

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3911T016 Katedra materiálu a strojírenské
metalurgie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technologie lití nízkotlakých odlitků a optimalizace výrobního procesu

Autor: **Bc. Tomáš Růžička**
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Hála, CSc.**

Akademický rok 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš RŮŽIČKA**
Osobní číslo: **S15N0108P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**
Název tématu: **Technologie lití nízkotlakých odlitků a optimalizace výrobního procesu**
Zadávající katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Osnova diplomové práce:

1. Teoretická část
 - a) Postup řešení
 - b) Skříň kompresoru pro plnicí stanici CNG
 - c) Hliníkové slitiny a jejich dělení
 - d) Technologické vlastnosti slévárenských slitin
 - e) Legující prvky hliníkových slitin
 - f) Krystalizace hliníkových slitin
 - g) Technologie nízkotlakého lití
 - h) Výhody a nevýhody nízkotlakého lití proti ostatním druhům lití
 - i) Vady odlitků litých při NT
2. Praktická část
 - a) Výroba tekutého kovu
 - b) Vady zkušebních kusů
 - c) Možnosti nápravy a opatření

Rozsah grafických prací: fotodokumentace, obrázky

Rozsah kvalifikační práce: 50 - 70 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

MICHNA, Štefan, LUKÁČ, Ivan, OČENÁŠEK, Vladivoj a kol., *Encyklopedie hliníku Děčín: Alcan Děčín Extrusions*, 2005, 721 stran, ISBN 80-890-4188-4.

ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin., 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 stran, ISBN 80-214-2790-6*

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Hála, CSc.

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant diplomové práce: Ing. Radek Hrabánek

MOTOR JIKOV strojírenská a.s.

Ostatní konzultanti: Ing. Pavel Štipl

MOTOR JIKOV strojírenská a.s.

Datum zadání diplomové práce: 19. září 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 2. června 2017



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Hálovi, CSc. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále děkuji konzultantovi a zaměstnancům společnosti MOTOR JIKOV Slévárna, a. s. Petru Nováčkovi, DiS a seřizovači nízkotlaké slévárny Radku Harsovi za poskytnuté informace, ochotu a věnovaný čas.

Současně bych rád poděkoval všem pracovníkům Západočeské univerzity v Plzni, kteří se na mém vysokoškolském vzdělání podíleli.

Tato diplomová práce byla realizována na základě řešení studentského projektu SGS-2016-036 „Analýza, vývoj a modifikace strojírenské technologie v oblasti objemového zpracování moderních materiálů, využívaných v oblasti energetických strojů, dopravních prostředků a souvisejících strojírenských aplikací“.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Růžička	Jméno Tomáš		
STUDIJNÍ OBOR	3911T016 „Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Hála, CSc.	Jméno Miroslav		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KMM			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Technologie lití nízkotlakých odlitků a optimalizace výrobního procesu			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	78	TEXTOVÁ ČÁST	68	GRAFICKÁ ČÁST	-
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Hlavním úkolem této diplomové práce bylo navrhnout opatření vedoucí k převedení odlitku skříně kompresoru pro plnicí stanici CNG do sériové produkce ve společnosti MOTOR JIKOV Slévárna a. s., divize Tlaková slévárna. Tento dílec je vyráběn technologií nízkotlakého lití. Jsou řešeny podmínky lití tak, aby nedocházelo k výrobním vadám typu nedolití, staženin, ředin, porozity, trhlin, prasklin, apod.</p> <p>Součástí práce je řešení provedení formy, metalurgie tekutého kovu včetně složení vsázky a optimalizace výroby odlitku pomocí vzorkování.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>MOTOR JIKOV, slévání, hliník, hliníková slitina, skřín kompresoru, CNG, vlastnosti, prvek, vady, technologie, nízkotlaké lití, LPM II BPS 800 SX, pec, forma, simulace, podmínky lití, nástřiky formy, spektrální analýza, vsázka, Dichte Index, zálitky, vzorkování, teplota</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Růžička	Name Tomáš	
FIELD OF STUDY	3911T016 „Materials Engineering and Engineering Metallurgy“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Hála, CSc.	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The technology of casting low-pressure castings and optimization of the production process		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KMM	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	78	TEXT PART	68	GRAPHICAL PART	-
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The main task of this diploma thesis was to propose measures leading to the conversion casting of the compressor housing for the CNG filling station into series production at the company MOTOR JIKOV Slévárna a. s., division Pressure foundry. This part is produced by low-pressure casting technology. The casting conditions are solved so as to avoid production defects such as dents, stagnation, dross, porosity, cracks, gaps, and so on.</p> <p>Part of the thesis is dealing with mold design, metallurgy of liquid metal including composition of batch and optimization of casting production by sampling.</p>
KEY WORDS	<p>MOTOR JIKOV, casting, aluminum, aluminum alloy, compressor housing, CNG, properties, element, defects, technology, low pressure casting, LPM II BPS 800 SX, furnace, mold, simulation, casting conditions, mold spraying, spectral analysis, batch, Dichte Index, bridges, sampling, temperature</p>

Seznam symbolů a zkratk

CNG	Stlačený zemní plyn	
$R_{p0,2}$	Smluvní mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
HB	Tvrдость dle Brinella	[HB]
HRC	Tvrдость dle Rockwella (C)	[HRC]
σ_c	Mez únavy materiálu	[MPa]
p	Potřebný lící tlak	[MPa]
H	Potřebné zvýšení hladiny	[m]
ρ	Hustota	[kg m ⁻³]
DI	Stupeň naplynění taveniny „Dichte Index“	[%]
NRC	New Rheo Casting	
VRC	Vakuum Riserless Casting	
PRC	Pressure Riserless Casting	

Obsah

1	Úvod	4
1.1	Téma diplomové práce	4
1.2	Postup řešení diplomové práce	4
2	Skříň kompresoru pro plnicí stanici CNG	5
2.1	Základní informace o dílci	5
2.2	Funkce kompresoru pro plnicí stanici CNG	5
3	Hliníkové slitiny	7
3.1	Technologické vlastnosti slévarenských slitin	10
3.2	Legující prvky hliníkových slitin	12
3.3	Vliv hliníkových slitin na výslednou kvalitu odlitku	15
3.4	Požadavky kladené na hliníkové slitiny	16
3.5	Krystalizace hliníkových slitin	16
4	Technologie nízkotlakého lití	19
4.1	Popis technologie nízkotlakého lití	19
4.2	Výhody a nevýhody nízkotlakého lití proti ostatním druhům lití	20
4.3	Typy vad odlitků litých nízkotlakým způsobem	21
5	Nízkotlaká lící zařízení	27
5.1	Možnosti lití	27
5.2	Analýza lícího zařízení vyrábějící odlitek pro skříň CNG	28
5.2.1	Udržovací pec	29
5.2.2	Pneumatické zařízení	30
5.2.3	Hydraulické a centrální zařízení	30
5.3	Tavicí pec	31
6	Forma pro nízkotlaké lití	32
6.1	Konstrukce formy	32
6.1.1	Materiál formy	32
6.1.2	Řešení spodní poloviny formy	33
6.1.3	Řešení horní poloviny formy	33
6.1.4	Řešení vtokové soustavy	34
6.1.5	Řešení výfukové soustavy	36
6.2	Chlazení, temperování forem	36
6.3	Nástřiky forem	37
7	Volba a analýza hliníkové slitiny pro skříň CNG	39

7.1	Spektrální analýza.....	39
7.2	Vlastnosti zvolené slitiny	40
8	Vlastní vsázka skříně CNG a její úpravy	42
8.1	Zakládání	42
8.2	Rafinace	43
8.3	Odplynění	43
8.4	Naplynění.....	45
8.5	Očkování.....	46
8.6	Modifikace	46
8.7	Dolegování.....	46
8.8	Kontrola kvality.....	47
9	Zálitky	48
10	Převedení odlitku skříně CNG do sériové výroby	49
10.1	Vzorkování č. 1	49
10.2	Vzorkování č. 2	51
10.3	Vzorkování č. 3	51
10.4	Vzorkování č. 4	51
10.5	Vzorkování č. 5	52
10.6	Vzorkování č. 6	53
10.7	Vzorkování č. 7	54
10.8	Vzorkování č. 8	56
10.9	Vzorkování č. 9	57
10.10	Vzorkování č. 10	59
10.11	Vzorkování č. 11	61
11	Diskuze výsledků a jejich vyhodnocení.....	64
12	Závěr	67
	Použitá literatura	68
	Seznam obrázků	69
	Seznam tabulek.....	71

1 Úvod

1.1 Téma diplomové práce

Hlavním úkolem této diplomové práce je navrhnout opatření vedoucí k převedení odlitku skříně kompresoru pro plnicí stanici CNG do sériové produkce. Tento dílec bude vyráběn technologií nízkotlakého lití. Budou řešeny podmínky lití tak, aby nedocházelo k výrobním vadám typu nedolití, staženin, ředin, porozity, trhlin, prasklin, apod.

Práce zahrnuje dvě části: teoretickou a praktickou. Teoretická část obsahuje shrnutí důležitých poznatků obecně o hliníku a hliníkových slitinách, o použité metodě nízkotlakého lití a licích zařízeních. V praktické části je řešeno provedení formy, metalurgie tekutého kovu včetně složení vsázky a optimalizace výroby odlitku pomocí vzorkování.

Zadávací společností je MOTOR JIKOV Slévárna a. s., divize Tlaková slévárna, se sídlem v Českých Budějovicích.

1.2 Postup řešení diplomové práce

Postup řešení je rozdělen do dvou částí, kdy v první z nich bylo pohlíženo na teoretickou stránku věci a shromažďování dostupných a relevantních informací o hliníkových slitinách a technologii nízkotlakého lití včetně licích zařízení.

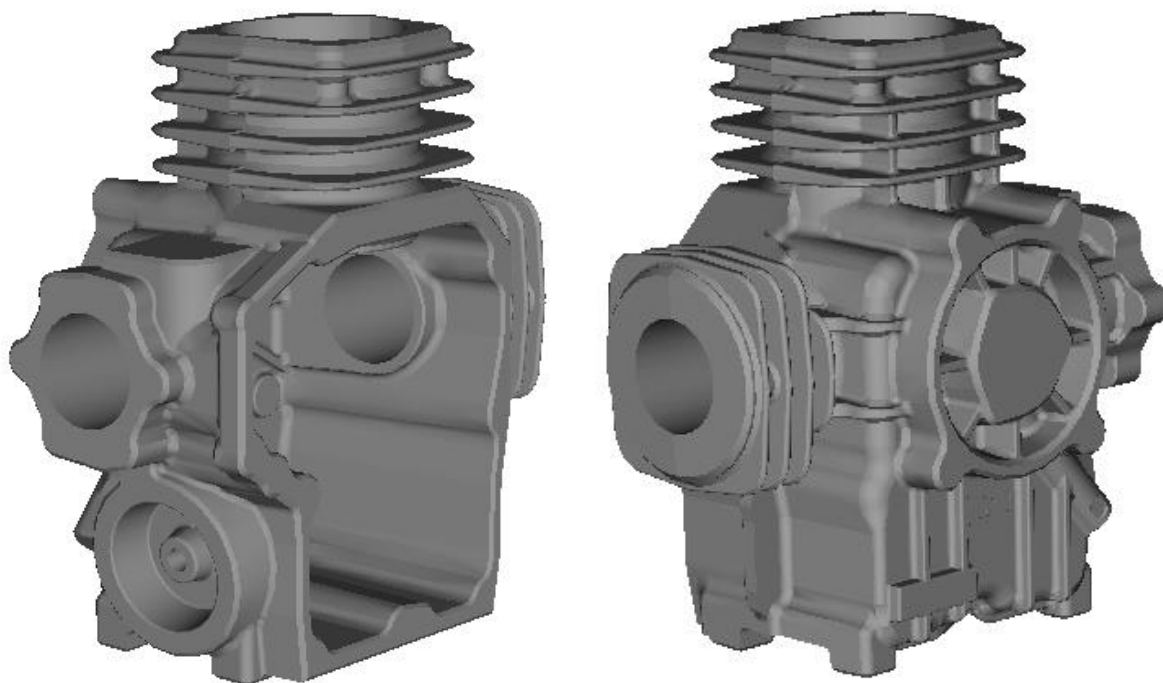
V druhé části se již zabývá samotnou optimalizací výrobního procesu. Problematika optimalizace výroby je řešena pomocí vzorkování. Součástí každého vzorkování je analýza a návrh opatření vedoucích k odstranění nebo minimalizaci vzniku nedostatků a vad, které se v průběhu vzorkování objevují. Na základě tohoto postupu by mělo dojít k úspěšné optimalizaci výrobního procesu a převedení odlitku do sériové produkce.

2 Skříň kompresoru pro plnicí stanici CNG

2.1 Základní informace o dílci

Dílec, který je hlavním předmětem této diplomové práce, je skříň kompresoru pro plnicí stanici CNG. Ten byl již dříve vyráběn ve firmě Beneš a Lát a. s., kde se nepodařilo zamezit prosakování pracovního média z pracovního prostoru skříně, kvůli vysoké porozitě dílce. V rámci této práce, by měl být dílec převeden do sériové produkce, již bez funkčních vad.

Na Obr. 1 se nachází 3D model skříně kompresoru, který je vytvořen dle konstrukčního návrhu zákazníka, jímž je MOTOR JIKOV Strojírenská a. s., Soběslav. Je doplněn veškerými technologickými úkoly a přídatky. Takto by měl vypadat odlitek po apretaci, který je v tomto případě ideální bez vad. V další fázi výroby dojde k třískovému obrobení funkčních ploch a tvarů, ale to již není předmětem této diplomové práce.



Obr. 1 – Skříň kompresoru – pohled z vně a do pracovního prostoru skříně kompresoru (1:5).

2.2 Funkce kompresoru pro plnicí stanici CNG

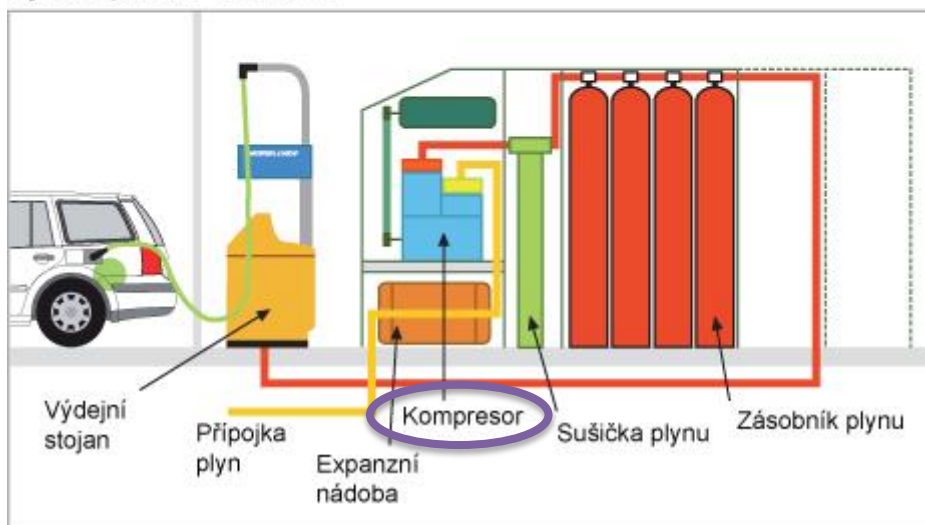
Hlavním úkolem kompresoru plnicí stanice CNG je koncentrovat energii stlačením plynu do tlakových lahví, což je nezbytné pro maximální dojezd vozidel na CNG. Existují dva typy plnění. Pomalé a rychlé, tato práce se zabývá skříní pro rychlé plnění (Obr. 2).

Kompresor stlačuje zemní plyn do vzájemně propojených tlakových nádrží (tzv. Rychlé plnění), ve kterých je skladován. K vlastnímu plnění vozu dochází prostřednictvím výdejního stojanu nebo zařízení přepouštěním stlačeného plynu z tlakového zásobníku do tlakových lahví ve vozidle. Plnění trvá v řádu několika minut. Z hlediska uživatele je plně srovnatelné s tankováním tradičních paliv u čerpacích stanic s benzínem nebo naftou. Kompresory stlačují plyn do tlakových zásobníků před dobou čerpání tak, aby zásobníky byly stále plné a k dispozici pro plnění. Tento režim je využíván u veřejných CNG plnicích stanic a

jeho nevýhodou je vyšší investiční náročnost. Výkon těchto stanic je zpravidla vyšší než 20 m³/hod. [6]



Rychlé plnění – schéma



Obr. 2 – Schéma plnicí stanice CNG. [6]

V současné době je českým motoristům k dispozici přibližně 50 plnicích stanic a jejich počet neustále přibývá. Právě náročnější skladování CNG a vyšší pořizovací náklady při výstavbě plnicích stanic jsou důvodem toho, že vozidla na CNG zatím využívají spíše flotily s místní působností, např. provozovatelé místní hromadné dopravy. Výrazný nástup vozidel s CNG chystá např. Česká pošta, a. s. [6]

3 Hliníkové slitiny

Pro konstrukční účely jsou vlastnosti čistého hliníku nevyhovující. Z tohoto důvodu se k veškeré produkci používají slitiny hliníku s dalšími prvky. Přísadové prvky zvyšují mechanické a zlepšují technologické vlastnosti. Konečné vlastnosti dané slitiny jsou vyústěním množství a vzájemnou kombinací přísadových prvků. [2]

Hliník a jeho slitiny jsou v současné době nejvíce používány jako konstrukční materiál pro stavbu letadel a automobilů. Druhým největším odběratelem hliníku je stavební průmysl. V roce 2010 se celosvětová výroba primárního hliníku pohybovala okolo 24,290 milionů tun. Dnešní trendy vedou k recyklaci hliníku. Podíl recyklovaného hliníku vzrostl z 26,1 % v roce 2000 na 40,6 % v roce 2008. Pro získávání levnějšího hliníku je nutné, aby se stále zvyšoval podíl recyklovaného hliníku a to z důvodu energetické úspory. Pro výrobu jedné tuny hliníku pomocí elektrolýzy je spotřeba energie cca 15 MWh. Otázkou je, jak se bude vyvíjet spotřeba a tím i výroba hliníku v blízké budoucnosti. Předpokládá se, že v roce 2020 bude nárůst poptávky po hliníku cca o 12 % v porovnání s rokem 2010. [4]

Chemické složení slitin hliníku

Slitiny obsahují:

- a) základní prvek,
 - b) hlavní přísadový prvek,
 - c) vedlejší přísadové prvky,
 - d) doprovodné prvky.
- a) **Základní prvek** – určuje druh slitiny a má v ní největší zastoupení – v tomto případě je základním prvkem hliník. [2]
 - b) **Hlavní přísadové prvky** jsou takové prvky, které jsou pro určení vlastností slitiny rozhodující. Hlavní přísadové prvky spolu se základními prvky vymezují typ slitiny. Jejich obsah obvykle bývá po základním prvku druhý nejvyšší. Hlavními přísadovými prvky ve slévárenských slitinách hliníku jsou křemík, měď a hořčík, spíše výjimečně také zinek nebo mangan. Podle nich se slitiny hliníku dělí na základní typy s obvyklými názvy:
 - slitiny Al-Si – siluminy,
 - slitiny Al-Cu – duralaluminium,
 - slitiny Al-Mg – hydronalium. [2]
 - c) **Vedlejší přísadové prvky** jsou takové chemické elementy, které příznivě ovlivňují některé vlastnosti daného typu slitiny – např. zvyšují mechanické vlastnosti, zlepšují obrobiteľnosť, ovlivňují strukturu kovu, jsou důležité z hlediska tepelného zpracování, nebo kompenzují nepříznivý účinek některých doprovodných prvků. Obsah vedlejších přísadových prvků je obvykle nižší, než obsah hlavního přísadového prvku. Vedlejších prvků může být ve slitině současně několik. Prvek, který nejvýznamněji ovlivňuje slitiny určitého typu, rozděluje slitiny do skupin, např. u siluminů to mohou být skupiny Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, apod. [2]
 - d) **Doprovodné prvky**, takto se označují takové prvky, které nebyly do slitiny přidávány záměrně. Při překročení určité koncentrace obvykle zhoršují mechanické, chemické nebo technologické vlastnosti slitiny a jsou pak považovány za nečistoty. Působí tak, že buď nepříznivě ovlivňují vlastnosti základního kovu, v němž jsou rozpuštěny, nebo tvoří vlastní fáze, které mají negativní vliv na vlastnosti slitiny. Obsah doprovodných prvků bývá limitován jejich maximálně přípustným obsahem. [2]

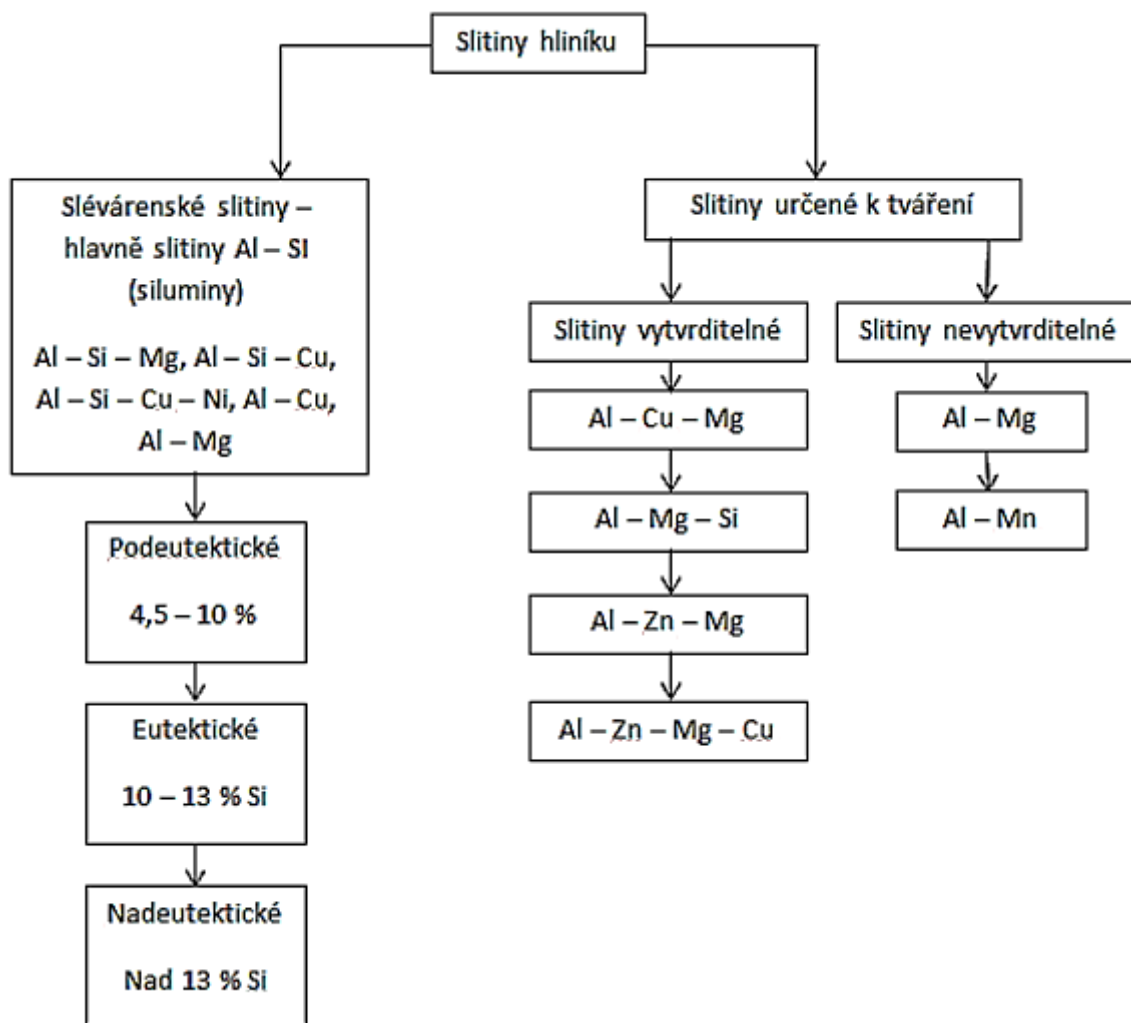
Zdrojem doprovodných prvků jsou zejména vsázkové suroviny, nebo se do slitiny dostávají v průběhu tavení z vyzdívky, z použitých tavicích přípravků nebo náradí. Velkým zdrojem nečistot bývá zejména přetavovaný šrot. Významným problémem u mnoha doprovodných prvků je obtížný způsob jejich odstranění ze slitiny. Často je v podmínkách sléváren vůbec odstranit nelze a snížit jejich obsah na přípustnou mez je možné pouze ředěním pomocí čistých surovin. [2]

Do některých slitin se záměrně přidávají i takové prvky, které se u jiných slitin považují za nečistotu. Například měď v siluminu zvyšuje pevnostní vlastnosti a zlepšuje obrobiteľnosť. Proto se pro tyto účely používá jako přísadový prvek. Na druhé straně však měď zhoršuje odolnost proti korozi a je nepřipustná ve slitinách pro potravinářské účely. Podobně železo, které má velmi negativní účinky na mechanické vlastnosti siluminů, má příznivý vliv na snižování sklonu k nalepování odlitku na kovové formy. Proto se do slitin pro tlakové lití železo záměrně přidává. [2]

Podle počtu přísadových prvků (tedy kromě prvků doprovodných) se slitiny dělí:

- **binární** – obsahují pouze základní a hlavní přísadový prvek,
- **ternární** – kromě základního a hlavního obsahují jeden vedlejší přísadový prvek,
- **vícetříprvkové** – obsahují několik vedlejších přísadových prvků. [2]

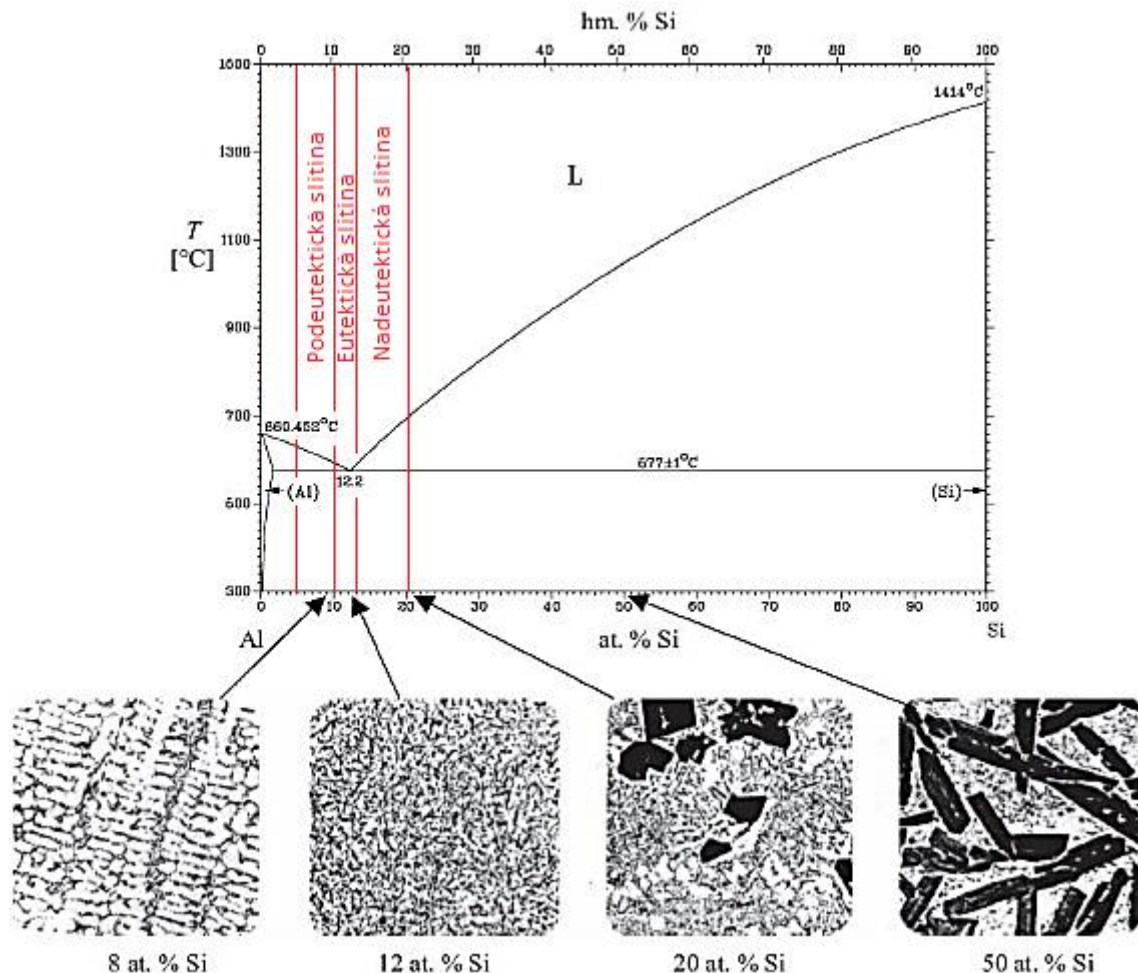
Rozdělení hliníkových slitin (Obr. 3)



Obr. 3 – Rozdělení hliníkových slitin. [3]

V rámci této diplomové práce není blíže probрана problematika slitin určených k tváření, protože toto není předmětem práce. Dále se bude věnovat maximální prostor slévarenským slitinám a to hlavně Al-Si.

Na následujícím obrázku (Obr. 4) je zobrazen binární diagram pro systém Al-Si. Na vertikálních osách je znázorněna teplota v °C a na horizontálních osách jsou uvedeny hmotnostní procenta Al resp. Si. Eutektická teplota má hodnotu přibližně 677 °C, je znázorněna eutektikálou. Na ní se nachází eutektický bod, který v tomto případě leží na koncentraci 12,2 hm. % Si.



Obr. 4 – Binární diagram slitiny Al-Si s mikrostrukturou pro jednotlivé koncentrace Si. [2]

Podeutektické slitiny Al-Si (slitiny s obsahem Si od 7 do 10 hm. %)

Využívají se na středně namáhané a dekorativní odlitky. Díky nižšímu obsahu Si mají o něco horší zabíhavost a jsou vhodné i pro odlévání do pískových forem. Mikrostruktura je tvořena převážně sítí primárních dendritů hliníku. U těchto slitin lze krystalizaci ovlivňovat především očkováním (přednostně kombinací titanu a bóru). [2]

Eutektické slitiny Al-Si (slitiny s obsahem Si od 10 do 13 hm. %)

Jak už bylo výše zmíněno, eutektické slitiny mají nejlepší slévarenské vlastnosti (mají nejnižší teplotu tuhnutí). Pro svojí vynikající zabíhavost se používají na tenkostěnné a komplikované odlitky (především pak v automobilovém a leteckém průmyslu). Mikrostruktura u těchto slitin je tvořena eutektikem a α – fází. Tyto slitiny je vhodné, pro zajištění dobré morfologie eutektika, modifikovat. Proces modifikace je možné provést pomocí kovu, solemi nebo kombinací předešlých způsobů. Při modifikaci je důležité, aby byl brán zřetel na ekologii celého procesu. [2]

Nadutektické slitiny Al-Si (slitiny s obsahem od 13 hm. % do 20 hm. %, výjimečně mohou dosahovat až 25 %).

Jedná se o slitiny obsahující částice primárního křemíku. Tyto slitiny mají velmi nízký koeficient tepelné roztažnosti a vysokou odolnost proti otěru. Proto jsou vhodné pro výrobky, které pracují i za vyšších teplot (především pak písty). Struktura je tvořena eutektickou maticí a krystaly primárního křemíku. [2]

3.1 Technologické vlastnosti slévárenských slitin

Volba chemického složení hliníkových slitin vychází z komplexního posouzení nároků na užité vlastnosti i způsob výroby odlitků. Rozhodující při výběru vhodné slitiny bývají zejména tyto parametry:

- technologické vlastnosti,
- mechanické vlastnosti,
- možnost tepelného zpracování. [2]

Technologické vlastnosti jsou takové vlastnosti slitin, které souvisí se způsobem výroby součástí. Nejdůležitějšími technologickými vlastnostmi jsou slévárenské vlastnosti, obrobitelnost, odolnost proti korozi, svařitelnost, těsnost, někdy rovněž speciální vlastnosti, jako např. lešitelnost, možnost povrchové úpravy, apod. [2]

Slévárenské vlastnosti

V rámci této práce jsou nejdůležitějšími vlastnostmi, vlastnosti slévárenské. Pod tento pojem spadají všechny vlastnosti spojené s odléváním. Především se jedná o:

- zabíhavost slitiny,
- sklon ke vzniku soustředěných staženin nebo ředin,
- sklon k naplynění taveniny a ke vzniku plynových dutin v odlitcích,
- sklon ke vzniku trhlin. [2]

Slévárenské vlastnosti úzce souvisí se šířkou intervalu tuhnutí dané slitiny. Nejlepší slévárenské vlastnosti mají slitiny s úzkým intervalem tuhnutí (tj. s chemickým složením, které se blíží buď čistému kovu, nebo ke složení eutektickému). Naopak slitiny se širokým intervalem tuhnutí mívají slévárenské vlastnosti špatné. Tyto slitiny mívají horší zabíhavost a zejména mají sklon ke vzniku rozptýlených staženin a mikrostaženin. Jejich nálitkování je málo účinné, nálitky mají krátkou dosazovací vzdálenost. Důsledkem je netěsnost odlitků. [2]

- Zabíhavost** = technologická vlastnost. Udává schopnost tekutého kovu vyplňovat dutinu formy. Při posuzování schopnosti odlévání slitiny je nutno rozlišovat mezi tekutostí (tekutost je fyzikální vlastnost, která je charakterizována viskozitou tekutého kovu a se zabíhavostí souvisí pouze částečně) a zabíhavostí. Zabíhavost je závislá na šířce intervalu tuhnutí dané slitiny. Slitiny s úzkým intervalem tuhnutí, jako jsou eutektické slitiny, mají dobrou zabíhavost, naopak slitiny se širokým dvoufázovým pásmem mají zabíhavost špatnou. Přítomnost oxidických vměstků v tavenině zabíhavost výrazně snižuje. Na zabíhavosti se také uplatňuje vliv povrchového napětí, smáčivosti formy, modifikace taveniny, apod. Zabíhavost, jako technologická vlastnost určuje, jak je možné tenkostěnné odlitky odlévat a jak přesně bude kov kopírovat dutinu formy. [2]
- Sklon ke vzniku staženin** = charakterizuje objemový úbytek kovu během tuhnutí a tendenci ke vzniku soustředěných (vnitřních nebo vnějších) staženin, nebo rozptýlených staženin a ředin. Slitiny se sklonem ke vzniku soustředěných staženin lze dobře nálitkovat, odlitky mají dobrou těsnost. Takto tuhnou zejména slitiny s

chemickým složením blízkým složení eutektickému. Slitiny se širokým dvoufázovým intervalem mají naopak sklon ke vzniku rozptýlených staženin a obtížně se nalitkují. Takové odlitky mívají horší těsnost. [2]

- c) **Sklon k naplynění** = je charakterizován rozpustností plynů v tekutém stavu. Některé prvky naplynění zvyšují, jiné naopak snižují. Úroveň naplynění taveniny rozhoduje o tvorbě plynových bublin v odlitku. [2]
- d) **Odolnost proti vzniku trhlin a prasklin** = schopnost odolávat napětí, které vzniká vlivem smršťování v oblasti teplot tuhnutí a během ochlazování. Tato vlastnost je velmi důležitá zvláště u odlitků s nerovnoměrnými tloušťkami stěn, tvarově složitých odlitků, odlitků s tuhou konstrukcí a v případech, kdy je smršťování brzděno tuhou formou. [2]

Vybrané technologické vlastnosti

Technologické vlastnosti jsou vlastnosti, které úzce souvisí s následným zpracováním odlitků. Tato problematika již nesouvisí s tématem této diplomové práce, proto bude zmíněna jen stručně.

- a) **Obrobitelnost** = je dána kombinací velikosti obráběcích sil, charakteru třísek, kvality zhotoveného povrchu a životností ostří obráběcích nástrojů. U hliníkových slitin se obrobitelnost typicky zlepšuje přidáváním mědi. Naopak ji zhoršují tvrdé fáze (např. vliv železa). [2]
- b) **Odolnost proti korozi** = schopnost odolávat chemickému působení plyných nebo kapalných prostředí. Slitiny Al-Si mají poměrně dobrou odolnost, která ovšem může být zhoršena mědí. Proto je důležité, v případech kdy je nutná vysoká odolnost, omezit množství mědi na minimum. [2]
- c) **Svařitelnost** = schopnost dosáhnout pevného a kvalitního spoje.
- d) **Leštitelnost** = schopnost povrchového zpracování odlitku. U slitin hliníku je nejčastěji voleno zpracování anodickou oxidací (tzv. eloxování). [2]
- e) **Nepropustnost** = schopnost bránit pronikání tlakového média skrz stěny odlitku. Těsnost úzce souvisí s výskytem mikrostaženin, prasklin a oxidických vměstků. Propustnost či nepropustnost lze zjistit pomocí tlakových zkoušek (nedestruktivní zkoušení). [2]

Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti slitin jsou závislé zejména na druhu a vlastnostech základní kovové hmoty, na disperzitě strukturních složek, na přítomnosti a tvaru intermetalických fází a na tepelném zpracování. Jemnozrnná struktura jednoznačně zlepšuje všechny mechanické a také řadu technologických vlastností slitin. Citlivost vlastností hliníkových slitin na rychlost tuhnutí je velmi vysoká, proto se při jejich odlévání preferují takové metody, které zajišťují vysokou rychlost ochlazování při tuhnutí. [2]

Protože má na mechanické vlastnosti velký vliv rychlost chladnutí, musí se hodnotit na vzorcích, tuhoucích za srovnatelných podmínek, jako odlitek (tj. v pískové nebo kovové formě). Pevnostní vlastnosti i tvrdost jsou při lití do kovových forem oproti lití do písku vyšší o 20 % i více, při tlakovém lití je tento rozdíl ještě větší. [2]

- a) **Mez pevnosti** = u běžných hliníkových slitin se v litém stavu (podle slitiny, způsobu lití a tloušťky stěny) pohybuje v rozmezí asi 150 – 250 MPa. Pevnostní vlastnosti se velmi podstatně zvyšují vytvrzováním. Vytvrditelné slitiny obsahují obvykle hořčík nebo měď a jedná se o slitiny typu Al-Si-Mg, Al-Si-Cu nebo Al-Cu. Vytvrzením se zvyšuje mez pevnosti R_m a tvrdost oproti litému stavu o 30 až 50 %, mez $R_{p0,2}$ se zvyšuje až o 80 %. Po vytvrzení lze u slitin Al-Si-Mg dosáhnout pevnosti kolem 330 MPa. Nejpevnější jsou slitiny Al-Cu, která dosahují

- až 350 MPa, ty se ovšem příliš nepoužívají kvůli jejich špatným slévárenským vlastnostem.[2]
- b) **Tažnost** = pohybuje se v rádech od 1 do 4 %. Zvýšení tažnosti lze dosáhnout modifikací eutektika. Pevnost se modifikací zvyšuje jen velmi málo (maximálně o 50 %), ale tažnost roste až o 200 %. [2]
- c) **Tvrдост** = u klasických slévárenských slitin Al-Si v litém stavu se tvrdost pohybuje mezi 60 – 80 HB. Vytvrzení umožňuje dosáhnout hodnoty až kolem 100 HB. Tvrдост slitiny Al-Mg je obvykle nižší a to až kolem 50 HB. [2]
- d) **Za zvýšených teplot** se vlastnosti prudce mění k horšímu. U hliníkových slitin je degradace materiálu zřejmá již při 200 °C. Teplotní stabilitu lze u slitin Al – Si zvýšit přidáním stopového množství prvků jako jsou např. měď, nikl nebo kobalt. [2]
- e) **Za snížených teplot** se vlastnosti díky krystalové mřížce téměř nemění. V některých případech se i lehce zlepšují, proto jsou hliníkové slitiny vhodné pro použití za nízkých teplot. [2]
- f) **Únava** se od oceli liší velkým rozptylem výsledků a množstvím sledovaných parametrů. Křivka únavové životnosti stále, se snižujícím se napětím klesá, čímž nelze jednoduše stanovit σ_c , jako je tomu u oceli při počtu 10^7 cyklů. Proto se hliníkové slitiny charakterizují časovou mezí únavy pro určitý počet cyklů (horní hranice bývá 10^8 cyklů).

3.2 Legující prvky hliníkových slitin

Ve společnosti MOTOR JIKOV Slévárna, divize Tlaková slévárna, se používají slitiny hliníku a zinku. Slitiny zinku nejsou tématem této diplomové práce, proto je dále dán prostor pouze hliníkovým slitinám.

Materiál	AlSi9Cu3(Fe)	AlSi12Cu1(Fe)	AlSi7Mg0,3
Prvek [hm. %]			
Al	zbytek	zbytek	zbytek
Si	8,00 – 11,00	10,50 – 13,50	6,50 – 7,50
Fe	1,30 max	1,30 max	0,19 max
Cu	2,00 – 4,00	0,70 – 1,20	0,05
Zn	1,20 max	0,55 max	0,07 max
Mg	0,05 – 0,55	0,35 max	0,25 – 0,45
Pb	0,35 max	0,20 max	-
Mn	0,55 max	0,55 max	0,10 max
Sn	0,25 max	0,10 max	-
Ni	0,55 max	0,30 max	-
Ti	0,25 max	0,20 max	0,08 – 0,25
Cd	-	-	-
Cr	0,15 max	-	-
Li	0,003 max	-	-
Be	0,02 max	-	-
Bi	0,05 max	-	-

Tab. 1 – Chemické složení používaných slitin.

Pro tlakové lití jsou používány, ve společnosti MOTOR JIKOV Slévárna a. s., tři slitiny hliníku. Jsou jimi Al 226 (AlSi9Cu3(Fe)), Al 231 (AlSi12Cu1(Fe)) pro aplikaci ve vysokotlakém odlévání a Al 421 (AlSi7Mg0,3) pro nízkotlaké. Jejich chemické složení dle

norem je uvedeno v předchozí tabulce (Tab. 1). To je ověřováno v rámci každé nové tavby, kdy je provedena spektrální analýza s následným porovnáním a vyhodnocením výsledků. Výsledky každé ze spektrálních analýz se zapisují do protokolu a jsou archivovány pro možné reklamace zákazníků.

Vliv jednotlivých prvků a nečistot

Křemík (Si)

Křemík je ve slitinách Al-Si základním a nejzásadnějším přísadovým prvkem (nejběžněji do 11 %, ale může být až 25 %). Ve slévárenských slitinách vyšší obsah křemíku zužuje interval tuhnutí a zlepšuje téměř všechny slévárenské vlastnosti. Slitiny s nižšími obsahy křemíku (menší podíl eutektika) je vhodné očkovat, slitiny s velkým podílem eutektika modifikovat (obě metalurgické metody lze rovněž spolu kombinovat). [2]

Mezi vlastnosti, které se se zvyšujícím se procentem křemíku mění, patří:

- zvýšení zabíhavosti,
- snížení součinitele stahování během tuhnutí (omezení mikrostaženin),
- menší sklon k tvorbě trhlin (za tepla) a prasklin (za studena),
- zlepšení kluzných vlastností, odolnosti proti otěru a korozi,
- zmenšení tepelné roztažnosti. [2]

Křemík v hliníkových slitinách má i dvě nevýhody. První z nich je, že se zvyšujícím se procentem křemíku ve slitině, se zvyšuje křehkost a s tím je spojené snížení pevnosti a tvrdosti. Druhou nevýhodou je, že se zvyšujícím se množstvím křemíku roste i cena slitiny. [2]

Železo (Fe)

Jeho vliv se spojuje zejména s negativním účinkem na mechanické vlastnosti. Do siluminů se dostává z vsázkových surovin nebo rozpouštěním železa např. z kovových forem.

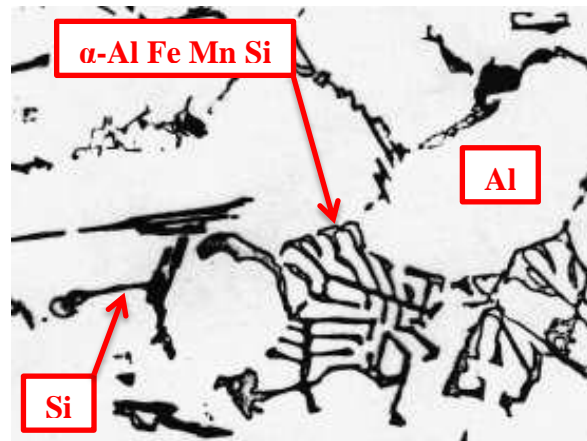
V tuhém hliníku nemá železo téměř žádnou rozpustnost, proto již při malém obsahu tvoří různé intermetalické sloučeniny (hrubé částice). Nejdůležitějšími jsou jehlicová fáze β -AlFeSi (vzniká při 580 °C a výrazně zhoršuje vlastnosti), (Obr. 5) a tvarově více kompaktní fáze α -AlFeMnSi (vzniká kolem 590 °C), (Obr. 6) podle tvaru se nazývá „čínské písmo“ nebo také „rybí kost“. [2]

Od 0,2 % má výrazně negativní vliv na houževnatost. Vznikají extrémně křehké fáze AlSiFe (desky). [12]

U běžných odlitků se obvykle připouští obsah železa do 0,6 %. Pro vysokopevnostní dynamicky namáhané odlitky však bývá limitován i pod 0,15 %. Při rychlém chladnutí je negativní účinek Fe na vlastnosti méně výrazný. Pozitivně působí u tlakového lití (od obsahu 0,4 %), kdy se kvůli němu nelepí slitina na formu a tím je zvýšena životnost forem a jader. [2]



Obr. 5 – Jehlicová fáze β -AlFeSi. [2]



Obr. 6 – Fáze typu čínské písmo α -AlFeMnSi. [2]

Měď (Cu)

Obsah mědi v siluminech se pohybuje do 5 %. V tuhém roztoku α (Al) má měď omezenou rozpustnost, takže již při obsahu kolem 1 % se ve struktuře objevuje potrojně eutektikum Al-Si-CuAl₂ (Obr. 7) s rovnovážnou teplotou tuhnutí 524 °C. Intermetalická fáze CuAl₂ má typický vzhled. Při tuhnutí měď značně rozšiřuje interval tuhnutí siluminů a tím může podporovat vznik ředin a trhlin za tepla. Snižuje také korozivzdornost. [2]

Měď v siluminech zvyšuje pevnost a tvrdost, zlepšuje obrobitelnost, naopak snižuje tažnost a zhoršuje korozní odolnost. Do slitiny se dostává především z vsázkových surovin (zejména šrotu). Ze slitin není možné měď běžnými metalurgickými postupy odstranit. [2]



Obr. 7 – Potrojně eutektikum Al-Si-CuAl₂. [2]

Zinek (Zn)

Nejedná se o typickou leguru. Je obvykle obsažen ve velmi malém množství a to nejčastěji do 3 %. Zvyšuje tekutost slitin a jejich zabíhavost, také zlepšuje obrobitelnost a snižuje lepení kovu na formu. Při jeho vyšším obsahu však roste sklon ke vzniku trhlin. [2]

Hořčík (Mg)

Je velice důležitý z důvodu umožnění provádět vytvrzování za tepla. Je přidáván množství 0,3 – 0,7 %. V litém stavu má hořčík na pevnost jen malý vliv, snižuje však tažnost. V množství, které bývá do slitiny přidáváno, nemá hořčík praktický vliv na změnu slévarenských vlastností ani na odolnost proti korozi. Ve vytvrzeném stavu však je obsah hořčíku významný – čím vyšší je obsah Mg, tím vyšších pevností se dosahuje. V litém stavu tvoří hořčík intermetalickou fází Mg₂ Si, která tvoří eutektikum Al-Si-Mg₂ Si s teplotou

tuhnutí asi 555 °C. Toto eutektikum tvoří ve struktuře drobné kostrovité útvary. Vzhledem k tomu, že za vysokých teplot je rozpustnost Mg v Al značně vysoká, při homogenizačním žhání se částice fáze Mg_2Si v matici hliníku zcela rozpouští. [2]

Mangan (Mn)

Úlohou manganu ve slitinách Al-Si je kompenzace nepříznivého vlivu železa. Má jen malou segregaci a netvoří vlastní fáze. Vstupuje ale do fází železa a mění jejich morfologii. Za přítomnosti Mn se velmi škodlivá jehlicová fáze $\beta-AlFeSi$ mění na kompaktní částice $\alpha-AlFeMnSi$. Zvyšují se mechanické vlastnosti, zejména se snižuje křehkost slitin. [2]

Nikl (Ni)

Nikl tvoří ve slitině intermetalickou fázi Al_3Ni s teplotou tuhnutí 640 °C. Za přítomnosti mědi a železa vznikají vícesložkové fáze. Tyto fáze mají dobrou tepelnou stabilitu, proto si slitiny s obsahem 1 – 2 % Ni zachovávají dobré mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. Slitiny s niklem mají i poněkud menší součinitel teplotní roztažnosti. Z tohoto důvodu se používají zejména pro písty a hlavy válců motorů. Slévárenské vlastnosti se s obsahem niklu zhoršují. [2]

Titan (Ti)

Ve slitinách hliníku je titan rozpustný v $\alpha(Al)$ do obsahu asi 0,2 % Ti. Při vyšším obsahu vznikají ve struktuře tvrdé krystaly Al_3Ti nebo TiC , které se vylučují ve shlucích a činí problémy při obrábění, leštění a při anodické oxidaci. Nejvýznamnějším vlivem titanu ve slitinách hliníku je jeho očkovací účinek. Sloučenina Al_3Ti tvoří krystalizační zárodky pro nukleaci primární $\alpha(Al)$ fáze a způsobuje zjemnění zrna. S tím se mírně zlepšuje i obrobitelnost, odolnost proti korozi, atd. [2]

Další doprovodné prvky

Lithium se používá za účelem snížení hustoty, tedy i hmotnosti převážně v leteckém průmyslu. Jeho zápornou vlastností je, že silně podporuje oxidaci. **Berylium** v množství setin procenta vytváří na hladině taveniny ochrannou vrstvu, která slitinu výborně chrání před další oxidací. **Chrom** je využíván pro zjemnění primárního zrna.

Cadmium, olovo, cín, vismut, vanad, vápník a fosfor jsou vnímány jako škodlivé prvky. Olovo snižuje houževnatost odlitku a znemožňuje modifikaci sodíkem a stronciem, stejně jako cín, fosfor a vanad. Vápník a vismut podporují tvorbu oxidů a taktéž brání modifikaci. Cadmium výrazně zhoršuje mechanické vlastnosti a houževnatost.

3.3 Vliv hliníkových slitin 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 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: [5]

- tavení slitiny,
- modifikace slitiny,
- očkování slitiny,
- rafinace slitiny,
- odplynění slitiny,
- volba licí teploty. [5]

Ke zvolené hliníkové slitině musí být správně zvolena také technologie tepelného zpracování (vytvrzování, žihání), 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. [5]

3.4 Požadavky kladené na hliníkové slitiny

Při volbě vhodné hliníkové slitiny, pro zhotovení odlitku požadovaného tvaru a rozměru, se sledují následující hlavní faktory:

a) Slévárenské vlastnosti

Požaduje se dobrá slévateľnost, která je ovlivněná především teplotním intervalem krystalizace, viskozitou a povrchovým napětím taveniny. Interval krystalizace by měl být co nejmenší. Dále sledujeme odolnost 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. [1]

b) Požadované mechanické vlastnosti

Sledují se pevnostní a plastické vlastnosti, tvrdost a možnost zvýšení pevnostních vlastností tepelným zpracováním. [1]

c) Chemické vlastnosti

Zásadní je odolnost proti korozi, možnost povrchové úpravy – eloxování. U hliníkových slitin odolnost proti korozi výrazně zhoršuje přítomnost mědi. [1]

d) Vlastnosti hotových výrobků

Vyžaduje se nepropustnost kapalin v odlitku působením tlaku, rozměrová a teplotní stabilita. [1]

e) Ekonomické faktory

Sledují se náklady na mechanické obrábění, tavení a lití, tepelné zpracování a svařitelnost. [1]

3.5 Krystalizace hliníkových slitin

Krystalizace je přechod z tekutého stavu do pevného, kdy se začnou vytvářet krystaly s geometrickým pravidelným uspořádáním atomů. Tento děj je způsoben snahou kovu dosáhnout stabilního stavu, tedy dosáhnout nejnižší hodnoty volné energie. Krystalizace je umožněna změnou vnějších podmínek a to konkrétně změnou teploty. Kov krystalizuje difúzní fázovou přeměnou, která probíhá tvorbou zárodků krystalické fáze. Zárodky rostou do té doby, než dojde k úplné spotřebě taveniny. [4]

Struktura slitin je určována tvarem rovnovážných diagramů hliníku s příslušnými přísadovými prvky. Ve slitinách hliníku jsou zastoupeny tyto strukturní složky:

- a) **Homogenní tuhý roztok** – $\alpha(\text{Al})$ = substituční tuhý roztok, v němž atomy přísadového prvku nahrazují v mřížce Al jeden nebo více atomů Al. Přísady mají oproti hliníku rozdílné velikosti atomů a to má za důsledek deformaci mřížky. Z toho plyne zvýšení pevnosti spolu se snížením plastických vlastností. Rozpustnost těchto prvků je nejvyšší při eutektické teplotě. [2]
- b) **Eutektikum** – $\alpha(\text{Al})$ + čistý přísadový prvek (nebo jeho sloučeninou) = spolu s morfologií rozhodují o mechanických a slévárenských vlastnostech. Vytváří se u slitin, kde množství přísadových prvků je vyšší, než odpovídá jeho maximální rozpustnosti v $\alpha(\text{Al})$ při teplotě tuhnutí. Toto splňují všechny slévárenské slitiny Al-Si (hodnota maximální rozpustnosti Si v Al je 1,65 %). [2]
- c) **Primární fáze přísadového prvku** – při vyšším obsahu přísadového prvku, než odpovídá eutektickému složení, začíná tuhnutí vylučováním primární fáze

přísadového prvku. Po dosažení eutektické teploty tuhnutí pokračuje krystalizací eutektika. Tato fáze se vyskytuje primárně u nadeutektických slitin Al-Si. [2]

- d) **Intermetalická fáze** – strukturní složky s vlastní krystalickou strukturou. Jedná se o chemické sloučeniny, které vznikají z přítomných přísadových a doprovodných prvků, když jejich obsah přesáhne maximální rozpustnost v základním kovu. Dle krystalické struktury se tyto fáze dělí na valenční, elektronové a intersticiální. [2]

Nukleace krystalů

Existují dva mechanismy, podle kterých rozlišujeme vznik krystalů. Jedná se o homogenní a heterogenní nukleaci. Oba mechanismy jsou popsány dále. [4]

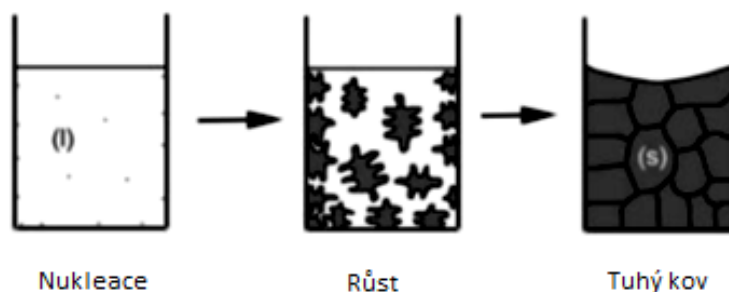
Při homogenní nukleaci se samovolně vytváří fáze bez potřeby cizích zárodků v celém objemu kovu. U tohoto mechanismu se především uplatňuje koncentrační a teplotní nehomogenita taveniny. V tavenině se pak nachází místa, kde je geometrické uspořádání atomů přibližující se uspořádání nové fáze.

Ke krystalizaci primární fáze $\alpha(\text{Al})$ v technických slitinách dochází především vlivem mechanismu heterogenní nukleace na cizích zárodcích. Tyto zárodky mohou být oxidy či jiné částice běžně se vyskytující v tavenině. Nukleace může též probíhat na stěně formy, nebo jsou krystalizační zárodky úmyslně přidány do taveniny. Zvýšení počtu vhodných krystalizačních zárodků je možno provést očkováním. K této nukleaci dochází, když je hodnota Gibsovy volné energie co nejnižší. Gibsova volná energie pro vznik zárodků je přímo úměrná podchlazení pod rovnovážnou teplotu tuhnutí. Z tohoto důvodu se při větším přechlazení zvyšuje i množství aktivačních zárodků. Při nukleaci na cizích zárodcích je důležité, aby zárodek byl s tuhnoucí fází smáčivý. Jsou-li obě složky krystalograficky podobné, dochází k dobré smáčivosti. [4]

Krystaly primárního hliníku vzniklé ze zárodků se nazývají dendrity. Dendrit je tvořený hlavní osou. Na tuto osu v kolmém směru pak rostou sekundární osy. [4]

Růst krystalů

Dosáhne-li zárodek své nadkritické velikosti, může pokračovat v růstu difúzním přechodem atomů z taveniny. Další krystalizace je doprovázena exotermickou reakcí. Důvodem tohoto jevu je vysoké latentní teplo, kterého se krystaly vzdávají při změně skupenství. Tohle teplo je předáváno tavenině a tím se zvyšuje její teplota na rozhraní tavenina (likvidus – l) – krystal (solidus – s). Z tohoto důvodu je možný další růst krystalu až tehdy, je-li teplo odvedeno ze soustavy. Jestliže je přechlazení dostatečně velké, tak latentní teplo pohltí jak tavenina, tak krystaly a krystalizace může probíhat rychleji. Proces tuhnutí a růst krystalů je zobrazen na Obr. 8. [4]



Obr. 8 – Schéma procesu tuhnutí. [4]

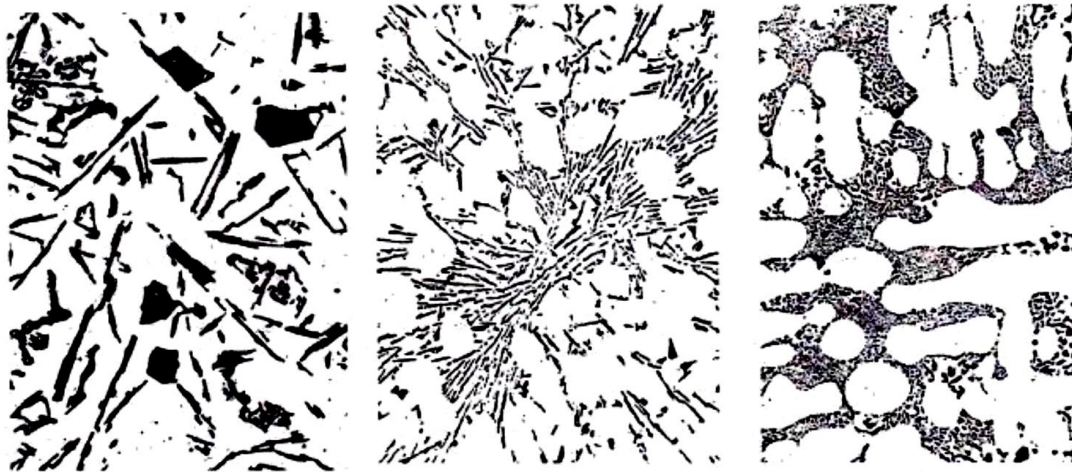
Morfologie eutektika ve slitinách Al-Si

Křemík se v siluminech vylučuje výhradně jako čistý prvek s minimálním obsahem jiných příměsí. Velikostně se částice eutektického hliníku pohybují od 1 μm až po 2 mm. Typ eutektika je úzce spojen s mechanismem krystalizace eutektického křemíku. Ten využívá jako

krystalizační zárodky fosfid hlinitý. Existují tři typy křemíku v soustavě Al-Si, které jsou nazvány dle tvaru částic: [4]

- a) **Zrnité eutektikum** (Obr. 9): toto eutektikum má tvar polyedrických zrn nebo hrubých lamel. Zrnité eutektikum vzniká, je-li v tavenině 5 – 10 ppm fosforu. [4]
- b) **Lamelární eutektikum** (Obr. 9): růst částic křemíku je založen na podobném principu jako u zrnitého eutektika. Vzhledem k tomu, že podmínky pro růst lamelárního křemíku jsou méně příznivé (díky nízkému obsahu fosforu, který se pohybuje cca 1 – 2 ppm, je v tavenině menší počet vhodných nukleačních zárodků), krystalizuje při vyšším přechlazení. Lamely eutektika jsou drobné a mnohem menší než u zrnitého eutektika. [4]
- c) **Modifikované eutektikum** (Obr. 9): jeho vznik je podpořen přítomností modifikačních prvků především sodíku a stroncia. Existují i další modifikátory jako např. Ba, Ca. Nejlepší modifikační účinky má sodík. [4]

Výše uvedené tvary částic eutektika jsou zobrazeny na Obr. 9. Mikrostruktura vlevo je tvořena částicemi zrnitého eutektika. Uprostřed je zobrazena mikrostruktura, kde se vyskytuje lamelární eutektikum. Vpravo je mikrostruktura modifikovaného eutektika. [4]



Obr. 9 – Zrnité, lamelární a modifikované eutektikum. [2]

4 Technologie nízkotlakého lití

Nízkotlaké lití se svým principem zařazuje mezi gravitační lití do kovových forem a tlakové lití. Tato metoda se začala používat v třicátých letech 20. století. První zařízení byla určena pro odlévání lokomotivových a vagonových kol z oceli. V současné době jde o průmyslově využívanou metodu, která se používá hlavně na odlévání odlitků z lehkých kovů, převážně slitin hliníku. Tato metoda zaručuje vysokou vnitřní kvalitu odlitků při vysokém využití tekutého kovu. [7]

4.1 Popis technologie nízkotlakého lití

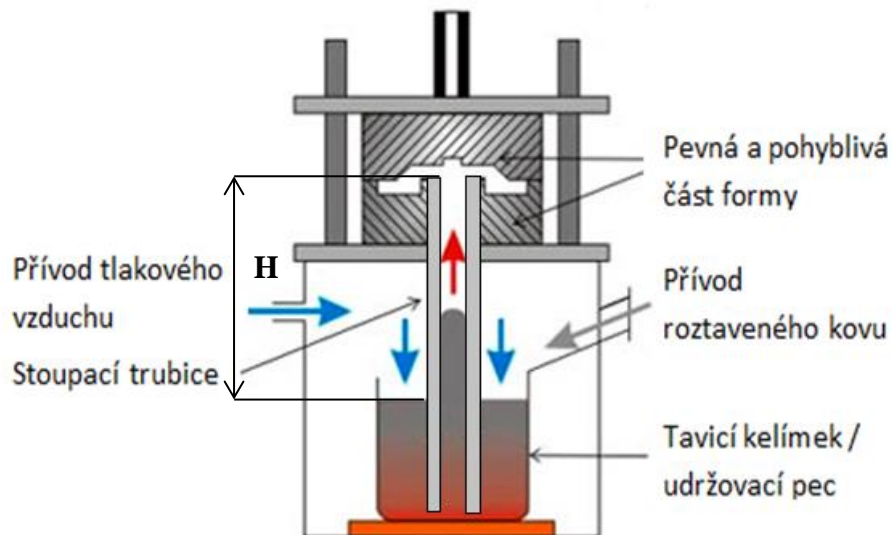
Základem celého zařízení je udržovací pec, která musí být hermeticky uzavíratelná. Do pece se přelévá roztavená slitina, nejčastěji slitiny hliníku, z tavicích agregátů. Tavenina musí být mechanicky očištěna, odplyněna a primární licí struktura ovlivněna očkovaním a modifikací. Původně se jako udržovací pece používaly elektrické odporové kelímkové pece s kovovým kelímkem. Kelímkem byl uzavřen víkem, obvykle středem víka procházela tzv. plnicí trubice, která byla svým spodním koncem ponořena co nejnižší v tavenině. Přetlakem vzduchu resp. inertního plynu (0,01 – 0,07 MPa, u slitin hliníku 0,02 – 0,03 MPa), (výpočet potřebného licího tlaku je dán vztahem (1)) nad hladinu hermeticky uzavřeného kelímku nebo celé pece je tavenina vytlačována do plnicí trubice a jejím ústím o menším průřezu pak do vlastní dutiny kovové formy. Kovová forma je složena z pevné a pohyblivé části. Pevná část je umístěna těsně nad pecí. Pohyblivá část se pohybuje ve vedení, je vybavena tzv. vyhazovači, které uvolňují odlitek z pohyblivé části formy. Plnění formy taveninou probíhá pomalým stoupáním hladiny taveniny v plnicí trubici a postupně také ve formě. Velmi podstatné je pomalé, klidné plnění formy, bez turbulence a vírů. Při zcela zaplněné dutině formy lze zvýšit tlak v průběhu tuhnutí odlitku a provést tzv. „dotlak“, který může pozitivně ovlivnit konečnou hustotu vyráběného odlitku. Funkci vtokové soustavy i nálitků přebírá plnicí trubice, takže dochází k velmi podstatnému zvýšení využití tekutého kovu v odlitku. Po uplynutí nastavené doby tuhnutí a chladnutí daného odlitku se přetlak v udržovací peci zruší a hladiny v peci i plnicí trubici se vyrovnají. Celý proces je ukončen a odlitek může být uvolněn z formy. [3], [7]

Zvláštnost celé metody spočívá v tom, že odlitek musí tuhnout odshora směrem dolů, to znamená, že tuhnutí musí být ukončeno v ústí plnicí trubice. Dochází k usměrněnému tuhnutí zcela opačným směrem, než je tomu u tuhnutí v gravitačním poli. [3]

Výpočet potřebného licího tlaku

$$p = \frac{H \rho}{13\,600} 1,5 \quad (1)$$

H ... potřebné zvýšení hladiny [m], ρ ... hustota roztavené slitiny [kg m^{-3}], 13 600 ... hustota rtuti [kg m^{-3}], 1,5 ... součinitel odporu. [7]



Obr. 10 – Schéma nízkotlakého lícího zařízení. [8]

4.2 Výhody a nevýhody nízkotlakého lítí proti ostatním druhům lítí

Výhody nízkotlakého lítí patří:

- vysoké využití tekutého kovu v odlitku (90 – 95 %),
- surové odlitky mají jen malé zbytky po plnění plnicí trubicí (snížení hmotnosti), která současně plní i funkci nálitků,
- funkci vtokové soustavy i nálitku přebírá plnicí trubice,
- klidné plnění dutiny formy bez vírů a turbulencí, minimální vnášení oxidů do dutiny formy,
- možnost zařazení „dotlaku“ ke zvýšení hustoty odlitku a snížení množství vnitřních dutin v odlitku,
- v plnicí trubici i ve formě je možné zařadit pěnové nebo jiné filtry,
- použití jader,
- zařízení je cenově dostupnější než tlakové lící stroje pro tlakové odlévání odlitku,
- kovové formy se obvykle vyrábějí z vysoce legované nástrojové oceli,
- celý technologický pochod lze plně automatizovat, což umožňuje obsluhovat dvě nízkotlaká lící zařízení jedním pracovníkem,
- v jedné formě lze najednou odlévat více odlitků,
- celý technologický postup umožňuje výrobu vnitřně i povrchově vysoce kvalitních odlitků především ze slitin hliníku a hořčíku, méně z mosazi. [3], [7]

Nevýhody nízkotlakého lítí patří:

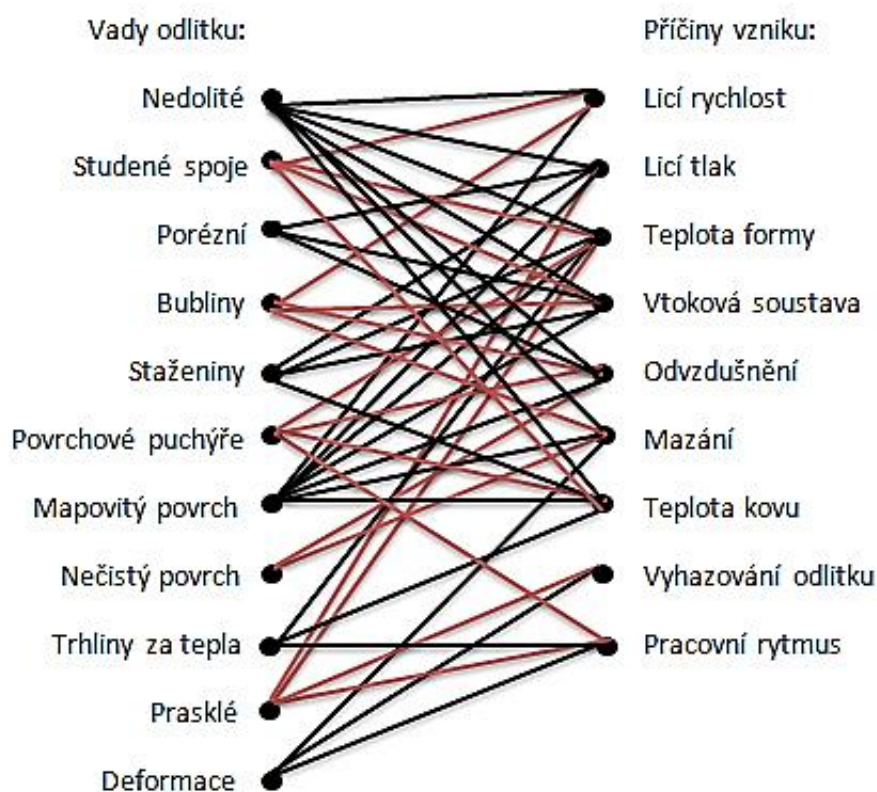
- potřeba dolévání roztavené slitiny do pracovního prostoru pece a obtížné metalurgické zpracování (čištění, odplynění, modifikace, očkování) přímo v prostorách pece,
- jakost odlitků je velmi závislá na správné konstrukci formy,
- v čase plnění je nezbytné působení tlaku,
- jedná se o pomalejší metodu odlévání. [3], [7]

4.3 Typy vad odlitků litých nízkotlakým způsobem

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 neshodné výroby. Výskyt vad u odlitků ovlivňuje mnoho faktorů:

- konstrukce formy,
- návrh vtokové soustavy a odvzdušňovacího systému,
- volba chladicího systému formy,
- licí stroj,
- typ odlévané slitiny a její metalurgické zpracování,
- nastavení technologických parametrů,
- obsluha licího stroje. [5]

Přehled vztahu jednotlivých vad a jejich příčin znázorňuje Savenův diagram (Obr. 11).



Obr. 11 – Savenův diagram. [5]

Za vadu odlitku se považuje takový stav, při kterém není možné použít jeho užité 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. [5]

Popsání klasických vad vznikajících při procesu lití

Nedolití (Obr. 12)

Jedná se o vadu způsobenou nedolitím kovu v některých částech formy. Obvykle se jedná o místa nacházející se nejdále od vtokového otvoru nebo o tvarově složité části formy. Záleží také na celkovém zaformování odlitku a na umístění vtokového otvoru. Tuto vadu může způsobovat i příliš nízká lící teplota, nízká teplota formy nebo příliš nízký tlak lisování. [5]



Obr. 12 – Příklad nedolití.

Studené spoje (Obr. 13)

Tato vada je povrchová a projevuje se prohloubeními, která 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. Studený spoj může být zapříčiněn také špatnou konstrukcí odlitku. [5]



Obr. 13 – Příklad studeného spoje.

Porozita (Obr. 14)

Jde o porozitu (také staženina či lunkr) vzniklou stahováním tekutého kovu v místech tepelných uzlů odlitku. Porozita se často vyskytuje ve shlcích a má negativní vliv na těsnost odlitků. Tuto vadu 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 její minimalizaci. V opačném případě by mohly vzniknout vysoké náklady na neshodnou výrobu. [5, 11]

Snahou je vznik porozity potlačit již při konstrukci formy. Ke zmenšení porozity přispívá snížení počtu tepelných uzlů a jejich velikosti. Dále je nutné provést vhodné zaformování odlitku a navržení vtokové soustavy s větším otvorem a k usměrněnému tuhnutí přispět správně řešeným chlazením formy. Při konstrukčním řešení formy ve vazbě na odlitek se významně využívá také počítačová simulace. [5]



Obr. 14 – Příklad porozity.

Bubliny

Tato vada je charakteristická malými dutinami s hladkým povrchem. Bubliny jsou tvořeny především z naplyněné slitiny. Při vtláčování roztaveného kovu do dutiny formy nestačí veškerý vzduch uniknout a zůstává po ztuhnutí uzavřen v odlitku. Mezi příčiny nadměrného množství vzduchu patří nedostatečné odvzdušnění formy, nadměrné používání maziv či zbytková vlhkost od postřiku formy. Ke zmenšení nebo odstranění této vady napomáhá postupné plnění, což nízkotlaké lití zaručuje. [5]

Puchýře (Obr. 15)

Jedná se o vadu vznikající 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 nedostatečné odvzdušnění. Na vznik puchýřů má také vliv vysoká lící teplota, vysoká teplota formy nebo malý „dotlak“. [5]



Obr. 15 – Příklad puchýře.

Trhliny (Obr. 16)

Jde o vady, které vznikají v průběhu tuhnutí jako volné smršťování mechanicky nebo tepelně bržděné. Trhliny souvisle přecházejí od povrchu do vnitřku odlitku (pavučinová struktura). Projevují se jako křivé roztržení stěny odlitku vznikající za tepla s mírně oxidovaným povrchem. [5, 11]



Obr. 16 – Příklad trhliny.

Praskliny (Obr. 17)

Prasklina je definována jako křivé povrchové roztržení stěny, které vzniklo za studena. Povrch praskliny je čistý a rovný. 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. 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. [5]



Obr. 17 – Příklad praskliny.

Deformace (Obr. 18. a 19.)

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

- nedostatečnými úkosi tvarové části pevné poloviny formy,
- malými úkosi hlubokých tvarů odlitku,
- špatným rozmístěním a nedostatečnou plochou vyhazovačů,
- nedostatečnou opěrnou plochou odlitku při vyjíždění pohyblivých jader,
- nevhodným řešením chladičho systému formy. [5]

Kromě konstrukčního provedení formy, působí na vznik deformace také kvalita vyrobené formy, její postřík a vliv některých dalších faktorů.



Obr. 18 – Zapuštěné vyhazovače.



Obr. 19 – Deformace.

Rozměrové odchylky

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 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,
- nepřesnosti při výrobě formy. [5]

5 Nízkotlaká lící zařízení

Tato kapitola se zabývá možnostmi a rozdělením typů nízkotlakého lití obecně. Existuje mnoho výrobců a typů lících zařízení, ale v rámci této práce je nezbytné se blíže seznámit se stávajícím zařízením dílny. Proto je zde popsáno nízkotlaké lící zařízení společnosti MOTOR JIKOV Slévárna a. s. spolu s tavicí pecí. Jedná se pouze o stroje na, kterých bude optimalizace odlitku uskutečňována.

5.1 Možnosti lití

Nízkotlaké lití je možné rozdělit na základě tří různých přístupů. V prvním je pohlíženo na lití jako konvenční a nekonvenční (i moderní). V druhém případě se rozlišuje podle druhu formy, která se používá (kov – písek), (Obr. 20).

Dělení podle konvence:

- a) **Konvenční nízkotlaké slévání** – toto téma bylo již probráno v rámci jedné z předchozích kapitol 5.1. Popis technologie a na Obr. 10.
- b) **Nekonvenční nízkotlaké slévání (lití s protitlakem)** – zde zpočátku působí přetlak plynů i na straně formy a odlití se dosahuje snížením tlaku ve formě. V systému je celkově vyšší tlak, než při nízkotlakém lití, což zrychluje odvod tepla z odlitku do formy (zvyšuje se součinitel přestupu tepla) a omezuje se vznik ředin a plynových bublin při tuhnutí. Technologie je vhodná zvláště pro odlitky s větší tloušťkou stěn. [2]

Do nekonvenčních metod lze zařadit i moderní metody typu:

NRC (New Rheo Casting) – metoda na rozhraní nízkotlakého a tlakového lití, kdy slitina v semi – solid stavu je mechanickým tlakem pístu přes zářezy většího průřezu vtlačována (lisována - squeeze) do kovové formy. [1]

VRC (Vakuum Riserless Casting) – metoda odlévání v semi – solid stavu, kdy se k plnění formy využívá podtlak postupně vytvářený v dutině formy. Velikost sníženého tlaku je příčinou vakuového nasávání slitiny do formy. Snížený tlak může pozitivně podpořit i snížení obsahu plynů v tavenině. [1]

PRC (Pressure Riserless Casting) – je obdoba předchozí metody. K plnění kovové formy se využívá tlak pístu, takže odlitky s ohledem na probíhající objemové změny při tuhnutí nemusí být nálitkovány. Hutnost odlitků je zajištěna působícím tlakem v době tuhnutí odlitku. Metodu lze přirovnat k zápustkovému kování, je vhodná pro strojní součásti, které lze vyrobit do dělené formy. [1]

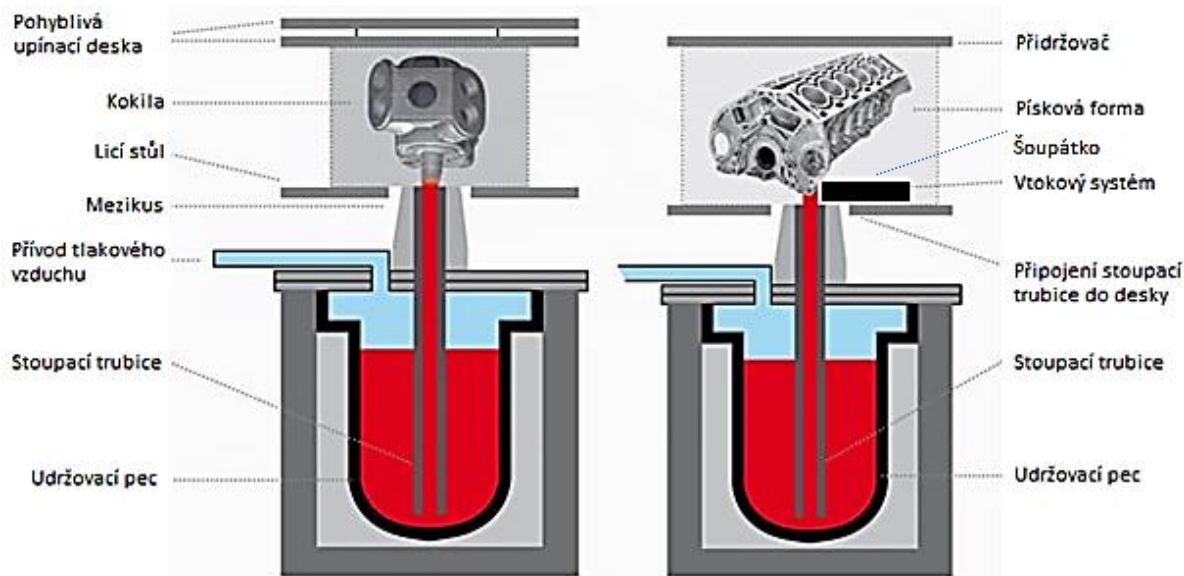
Dělení dle druhu formy: (Obr. 20)

Typ a materiál formy se volí v závislosti na požadavcích zákazníka, na počtu vyráběných kusů a na finanční strategii jednotlivých podniků.

- a) **Trvalé** – (kovové) – výroba kovových forem je velice přesný a nákladný proces. Z toho důvodu se při nízké produkci volí levnější písková varianta. Při sériových produkcích je ovšem kovová forma nepostradatelná.
- b) **Netrvalé** – (pískové) – tato varianta se volí při nízkém počtu kusů v produkci, je tedy vhodná při kusové či hromadné výrobě. Je ovšem nutné dílnu vybavit dalšími zařízeními pro zpracovávání (formování, recyklace, mletí, atd.) písků.

Princip této metody se částečně liší od klasického lití do kovové formy:

Plnění původní čtyřnásobné formy vtokovou soustavou se spodním zaústěním zářezů do dutiny formy je v případě uplatnění nové metody nahrazeno pětímístnou formou (umístění pěti modelů na modelové desce) s plněním dutin slévárenské formy odspodu směrem nahoru. Vtoková soustava se zjednodušila, plnění formy je klidné, bez vírů a turbulence. Po úplném zaplnění dutiny formy se přívod taveniny uzavře mechanicky šoupátkem, a tím se oddělí od tavícího agregátu a přisunu taveniny. [1]



Obr. 20 – Nízko tlaké lití do kovové a pískové formy. [9]

5.2 Analýza licího zařízení vyrábějící odlitek pro skříň CNG

Strojový park je v zadávající společnosti MOTOR JIKOV Group a. s. vybaven třemi nízko tlakovými licími zařízeními. Nejstarší je od společnosti KURTZ, které se pro tento typ odlitku nevyužívá. Dále jsou tu dva stroje od společnosti LPM a to LPM II BPS 800 SX (Obr. 21), které jsou umístěny vedle sebe zrcadlově otočeny tak, aby bylo možné obsluhovat oba najednou jedním obsluhujícím pracovníkem.

LPM II BPS 800 SX

Základní činností je vertikální pohyb formy provedený hydraulickým válcem. Zajišťuje uzavírací sílu rovnající se 250 kN a otevírací sílu rovnající se 200 kN. Vertikální zařízení má čtyři sloupy, je vybaveno systémem vykládání odlitků, termoregulačním zařízením formy, elektrickým a elektronickým zařízením k řízení výkonových okruhů a kontroly celého procesu včetně tří desek, které se nazývají „desky stroje“. Ty se rozdělují na mobilní (pohybují se pomocí hydraulických válců podél vodících sloupů) a pevné (kromě toho, že jsou statické, tvoří součást struktury lisu). [10]



Obr. 21 – LPM II BPS 800 SX. [10]

Základní charakteristiky zařízení

Podélná vzdálenost mezi sloupy	1 690 mm
Příčná vzdálenost mezi sloupy	890 mm
Průměr pohyblivých sloupů (chromovaná ocel)	110 mm
Dráha horní mobilní desky	1 450 mm
Dráha spodní mobilní desky	1 200 mm
Min. vzdálenost mezi spodní a horní mobilní deskou	350 mm
Uzavírací síla	250 kN
Otevírací síla	200 kN
Vyrážecí síla	240 kN
Rozměry (d x v x š)	2 290 x 4 400 x 1 150 mm

Tab. 2 – Základní charakteristiky BPS 800 SX. [10]

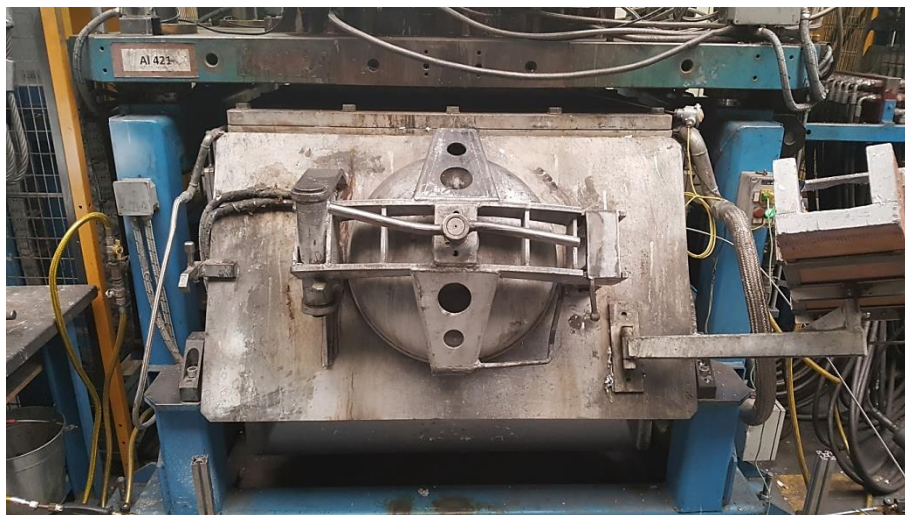
Doplňující části stroje

- Zařízení vyložení odlitku s hydraulickým pohonem s vertikálním posuvem 1 200 mm a horizontálním posuvem 1600 mm.
- Systém termoregulace formy, skládající se z 20 oddělených chladících okruhů, 10 okruhů pro horní část a 10 pro spodní část. Každý okruh je kontrolován z PLC a je napájen prostřednictvím elektroventilů typu ON / OFF. Každý okruh je dále vybaven průtokoměrem a vizuálním plovoucím měřením kontrolujícím průtok kapalin.
- Hydraulické zařízení s glykolovou vodou včetně všech příslušenství (čerpadla, proporcionální ventily, filtry, atd.) potřebných, aby stroj pracoval na požadovaný výkon. Instalovaný výkon (25 kW) zaručuje minimální pracovní tlak 100 bar a max. 130 bar. Teplota kapaliny, kontrolována prostřednictvím termostatů, má maximální hodnotu 45 °C, která je dosažena použitím výměníku tepla voda / olej při maximální teplotě 20 °C. Ovládání válce otevření / uzavření je zajištěno pomocí proporcionálního ventilu nezbytného pro činnost bez nárazů, vzhledem k možným vysokým rychlostem.
- Lineární snímač pro kontrolu vertikální pozice mobilní desky.
- Lineární snímač pro kontrolu vertikální pozice lineárního vynašeče. [10]

5.2.1 Udržovací pec

Udržovací pec (Obr. 22) se skládá z vanové pece, opláštění z žáruvzdorného materiálu Striko – Westofen, s elektrickým vytápěním. Vytápění je prováděno pomocí třech tyčí z

karbidu křemíku, které jsou chráněny proti „prostřikům“ hliníku. Jsou umístěny ve speciálních ocelových trubkách APM, které jsou vysunutelné zvenku otevřením bočních dvířek. Celková charakteristika zaručuje kontinuitu činnosti i při použití pouze dvou článků. Nalévací otvor o velkých rozměrech zjednodušuje operace čištění a otevírání. Blokování je provedeno jediným centrálním šroubem s velkým průměrem. Kontrola teploty je prováděna dvěma termočlánky, jeden pro kontrolu teploty lázně a druhý pro kontrolu tepelných prvků. [10]



Obr. 22 – Udržovací pec.

Základní charakteristiky udržovací pece (Tab. 3)

Kapacita hliníku	800 kg
Maximální výkon	25 kW
Maximální tlak	1,5 bar
Teplota udržování hliníku	680 – 720 °C
Šířka	1 460 mm
Délka	1 950 mm
Výška	1 200 mm
Váha (bez vsázky)	cca 2 000 kg

Tab. 3 – Základní charakteristiky udržovací pece. [10]

5.2.2 Pneumatické zařízení

Pneumatické zařízení pro řízení přetlakování pece se skládá z redukčních filtrů, pneumatických ventilů Omal, snímačem tlaku a manometry Wika, bezpečnostním tlakovým spínačem Square – D a proporčním ventilem. Pec má dvojitý vypouštěcí okruh, jeden s regulovaným průtokem k odstranění turbulentních pohybů a druhý pro eventuální manévry nouzových stavů. Veškerá příslušenství přetlakování pece jsou propojena a umístěna za pecí. [10]

5.2.3 Hydraulické a centrální zařízení

Hydraulické zařízení se skládá z hydraulické jednotky a následujících prvků:

- 1 ks válec pohybu lisu,
- 1 ks válec vyrážení odlítka,
- 2 ks válce lineárního vynašeče,
- 2 ks zdvih desky stroje,

- 2 ks překlápění pece,
- 1 ks blokovací systém proti klesání,
- 4 ks válce formy.

Jsou navržena k pohánění celého stroje, pracovní náplň tvoří nehořlavá glykolová voda. Instalovaný výkon je 24 kW a zahrnuje jednotku pro filtrování a výměny tepla pro chlazení hydraulické kapaliny; stejná jednotka zajišťuje minimální pracovní tlak 100 bar až do maximálního tlaku 130 bar. Řízení hlavního válce lisu je prováděno pomocí proporcionálního ventilu, který je nezbytný pro lineární pohyb bez trhlin při uvážení vysokých dosažitelných rychlostí. Dále je možné nezávisle regulovat tlak (100 – 130 bar) otevření – uzavření stroje. [10]

5.3 Tavicí pec

Ve společnosti MOTOR JIKOV Tlaková slévárna, oddělení nízkotlakého lití, se nachází jedno tavicí zařízení od firmy Bleiwenz / Krézl KRTU 300/600 (šachtová pec, Obr. 23). Je určena k roztavení hliníkové vsázky, která je následně upravována před a po přelití do udržovací pece. Ta je součástí nízkotlakého lícího zařízení. Firma Bleiwenz / Krézl vyráběla zařízení dle požadavků zákazníka, ale v dnešní době již neexistuje a jejich zařízení jsou jen velice obtížně servisována a jsou značně nespolehlivá. Bližší specifika k používanému zařízení jsou v této době takřka nedohledatelná. Hmotnost vsázky je cca 600 kg a kapacita tavení je 1,5 t/den. Obsahuje hořáky na zemní plyn o výkonu 250 kW s přímým ohřevem a samostatným odvětráním do ovzduší.



Obr. 23 – Tavicí pec od firmy Bleiwenz / Krézl KRTU 300 / 600.

6 Forma pro nízkotlaké lití

Tato kapitola je věnována formě pro nízkotlaké lití skříně kompresoru pro plnicí stanici CNG. Jedná se o praktický pohled na to, jak je forma konstruována ve společnosti MOTOR JIKOV Fostron a. s. pro použití v praxi.

6.1. Konstrukce formy

Konstrukce formy je dána jak požadavky zákazníka, tak požadavky na samotnou technologii lití. Tyto dvě části je nutné zcela propojit tak, aby došlo k úplné optimalizaci výrobního procesu.

Zákazník zadává konečnou podobu dílce a jeho umístění v celkové sestavě. Na takto zadaný dílec je nutné dohodnout technologické přídatky a opatření se zadávající firmou. Jedná se např. o polohu vyhadzovačů, umístění technologických úkosů a přesazení, polohu dělicí roviny, vtoku, atd. Je nezbytné najít takové řešení, které umožní bezproblémové odlití dílce a jeho správnou užítost v praxi.

6.1.1 Materiál formy

Formy pro nízkotlaké lití jsou vyráběny z různých materiálů. Lze se setkat s provedením klasickým ocelovým nebo ve výjimečných případech i s provedeními speciálními např. z beryliového bronzu, molybdenu nebo kompozitních materiálů vytvrzených titanem. [15]

Volený materiál závisí na požadovaných vlastnostech formy a jejímu namáhání. Dále je zahrnuta trvanlivost a možnost tepelného zpracování formy. Jedná se tedy o kompromis mezi mnoha sledovanými faktory mezi, které ještě patří např. teplotní roztažnost, tepelná vodivost, rozměrová stálost, mechanické vlastnosti, prokalitelnost, obrobitelnost, odolnost proti chemickému namáhání, odolnost proti popuštění, atd. [15]

Pro části forem, které nejsou v přímém kontaktu s roztaveným kovem, jsou používány levnější materiály, kterými jsou uhlíkové oceli. Ty ovšem nelze používat na vysoce tepelně namáhané části, proto se v těchto případech používají vhodnější nástrojové oceli. Pro tento účel se v převážné většině konstrukcí forem využívá oceli 19 520 či 19 552.

V rámci této diplomové práce byla nízkotlaká forma, společností MOTOR JIKOV Fostron a. s., zhotovena z materiálu 19 552.

X38CrMoV5-1 (H11)

Nástrojová chrom-molybden-vanadová ocel (Tab. 4) pro práci za tepla s velkou prokalitelností, vysokou odolností proti popuštění, vysokou pevností a velmi dobrou otěruvzdorností za tepla. Ocel se dále vyznačuje vysokou houževnatostí a velmi dobrou odolností proti tvorbě trhlinek z tepelné únavy a malou citlivostí k prudkým změnám teplot. Proto lze tento materiál při provozu chladit vodou. Všechny tyto vlastnosti jsou nezbytné pro lití hliníkových slitin i dalších, např. Zn, Mg či Sn. [13]

Forma z tohoto materiálu je po procesu obrobení kalena a popuštěna s měřenou tvrdostí od 38 do 40 HRC.

Chemické složení

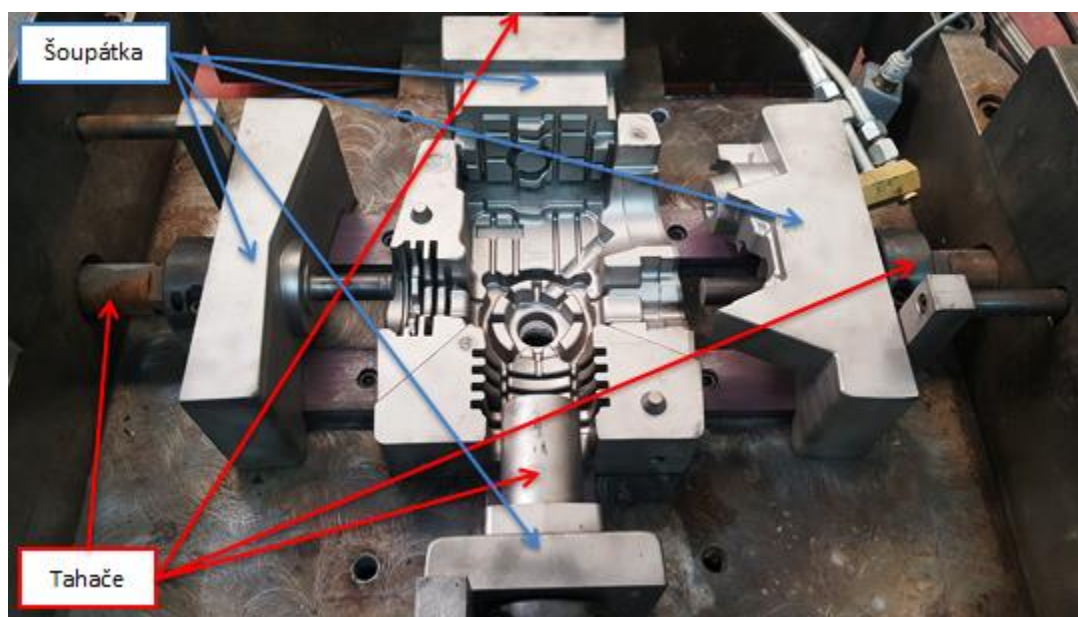
C	Cr	Mo	V	Si
0,37	5,0	1,4	0,45	1,0

Tab. 4 – Chemické složení oceli H11. [13]

6.1.2 Řešení spodní poloviny formy

Vzhledem ke složitému tvaru odlitku je nutné spodní polovinu formy (Obr. 24) rozdělit do čtyř oddělitelných částí. To je řešeno pomocí tzv. šoupátek. Tato šoupátka jsou pomocí přírub připevněna k hydraulickým tahačům, které umožňují jejich odevírání či zavírání. Zároveň jsou v nich umístěny šroubové tyče, na kterých jsou nainstalovány koncové spínače, které vymezují polohy zavřeno/otevřeno. Součástí tří šoupat je trn, který slouží jako nástavec na litinové zálitky a zároveň jako falešné jádro, které brání kovu k nalití do míst jím vymezeným.

Veškeré prvky dolní části formy jsou vybaveny technologickými úkosy (minimálně 3°), aby bylo možné dostat odlitek ven společně s horní polovinou formy. Maximální vůle mezi jednotlivými komponenty je 0,2 mm, z důvodu možnosti zatékání kovu a vzniku plen.

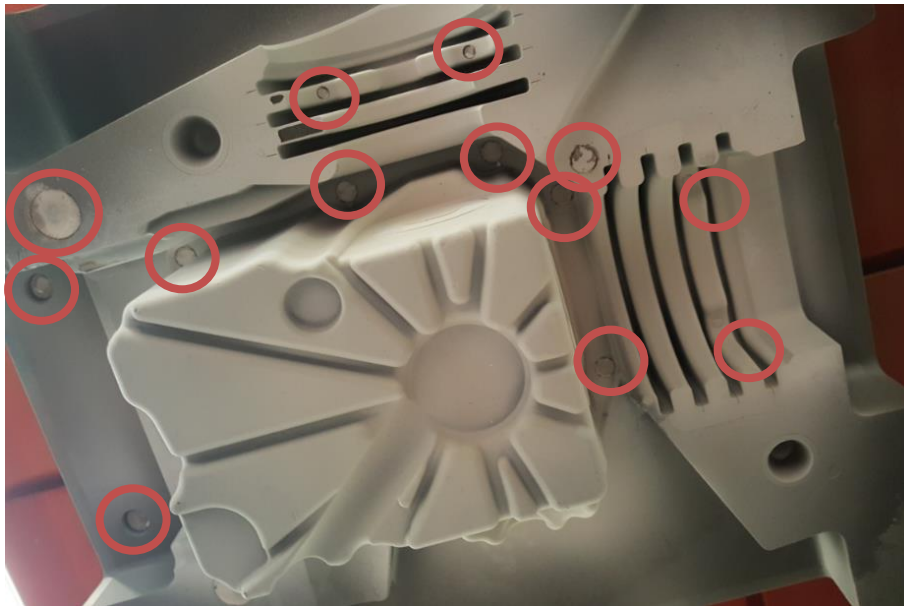


Obr. 24 – Spodní polovina formy.

6.1.3 Řešení horní poloviny formy

Horní polovina formy funguje jako nepravé jádro, které je negativem pracovního prostoru kompresoru. Je umístěna na pohyblivé pracovní desce, která po ukončení procesu lití vyjíždí spolu s odlitkem. Po dosažení koncové polohy dochází k zastavení a následnému zasunutí posuvného odebíracího suportu pod horní poloformu. V tom okamžiku se dávají do pohybu vyhazovače, které vyráží odlitek na připravený suport.

Vyhazovače (Obr. 25) jsou nejdůležitějším prvkem horní poloviny formy. Volí se téměř výhradně s kruhovým průřezem (v tomto případě tisícíhran, který plní také funkci výfuku) a měly by být umístěny co nejbližně těm částem odlitku, které drží odlitek v pohyblivé polovině formy. Pokud jsou vyhazovače rozmístěny jiným způsobem, je možné porušení geometrického tvaru odlitku a jeho deformace při vyjímání. 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 vychýlení odlitku. [5]

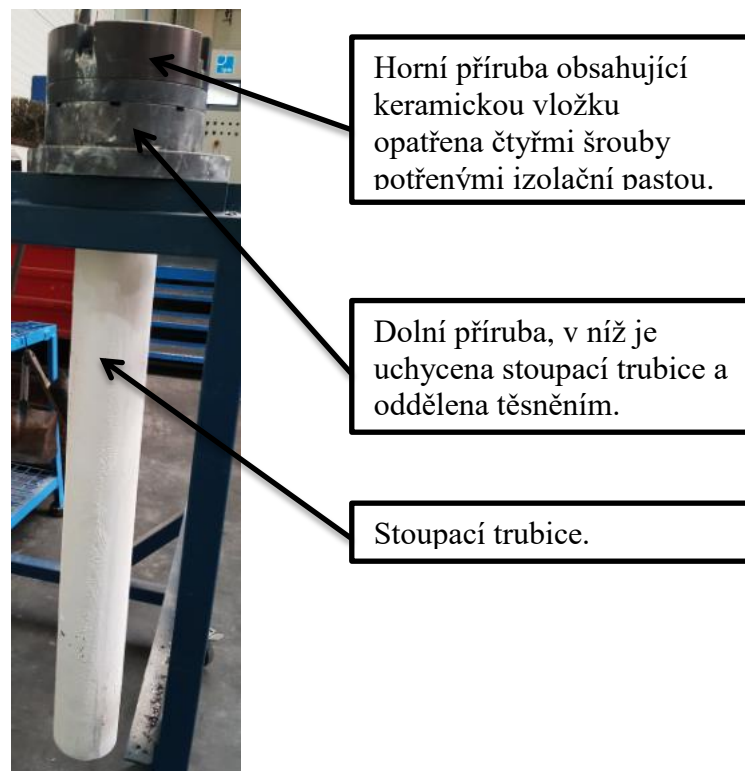


Obr. 25 – Vyhazovače v horní polovině formy.

6.1.4 Řešení vtokové soustavy

Řešení vtokové soustavy bylo popsáno již v jedné z předchozích kapitol (kap. 4.1), která byla věnována procesu plnění formy.

Forma je plněna spodem mírným plynulým tlakem vzduchu (zbaveného vlhkosti) působícího na hladinu roztaveného kovu. Roztavený kov stoupá do formy pomocí stoupací trubice (před ústím do dutiny formy může být umístěno keramické sítko, které by zabraňovalo zanášení nečistot). Vtok musí na odlitku chladnout jako poslední, protože kdyby došlo k zatuhnutí kovu v trubici, bylo by nemožné dostat odlitek ze spodku formy a musel by se vysekat. To znamená, že obsah dutiny formy musí chladnout od shora.

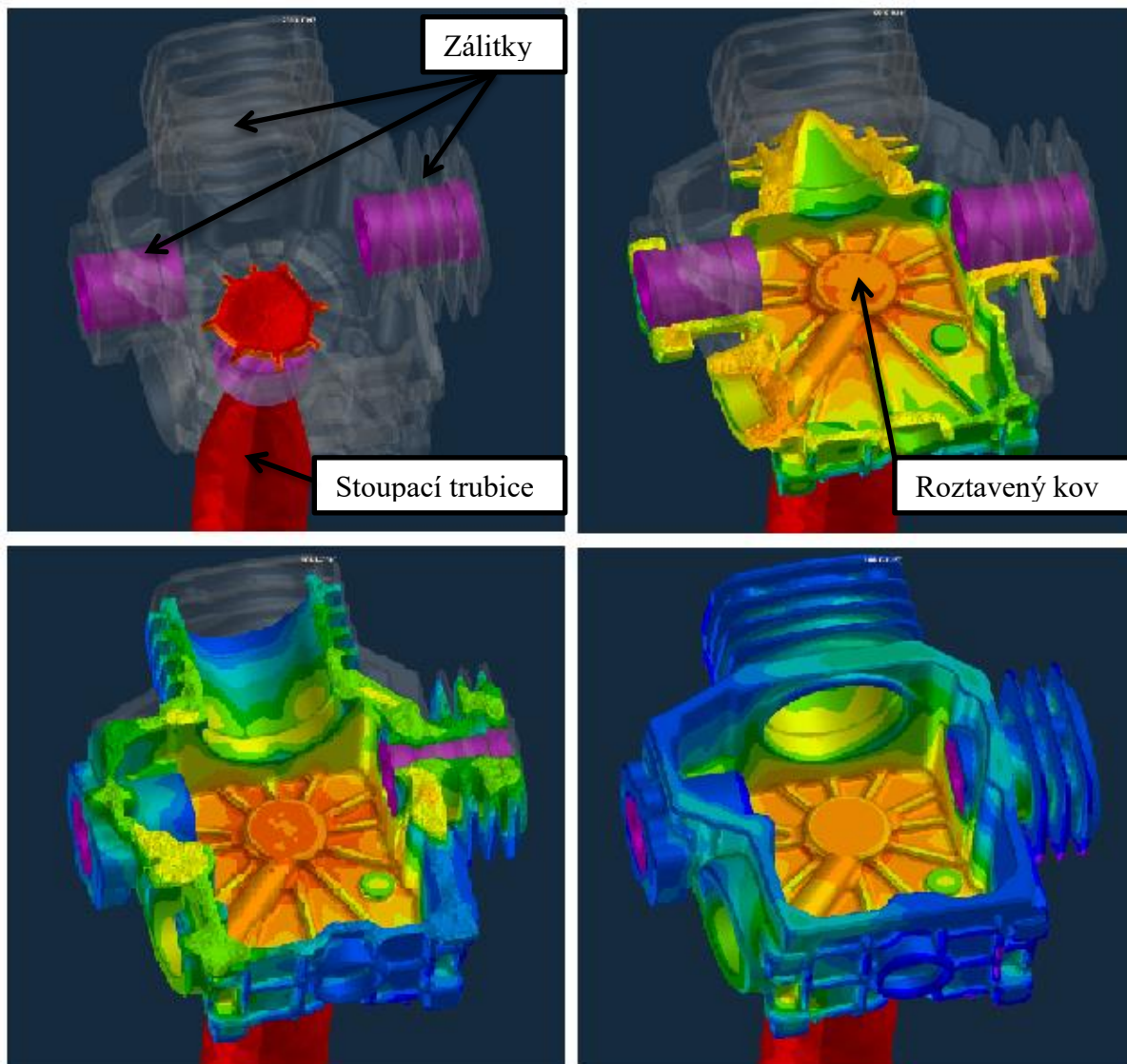


Obr. 26 – Stoupací trubice pece BPS II LPM 800 SX.

Na obr. 26 je fotografie stoupací trubice firmy H. C. STARCK, která je již připravena v přírubách, opatřena těsněními a keramickou vložkou. Stoupací trubice je v tomto případě vyrobena z Al_2TiO_5 (cena jedné trubice se pohybuje kolem 500 €). Před samotným vložením do víka udržovací pece je nutné nahřátí. To se provádí z důvodu ulpívání vzdušné vlhkosti na povrchu trubice. Při vložení nevyhřáté trubice by v mezním případě mohlo dojít až k explozi obsahu udržovací pece a tím způsobením velkých škod. Exploze by byla zapříčiněna náhlým vypařením vodních par, což by způsobilo prudké zvětšení jejich objemu (až 1 200 x).

Způsob plnění dutiny formy a chladnutí je nedílnou a velmi důležitou součástí procesu lití. Této problematice je věnován značný prostor v přípravě projektu. Řeší se pomocí simulací v počítačovém softwaru PROCAST (příp. MAGMA). Do programu se vloží veškeré vstupní údaje, volené veličiny procesu lití a návrh formy, vtoků, výfuků, atd. Vytvořená simulace by měla poskytnout představu o reálném způsobu plnění formy a chladnutí roztaveného kovu. Na základě této simulace by měly proběhnout ještě před výrobou formy případné korekce či změny. Po vyřešení všech slabých míst simulace je možné začít s výrobou formy s následným zkoušením (vzorkováním).

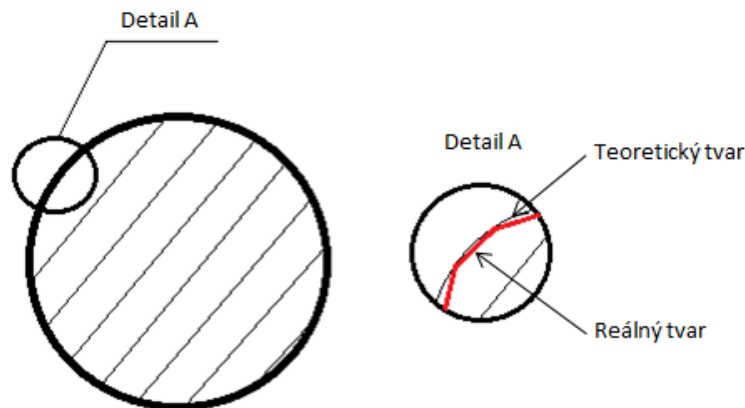
Na Obr. 27 je znázorněné plnění jednočetné formy. Kov je přiváděn stoupací trubicí do dutiny formy, kterou postupně a klidně zaplňuje. Na posledním obrázku je možné vidět správný postup chladnutí.



Obr. 27 – Simulace plnění formy skříně kompresoru plnicí stanice CNG v softwaru PROCAST.

6.1.5 Řešení výfukové soustavy

Jelikož je vzduch před vstupem do udržovací pece, která je součástí licího zařízení, zbaven vlhkostí, nedochází k naplynění roztaveného kovu. Proto se nemusí výfuková soustava řešit formou soustavy odplyňovacích „výfuků“, jako je tomu u forem, kde je nutné vznikající plyny odvádět. Jediné plyny, které se tedy musí odvést, jsou ty, co zůstaly v dutině formy. V tomto případě je to řešeno jednoduchou formou tak, že odplynění je realizováno pomocí vhodné úpravy vyhazovačů (Obr. 28). Vyhazovače v horní polovině formy tedy nejsou řešeny klasickým kružnicovým řezem, ale řezem ve tvaru tisícíhranu, kdy přebytečné plyny z dutiny formy odcházejí pomocí malých děr mezi formou a vyhazovači. Největší rozměr vůlí musí být menší než 0,2 mm.



Obr. 28 – Profil průřezu vyhazovače – tisícíhran.

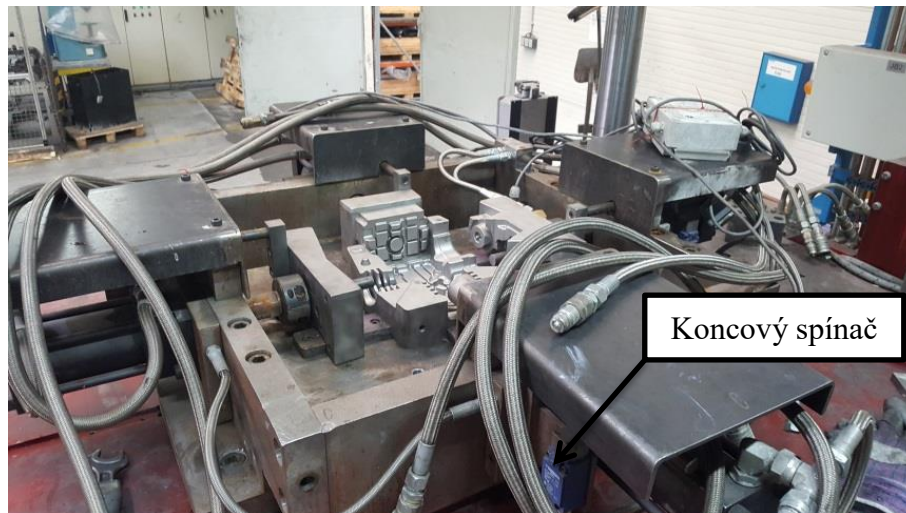
Je snaha realizovat podobný systém odvodu vzduchu i v problémovém místě žebrování, v dolní i horní poloformě, kde je nutné plyny odvádět pomocí dvou na sebe přiložených manžet s výřezy, které nesmí být také větší než 0,2 mm.

6.2 Chlazení, temperování 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 (resp. jádra, které se ovšem v řešeném dílci nevyskytuje), zadírání při vyhazování odlitku a zvýšení rizika deformace odlitku při vyhazování. Přílišné přehřátí také výrazně snižuje životnost formy. Proto je nutné při návrhu formy pamatovat na účinné chlazení všech aktivních částí. Pro teplotní regulaci se vyvrtávají do obou polovin formy kanály, které se šroubením a gumovými hadicemi napojují na chladicí systém (Obr. 29). [15]

Temperace forem je velice důležitá pro dodržení požadované teploty, která se u hliníkových slitin pohybuje od 350 °C do 400 °C (s tím souvisí postřik forem, který je v následující kapitole 6.3. Nástřiky forem). Běžně se používají následující dva způsoby temperace forem: [5]

- Olejem (práce při teplotách 180 – 220 °C) – použití u tenkostěnných odlitků, naopak u tlustostěnných se forma ochlazuje,
- Vodou (práce při teplotách kolem 20 °C) – chlazení přehřívajících se částí formy (průběh lze redukovat, tzn. zastavit a spustit, kdy je to vhodné). [15]



Obr. 29 – Dolní část formy se soustavou hadic pro chlazení a rozvod hydraulické kapaliny.

6.3 Nástřiky forem

Mezi hlavní funkce nástřiků patří: nanesení dělicího prostředku, namazání pohyblivých částí, odstranění nečistot a ochlazení formy.

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 (např. vyhazovače). [16]

Předpokladem pro správnou funkci dělicího prostředku je stejnoměrná teplota formy, která by měla ležet v rozsahu cca. 150 °C až 200 °C (Obr. 30). Tento požadavek je hlavní úlohou konstrukce formy a její teploty. Je-li teplota povrchu příliš vysoká, k nanesení dělicího prostředku nedojde, protože kapky 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. [16]

Postřík forem se provádí pomocí vodou ředitelných mazadel či metodou suchého mazání, které je ovšem finančně náročnější. Mezi další způsoby mazání forem patří grafitová pasta, kterou lze použít během rozjezdu formy, dokud teplota formy není uzpůsobená mazání vodou ředitelnými mazadly. [15]

Postřík forem je možné provádět ručně pomocí postřikovací pistole nebo automaticky. V případě automatického postřiku se uplatňují dvouosá ošetřovací zařízení, ošetřovací roboti nebo kombinace robota a postřikovací hlavy. Používá se převážně ruční nanášení, kdy je možné rychlé správné reakce na vznikající nečistosti v postřiku. [15]

Použití nástřiků při nízkotlakém lití skříně kompresoru

Základní zásady použití:

- Před každým odběrem koncentrátu z nádoby je nutné ho vždy rozmíchat,
- Každý nástřík je nutné nalévat do stejných nádob s označením typu nástřiku,
- Již naředěný koncentrát nelze vracet zpět do nádoby s koncentrátem,
- Před aplikací je nutné nádobku řádně protřepat,
- Nástřík lze nanášet pouze na očištěný povrch zbavený nečistot z předchozího lití,
- Nanášení probíhá ze vzdálenosti 20 – 30 cm, pohybem rovnoběžným a kolmým k povrchu,

- Stříkáci pistole je nutné po každé pracovní směně vyčistit.
- Stříkáci pistole nesmí obsahovat sítko k zachycení nečistot a doporučený průměr trysky je 1,8 mm.

V tomto případě se používají tři typy nástřiků a jejich příprava a použití je následující:

1. Základní (izolační) nástřík

Jemný izolační nástřík METALSTAR KS 201 je ředěn v poměru 1 (koncentrát) : 6 (voda). Postřík je proveden v malých rovnoměrných vrstvách stříkáci pistolí při teplotě formy cca. 150 – 200 °C. Jakmile vrstva zaschne (zesvětlá), lze nanášet vrstvu druhou. Takto připravený nástřík je aplikován na povrch formy otryskané jemným pískem (zrnitost 0,01 – 0,03 mm²) nebo suchým ledem. Funguje jako podklad pro vodivý nástřík a zabraňuje kontaktu roztaveného kovu s formou. Odvádí také teplotu dále do formy.

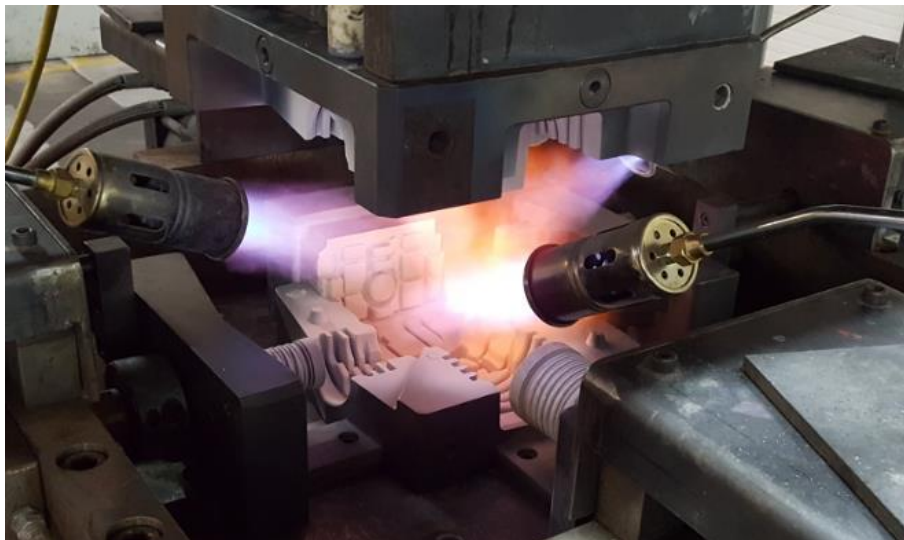
V současné době se tento izolační nástřík přestal vyrábět a je nutné najít a prověřit vhodnost alternativního postříku. Náhradou by měl být nástřík firmy FOSECO DYCOTE D R87 (1590 – 1690 Wm⁻²K⁻¹). Zkouška tohoto nástříku proběhla v rámci vzorkování č 11.

2. Vodivý nástřík

Tento nástřík je aplikován a připraven stejným postupem jako v předešlém případě, ovšem z jiného koncentrátu a to DYCOTE 34. Nanáší se za účelem správného vyplňování formy a odvodem tepla (725 – 750 Wm⁻²K⁻¹).

3. Separační nástřík

Tento nástřík je grafitový DYCOTE 36 ředěn v poměru 1 (koncentrát) : 5 (voda). Je nanášena pouze jednou vrstvou na povrch formy, který je očištěn ofoukáním stlačeným vzduchem. Aplikována je před každým novým litím stříkáci pistolí při lící teplotě formy. Tento nástřík je použit na části formy, kde nesmí docházet k nalepování, které už nefungují jako dutina pro budoucí odlitek. Přenáší teplo je 1710 – 1810 Wm⁻²K⁻¹.



Obr. 30 – Příprava formy pro nanesení nástříku.

7 Volba a analýza hliníkové slitiny pro skříň CNG

Pro skříň kompresoru plnicí stanice CNG byl zvolen materiál Al 421 (AlSi7Mg0,3). Je nejvhodnější variantou z materiálů používaných ve společnosti MOTOR JIKOV Slévárna a. s. pro nízkotlaké lití. Volba proběhla na základě předpokládaných užitných vlastností tohoto typu materiálu. Výhodou je i možnost využívat vrat z dalších vyráběných dílců.

Použití jiného než stávajícího materiálu by bylo podmíněné nutností nákupu ještě jednoho tavicího zařízení a transportní pánve. Další a nejméně vhodnou variantou by bylo použití stejné pece, ale v tomto případě by pec musela být při každé změně materiálu důkladně vybrána, což by bylo velice neekonomické a pracné řešení.

Možnost výroby z vratového materiálu přímo z místní výroby byla jedním z rozhodujících faktorů. Pro tyto účely se využívají např. zbytky vtokových soustav nebo neshodné dílce.

Problém vlastního vratu spočívá v přítomnosti zálitků, které je nutné vyjmout. Dosavadní řešení je takové, že se dílce vloží do transportní pánve, kam se namíří hořák a zakryje se. Následně dojde k roztavení dílců a vyjmutí zálitků.

Je nemožné do vsázky přidávat materiál ve formě odpadu (špon) vzniklého při následné apretaci či obrábění. Tento materiál je nevhodný z důvodu zbytkové vlhkosti a nezaručeného chemického složení, což vede k nekvalitě vyráběných dílců.

7.1 Spektrální analýza

Spektrální analýzou se zjišťuje jednotlivé prvkové složení ve zkoušeném vzorku. Uvedené měření probíhá v zadávající společnosti na spektrometru typu SPECTROMAXx CS. K vyhodnocení se využívají programy Dia 2000 SE a SPARK ANALYZER MX.

Materiál Prvek [hm. %]	Norma	Spektrální Analýza
Al	zbytek	zbytek
Si	6,50 – 7,50	7,05 ± 0,17
Fe	0,19 max	0,10 ± 0,01
Cu	0,05	<0,001
Zn	0,07 max	<0,001
Mg	0,25 – 0,45	0,42 ± 0,02
Pb	-	<0,01
Mn	0,10 max	0,02 ± 0,01
Sn	-	<0,001
Ti	0,08 – 0,25	0,13 ± 0,01
Cd	-	<0,01
Sr	-	0,03 ± 0,01

Tab. 5 – Srovnání normy s průměrem výsledků spektrální analýzy pro hlavní sledované prvky.

Na základě výsledků spektrální analýzy lze říci, že materiál je vhodný pro odlévání (o tomto více v kapitole 8. Vlastní vsázka skříň CNG a její úpravy) a veškeré hodnoty se nachází v mezích daných normou. Prvky jako olovo, cín nebo kadmium se sice nenacházejí v normové tabulce, ale spektrální analýza je ve slitině odhalila ve stopovém množství. Jejich množství je malé, ovšem jejich vliv na kvalitu a vlastnosti daného materiálu je nezpochybnitelný.

Spektrální analýza se provádí pravidelně každé čtyři hodiny a při každé nové vsázce 20 minut po promíchání. Výsledky spektrální analýzy se každým novým měřením nepatrně liší, takže výsledky v Tab. 5 jsou vypočteny na základě deseti měření. Je ovšem nezbytné, aby hodnoty byly shodné s normou. Pokud je tomu tak, lze zahájit výrobu.

Při každém provádění spektrální analýzy je také kontrolován index hustoty, tzv. DICHTE index. Ten udává stupeň naplynění dané taveniny. O tom je více pojednáno v kapitole 8.3. Odplynění.

7.2 Vlastnosti zvolené slitiny

Z výsledků spektrálních analýz (Tab. 6 a Tab. 7) pro všech deset vzorkování (kap. 10. Převedení odlitku skříně CNG do sériové výroby) lze vyvodit několik závěrů o vlastnostech zvolené hliníkové slitiny, která je použita pro skříně kompresoru pro plnicí stanici CNG. Již z naměřených hodnot je patrné, že dodávaná předslitina má velmi stálé chemické složení, které je ještě před litím doplněno předslutinami, jež do taveniny vnesou prvky jako je stroncium, bor, titan a hořčík, které jsou pro použitou slitinu charakteristické.

Základním prvkem této slitiny je podle předpokladů hliník, který je obsažen více jak z 92 hm. %. Jako hlavní přísadový prvek je zde křemík, který je v tomto případě zastoupen 7,05 hm. %. Snahou je držet obsah křemíku kolem 7,0 hm. %. Z toho plyne, že uvedená hliníková slitina je slitinou podeutektickou a lze ji ovlivňovat především očkovaním a modifikováním. Mikrostrukturu tvoří síť primárních dendridů hliníku a modifikované eutektikum (Obr. 50).

Procento křemíku obsažené ve slitině pozitivně zlepšuje všechny slévárenské vlastnosti (zabíhavost, snížení sklonu k trhlinám a prasklinám, zlepšuje kluzné vlastnosti, odolnost proti otěru a korozi, snižuje součinitel stahování, zmenšuje tepelnou roztažnost, atd.). Se zvyšujícím se procentem křemíku by došlo k nevhodnému zvyšování křehkosti a tím ke ztrátě pevnosti a tvrdosti.

V tomto případě se procento železa pohybuje téměř na hranici volené pro vysokopevnostní dynamicky namáhané odlitky. Lze říci, že jeho množství není tak vysoké, aby v odlitku tvořilo nežádoucí intermetalické sloučeniny (hrubé částice) typu jehlicové fáze β – AlFeSi nebo více kompaktní α – AlFeMnSi. [2]

Hořčík je ve slitině důležitý v případě, kdy je odlitek tepelně zpracováván, což se u řešeného dílce neděje. Proto se v tomto případě jedná o neekonomické plýtvání. Bylo by tudíž vhodné přestat s přidáváním předslitiny s obsahem hořčíku.

Nejvýznamnějším vlivem titanu ve slitinách hliníku je jeho očkovací účinek. Sloučenina Al₃Ti tvoří krystalizační zárodky pro nukleaci primární α (Al) fáze a způsobuje zjemnění zrna. S tím se mírně zlepšuje i obrobiteľnosť, odolnosť proti korozi, atd. [2]

Stroncium je do slitiny přidáváno záměrně za účelem modifikace. Cílem je u podeutektických a eutektických slitin hliníku změnit způsob vyloučení eutektického křemíku, jehož forma se mění z destičkovitého tvaru na tvar tyčinky.

Tavba	L - 523	L - 539	L - 551	L - 565	L - 573
Prvek					
Si	7,26	7,31	7,23	7,14	7,04
Fe	0,104	0,103	0,106	0,103	0,103
Cu	0,0049	0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Mn	0,036	0,035	0,034	0,0099	0,01
Mg	0,435	0,417	0,439	0,417	0,396
Ti	0,114	0,12	0,122	0,143	0,143
B	0,0012	0,001	0,0037	0,0008	0,0021
Ca	0,0027	0,0031	0,0028	0,0017	0,0017

Na	0,0019	0,0017	0,001	0,0004	0,0003
Pb	0,0017	0,0021	0,0024	0,0033	0,0035
Sr	0,030	0,031	0,036	0,025	0,030
V	0,0064	0,0068	0,0066	0,0067	0,0065
Zr	0,001	0,0011	0,0013	0,0007	0,0007
Al	92,0	92,0	91,7	92,1	92,3
Cd	0,0039	0,0034	0,0008	0,0033	0,0011
-	-	-	-	-	-
Dichte Index %	5,50	6,84	5,12	4,51	5,34

Tab. 6 – Výsledky spektrálních analýz část 1.

Tavba	L - 586	L - 597	L - 603	L - 612	L - 618	L - 634
Prvek						
Si	6,95	7,00	7,00	6,87	6,74	7,04
Fe	0,101	0,100	0,103	0,107	0,102	0,115
Cu	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Mn	0,012	0,0027	0,0027	0,0065	0,0087	0,009
Mg	0,424	0,402	0,413	0,424	0,394	0,427
Ti	0,142	0,123	0,137	0,126	0,138	0,144
B	0,0006	0,0004	0,0004	0,0005	0,001	0,0003
Ca	0,0027	0,0017	0,0024	0,0025	0,002	0,0015
Na	0,0009	0,0016	0,0011	0,0012	0,0005	0,0001
Pb	0,0042	0,0016	0,0037	0,0023	0,002	0,0035
Sr	0,026	0,032	0,030	0,035	0,025	0,029
V	0,0063	0,0059	0,0060	0,0059	0,0055	0,0055
Zr	0,0011	0,0007	0,0009	0,0009	0,0008	0,0014
Al	92,3	92,3	92,2	92,4	92,6	92,2
Cd	0,0011	0,0037	0,0028	0,0022	0,0056	<0,0001
-	-	-	-	-	-	-
Dichte Index %	4,29	4,55	4,66	6,69	6,79	3,06

Tab. 7 – Výsledky spektrálních analýz část 2.

Dosažené chemické složení u jedenácti vybraných taveb pro potřeby nízkotlakového lití, včetně hodnocení průměrného složení a směrodatné odchylky (Tab. 5) svědčí o dobré jakosti použitých slitin. Průměrné hodnoty důležitých prvků jsou v hodnotách umožňující bezproblémové užití při stávajícím druhování. Rovněž stanovená hodnota DI, který určuje skutečný sklon k bublinatosti (souhrnný vliv obsahu vodíku a oxidických vměstků) je nízká.

8 Vlastní vsázka skříně CNG a její úpravy

Volba vsázkových surovin by vždy měla být kompromisem mezi kvalitou a ekonomikou. Použití dražších surovin bývá často ekonomicky výhodnější, než zdánlivá úspora použitím levnějších surovin, které nebývají většinou tak kvalitní jako ty dražší. Zvolení levnějších surovin často způsobuje velké náklady na neshodnou výrobu a následné odstranění vzniklých škod.

Nejkvalitnějším a nejdražším vsázkovým materiálem jsou housky slitin dodávané z hutí. Lze je rozdělit na tzv. primární a sekundární. Primární slitiny jsou vyráběné úpravou (legováním) elektrolytického hliníku (slitiny prvního tavení). Sekundární slitiny pochází z nejrůznějších zdrojů a surovin různorodého složení – přečištěné v hutích (slitiny druhého tavení). Obsahují větší množství přísadových prvků a nečistot než je tomu u primárních slitin. Ty se muse sledovat, aby nedocházelo k nekvalitní tavbě i přes dodržení veškerých dílenských předpisů. [2]

Další významnou složkou vsázky je vratný materiál, který tvoří vtoky, nálitky a neshodné výrobky. Z literatury vyplývá, že podíl vratného materiálu je podle velikosti odlitku od 20 % u velkých odlitků do 75 % u malých odlitků z jejich hrubé hmotnosti. To je ovšem v rozporu se zkušenostmi ze zadávající společnosti, kde je podíl vratu zastoupen maximálně v 50 %. 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 náročných odlitků lze teoreticky použít i 100 % vratného materiálu, ale s tím se lze setkat jen zřídka. [5]

Z kvalitativního hlediska je nejméně spolehlivou vsázkovou surovinou 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 vůbec neměl a v tomto případě se ani nepoužívá. Jeho výhodou je pouze cena. [2]

Aby se zabránilo negativním jevům, které plynou z nedokonale připravené vsázky, je třeba dbát jednoduchých opatření: vsázet čisté 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 tedy v naprosto suchých prostorách. [5]

Vsázka v tomto reálném případě je složena z primárních housek s vlastním vratem v zastoupení 70 % housky a 30 % vrat. Je tomu tak z předepsaných nároků na kvalitu odlévaných dílců od zadavatele. Za složení vlastní vsázky odpovídá obsluha licích strojů, která má potřebné materiály u každého zařízení ve formě dílenského předpisu, který je nutné dodržovat.

8.1 Zakládání

Pec se zakládá pomocí zavážecího zařízení a košů určených pro danou tavící pec Bleiwenz / Krézl KRTU 300 / 600. To se provádí otvorem k tomu určeným, nikoliv manipulačními dvířky, která slouží pouze k čištění pece. Zakládá se nejprve vratný materiál a až potom nový nakupovaný materiál. Je snaha mít maximálně zaplněnou tavící komoru (cca 600 kg).

Postup

Po odběru kovu do jedné transportní pánve, do které se vejde přibližně 160 kg, následuje založení. V první řadě se nadávkují přepravní koše (cca 76 kg) či skipy (cca 85 kg) vratem nebo nakupovaným materiálem. Je nutné je plnit materiálem pod určitým sklonem (30°) tak, aby nedocházelo ke skluzu do otvoru tavícího hořáku. Ten by měl být po dobu

plnění vypnutý. Po naplnění se hořák uvede do automatizovaného chodu (pracuje v cyklech a jeden cyklus trvá 40 minut).

Materiál je taven při teplotě 780 ± 10 °C. Tuto teplotu je nutné kontrolovat. To je prováděno číslicovým teploměrem typu TECPEC 305 B. Regulována musí být odchylka vyšší než 10 °C.

8.2 Rafinace

Pod pojmem rafinace se rozumí čištění taveniny provedením technologických operací, které mají zajistit co nejvyšší kvalitu roztavené slitiny pro odlévání. Je to označení procesu, při kterém se v tavenině snižuje množství vměstků. Velkým problémem je existence oxidů, kovových a nekovových vměstků, přítomnost rozpuštěných plynů i nevhodná forma vyloučení jednotlivých komponent struktury konečného výrobku. [1], [2]

Při rafinaci jsou využívány zejména následující postupy:

- odstátí taveniny (minimálně používané),
- vynášení vměstků plynovými bublinami (používané v MOTOR JIKOV Slévárna a. s. pro úpravu slitin hliníku litých pod tlakem),
- chemická vazba vměstků pomocí krycích (směs chloridů a fluoridů alkalických kovů, např. Na Cl, K Cl, atd.) a rafinačních solí (složení je stejné jako u krycích, ale jsou doplněny ještě dalšími aktivními komponentami), (používané v MOTOR JIKOV Slévárna a. s. pro úpravu slitin hliníku litých nízkotlakým způsobem),
- mechanické zachycování vměstků při filtraci taveniny (tkaninové nebo keramické filtry, kovová sítko), (minimálně používané). [2]

Principem odstátí je separace vměstků na principu jejich vyplouvání. Vzhledem k téměř stejným hustotám kovu a většiny vměstků je tento způsob časově náročný a málo efektivní. Doba odstátí se musí pohybovat v řádu několika desítek minut až hodiny. Účinnost je však stejně nízká. Odstátí může být zařazeno také jako „předstupeň“ další rafinace. [2]

Při rafinaci profukováním plyny se využívá pohybu plynových bublin k vynášení vměstků na hladinu. K tomuto způsobu rafinace dochází také při odplynování taveniny a bude o něm pojednáno v další kapitole (8.3. Odplynění). [2]

Používání krycích a rafinačních solí je metodou zabránění vzniku vměstků a jejich odstranění z taveniny. Účelem krycích přípravků je bránit přímému kontaktu taveniny s atmosférickým kyslíkem a vlhkostí. Naopak účelem rafinačních solí je odstranit z taveniny nežádoucí vměstky, snížit ztráty kovového hliníku a snížit obsah některých nežádoucích prvků. [2]

Postup rafinace

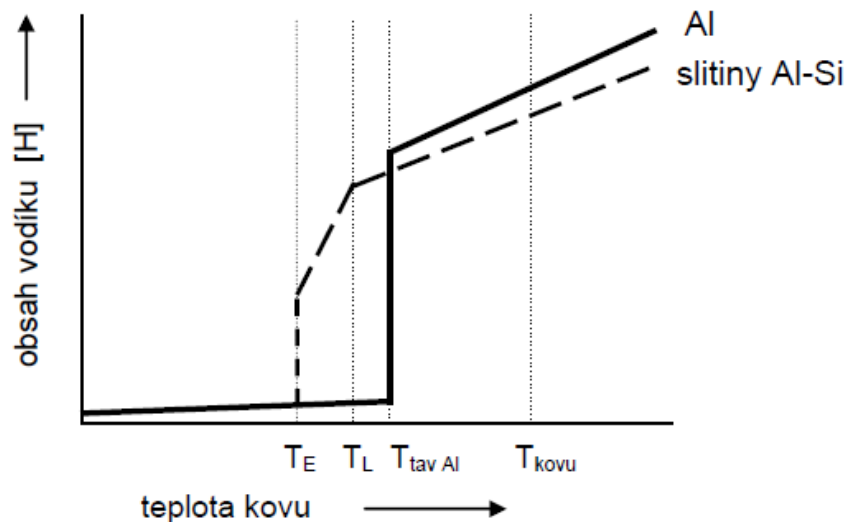
Pro skříň kompresoru plnicí stanice CNG byl zvolen způsob rafinace pomocí rafinační soli. Tento proces je uskutečňován již v transportní pánvi, která je předem vyhřáta a přivezena k tavící peci, co nejbližší k vylévacímu otvoru.

Po nalití přibližně 1 / 3 objemu (cca 160 kg je celková hmotnost) transportní pánve je lití zastaveno a obsluha vsype na povrch roztaveného kovu rafinační sůl typu PROBAT FLUSS v množství 0,2 kg. Poté je pánve kompletně dolita. Po ustálení hladiny taveniny je pomocí kovového hrabla stažena vzniklá struska, která je vysypána do předem připraveného vozíku.

8.3 Odplynění

Jediným plynem, jehož rozpustnost v tekutém hliníku je technicky významná, je vodík. Snížení rozpustnosti vodíku během tuhnutí je hlavní příčinou vzniku plynových dutin

ve slitinách hliníku. Při zvyšování teploty roztaveného kovu se rozpustnost velmi výrazně zvětšuje (Obr. 31). [2]



Obr. 31 – Obsah vodíku v závislosti na teplotě. [2]

Hlavním zdrojem vodíku je vlhkost v pecních vyzdívkách, špatně vysušených kelímcích, případně také v pecní atmosféře, solích a vlhkém nářadí. Významným zdrojem vodíku může být i vsázka v případě, že se přidává do roztaveného kovu bez důkladného předehtání (nestačí pouhé vysušení). [2]

Odplyňování je metalurgická operace, jejímž cílem je snížení obsahu vodíku na takovou úroveň, při které nedojde k vyloučení bublin. Obsah vodíku obvykle bývá v rozmezí od 0,2 do 0,8 cm³ / 100 g Al. Aby se zamezilo vzniku bublin je nutné obsah vodíku v tavenině snížit pod 0,2, někdy až pod 0,1 cm³ / 100 g Al. Přípustný obsah vodíku závisí na technologii odlévání, na tloušťkách stěn (rychlost tuhnutí) a především na účelu použití odlitků. Obecně platí, že čím pomalejší je tuhnutí, tím vyšší je sklon ke vzniku bublin a tím dokonalejší musí být odplynění. Proto jsou při odlévání do pískových forem a odlévání silnostěnných odlitků nároky na odplynění vyšší, než při lití tenkostěnných odlitků a při lití do kovových forem. Při tlakovém lití odlitků s malými nároky na vnitřní kvalitu se často odplyňování nemusí provádět vůbec. [2]

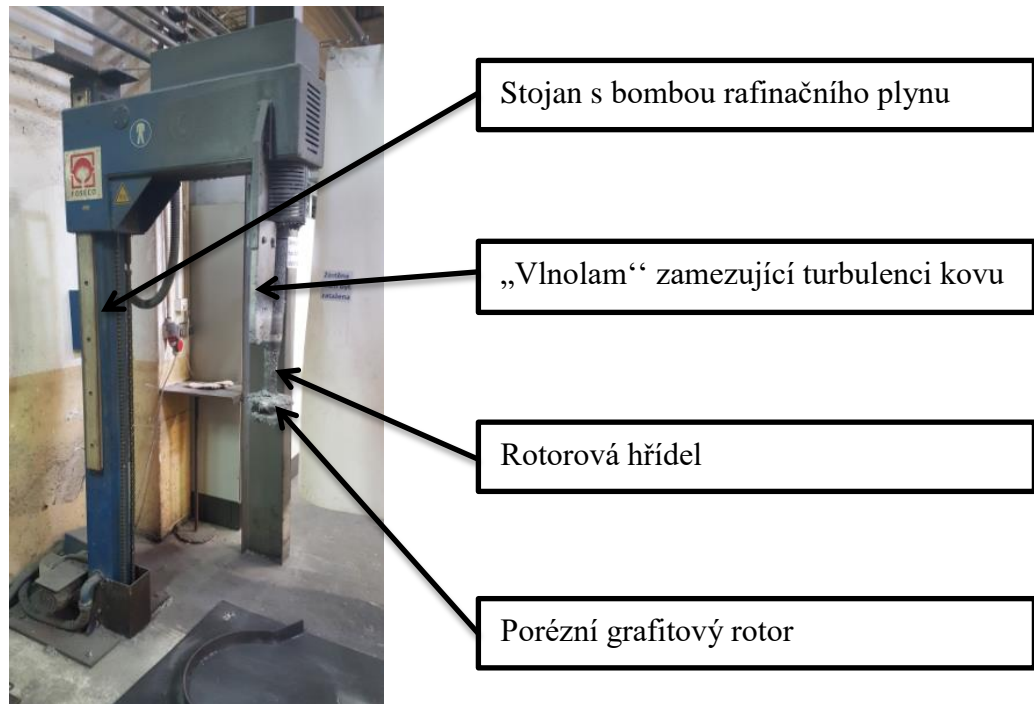
Snížení obsahu plynů v hliníkových slitinách se provádí obvykle:

- vakuováním taveniny,
- probubláváním taveniny aktivními nebo neaktivními plyny. [2]

V této práci byla k odplyňování zvolena metoda probublávání taveniny aktivním plynem. V tomto případě se jedná o dusík (mohl by být použit i argon).

Postup odplynění

Ve firmě MOTOR JIKOV Slévárna a. s. se nachází odplyňovací zařízení firmy FOSECO FDU (Obr. 32), kdy se dusík do taveniny vhání pomocí grafitového rotoru. Ten je poháněn elektromotorem a plyn je dodáván z tlakových bomb, které jsou součástí stojanu. Rychlost je zvolena na 450 otáček / min a tím se do taveniny dostávají bublinky do velikosti 3 mm. Doba aktivního odplyňování by měla být do 3 min, poté se jedná o časovou ztrátu, tudíž o ekonomickou neefektivitu. Před odplyněním je na povrch opět nasypana rafinační sůl PROBAT FLUSS.



Obr. 32 – Zařízení pro odplyňování – FDU (FOSECO).

Dichte Index

Jedná se o metodu stanovení stupně naplynění taveniny, označované jako „metoda dvojího vážení“. Tato metoda je často používána a jejím výsledkem je hodnota tzv. „Dichte Indexu“ (zkráceně DI). Princip spočívá ve zjištění hustoty vzorku kovu ztuhlého při atmosférickém tlaku a při tlaku 8 kPa. [14]

Zkouška vyžaduje pokud možno stejné podmínky provedení, zejména pokud jde o teplotu kovu, teplotu udržovací pece a způsob odběru vzorku. I při splnění těchto podmínek je jí někdy vyčítán velký rozptyl výsledků. Zde je nutno zdůraznit, že všechny metody stanovení naplynění kovu, které využívají vzniku bublin vodíku (tj. zejména metoda dvojího vážení nebo metoda první bubliny) zahrnují jak vliv množství rozpuštěného plynu, tak i podmínek pro vylučování plynu formou bublinek. [14]

Výpočet Dichte Indexu

$$DI = \frac{\rho_{(atm)} \rho_{(80 \text{ mbar})}}{\rho_{(atm)}} 100 \quad (2)$$

Dichte index je počítán také obsluhou stroje, která má v dílenském předpise uveden vzorec (1) a vypočtený výsledek uvádí do protokolu spektrální analýzy. Výsledná hodnota by se v optimálním případě měla pohybovat od 3 do 7 %.

8.4 Naplynění

Z výrobního hlediska je zajímavá korelace mezi naplyněním a stahováním při tuhnutí. Plynové póry mohou částečně nebo úplně nahrazovat úbytek objemu kovu stahováním při tuhnutí. Velmi silně odplyněná tavenina má proto i silný sklon k tvorbě soustředěných staženin – to vyžaduje i intenzivní nálitkování. Pokud je v odlitku přípustný určitý obsah plynových bublin, může rozumný obsah plynu v tavenině požadavky na nálitkování dost podstatně omezit. Rozhodují ovšem nároky na kvalitu daných odlitků. [1]

Naplynění se uskutečňuje pomocí tablet Probat Fluss Begaser Al T 200. Po vypočtení potřebného počtu tablet se pomocí litinového zvonu ponoří pod hladinu kovu a drží se tam.

Tablety jsou pod hladinou drženy, dokud se plně nerozpustí (to se pozná tím, že tavenina přestane bublat). Následně se vytvoří struska na hladině kovu, která je zapotřebí odstranit. Měření DI může znovu proběhnout až 15 minut po aplikaci naplyňovací tablety.

Výpočet potřebného množství tablet

$$\text{Potřebné množství tablet} = \frac{(\text{Potřebný DI} - \text{Aktuální DI})}{4} \quad (3)$$

8.5 Očkování

Očkováním se ovlivňuje velikost primárního zrna při tuhnutí. To se děje pomocí vnášení vynucených zárodků krystalizace zejména v případech menší rychlosti ochlazování. Nejrozšířenějším způsobem současného očkování hliníku a jeho slitin je vnášení speciálních předslitin ve formě drátů. Dráty mají pro tento účel složení AlTi5B1 (Obr. 33), AlTi5 nebo AlTi3B3. Tvářením při výrobě drátů se nevýhodně vyloučené intermetalické fáze mechanicky porušují, takže vznikají výrazně menší částice ve větším množství s vyšší efektivností působnosti na krystalizaci. Očkováním se ovlivňuje struktura čistých kovů a slitin typu tuhého roztoku s malým podílem eutektika. [1]

V uváděném praktickém využití v zadávající společnosti je očkováno pomocí AlTi5B1. Tyto dráty jsou ručně šikmo vřazovány pod hladinu roztaveného kovu do udržovací pece, v které dojde k jejich úplnému roztavení. Nutný obsah titanu se pohybuje mezi 0,08 – 0,13 %, očkuje se na hodnotu 0,13 % Ti.

Výpočet hmotnosti drátů (hmotnost jednoho drátu je 100 g)

$$\text{Hmotnost drátů Al Ti 5 B 1} = \frac{m p}{5} \quad (4)$$

m ... hmotnost taveniny v udržovací peci, p ... potřebné procento titanu, které se musí dodat do udržovací pece

8.6 Modifikace

Modifikace je způsob ovlivnění pochodu, kterým se vylučuje eutektický křemík. Jejím cílem je u podeutektických a eutektických slitin hliníku změnit způsob vyloučení eutektického křemíku, jehož forma se mění z destičkovitého tvaru na tvar tyčinky. V současné době se modifikace ve velké většině případů provádí předslitinou AlSr10 (Obr. 33) rovněž ve formě drátů. Účinnost očkování a modifikace se kontroluje provedením termické analýzy odlitého vzorku slitiny připravené k odlévání. [1]

V rámci této části tavby je využíváno vhození drátů z předslitiny AlSr10, podobně jako tomu bylo v případě procesu očkování. Je nutné udržovat procento stroncia mezi 0,025 – 0,03 %. Výpočet se provádí na 0,03 % Sr.

Výpočet hmotnosti drátů (hmotnost jednoho drátu je 100 g)

$$\text{Hmotnost drátů Al Sr 10} = \frac{m p}{10} \quad (5)$$

m ... hmotnost taveniny v udržovací peci, p ... potřebné procento stroncia, které se musí dodat do udržovací pece

8.7 Dolegování

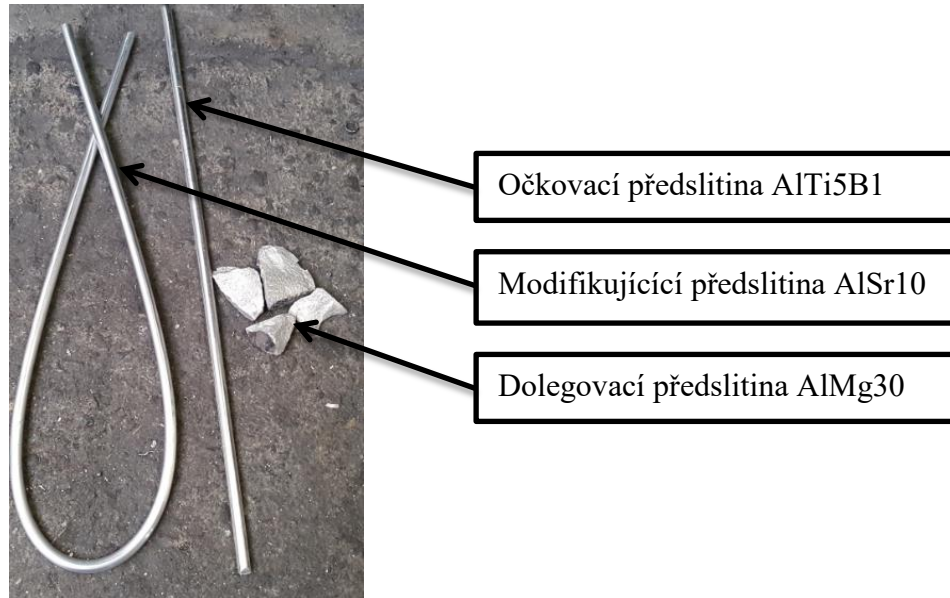
Dolegování se provádí z důvodu zvýšení množství hořčíku ve slévárenské slitině. Je zvyšován pomocí předslitiny AlMg30 (Obr. 33) vhozené (lopatou na povrch roztaveného

kovu) do transportní pánve těsně před vlitím do udržovací pece. Požadované množství hořčíku je mezi 0,35 – 0,45 % a výpočet je prováděn na 0,4 % Mg.

Výpočet hmotnosti předslitiny

$$\text{Hmotnost předslitiny Al Mg 30} = \frac{m p}{30} \quad (5)$$

m ... hmotnost taveniny v udržovací peci, p ... potřebné procento hořčíku, které se musí dodat do udržovací pece



Obr. 33 – Předslitiny pro úpravu taveniny.

8.8 Kontrola kvality

Kontrola kvality je již zmíněna v jedné z předchozích kapitol (7.1 Spektrální analýza). Spočívá tedy v ověření chemického složení dané slitiny. Měla by být kontrolována při každé nové vsázce a její konečné úpravě v udržovací peci a pak každé čtyři hodiny 20 minut po promíchání.

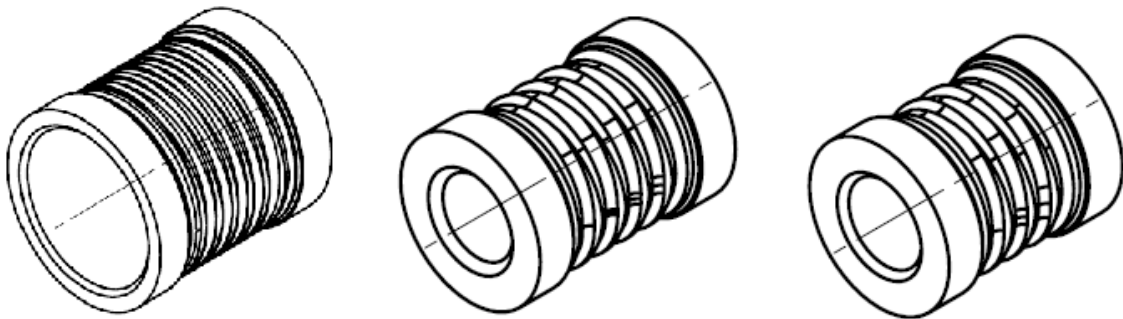
9 Zálitky

Součástí odlitku jsou tři zálitky z materiálu DIN 1691 GG20 žíhané na odstranění vnitřního pnutí. Ty jsou odlévány do pískových forem. Jsou použity na části, kde je předepsána vyšší kvalita povrchu a tvrdost. Jedná se o části budoucích spojů s rozvody plynu.

Zálitky musí být zality, tak aby spolu s odlitkem tvořily kompaktní celek. Tomu dopomáhá specifický tvar vnějších průměrů, který to zaručuje.

Před samotným umístěním do formy musí být zálitky nahřáty hořáky, přibližně na teplotu kokily, aby nedošlo k teplotnímu šoku a tím k nedolití materiálu. Kvůli tomu musí být také řádně nastříkány vodivým nástřikem DYCOTE 34. Tento nástřik se provádí taktéž při teplotě 150 – 200 °C.

Nahřáté zálitky (Obr. 34) se do formy nasazují na trny umístěné na šoupátkách. Zde musí být zaručena vůle, aby po dokončení procesu lití, mohl tahač plynule vyjet spolu s trnem z dutiny zálitky a odlitek mohl být uvolněn. Vůle nesmí být při nahřátí větší než 0,2 mm, aby nedocházelo k zalití kovu kolem trnu.



Obr. 34 – Litinové zálitky.

10 Převedení odlitku skříně CNG do sériové výroby

Pro převedení odlitku skříně CNG do sériové výroby byla zvolena metoda vzorkování. Tato metoda byla určena z důvodu dlouhodobých zkušeností firmy. Nabízela by se také varianta výpočtová, ovšem v té by nebylo možné zahrnout všechny vlivy působící na správný proces lití. Na ten má vliv prakticky vše od kvality materiálu až po správný typ jednotlivých nástřiků při samotné sériové výrobě nebo nahřátí dutiny formy.

Samozřejmostí byl počítačový model plnění formy (Obr. 27) v softwaru PROCAST, který umožnil odstranit hrubé chyby v konstrukci ještě před samotným vyrobením a zkoušením formy. V tom se zjišťovalo, jakým způsobem bude kov plnit dutinu formy, a jak bude následně tuhnout. Vstupní hodnoty veličin byly měněny v závislosti na správnosti plnění formy. Tento postup byl opakován do okamžiku, kdy proces plnění a tuhnutí byl shledán jako vyhovující.

Forma byla poptána u dceřiné společnosti MOTOR JIKOV Fostron, a.s. Skládá se ze spodní pevné a horní pohyblivé poloformy. Dolní polovina obsahuje čtyři tahače se šoupátky a ústí stoupací trubice. Horní poloforma je vybavena vyhazovači pro uvolnění odlitku. Dále je vše napojeno na vodovodní řad, který v průběhu lití chladí kokilu přívodem studené vody (více v kap. 6 Forma pro nízkotlaké lití).

V následujících podkapitolách je zdokumentováno, jak probíhal proces vzorkování tohoto dílce. Vzorkování je nutné, aby do sériové výroby byla ověřena celá škála kontrol tak, aby byl výsledný odlitek v souladu s požadavky objednavatele (rozměrové kontroly, vnější vzhled, vnitřní jakost, nepropustnost, atd.), ale i nutných náležitostí dle ČSN (identifikace odlitku, dosažení chemického složení, atd.). V neposlední řadě i zajištění plynulosti výroby.

10.1 Vzorkování č. 1

Několik prvních vzorkování vždy probíhá za účelem seznámení se s montáží formy a odchytením zjevných, na první pohled viditelných a snadno dedukovatelných vad, které by měly negativní vliv na optimalizaci výrobního procesu. Hlavním cílem je zjistit, jestli je kokila správně vyrobena a jestli jsou její pracovní části bez problému pohyblivé.

Průběh vzorkování

Hned po montáži byl objeven nedostatek v chybějící datumovce, kde se pro každý měsíc v roce vyklepává čárka k dohledání přesného období, kdy byl daný odlitek vyroben. Přesné pořadové číslo je následovně vyraženo razícím nástrojem. V současnosti se přechází na pouhé značení dne v měsíci.

Dalším nedostatkem byla nemožnost spojení spodní a horní poloformy v jeden celek. To se využívá hlavně k manipulaci v nástrojárně, kde je kokila, po procesu lití, celá rozebírána, opravována a čištěna. Proto je nutné do spodní i horní poloviny formy vyvrtat čtyři díry a do nich vyříznout závity pro šrouby, které budou držet spojovací prvek.

Již při montáži byl zjištěn problém v krytování bočních hydraulických válců, kdy kvůli zapojení hydraulických hadic bylo potřeba stávající krytování podložit.

Po montáži se začala kokila vydírat (Obr. 35) ještě před zahájením náhřevu na teplotu vhodnou pro nastříkování, při nastavování pohybů pro automatické ovládání stroje. V této fázi byla na povrchu formy naměřena teplota 50 °C (Obr. 36). Podřena byla všechna čtyři šoupátka. Z toho plyne, že podřeni není způsobeno upnutím pohyblivé části vůči pevné, ale vůlemi mezi nimi. To by bylo ještě zvýrazněno po nahřátí formy např. na lici teplotu. Požadovaná vůle 0,2 mm musí být důkladně prověřena v měřicím středisku. Pokud se prokáže, že vůle je menší, bude nutné tuto nedokonalost napravit.

Boční desky, které nejsou připevněné ke spodní poloformě se při zavření šoupátek prohýbaly. Tuto závadu by mělo vyřešit jejich přivrtání ke spodní poloformě tak, aby byla co nejvíce minimalizována jejich deformace.

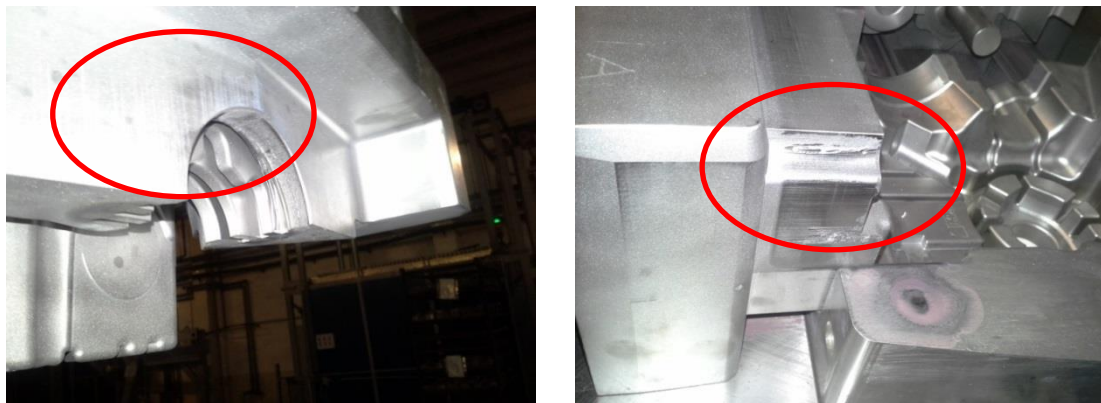
Další problém nastal v nedostatku stroje, kdy je nutné pro správné a bezpečné fungování procesu doplnit tahače koncovými spínači, aby bylo docíleno stavu, kdy obsluha bude informována, že je forma otevřená či zavřená ve správné poloze. Pokud by tomu tak nebylo, mohlo by docházet např. k vytékání roztaveného kovu nebo k ničení šoupátek a tahačů, které by mohly být v mezním stavu vytrhávány z kokily.

V neposlední řadě je nutné přidat vodící kolíky, které by zajistily vzájemnou polohu pohyblivé poloformy vůči pevné. Bez tohoto prvku by nebylo možné optimalizovat výrobní proces. Již v průběhu montáže by mohlo docházet k nesprávnému uchycení horní poloformy vůči spodní, tzv. přesazení.

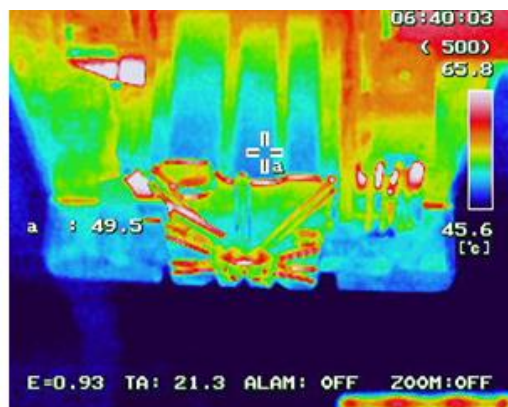
Dále je nutné přidat chlazení jednoho hydraulického válce uvnitř klece. Tento válec by byl v budoucnu velmi přehříván.

Požadavky na dodavatele formy

- Doplnit datumovku.
- Spojit horní a spodní poloformu.
- Zvýšit a zlepšit krytování bočních hydraulických válců.
- Provéřit správnost vůle u šoupátek (0,2 mm).
- Přivrtat boční desky ke spodní poloformě.
- Umístit koncový spínač na tahače.
- Přidat vodící kolíky pro zajištění pohyblivé poloformy vůči pevné.
- Přidat chlazení hydraulického válce.



Obr. 35 – Ukázka vydřených šoupátek.



Obr. 36 – Fotografie z termokamery při vydírání šoupátek.

10.2 Vzorkování č. 2

Průběh vzorkování

Před tímto vzorkováním došlo ke splnění veškerých požadavků od dodavatele kokily. Hlavním z nich bylo zaručení vůlí 0,2 mm na všech dělicích rovinách. S touto vůlí vše fungovalo až do teploty 200 °C, kdy opět došlo na určitých částech k vydření jak šoupátek, tak horní poloformy (Obr. 37). To znamená, že bylo potřeba na problematických místech zvýšit vůle, tak aby k vydírání nedocházelo. Nutnost vytvoření vůle je i mezi horní poloformou a čepy pro litinové zálitky, které vydírají při zvýšené teplotě tvar horní poloformy.

Během tohoto vzorkování nastal problém s hydraulickým okruhem, který v automatickém provozu neotvíral tahač až na koncový spínač.

Požadavky na dodavatele formy

- Dostatečně zvýšit vůli na vydřených plochách (max. 0,2 mm v nahřátém stavu).
- Důkladně zkontrolovat a opravit vydření horní poloformy.
- Vyrobit vůli mezi horní poloformou a čepy pro zálitky.



Obr. 37 – Ukázka vydřeného tvaru horní poloformy

10.3 Vzorkování č. 3

Průběh vzorkování

Toto vzorkování bylo velmi neutěšené, protože kokila se od dodavatele vrátila v tristním stavu, kdy nebyly opraveny žádné vydřené plochy a vůle se také nezměnily. Vše se ovšem zjistilo až po montáži formy a jejím otevření. Když už byla forma takto ukotvena, tak bylo vyzkoušeno, zda se s kokilou opravdu nic nestalo a skutečně tomu tak bylo. Šoupátka se začala zadírat při ještě nižší teplotě (150 °C), než tomu bylo při vzorkování č. 2. Vyzkoušení proběhlo a forma byla vrácena formou reklamace.

10.4 Vzorkování č. 4

Průběh vzorkování

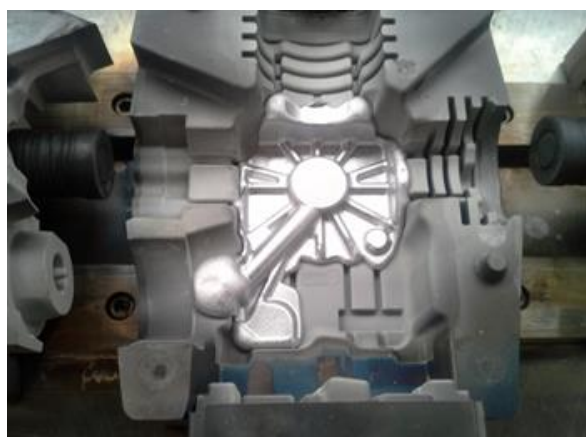
Forma byla tentokrát dodána v kompletně opraveném stavu. Již při zkoušce pohyblivosti při teplotě kolem 200 °C došlo opět k lehkému vydření tvaru na jednom ze šoupátek. Také funkčnost koncového spínače nebyla ideální, protože byl umístěn příliš blízko desce hydraulického válce a nespínal v poloze zavřeno. Tyto závady ale nebyly shledány jako

zásadní a bylo překročeno k samotnému prvnímu lití do kokily. Číslo tavby je L – 565 (viz. Tab. 6).

Lití bylo přerušeno hned v průběhu prvního cyklu, kdy byly nevhodně nastavené parametry tlakování. Tím došlo k celkovému nedolití dílce (Obr. 38). Tento dílec musel být pracně vyndán z dutiny formy. Při bližším prozkoumání kokily bylo zjištěno, že díra pro vtok do dutiny formy měla menší průměr než keramická vložka navazující na stoupací trubici (Obr. 39). To způsobilo velkou pracnost odstranění nalitého materiálu. I v případě správně zvolených podmínek lití by bylo nemožné dosáhnout správného vyjmutí dílce.

Požadavky na dodavatele formy

- Zvětšit díru pro vtok tak, aby navazovala na keramickou vložku.
- Upravit umístění koncového spínače.
- Zamezit vydírání zvětšením vřtů na problematických místech.



Obr. 38 – Nedolitý kus ve spodní poloformě.



Obr. 39 – Rozdíl průměrů vtoku a keramiky z pohledu do formy a z nedolitého kusu.

10.5 Vzorkování č. 5

Při tomto vzorkování bylo překročeno přímo k lití i přes to, že docházelo opět k lehkému vydírání na několika problematických partiích.

Jako při každém dosavadním vzorkování byl změřen index hustoty (DI) a prověřeno složení taveniny uvnitř udržovací pece pomocí spektrální analýzy.

Technické údaje procesu lití

Číslo tavby: L – 573 (viz. Tab. 6)

Chlazení: Permanentně zapnuté chlazení hydraulických válců vodou z vodovodního řadu.
Lití:

	Volba 1
1. Fáze	300 mBar / 40 s
2. Fáze	300 mBar / 5 s
3. Fáze	500 mBar / 15 s
Tlakování	80 s
Vytvrzování	50 s

Tab. 8 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 5.

Teploty před cyklem:

	Teplota [°C]
Teplota taveniny	730
Teplota povrchu šoupat před zahájením cyklu	400
Teplota horní polohy	400
Teplota zálitků	200
Vtok	260

Tab. 9 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 5.

Průběh vzorkování

Nalítí proběhlo celkem šestkrát, ale ani v jednom případě se nepodařilo již takřka dolitý odlitek dostat z dutiny spodní polohy (Obr. 40). Po každém odlití následovalo pracné vyjímání kusu, po kterém bylo nutné formu znovu nahřát na požadovanou teplotu pro zahájení lití (400 °C), což způsobovalo velké prodlevy. Toto nahřívání plynovými hořáky trvá i několik desítek minut. Proto nebylo zvoleno jiné nastavení.

Úkoly

- Zjistit důvod, proč odlitky zůstávají v dolní poloformě.
- Zajistit, aby kusy nezůstávaly ve spodní polovině formy.



Obr. 40 – Uvzlý kus ve spodní polovině formy.

10.6 Vzorkování č. 6

Technické údaje procesu lití

Číslo tavby: L – 586 (viz. Tab. 7)

Chlazení: Permanentně zapnuté chlazení hydraulických válců vodou z vodovodního řadu.

Lití:

	Volba 1	Volba 2	Standart
1. Fáze	300 mBar / 40 s	350 mBar / 40 s	400 mBar / 40 s
2. Fáze	300 mBar / 5 s	350 mBar / 5 s	400 mBar / 5 s
3. Fáze	500 mBar / 15 s	550 mBar / 15 s	600 mBar / 15 s
Tlakování	80 s	90 s	100 s
Vytvrzování	50 s	50 s	50 s

Tab. 10 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 6.

Teploty před cyklem:

	Teplota [°C]
Teplota taveniny	730
Teplota povrchu šoupat před zahájením cyklu	350
Teplota horní poloformy	400
Teplota zálitků	240
Vtok	260

Tab. 11 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 6.

Průběh vzorkování

Před samotným zahájením vzorkování se vyskytl problém s nemožností zasunout zálitku na průměr trnu v dutině formy, která již byla zahřata na požadovaných 350 °C. Z tohoto důvodu musel být trn vyjmut a zmenšen jeho průměr o 0,2 mm.

Odlilo se opět několik kusů, ale nepodařilo se docílit požadovaného, což bylo bezproblémové vyjmutí odlitku. Odlitek zůstal v dolní části formy a ani změny nastavení na Volbu 2 či Standart nezabíraly z důvodu rychlého poklesu teploty formy.

Úkol

- Zajistit, aby kusy nezůstávaly ve spodní polovině formy.

10.7 Vzorkování č. 7

Technické údaje procesu lití

Číslo tavby: L – 597 (viz. Tab. 7)

Chlazení: Permanentně zapnuté chlazení hydraulických válců vodou z vodovodního řadu.

Lití:

	Volba 1	Volba 2	Standart
1. Fáze	300 mBar / 40 s	350 mBar / 40 s	400 mBar / 40 s
2. Fáze	300 mBar / 5 s	350 mBar / 5 s	400 mBar / 5 s
3. Fáze	500 mBar / 15 s	550 mBar / 15 s	600 mBar / 15 s
Tlakování	80 s	90 s	100 s
Vytvrzování	50 s	50 s	60 s

Tab. 12 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 7.

Teploty před cyklem:

	Teplota [°C]
Teplota taveniny	720
Teplota povrchu šoupat před zahájením cyklu	380

Teplota horní poloformy	390
Teplota zálitků	280
Vtok	290

Tab. 13 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 7.

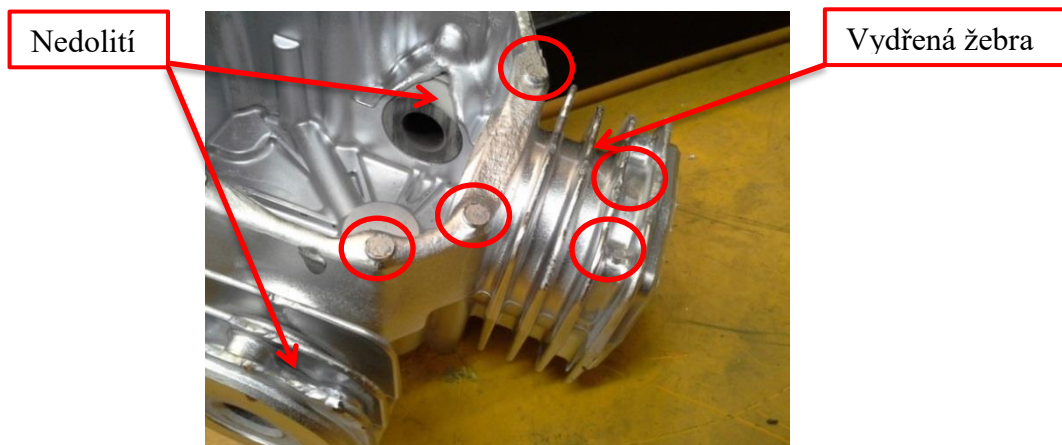
Průběh vzorkování

Po odlití zůstávaly kusy stále ve spodní části formy a bylo nutné je pracně vyjímat. Z tohoto důvodu proběhlo lití v první den zkoušení nejprve čtyřikrát a sedmkrát po opětovném nahřátí kokily. Kusy po mechanickém naklepání tvarů vyjízďely na pohyblivé poloformě tak, jak by měly správně vyjízďet.

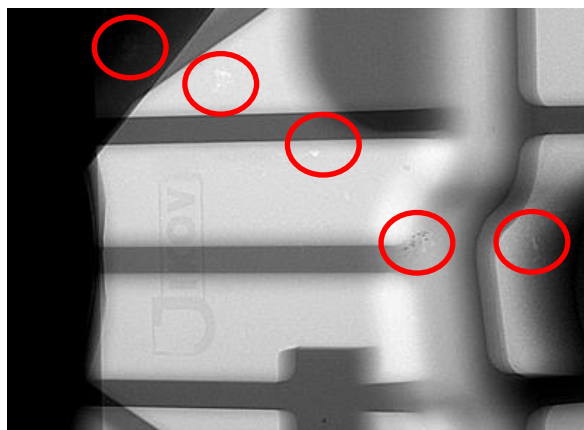
U prvního cyklu ze sedmi byla použita volba Standart. Kvůli nevyjetí kusu s horní poloformou a tím i jejímu vychladnutí bylo přistoupeno k Volbě 2 pro cykly 2 – 4. I v tomto případě nedocházelo k správnému vyjízďení odlitku. Odlitek byl stále víc nedolitý, díky klesající teplotě. Pro cykly 5 – 6 bylo přistoupeno k pomalejšímu plnění dutiny formy ve Volbě 2, kdy nastavení doby tlakování bylo upraveno ze 40 s na 50 s. To způsobilo, že kusy byly mnohem víc nedolité než v předešlém případě, proto se přešlo na změnu doby plnění z 50 s na 30 s. Tím došlo k lepšímu dolití, ale kokila velmi rychle chladla a vzorkování muselo být ukončeno, protože schopnost nalití shodných dílců při teplotě 220 °C byla minimální.

Druhý den bylo po nahřátí vzorkování nuceně ukončeno, protože po pohnutí s jádrem došlo k prasknutí hydraulické hadice a tím k úniku hydraulické kapaliny, která se dostala i do dutiny formy. Z tohoto důvodu nebylo možné přejít k lití a forma se musela připravit k důkladnému očištění a opískování. Dále bylo nutné doplnit hydraulickou kapalinu, protože únik byl větší, než se předpokládalo.

Opticky nejlepší z nalitých kusů byl vybrán k bližší kontrole a bylo zjištěno, že má na povrchu nálitky způsobené zajetými vyhazováký (Obr. 41). To bylo pravděpodobně způsobeno utrženým dorazem vyhazovací desky. Na odlitku byla také vydřená žebra, to pravděpodobně způsobilo špatné úkosování této části. Tento dílec byl také podroben rentgenové kontrole, která odhalila vysokou porozitu (Obr. 42), takže by nebyl pravděpodobně schopen projít tlakovací zkouškou.



Obr. 41 – Nálitky způsobené zajetými vyhazováký.



Obr. 42 – Výsledek rentgenové kontroly.

Požadavky na dodavatele formy

- Zabránit vydírání žeber, tzn. zvětšit úkopy (minimálně 3°).
- Opravit utržený doraz vyhazovací desky.

Úkol

- Zajistit, aby kusy nezůstávaly ve spodní polovině formy.

10.8 Vzorkování č. 8

Číslo tavby: L – 603 (viz. Tab. 7)

Chlazení: Permanentně zapnuté chlazení hydraulických válců vodou z vodovodního řádu.

Lití:

	Volba 1	Volba 2	Standart
1. Fáze	400 mBar / 30 s	400 mBar / 30 s	400 mBar / 30 s
2. Fáze	300 mBar / 5 s	350 mBar / 5 s	400 mBar / 5 s
3. Fáze	500 mBar / 15 s	550 mBar / 15 s	600 mBar / 15 s
Tlakování	80 s	90 s	100 s
Vytvrzování	50 s	50 s	60 s

Tab. 14 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 8.

Teploty před cyklem:

	Teplota [°C]
Teplota taveniny	730
Teplota povrchu šoupat před zahájením cyklu	390
Teplota horní poloformy	375
Teplota zálitků	350
Vtok	350

Tab. 15 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 8.

Průběh vzorkování

Vzorkování proběhlo bez nedostatků předcházejících lití. Problém se naskytl po odlití prvního kusu, kdy opět došlo k nevyjetí odlitku spolu s horní poloformou. Tento kus byl lehce deformován palicí, poté byla forma zavřena a následně došlo k správnému vyjetí kusu z dolní poloviny formy. Další závada v tomto cyklu nastala, když proběhlo vyrážení kusu pomocí vyhazováků, které propíchnuly odlitek a zkřížily se v něm.

V dalším průběhu byl zvýšen čas pro první fázi licího cyklu, z 30 s na 32 s. To proběhlo bez změny výsledku lití. Kusy zůstávaly dále ve spodní poloformě.

Jako další variantou pro vyjždění odlitku ze spodu formy byla vyzkoušena metoda suchého mazání. Jedná se o jemný bílý prášek, který je nanášen mírným proudem stlačeného vzduchu a na pracovní plochu kokily ulpívá pomocí elektrostatické elektřiny. Je aplikováno na původní nástřík DYCOTE 34. Po dalších cyklech bylo zjištěno, že ani tato varianta nedopomohla k tíženému cíli, navíc je zařízení pro nanášení suchého mazání velmi drahé. Stojí kolem 500 000 Kč. Výhodou ovšem je, že došlo k úspoře původního nástříku.

Podarilo se zlepšit dolévání v částech kolem zálitků. To bylo vyřešeno vyšší teplotou při, které byly zálitky nasazovány na trny v dutině formy. V tomto případě byla teplota zálitků (350 °C) přibližně stejná jako teplota kokily před zahájením lití. Ohřátí zálitků proběhlo pomocí plynových hořáků uložených volně na zemi. Tento proces ohřívání bylo do dalšího vzorkování nutné změnit z důvodu bezpečnostních předpisů.

Konec vzorkování byl opět nucený, protože došlo k zanesení chladicího okruhu a tím k přehřívání bočních tahačů. To způsobilo poškození těsnění bočního tahače, které je nutné vyměnit.

Požadavky na dodavatele formy

- Opravit těsnění bočních tahačů.

Úkol

- Zajistit, aby kusy nezůstávaly ve spodní polovině formy.

10.9 Vzorkování č. 9

Číslo tavby: L – 612 (viz. Tab. 7)

Chlazení: Permanentně zapnuté chlazení hydraulických válců vodou z vodovodního řádu.

Lití:

	Volba 1
1. Fáze	210 mBar / 10 s
2. Fáze	280 mBar / 5 s
3. Fáze	500 mBar / 15 s
Tlakování	85 s
Vytvrzování	50 s

Tab. 16 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 9.

Teploty před cyklem:

	Teplota [°C]
Teplota taveniny	730
Teplota povrchu šoupat před zahájením cyklu	375
Teplota horní poloformy	390
Teplota zálitků	355
Vtok	370

Tab. 17 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 9.

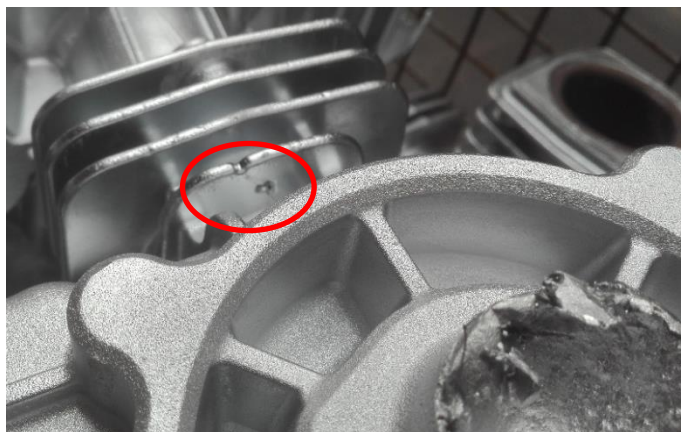
Průběh vzorkování

Před procesem lití byl snížen čas pro tlakování a vytvrzování o 10 respektive 15 sekund. Také byla přehodnocena výška tlaku v jednotlivých fázích odlévání.

Vyjetí odlitku nastává opět až po deformován palicí, což způsobuje nevratné poškození odlitku.

Po odlití několika kusů bylo zjištěno, že vyhazovány v horní poloformě jsou pravděpodobně kratší než by měly být, protože odlitky zůstávají v horní polovině formy a nedaří se je úspěšně vyhodit.

V žebrování na spodní poloformě docházelo k nahromadění plynů a tedy k nedolití (Obr. 43). Tento problém by mělo vyřešit odzdušnění této části spodní poloformy. Podobná situace nastala také v horní poloformě, kdy se ovšem výsledek zlepšoval spolu se zvyšujícím se počtem cyklů.



Obr. 43 – Nedolitě žebrování.

Pro efektivnější a sofistikovanější ohřev zálitků byla vytvořena konstrukce, která je z pěti stran uzavřena pomocí vyzdívkového materiálu. V jedné ze stěn je vyříznuta díra pro přívod tepla pomocí plynového hořáku a šestá stěna je uzavřena pouze pomocí fibrilové vaty, která umožňuje snadné vkládání a vyjímání zálitků manuálním odklopením.

V předešlém vzorkování č. 8 byl zaznamenán pozitivní posun v dolévání kovu v oblastech kolem zálitků, což způsobila jejich vyšší teplota. To se ovšem v tomto případě, i přes konstrukci pece, nepotvrdilo (Obr. 44) a je nutné dále hledat správnou teplotu zálitků pro optimalizování procesu lití.



Obr. 44 – Nedolitý tvar u zálitku.

Závěrem vzorkování byla provedena zkouška vnitřní integrity materiálu pomocí rentgenu na opticky nejdokonalejším odlitku. Ta objevila tři místa odlitku, která lze klasifikovat jako problematická. Jejich závažnost ovšem nelze v současné době posoudit, protože dosud neexistuje žádná specifikace akceptovatelných vad. Ale lze říci, že

v pracovním prostoru, kde bude stlačován zemní plyn, je jakákoli netěsnost nepřijatelná z důvodu úniku pracovní látky do prostředí.

Požadavky na dodavatele formy

- Prodloužit vyhazováky.
- Doplnit odvodušnění na žebrování.

Úkoly

- Optimalizovat ohřev zálitků.
- Optimalizace licích parametrů.

10.10 Vzorkování č. 10

Číslo tavby: L – 618 (viz. Tab. 7)

Chlazení: Permanentně zapnuté chlazení hydraulických válců vodou z vodovodního řadu.

Lití:

	Volba 1
1. Fáze	350 mBar / 30 s
2. Fáze	350 mBar / 5 s
3. Fáze	500 mBar / 15 s
Tlakování	120 s
Vytvrzování	60 s

Tab. 18 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 10.

Teploty před cyklem:

	Teplota [°C]
Teplota taveniny	740
Teplota povrchu šoupat před zahájením cyklu	390
Teplota horní poloformy	380
Teplota zálitků	370
Vtok	375

Tab. 19 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 10.

Průběh vzorkování

Po opětovném změnění Standartu pro lití a úpravě konstrukce formy bylo docíleno toho, že odlitky již vyjíždějí a odpadávají z tvaru horní poloformy. Další problémy se ovšem vymýtit nepodařilo a dokonce nové přibyly.

Stále přetrvával problém s nahromaděním plynů v žebrování na dolní části formy. Je tomu z toho důvodu, že vložky pro odplynění byly přidány pouze do horní poloformy, kde se situace zlepšila, proto je nutné podobné řešení aplikovat i na dolní poloformu.

Dále v místech teplotních uzlů docházelo k vysoké porozitě (Obr. 45), která je viditelná pouhým okem. Tento jev by bylo možné odstranit přidáním kovového sítko do stoupací trubice, které by ještě více čistilo taveninu od nečistot a vměstků, které slouží jako základ pro tvorbu porozity.



Obr. 45 – Porozita.

Docházelo také k nedolévání vnitřního žebrování. Tento problém má možnou příčinu v nekvalitním nanesení nástřiku na horní poloformu, kdy došlo k odlupování vodivého i základního postřiku, proto nebylo možné, aby se kov správně dostal do všech částí formy. Špatný nástřik má možnou příčinu v nedodržení aplikačních teplot obsluhou nebo špatně vyčištěnou formou.

Vznikaly velké tlusté pleny (Obr. 46) nad šoupátky, které by způsobovaly velké problémy při následné apretaci. Jejich příčinou může být vysoká teplota formy či roztaveného kovu nebo velká vůle mezi horní poloformou, dolní poloformou a šoupátko.

Také došlo k vydírání tvarů na spodní části odlitku v blízkosti vtoku (Obr. 47). To může vznikat, buď křížením odlitku při jeho vysouvání s horní částí formy, nebo krátkou dobou vytvrzovací fáze. Nejpravděpodobnější příčinou se ovšem jeví špatné úkosování této části, což mohlo hrát roli i při minulých vzorkováních, kdy dílec nevyjžděl spolu s horní polovinou formy.



Obr. 46 – Velké pleny.



Obr. 47 – Vydřené tvary v blízkosti vtoku.

I při rentgenové kontrole několika kusů z tohoto vzorkování byla odhalena poměrně vysoká porozita na stejných třech místech jako u kusů z předešlého zkoušení.

Porozita byla hledána i pomocí ultrazvuku v rámci školního předmětu KMM/DPD. Bylo zjištěno, že školní zařízení nedisponuje kalibrační měrkou pro daný materiál. Výsledky byly tedy značně zkreslené. K tomu napomáhal i velice členitý povrch dílce, takže displej ultrazvuku sice ukazoval vadová echa, ale při bližším prověření bylo docíleno závěru, že tato echa vznikla z důvodu přechodu z jednoho prostředí do druhého např. na hranách či ukončeních. Výsledky ze zkoušky ultrazvukem tedy nebyly uspokojivé.

Úkol

- Zamezit vzniku velkých plen.
- Vyřešit odvzdušnění žebrování v dolní polovině formy.
- Zvolit delší dobu vytvrzovací fáze.

10.11 Vzorkování č. 11

Číslo tavby: L – 634 (viz. Tab. 7)

Chlazení: Permanentně zapnuté chlazení hydraulických válců vodou z vodovodního řádu.

Lití:

	Volba 1	Volba 2
1. Fáze	350 MPa / 30 s	280 MPa / 10 s
2. Fáze	350 MPa / 5s	400 MPa / 20 s
3. Fáze	500 MPa / 15 s	600 MPa / 15 s
Tlakování	120 s	120 s
Vytvrzování	60 s	60 s

Tab. 20 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 11.

Teploty před cyklem:

	Teplota [°C]
Teplota taveniny	740
Teplota povrchu šoupat před zahájením cyklu	410
Teplota horní poloformy	395
Teplota zálitek	330
Vtok	385

Tab. 21 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 11.

Průběh vzorkování

Vzorkování č. 11 proběhlo nadvakrát. Příčina byla v tom, že při prvním nalití došlo k nevyjetí šoupatka, ačkoli koncový spínač ukazoval polohu „Otevřeno“. To nebylo včas odhaleno a při ručním otevírání formy došlo k vytržení trnu pro zálitek včetně ohnutí tahače. Obě tyto součásti musely být následně vyjmuty a opraveny, resp. vyměněny.

Před obnovením procesu lití došlo k seřízení problémového koncového spínače a zkoušce správné funkčnosti. Šoupatko bylo následně znovu nastříkáno.

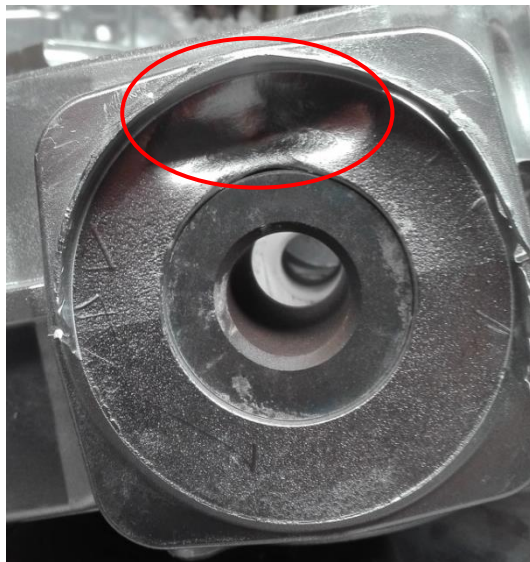
Při překročení k procesu lití bylo nalito 22 dílců, které vykazovaly opět široké spektrum slévárenských vad. Ovšem nejoptimističtější výsledkem bylo, že téměř všechny nalité dílce vyjely spolu s horní poloformou bez nutnosti mechanického naklepání. Nevyjely pouze tři z pěti prvních dílců, které jsou při každém zahájení lití stejně vyřazovány. To se děje z důvodu nerovnoměrnosti výrobních podmínek (např. nízká teplota formy) a vzniku vnitřních i vnějších vad, které se při další výrobě již nevyskytují.

Objevené vady měly opět charakter nedolití převážně v místech žebrování, kde dochází k nahromadění plynů. To je snaha odstranit pomocí zářezů v dutině formy, které by měly pojmout přebytečné plyny. Zatím se to ovšem nedaří, protože tyto dutiny jsou po několika cyklech zaneseny slitinou a dále už neplní svou funkci tak, jak by správně měly.

Na odlitku jsou viditelné velké praskliny, které vznikají při vyrážení vyhazováků nebo nedokonalostí při otvírání formy. Pravděpodobněji se jeví varianta, kdy při vysouvání šoupátka z dutiny zálitku vlivem teplotní dilatace dojde k prudkému vytržení. To by mohlo vyřešit další zvýšení vůle mezi zálitkem a trnem.

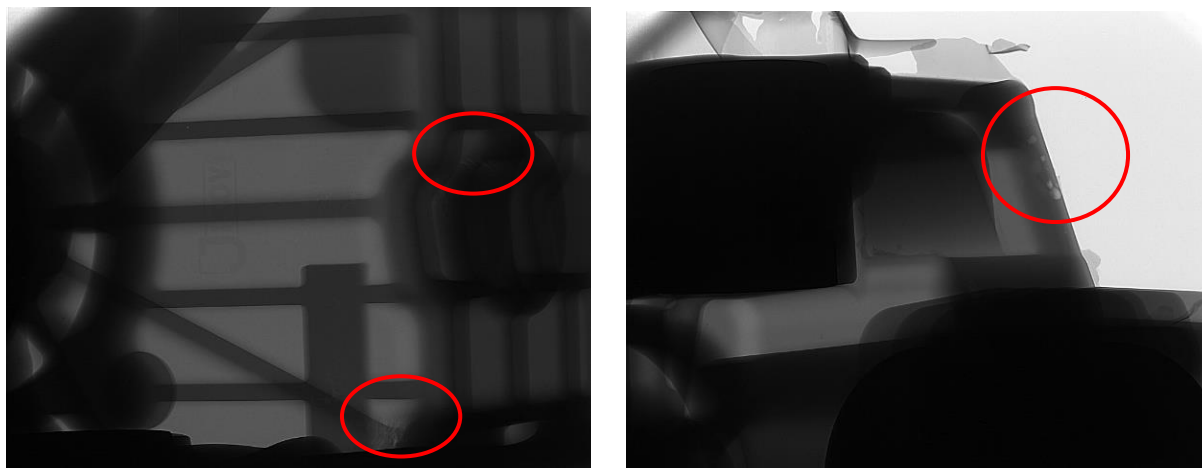
Docházelo opět k nedolévání prostor nad zálitky. Pravděpodobně je nutné každý ze zálitků nahřívat na jinou teplotu. To ovšem není možné zaručit nahříváním ve vytvořené „pícc“e, kde probíhá nahřívání v jednom prostoru pomocí plynového hořáku, v němž každý zálitek nabývá jiných teplot. Do příště je nutné se zamyslet nad vytvořením tyčového indukčního ohřívače, který by každý zálitek ohřival na předem určenou teplotu.

Nad jedním ze zálitků dokonce vznikala velká staženina v důsledku příliš vysokého nahřátí zálitku (Obr. 48). V tomto místě docházelo k velmi pomalému tuhnutí materiálu, do konce přívodu tekutého kovu, nebyl schopen kov ztuhnout.



Obr. 48 – Staženina nad zálitkem.

Dále byla provedena rentgenová kontrola opticky nejlépe vypadajícího odlitku, která identifikovala místa s vysokou porozitou (Obr. 49), která, jak již bylo zmíněno výše, je nepřijatelná.

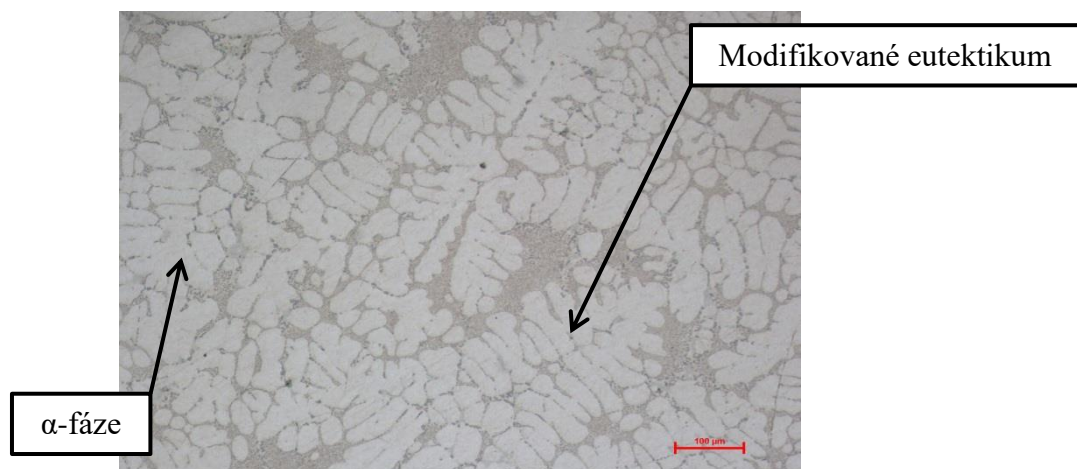


Obr. 49 – Výsledek rentgenové kontroly.

V rámci tohoto vzorkování byl vyzkoušen nový základní nástřik FOSECO DYCOTE D R87. Bylo tomu tak z důvodu ukončení výroby stávajícího nástřiku METALSTAR KS 201, ten byl do současnosti používán z nahromaděných zásob. Na základě proběhlého vzorkování, kdy bylo nalito 22 kusů, je možné zhodnotit, že tento produkt je adekvátní náhradou stávajícího typu nástřiku. Na žádném místě v dutině formy nedocházelo k odlupování či vypalování. Tento produkt bude nadále zkoušen již při optimalizované sériové výrobě jiných typů nízkotlakých odlitků. Na základě této výroby bude možné definitivně konstatovat, zda se podařilo najít opravdu vhodnou náhradu.

Také byla změřena tvrdost dle Brinella v místech u zálitku a vzdáleném od něj. Dosažené výsledky tvrdosti u zálitku jsou 68 ± 3 HBW a v místě vzdáleném je 67 ± 3 HBW. Z toho vyplývá, že přítomnost zálitků nemá žádný vliv na hodnotu tvrdosti.

Další součástí tohoto vzorkování bylo zhotovení metalografických výbrusů, za účelem zjištění kvality modifikovaného materiálu. Na Obr. 50 je struktura α -fáze s modifikovaným eutektikem žádaného tvaru. Takto vypadá správně modifikované eutektikum hliníkových slitin při zvětšení 200 x, kde je obsah stroncia přibližně 0,03 %.



Obr. 50 – Správně modifikovaný materiál.

11 Diskuze výsledků a jejich vyhodnocení

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo navrhnout opatření vedoucí k převedení odlitku skříně kompresoru pro plnicí stanici CNG, metodou nízkotlakého lití, do sériové produkce.

V úvodu práce je uveden postup realizace optimalizace výrobního procesu odlitku. Další kapitola se zabývá charakteristikou dílce a jeho užitností v praxi.

Následuje blok, který se věnuje hliníkovým slitinám jejich dělením a vlastnostem, které jsou požadovány pro slévárenský průmysl. Nezbytnou součástí této kapitoly je výčet a dopady jednotlivých prvků, které se v těchto slitinách vyskytují, na výslednou kvalitu licího materiálu.

Další část obsahuje teorii k metodě nízkotlakého odlévání neželezných kovů, jak konvenčními, tak nekonvenčními způsoby lití. Zahrnuje také výčet, popis a vyobrazení vad charakteristických pro tuto metodu, které byly průběžně posbírány v procesu výroby v rámci řešení Diplomové práce.

Poté je představen strojní park zadávající společnosti s podrobnějším popisem licího zařízení LPM II BPS 800 SX, na kterém probíhá optimalizace výrobního procesu pomocí vzorkování.

Úvod praktické části se zabývá představením a konstrukčním popisem formy pro nízkotlaké odlévání řešeného dílce, zahrnující simulaci plnění jednočetné formy, zhotovenou v softwaru PROCAST. Dále řeší i chlazením formy a nástřiky, které jsou jednou z nejtěžších částí procesu výroby. Bez kvalitního a správně naneseného nástřiku není možné odlévat shodné výrobky a dochází také k chemické reakci mezi roztaveným kovem a formou, kdy dochází k deformaci formy.

V průběhu vzorkování bylo nutné vyměnit stávající základní nástřík METALSTAR KS 201, který se přestal vyrábět za nový. Vhodnou variantou byl zvolen produkt společnosti FOSECO DYCOTE D R87, který byl vyzkoušen v rámci vzorkování č. 11. Nedošlo k žádným problémům, které by mohly mít jakoukoliv spojitost s tímto nástříkem, proto byl po vzorkování vyhodnocen jako vyhovující.

Další kapitola pojednává o materiálu zvoleném pro proces výroby dílce. Z důvodu požadavků a také přítomnosti pouze jednoho tavicího zařízení pro aplikaci v nízkotlakém lití, byl zvolen materiál AlSi7Mg0,3 (Al 421). Chemické složení materiálu bylo před každým vzorkováním zjišťováno pomocí spektrálních analýz, které byly porovnávány s vnitropodnikovou normou pro daný materiál. Při neshodě hodnot docházelo k operativnímu přidání prvků formou předslitin, přímo v udržovací peci zařízení LPM BPS 800 SX. Součástí každé spektrální analýzy bylo také měření Dichte Indexu metodou tzv. „dvojího vážení“. DI materiálu pro aplikaci v nízkotlakém lití by se v tomto případě mělo pohybovat od 3 do 7 %. Pokud bylo vykázáno DI vyšší než požadované, bylo nutné taveninu dodatečně odplynit, v opačném případě naplynit.

Následuje oddíl zabývající se vlastní vsázkou tavicí pece a jejími úpravami, tzn. řešením úpravy vstupního materiálu ve formě housek s maximálně 50 % podílem vratu. Tato úprava zahrnuje procesy jako rafinace, odplynění, naplynění, očkování, modifikace a dolegování.

V průběhu vzorkování se zjistilo, že požadavky na tvrdost odlitku nejsou takové, aby musel být odlitek tepelně zpracováván, proto byl podán návrh na ukončení dolegování hořčíkem. Hořčík je přidáván za účelem tepelného zpracování, které se na daný dílec neuplatňuje, takže by jeho přidávání bylo zbytečně neekonomické.

Hlavním předmětem této diplomové práce je optimalizace výrobního procesu pomocí vzorkování. Do současnosti bylo provedeno již jedenácté.

V rámci prvních tří vzorkování probíhalo seznamování se s formou a její montáží. Při tomto procesu se hýbe s částmi formy a zjišťuje se, zda je forma plně pohyblivá, nevydírání se a nejsou na ni jiné nedostatky, které by znemožňovaly práci či montáž.

Vzorkování č. 4 bylo první, kdy bylo přistoupeno k lití. To skončilo ihned při prvním cyklu, kdy došlo k celkovému nedolití kusu z důvodu špatného zvolení licích podmínek. Nenavazující keramická vložka na vtok do dutiny formy znemožnila snadné vyjmutí odlitku ze spodní poloviny. Tento problém bylo do následujícího zkoušení nutné odstranit.

Při vzorkování č. 5 až 8. bylo primárně žádoucí docílit toho, aby odlitek vyjžděl společně s horní polovinou formy, což se převážně nedařilo. Dosažení vyjetí odlitku bylo zapříčiněno až mechanickým naklepáním dílce, zavřením formy a následným otevřením. Takové odlitky jsou ovšem znehodnoceny. Na dílcích se nacházelo i velké množství licích vad, které byly postupně řešeny. Mezi ně patří nedolití (hlavně v žebrování, kolem litinových zálitků se dolití značně zvýšilo díky vyšší teplotě náhřevu při vzorkování č. 8), praskliny, staženiny, řediny a porozita (vnější i vnitřní).

Jednou z variant pro vyjždění odlitku ze spodní poloviny formy byla vyzkoušena metoda suchého mazání. Po několika cyklech bylo zjištěno, že ani tato varianta nedopomohla k vytyčenému cíli, navíc je zařízení pro nanášení suchého mazadla velmi drahé. Jeho cena se pohybuje kolem 500 000 Kč.

Kvůli zlepšenému dolévání roztaveného kovu v místech zálitků, které byly nahřívány do té doby pouze hořáky na zemi, bylo zkonstruováno sofistikované zařízení typu „píčka“, které v dalším procesu zaručuje zvýšení teploty zálitků a jejich rovnoměrnější prohřátí. Bylo použito poprvé při vzorkování č. 9. To způsobilo negativní zjištění, že se opět objevilo nedolití u zálitků, i přes zkonstruování pece. Proto je nutné v rámci další optimalizace zjistit, jaké teploty je u zálitků dosáhnout, než budou vloženy na trny v dutině formy.

Proces vzorkování je charakterizován převážně měněním licích podmínek, jako jsou teploty (formy, materiálu i zálitků), tlaky a časy pro jednotlivé cykly (plnění, tlakování, tuhnutí). Úspěchu bylo dosaženo u vzorkování č. 10, kdy bylo docíleno toho, že odlitek již vyjžděl s horní polovinou. Nejlepší z nalitých dílců byl vybrán ke kontrole vnitřní integrity pomocí rentgenu, která odhalila několik míst, kde se vyskytovalo nahromadění ředin. To je pro tento druh výrobku velký problém, protože by mohlo docházet k úniku pracovního média, jímž je CNG. Proběhla také kontrola ultrazvukem, ale ta neměla správný vypovídající výsledek z důvodu chybějící kalibrační měřky pro daný typ materiálu a také členitého povrchu odlitku, který indikoval falešná echa.

Vzorkování č. 11 prokázalo, že posledně použité parametry lití jsou vhodné pro správné vyjždění odlitku z dutiny formy. Bylo nalito celkem 22 kusů, které měly rozdílné podmínky v hodnotách teploty jednotlivých zálitků. V těchto místech docházelo k menší či větší deformaci. Nad jedním dokonce docházelo ke vzniku staženiny, která vznikala pravděpodobně příliš vysokou teplotou zálitku. Opět se vyskytly velké praskliny v místech teplotních uzlů, ty mohou ovšem vznikat i nedokonalostí při vyhazování nebo deformací při otevírání formy. Nedolité žebrování se neustále vyskytuje i přes snahu o odplynění pomocí odplyňovacích drážek. Ty se po několika cyklech zanášejí a přestávají plnit svůj účel.

Součástí posledního vzorkování je rentgenová kontrola, která odhalila porozitu v několika místech. Ta může vznikat přehřátím dané části formy, protože se nachází v blízkosti vtoku. Možností je i nekvalitně připravený materiál obsahující např. vměstky, které je možné odstranit aplikací kovového sítky v stoupací trubici.

Byla provedena zkouška tvrdosti, kterou byla zjištěna tvrdost v místech u zálitku 68 ± 3 HBW a mimo zálitků 67 ± 3 HBW. To znamená, že přítomnost zálitku na tvrdost odlitku nemá žádný vliv.

Do budoucna je nutné vymyslet sofistikované zařízení pro nahřívání šoupátek, která se doposud nahřívají na zemi plynovými hořáky, kde kolem nich volně procházejí zaměstnanci

společnosti. Tento způsob nespĺňuje legislativu o bezpečnosti práce a musí být změněn. Hlavním požadavkem na toto zařízení je mobilita, aby bylo možné nahřátí šoupaték i pro jiné licií zařízení. Dále také rozměrová variabilita, protože šoupatka pro tento odlitek jsou mnohem menší než pro jiné dílce. Náhřev je možné provést plamenem, odporově nebo indukčně. V České republice je obecně využíván plamen z plynového hořáku z ekonomického důvodu, neboť je plyn levnější než elektrina. Také nahřívání elektrinou trvá přibližně dvakrát déle. To s sebou nese další požadavek na uchycení hořáku, tak aby nemohlo dojít ke zranění z nedbalosti.

Dále by bylo vhodné uvážit změnu stoupacích trubic. Dosavadní stoupací trubice z Al_2TiO_5 mají v zadávající společnosti průměrnou životnost kolem 30 dní a nedají se nijak čistit. Jejich cena je 15 000 Kč. Při sériové produkci by výhodnější alternativou mohly být stoupací trubice z SiC, které se mohou čistit v louhu, kdy dojde k úplnému uvolnění dutiny trubice. Pořizovací náklady SiC trubic se pohybují kolem 175 000 Kč, ale jejich životnost je až dva roky. Z toho plyne, že náklady na jednu stoupací trubici by se vrátily za jeden rok práce.

Se změnou stoupacích trubic by musel být vyřešen fakt, že stoupací trubice z SiC musejí být před instalací do pece nahřaty na určitou teplotu. Tomu by mohla posloužit průběžná kalící linka, která se nachází v bezprostřední blízkosti liciího zařízení, což by neneslo další ekonomickou zátěž. Ekonomicky náročnější by byla skutečnost, že by se výrobní hala musela dovybavit lázní s louhem pro čištění. Jednalo by se ovšem o dlouhodobou investici, která by se v horizontu několika let mnohokrát vrátila.

Nejzásadnější vliv na životnost stoupacích trubic má ovšem lidský faktor. Při výměně stoupacích trubic někdy dojde k náhodnému rozbití. Rozbitá stoupací trubice za 15 000 Kč není takovou ekonomickou ztrátou jako trubice za 175 000 Kč.

12 Závěr

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo navrhnout opatření vedoucí k převedení odlitku skříně kompresoru pro plnicí stanici CNG, metodou nízkotlakého lití, do sériové produkce.

Závěrem je nutné konstatovat, že se nepodařilo proces lití odlitku skříně kompresoru pro plnicí stanici CNG zcela optimalizovat.

Největším úspěchem doposud je, že odlitek vyjízdí správným způsobem s horní polovinou formy a nezůstává v dolní poloformě. Zbývá tedy odstranit licí vady jako nedolití, praskliny, staženiny, řediny a porozita, což bude předmětem dalších vzorkování.

V rámci práce na optimalizaci výrobního procesu došlo k vytvoření simulace v softwaru PROCAST, zkoušce suchého mazání, konstrukci „pece“ pro rovnoměrné ohřívání zálitků, zkoušce nového základního nástřiku a kontrole správnosti modifikace eutektika.

Byl podán návrh na změnu stoupacích trubic za účelem zvýšení ekonomičnosti výrobního procesu a také na ukončení dolegování hořčíkem, který se do vlastní vsázky přidává zcela zbytečně, protože dílce nebudou tepelně zpracovávány.

Použitá literatura

- [1] MICHNA, Štefan, LUKÁČ, Ivan, OČENÁŠEK, Vladivoj a kol., *Encyklopedie hliníku.*, Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 721 stran, ISBN 80-890-4188-4
- [2] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin.*, 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 stran, ISBN 80-214-2790-6
- [3] HAVEL, Jiří. *Hodnocení porezity u tlakově litých odlitků z Al slitin.* Diplomová práce, VUT Brno, 2012, 91 stran
- [4] NAVRÁTIL, Ladislav. *Termická analýza a velikost zrna primárního křemíku v hliníkové eutektické slitině KS 1275 v závislosti na změně poměru vratného materiálu v tavně.*, Diplomová práce, ZČU Plzeň, 2016, 84 stran
- [5] ŠTIPL, Pavel. *Technologie lití vysokotlakých odlitků a vlivy působící na jejich kvalitu.* Diplomová práce, VUT Brno, 2014, 95 stran
- [6] MOTOR JIKOV Group a. s. České Budějovice, Firemní materiály ke shlednutí on-line na adrese: www.motorjikov.com [cit. 30. 8. 2016]
- [7] KOŘENÝ, Rudolf. *Slévárství neželezných kovů a slitin*, vysokoškolské skriptum, Ediční středisko, VŠB Ostrava, 1971
- [8] TheMetalCasting.com, *Pressure die casting*, 2016, ke shlednutí on-line: <http://www.themetalcasting.com/pressure-die-casting.html> [cit. 1. 9. 2016]
- [9] Kurtz North America Inc. *Low – pressure casting proces – controlled mould filling, controlled solidification, high efficiency*, Plymouth USA, 2016, ke shlednutí on-line: <http://www.kurtznorthamerica.com/low-pressure-casting-technique-us.html> [cit. 1. 9. 2016]
- [10] LPM Machines S. p. A. *Manuál použití a údržby*, Bovolenta Itálie, 2015, 62 stran
- [11] Norma firem Mubea a Brose. *Poučení svazu německých slévárenských odborníků – VDG*, Düsseldorf Německo, květen 2002
- [12] FREYN, Martin. *Slévárenské slitiny hliníku.* Školení firmy FOSECO. Blansko, 2017
- [13] POLDI, Spojené ocelárny, n. p., *Ušlechtilé nástrojové oceli*, Kladno
- [14] Kolektiv autorů. *Trendy ve zpracování slitin neželezných kovů, (Sborník 4. Holečkovy konference).* 1. vyd. Brno: Česká slévárenská společnost, 2011, 115 stran, ISBN 978 – 80 – 02 – 02303 – 6
- [15] KOLMAČKA, Marek. *Technologie odlévání slitin hliníku - Kovolit.* 2012.
- [16] ENGELHORN, Günter. *Automatizovaný postřík forem. Slévárství.* Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. 56

Seznam obrázků

- Obr. 1 – Skříň kompresoru – pohled z vně a do pracovního prostoru skříně kompresoru (1:5).
- Obr. 2 – Schéma plnicí stanice CNG. [6]
- Obr. 3 – Rozdělení hliníkových slitin. [3]
- Obr. 4 – Binární diagram slitiny Al-Si s mikrostrukturou pro jednotlivé koncentrace Si. [2]
- Obr. 5 – Jehlicová fáze β -AlFeSi. [2]
- Obr. 6 – Fáze typu čínské písmo α -AlFeMnSi. [2]
- Obr. 7 – Potrojně eutektikum Al-Si-CuAl₂. [2]
- Obr. 8 – Schéma procesu tuhnutí. [4]
- Obr. 9 – Zrnité, lamelární a modifikované eutektikum. [2]
- Obr. 10 – Schéma nízkotlakého licího zařízení. [8]
- Obr. 11 – Savenův diagram. [5]
- Obr. 12 – Příklad nedolití.
- Obr. 13 – Příklad studeného spoje.
- Obr. 14 – Příklad porozity.
- Obr. 15 – Příklad puchýře.
- Obr. 16 – Příklad trhliny.
- Obr. 17 – Příklad praskliny.
- Obr. 18 – Zapuštěné vyhazovače.
- Obr. 19 – Deformace.
- Obr. 20 – Nízkotlaké lití do kovové a pískové formy. [9]
- Obr. 21 – LPM II BPS 800 SX. [10]
- Obr. 22 – Udržovací pec.
- Obr. 23 – Tavící pec od firmy Bleiwenz / Krézl KRTU 300 / 600.
- Obr. 24 – Spodní polovina formy.
- Obr. 25 – Stoupač trubice pece BPS II LPM 800 SX.
- Obr. 26 – Simulace plnění formy skříně kompresoru plnicí stanice CNG v softwaru PROCAST.
- Obr. 27 – Profil průřezu vyhazovače – tisícíhran.
- Obr. 28 – Dolní část formy se soustavou hadic pro chlazení a rozvod hydraulické kapaliny.
- Obr. 29 – Vyhazovače v horní polovině formy.
- Obr. 30 – Příprava formy pro nanesení nástřiku.
- Obr. 31 – Obsah vodíku v závislosti na teplotě. [2]

- Obr. 32 – Zařízení pro odplyňování – FDU (FOSECO).
- Obr. 33 – Předslitiny pro úpravu taveniny.
- Obr. 34 – Litinové zálitky.
- Obr. 35 – Ukázka vydřených šoupátek.
- Obr. 36 – Fotografie z termokamery při vydírání šoupátek.
- Obr. 37 – Ukázka vydřeného tvaru horní poloformy
- Obr. 38 – Nedolitý kus ve spodní poloformě.
- Obr. 39 – Rozdíl průměrů vtoku a keramiky z pohledu do formy a z nedolitého kusu.
- Obr. 40 – Uvzlý kus ve spodní polovině formy.
- Obr. 41 – Nálitky způsobené zajetými vyhazováký.
- Obr. 42 – Výsledek rentgenové kontroly.
- Obr. 43 – Nedolitě žebrování.
- Obr. 44 – Nedolitý tvar u zálitku.
- Obr. 45 – Porozita.
- Obr. 46 – Velké pleny.
- Obr. 47 – Vydřené tvary v blízkosti vtoku.
- Obr. 48 – Staženina nad zálitkem.
- Obr. 49 – Výsledek rentgenové kontroly.
- Obr. 50 – Správně modifikovaný materiál.

Seznam tabulek

- Tab. 1 – Chemické složení používaných slitin
- Tab. 2 – Základní charakteristiky BPS 800 SX.
- Tab. 3 – Základní charakteristiky udržovací pece
- Tab. 4 – Chemické složení oceli H11.
- Tab. 5 – Srovnání normy s průměrem výsledků spektrální analýzy pro hlavní sledované prvky.
- Tab. 6 – Výsledky spektrálních analýz část 1.
- Tab. 7 – Výsledky spektrálních analýz část 2
- Tab. 8 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 5.
- Tab. 9 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 5.
- Tab. 10 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 6.
- Tab. 11 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 6.
- Tab. 12 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 7.
- Tab. 13 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 7.
- Tab. 14 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 8.
- Tab. 15 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 8.
- Tab. 16 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 9.
- Tab. 17 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 9.
- Tab. 18 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 10.
- Tab. 19 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 10.
- Tab. 20 – Technické údaje procesu lití vzorkování č. 11.
- Tab. 21 – Počáteční teploty pro lití – vzorkování č. 11.