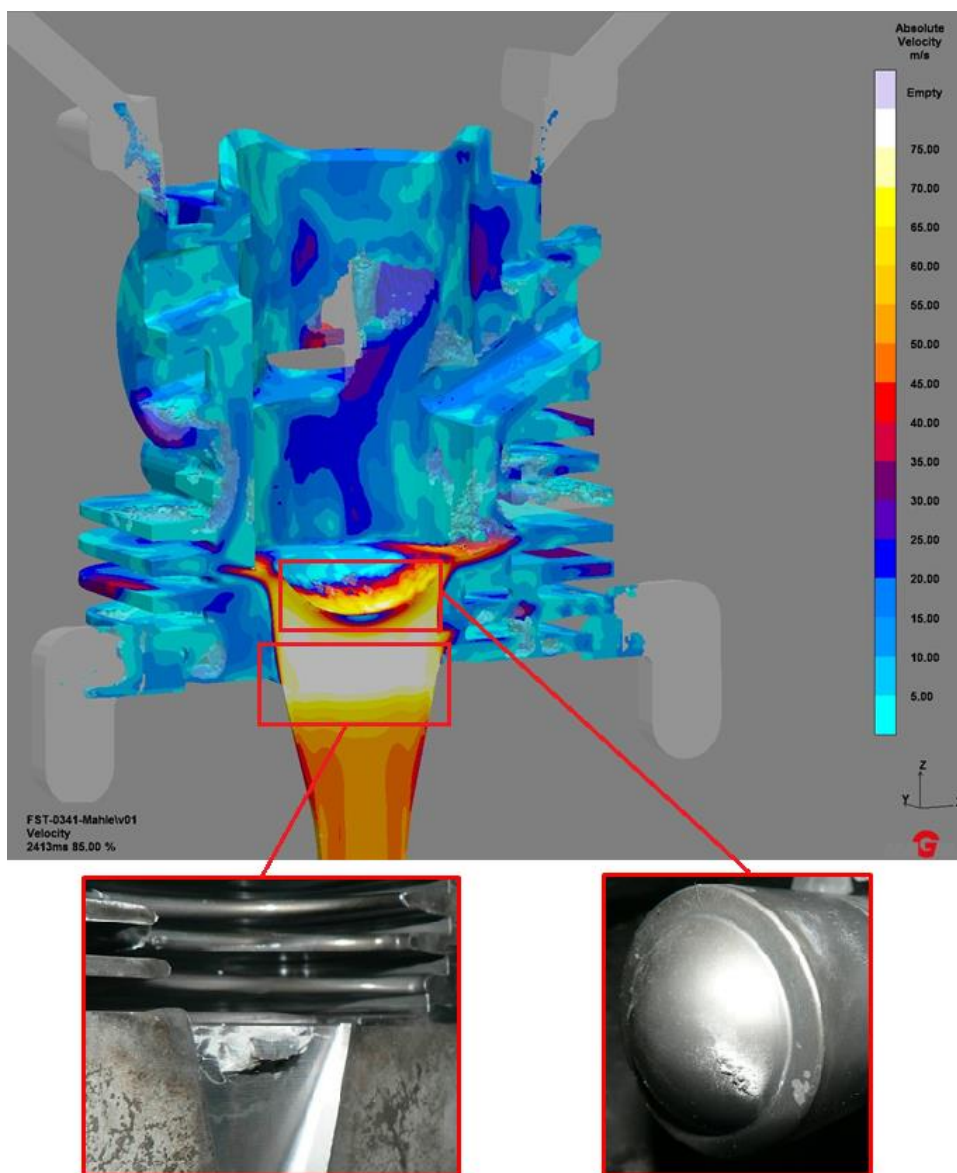
Model simulující rychlost plnění dutiny kovem významně poukázal na vysokou rychlost plnění, která v místě vtokového naříznutí dosahuje hodnoty až 75 m/s, což vede ke značnému erozivnímu opotřebení formy a také jádra horního tahače. Vysoká rychlost plnění také naznačovala riziko navařování a nalepování kovu, které se v reálných podmínkách v průběhu vzorkování skutečně objevilo (viz obr. 57).

Navařování vtokového naříznutí, které bylo úzce spojeno s nalepováním kovu na jádro horního tahače, bylo nejzávažnějším problémem formy v celém průběhu optimalizace. K řešení tohoto problému významně napomohla aplikace duplexního PVD povlaku na nejvíce exponovaná místa formy.

Teplotní pole při tuhnutí odlitku

U tohoto predikčního modelu bylo paralelně s modelem ukazující dobu tuhnutí odlitku sledováno teplotní pole odlitku po odlití, přičemž je pozorována především teplota v naříznutí z důvodu možnosti aplikace dotlaku. Ten je možné použít při teplotách vyšších 500 °C. Model teplotního pole také poukázal na místo, kde se vyskytl tepelný uzel, který chlazení zcela neeliminoválo (viz obr. 58). Tento problém se však v reálných podmínkách vzorkování neobjevil především z toho

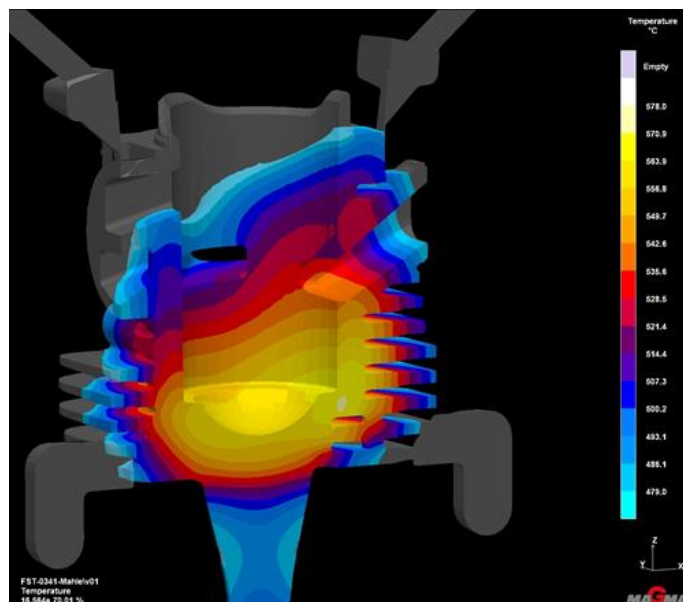
důvodu, že v průběhu optimalizačního procesu došlo ke změně způsobu chlazení jádra a tím potenciální riziko vzniku tepelného uzlu bylo odstraněno. Potvrdil se také masivní odvod tepla žebry odlitku.



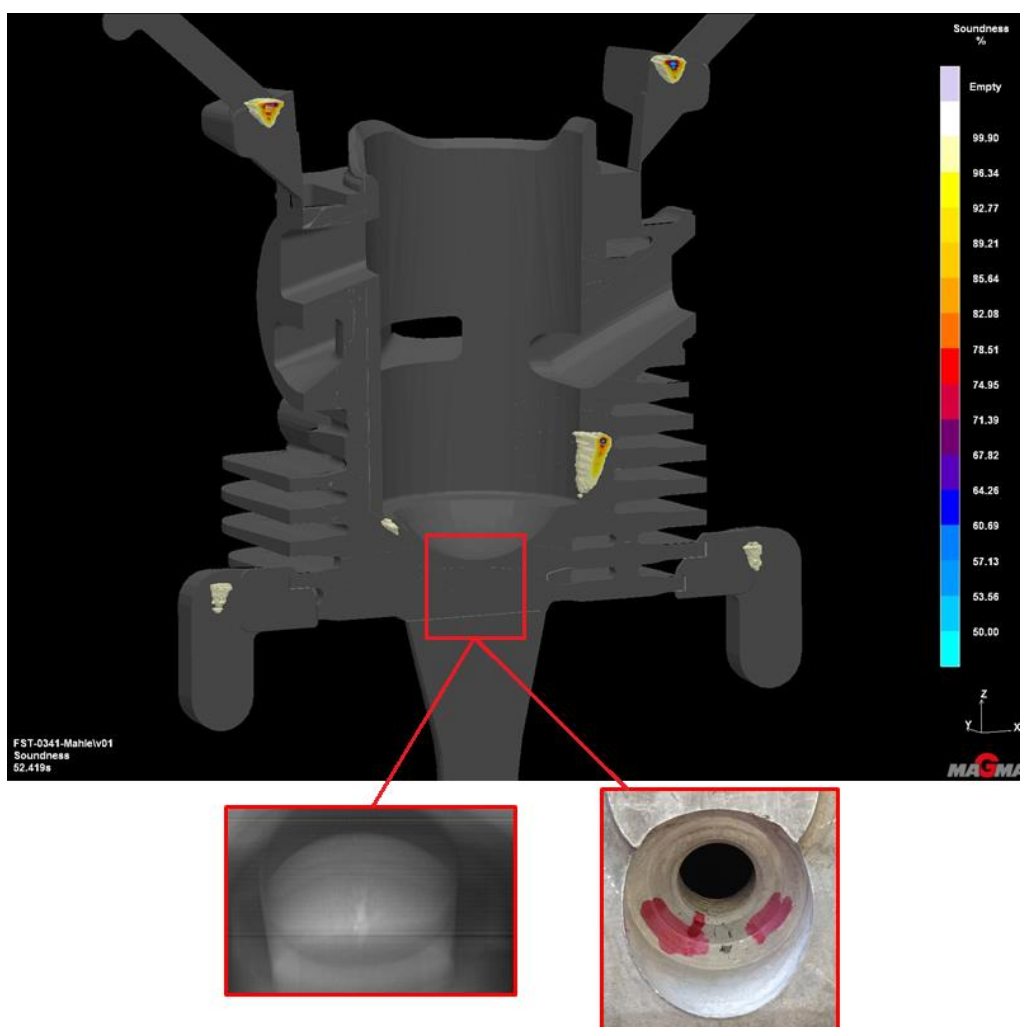
Obr. 57 – Rychlost plnění dutiny formy při 85% naplnění a srovnání s reálným vzorkováním – svislý řez

Výskyt staženin v odlitku

Model simulace zobrazující výskyt staženin v odlitku (dle kritéria „Soundness“) značně souvisí s modelem zobrazující teplotní pole při tuhnutí odlitku. Na základě již zmiňovaného tepelného uzlu byla predikována staženina v horní části odlitku (viz obr. 59). Naopak staženina objevená na rentgenových snímcích u odlitku pod vtokovým naříznutím z prvního vzorkování predikována nebyla. Zde je ovšem nutné podotknout, že licí parametry reálného vzorkování byly v porovnání s parametry použitými v simulaci do jisté míry odlišné.



Obr. 58 – Teplotní pole v průběhu tuhnutí odlitku zobrazující teplotní uzel – svislý řez



Obr. 59 – Výskyt staženin v odlitku a srovnání s reálným vzorkováním – svislý řez

12 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout opatření vedoucí k převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové produkce. Práce obsahuje popis výroby odlitků technologií vysokotlakého lití, teoretický rozbor jednotlivých faktorů, které ovlivňují výslednou kvalitu odlitků a praktický popis převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové výroby. V závěru práce je provedeno srovnání počítačové simulace vytvořené před začátkem vzorkování se skutečnými výsledky dosaženými při vzorkování za podmínek blížících se sériové produkci.

Převedení odlitku válce pro motorovou pilu do sériové výroby bylo provedeno na základě čtyř vzorkování, díky kterým bylo možné sledovat funkčnost tlakové licí formy v krátkém časovém intervalu (produkce cca 100 odlitků). U každého vzorkování byl popsán průběh, provedena analýza nedostatků a vad, které se objevily buď na odlitku, nebo na tlakové licí formě. V návaznosti na zjištěné nedostatky byl vždy vytvořen návrh opatření vedoucích k odstranění nebo minimalizaci jejich vzniku.

V průběhu vzorkování se objevily tři zásadní problémy: nalepování odlévané slitiny na čelo jádra horního tahače, navařování vtokového nařiznutí a problematické dolévání především žeber válce. Optimalizaci těchto tří nedostatků ztěžoval především fakt, že se jednotlivé problémy vzájemně ovlivňují. Při řešení tohoto komplexního problému byla zásadní aplikace duplexního PVD povlaku, vedoucí k výraznému zvýšení chemické a tepelné stability a snížení ulpívání kovu na kritických místech formy, především pak na jádře horního tahače. Na základě tohoto faktu bylo možné úpravou licích parametrů a pomocí několika dalších korekcí optimalizovat výrobu a odstranit zbylé nedostatky.

V závěrečné ověřovací sérii byly poté otestovány finální úpravy v delším časovém intervalu (produkce 4500 odlitků). V ověřovací sérii se podařilo dosáhnout také požadovaného intervalu procenta neshodných výrobků 2-3 %, což v porovnání s předchozími vzorkováními, kdy se procento neshodných výrobků pohybovalo v intervalu 7-15 % lze považovat za úspěch. Ověřovací série byla vyhodnocena jako úspěšná rovněž zákazníkem a bylo umožněno výrobu odlitku válce pro motorovou pilu převést do sériové produkce.

Prostor pro další optimalizaci ve výrobě odlitku válce je sledován především ve zlepšení kvality povrchu kulové části spalovacího prostoru. Výsledky této práce byly použity též u dalšího typu válce vyráběného firmou MOTOR JIKOV Slévárna a.s., což umožnilo plynulý převod do sériové produkce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VINARCIK, Edward J. *High integrity die casting processes*. New York: John Wiley, 2003, 223 s. ISBN 04-712-0131-6.
- [2] ASM INTERNATIONAL. *ASM Handbook: Volume 15 Casting*. 4th ed. Metals Park, Ohio: American Society for Metals, 1998. ISBN 0-87170-007-7.
- [3] ASM INTERNATIONAL. *Casting Design and Performance*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2009, 264 s. ISBN 978-087-1707-246.
- [4] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [5] VALECKÝ, Jindřich, Ladislav JENÍČEK, Václav OLIVERIUS, Josef ŠEBL a Stanislav VODIČKA. *Lití kovů pod tlakem*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [6] RAGAN, Emil, Stanislav FABIAN a Juraj RUŽBARSKÝ. *Liatie kovov pod tlakom*. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, 2007. ISBN 978-80-8073-979-9.
- [7] MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ a Rudolf KOŘENÝ. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 1 elektronický optický disk (CD-ROM). ISBN 80-890-4188-4.
- [8] NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. Praha: České vysoké učení technické, 2009, 217 s. ISBN 978-80-01-04395-0.
- [9] LAUKLI, Hans Ivar. *High Pressure Die Casting of Aluminium and Magnesium Alloys - Grain Structure and Segregation Characteristics* [online]. Trondheim, 2004 [cit. 2014-05-02]. ISBN 82-471-6323-3. Dostupné z: <http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:125090/FULLTEXT01.pdf>. PhD. Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
- [10] KOLMAČKA, Marek. *Technologie odlévání slitin hliníku - Kovolit*. 2012, 10 s.
- [11] CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. Brno: CERM, 2006, 256 s. ISBN 80-720-4456-7.
- [12] FABRIZI, Alberto, Stefano FERRARO a Giulio TIMELLI. The influence of Sr, Mg and Cu addition on the microstructural properties of a secondary AlSi9Cu3(Fe) die casting alloy. *Materials Characterization* [online]. 2013, vol. 85, č. 11, s. 13-25 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2013.08.012>

- [13] PANUŠKOVÁ, Marta, Eva TILLOVÁ a Mária CHALUPOVÁ. Relation between mechanical properties and microstructure of cast aluminum alloy AlSi9Cu3. *Strength of Materials* [online]. 2008, vol. 40, issue 1, s. 98-101 [cit. 2014-05-02]. DOI: 10.1007/s11223-008-0026-8. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11223-008-0026-8>
- [14] TILLOVÁ, Eva, Mária CHALUPOVÁ a Lenka HURTALOVÁ. Evolution of Phases in a Recycled Al-Si Cast Alloy During Solution Treatment. *Scanning Electron Microscopy* [online]. InTech, 2012-03-09 [cit. 2014-05-02]. DOI: 10.5772/34542. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/scanning-electron-microscopy/evolution-of-phases-in-a-recycled-al-si-cast-alloy-during-solution-treatment>
- [15] KRŇÁVEK, Václav a František STRÍTECKÝ. Konstrukce forem pro odlitky lité pod tlakem a její vliv na výskyt vad. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2007, roč. 55, č. 2-3, s. 81-86.
- [16] ŠUSTR, Jindřich. Formy pro tlakové lití. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, roč. 53, č. 2-3, s. 90-91.
- [17] MAŇAS, Stanislav. Historický přehled vývoje tlakových licích strojů. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 1996, roč. 44, č. 2, s. 122-128.
- [18] STRÍTECKÝ, František, Ivan SMUTNÝ. Co ukázal veletrh GIFA 99 v oblasti technologie a strojního vybavení pro lití pod tlakem do kokil. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 1999, roč. 47, č. 10, s. 539-544
- [19] ENGELHORN, Günter. Automatizovaný postřik forem. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. 56, č. 3-4, s. 147-148.
- [20] SKALICKÝ, Zdeněk. Formy pro tlakové lití. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. 56, č. 1-2, s. 27-28.
- [21] BOLIBRUCHOVÁ, Dana, Radoslav KANTORÍK a Martina PASTIRČÁKOVÁ. Chyby hliníkových odliatkov odlívaných metodou vysokotlakového odlievania. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. 56, č. 9-10, s. 422-426.
- [22] MALIK, Jozef a Jozef ŽARNOVSKÝ. Trvanlivosť formy pri liatí pod tlakom. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2009, roč. 57, č. 11-12, s. 424-425.
- [23] KLÍMA, Josef. Automatizovaná pracoviště tlakového lití. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2001, roč. 49, č. 5-6, s. 319-321.
- [24] KADLÁČEK, Václav a Jiří PTÁČEK. Tavení a rafinace hliníku. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, roč. 53, č. 2-3, s. 79-84.

- [25] RAGAN, Emil, Juraj RUŽBARSKÝ a Imrich ANDREJČÁK. Vývoj a perspektívy litia pod tlakom. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, roč. 53, č. 2-3, s. 84-87.
- [26] HÖÖK, Tuula. *CAE DS – Mould Design: HPDC runner and gating system design* [online]. Tampere, 2008, 18 s. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://webhotel2.tut.fi/projects/caeds/tekstit/mould/mould_HPDC_runner.pdf
- [27] PRÁŠIL, Tomáš. Válce pro motorové pily Husqvarna se nově odlévají v divizi Tlakové slévárny MOTOR JIKOV. *Monitor: Noviny skupiny Motor Jikov Group* [online]. 2012, roč. 16, č. 4, s. 4 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.motorjikov.com/wp-content/monitor/2012_4/monitor.html
- [28] Konstrukce formy pro tlakové lití. In: *ČVUT FS: Ústav strojírenské technologie* [online]. 2005 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/konstrukce_forem.pdf
- [29] Charakteristika slévárenských metod. In: *ČVUT FS: Ústav strojírenské technologie* [online]. 2005 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/NVPO/slev_prednasky.pdf
- [30] The Aluminium Automotive Manual: Manufacturing – Casting methods. In: *European Aluminium Association* [online]. 2012 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2012/01/AAM-Manufacturing-1-Casting-methods.pdf>
- [31] PVD povlak pro tlakové lití hliníku. In: *SHM: PVD povlaky pro výkonné nástroje* [online]. 2010 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.shm-cz.cz/wp-content/uploads/2013/02/Produktovy_list_Tlakove_liti_Al.pdf
- [32] PFO - cold chamber. In: *Colosio* [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.colosiopresse.it/eng/content/download/260/4287/file/COLOSIO%20tabella%20PFO%20web.pdf>
- [33] PFZ - hot chamber. In: *Colosio* [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.colosiopresse.it/eng/content/download/384/4687/file/COLOSIO%20tabella%20PFZ%20web.pdf>
- [34] KOPKA, Larry a Randy BEALS. Introduction to Die Casting. In: *CDA Extra Chrysler* [online]. 2012 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: https://cda.extra.chrysler.com/icon/psq/files/DIE_Cast_1.pdf
- [35] NOVÁKOVÁ, Iva. Výroba odlitků ze slitin hliníku. In: *Katedry strojírenské technologie TUL* [online]. 2010 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/MV-cv_3.pdf

- [36] NOVÁ, Iva a Jiří MACHUTA. Technologie I: Přednáška č. 7. In: *Technomat: Inovace studijních programů pro zvýšení konkurenceschopnosti technických oborů* [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.technomat.cz/data/katedry/ksp/KSP_TEI_PR_07_CZE_Nova_Machuta_Trvale_for_my,_technologie_vyroby_odlitku.pdf
- [37] BRYKSÍ, Vlastimil a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Studium mechanických vlastností odlitků litých technologií rheocasting*. 2013.
- [38] ROUČKA, Jaromír. *Intermetalické fáze a segregace prvků*. 2006.
- [39] ROUČKA, Jaromír. *Tavící pece*. 2006.
- [40] *Šachtové pece StrikoWestofen*. 2004.
- [41] Die Casting. *Custompart.net* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/die-casting>
- [42] Převodník materiálů: 1.2312 (40CrMnMoS8-6, 19 520+S). *Preciz, s.r.o.* [online]. © 2012 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2312>
- [43] Převodník materiálů: 1.2343 (X38CrMoV5-1, 19 552). *Preciz, s.r.o.* [online]. © 2012 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2343>
- [44] ENAC-AISi9Cu3(Fe) (ENAC-46000). *European Steel and Alloy Grades: Alloy standards* [online]. © 2011-2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1244
- [45] VOJTĚCH, Dalibor a Pavel NOVÁK. Fyzikální degradace materiálů. In: *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. 2007. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_5.pdf
- [46] Fotogalerie: MOTOR JIKOV Slévárna a.s. Divize Tlaková slévárna. *MOTOR JIKOV GROUP* [online]. © 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.motorjikov.com/media/fotogalerie/mjssl-divize-tlakova-slevarna/>
- [47] Products: Pressure Die Casting. *Fondarex: Swiss Vacuum Technology* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.fondarex.com/en/>
- [48] Products: CLIMAT Series PF-N. *IECI* [online]. © 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://en.iecionline.com/en/catalogue/product/climat-series-pf-n>
- [49] Products. *Wollin* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.wollin.de/w3.php?nodeId=114&lang=2>

- [50] Reis Robotics: Measurable Energy Savings in Die-Casting Automation. *Quality Digest* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.qualitydigest.com/inside/quality-insider-article/measurable-energy-savings-die-casting-automation.html>

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Počítačový model odlitku válce pro motorovou pilu
Obr. 2 Schéma metody Rheocasting a Thixocasting [37]
Obr. 3 První komerčně vyráběný stroj s teplou komorou firmou Soss Manufacturing [5]
Obr. 4 Odlitek válce motoru pro zahradní techniku [46]
Obr. 5 Odlitek snímače satelitního signálu [46]
Obr. 6 Fázový diagram systému Al–Si a charakteristiky mikrostruktur slitin s různým obsahem křemíku [7]
Obr. 7 Fázový diagram systému Al–Cu [7]
Obr. 8 Fázový diagram systému Al–Mg [7]
Obr. 9 Eutektická fáze mědi – a) snímek z elektronového mikroskopu [14], b) snímek z optického mikroskopu [38]
Obr. 10 Jehlicová fáze železa – a) snímek z elektronového mikroskopu [14], b) snímek z optického mikroskopu [38]
Obr. 11 Fáze typu „čínské písmo“ – a) snímek z elektronového mikroskopu [14], b) snímek z optického mikroskopu [38]
Obr. 12 Schéma stroje s teplou komorou [41]
Obr. 13 Schéma stroje se studenou komorou [41]
Obr. 14 Tlakový licí stroj Colosio PFO 560 ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s.
Obr. 15 Hlavní části tlakové formy [5]
Obr. 16 Vtokový systém formy [5]
Obr. 17 Odvzdušnění pomocí přetoků [26]
Obr. 18 Odsávaná valcha a vakuový ventil [47]
Obr. 19 Termoregulační zařízení pro temperaci tlakových forem od firmy IECI [48]
Obr. 20 Srovnání stavu jádra po 15000 odlitých kusech – a) Standartní úprava (nitridace), b) PVD povlak [31]
Obr. 21 Torzo odlitku s vtokovou soustavou
Obr. 22 Šachtová pec – a) Pec StrikoWestofen ve firmě MOTOR JIKOV a.s., b) Popis hlavních částí [40]
Obr. 23 Dávkovací pec – a) Pec ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a.s., b) Popis hlavních částí [39]
Obr. 24 Porovnání řízeného průběhu lisování s tradičním způsobem [15]
Obr. 25 a) Kombinace robotu a postřikovací hlavy, b) Dvousé ošetřovací zařízení [49]
Obr. 26 Robot obsluhující hranici lis [50]
Obr. 27 Žíhací pec pro tepelné zpracování režimu T5 ve firmě MOTOR JIKOV a.s.
Obr. 28 Savenův diagram [15]
Obr. 29 Vada nedolití a studený spoj [34]

- Obr. 30 a) Porozita a staženiny na tlakovém odlitku odkryté obráběním [34], b) Detailní snímek staženiny v kombinaci s bublinami [21], c) Mikrostruktura staženiny v kombinaci s porozitou a bublinami [21]
- Obr. 31 Mikrostruktura – a) Trhliny, b) V oblasti praskliny [21]
- Obr. 32 Graf lisování ze vzorkování č. 1
- Obr. 33 Zjištěné vady a nedostatky - a) Navařené nařiznutí do odvodušňovací jamky, b) Zlomený vyhazovač, c) Nerovnoměrné rozložení uzavírací síly, d) Podleštění žeber a jejich částečné nedolití
- Obr. 34 Odlitek, který uvízl v pohyblivé části formy
- Obr. 35 Vnitřní vady odlitku ze vzorkování č. 1 odhalené rentgenem – a) Staženina pod vtokovým nařiznutím, b) Porozita v oblasti nad vnitřním kulovým spalovacím prostorem, c) Porozita ve spodní části odlitku
- Obr. 36 Graf lisování ze vzorkování č. 2
- Obr. 37 Úpravy provedené pracovníky slévárny u nařiznutí vedoucích do odvodušňovacích jamek napojených na valchu
- Obr. 38 Odlitek, který uvízl v pohyblivé části formy
- Obr. 39 Navařené nařiznutí do odvodušňovací jamky a ulomené žebro v pevné části formy
- Obr. 40 Graf lisování ze vzorkování č. 3
- Obr. 41 Prosakování oleje v pohyblivé polovině formy
- Obr. 42 Rozlomení v místě napojení na odvodušňovací valchu
- Obr. 43 Zaseklý tahač horního jádra
- Obr. 44 Srovnání dosažené kvality spalovacího prostoru válce při rozdílných lisovacích rychlostech v druhé fázi lisování – a) 2 m/s, b) 3 m/s, c) 3,5 m/s
- Obr. 45 Srovnání dosažené kvality žeber válce při rozdílných lisovacích rychlostech v druhé fázi lisování – a) 2 m/s, b) 3 m/s, c) 3,5 m/s
- Obr. 46 Srovnání dosažené kvality spalovacího prostoru válce při rozdílném chlazení jádra horního tahače – a) bez vodní teploty, b) s vodní teplotou 30 °C
- Obr. 47 Navařené vtokové zářez a nečistoty na povrchu odlitku
- Obr. 48 Nečistoty na povrchu odlitku
- Obr. 49 Rentgenové snímky odlitku z ověřovací série – a) Boční pohled, b) Oblast pod vnitřním kulovým spalovacím prostorem
- Obr. 50 Odlitek z ověřovací série po tryskání – a) Pohled zezadu, b) Pohled zepředu
- Obr. 51 Odlitek z ověřovací série po tryskání – a), b) Pohled z boku
- Obr. 52 Odlitek z ověřovací série po tryskání – a) Pohled shora, b) Pohled zespodu
- Obr. 53 Balení odlitků z ověřovací série
- Obr. 54 Teplotní pole v dutině formy při 85% naplnění a srovnání s nedolitím z reálného vzorkování
- Obr. 55 Zbytky vzduchu v dutině formy při 95% naplnění – svislý řez
- Obr. 56 Zbytky vzduchu v dutině formy při 85% naplnění a srovnání s výskytem porozity z reálného vzorkování – svislý řez

- Obr. 57 Rychlost plnění dutiny formy při 85% naplnění a srovnání s reálným vzorkováním – svislý řez
- Obr. 58 Teplotní pole v průběhu tuhnutí odlitku zobrazující teplotní uzel – svislý řez
- Obr. 59 Výskyt staženin v odlitku a srovnání s reálným vzorkováním – svislý řez

SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1 Závislost trvanlivosti formy při lití pod tlakem na teplotě lití [22]
- Graf 2 Graf lisování [10]

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 Srovnání tlakového lití s dalšími technologiemi odlévání [29], [30]
- Tab. 2 Chemická složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) dle EN 1706:2010 [44]
- Tab. 3 Mechanické, technologické a fyzikální vlastnosti slitiny AlSi9Cu3(Fe) [44], [45]
- Tab. 4 Hlavní technická data vybraných strojů [32, 33]
- Tab. 5 Hlavní technická data stroje Colosio PFO 560
- Tab. 6 Hlavní technická data formy odlitku válce pro motorovou pilu
- Tab. 7 Vliv parametrů formy, licího stroje a slitiny na vady odlitků [15]
- Tab. 8 Navržené parametry testu plnění pro vzorkování č. 1
- Tab. 9 Navržené parametry testu plnění pro vzorkování č. 2
- Tab. 10 Navržené parametry testu plnění pro vzorkování č. 4

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres válce pro motorovou pilu