

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA MATERIÁLOVĚ-TECHNOLOGICKÁ

Katedra metalurgie a slévárenství



## Bakalářská práce

Současné trendy použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci  
automobilů

Current Trends in Use of Aluminum Castings in Car Construction

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta materiálově-technologická  
Katedra metalurgie a slévárenství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Vidlička**  
Studijní program: B2109 Metalurgické inženýrství  
Studijní obor: 2109R038 Moderní metalurgické technologie  
Téma: **Současné trendy použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci automobilů**  
**Current Trends in Use of Aluminum Castings in Car Construction**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Cíl práce
2. Slévárenské slitiny hliníku
3. Současné trendy použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci automobilů
4. Technologie výroby odlitků pro automobil
5. Příklady litých dílů v konstrukci automobilu
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYKSÍ STUNOVÁ, B. *Lité strukturní díly – konstrukční, metalurgické a technologické aspekty výroby*. Slévárenství, 2017, roč. LXV, č. 7-8, s. 218-220, ISSN 0037-6825.
- [2] MILLER, W., S., ZHUANG, L., BOTTEMA, J., et al. *Recent development in aluminium alloys for the automotive industry*. Materials Science and Engineering: A. Issue 1, Vol. 280, 2000, pp. 37-49.
- [3] COLE, G.S., SHERMAN, A.M. *Light weight materials for automotive applications. Microstructural Characterization of Lightweight Structural Materials Transportation*. Issue 1, Vol. 35, 1995, pp. 3-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Lichý, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Ivana Kroupová, Ph.D.

Datum zadání: 02.12.2019

Datum odevzdání: 01.05.2020

---

prof. Ing. Karel Michalek, CSc.  
vedoucí katedry

---

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# Zásady pro vypracování bakalářské práce

## I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Titulní list  | 6. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |
| 2. Originál zadání BP  | 7. Obsah BP                                  |
| 3. Zásady pro vypracování BP                                       | 8. Textová část BP                           |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení                           | 9. Seznam použité literatury                 |
| 5. Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby | 10. Přílohy                                  |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP.

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP.

ad 5) V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právnickými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 6) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 7) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 8) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 35 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 10).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.  
Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.
- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra .....*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017

**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.**

V Ostravě .....

.....  
podpis (jméno a příjmení studenta)

## **Poděkování**

Rád bych vyjádřil poděkování doc. Ing. Petru Lichému, Ph.D. a Ing. Ivaně Kroupové, Ph.D. za odborné vedení a poskytnutí mnoha cenných rad při zpracování této bakalářské práce. Také bych rád poděkoval své partnerce Bc. Nikole Slížové za cenné rady a trpělivost při absolvování celého studia.

## **Abstrakt**

Hliník a jeho slitiny jsou hojně využívány v různých druhů odvětví. V potravinářství je známý ve formě vyválcovaného tenkého plechu pod názvem alobal. Dále se s ním můžeme setkat ve stavebnictví, jako oblíbený materiál pro výrobu hliníkových oken nebo také na výrobu hliníkových konstrukcí. V dnešní době pokročilých technologií a nových možností se stal hliník a jeho slitiny oblíbenou součástí nejen automobilového průmyslu, ale i v letectví a strojnictví.

Díky technologickému pokroku je možné do jisté míry zlepšovat vlastnosti hliníkových slitin. V závislosti na mechanických, chemických, slévárenských a také fyzikálních vlastnostech slitin je pak možné jejich použití do různých částí konstrukcí automobilů.

## **Klíčová slova**

Hliník, odlitky, slitiny hliníku

## **Abstract**

Aluminum and its alloys are widely used in various kinds of industries. It is known in the food industry in the form of rolled thin metal sheet called aluminum foil. Furthermore, it can be found in the construction industry, as a popular material for the production of aluminum windows or also for the production of aluminum structures. Nowadays, advanced technologies and new possibilities have made aluminum and its alloys a popular part not only in the automotive industry, but also in aviation and engineering.

Technological advances make it possible to improve the properties of aluminum alloys to some extent. Depending on the mechanical, chemical, foundry and physical properties of alloys it is possible to use them in various parts of automobile structures.

## **Keywords**

Aluminum, castings, aluminum alloys

# Obsah

Úvod.....	1
1 Cíle práce.....	2
2 Slévárenské slitiny hliníku .....	3
2.1 Vlastnosti hliníku a jeho slitin .....	3
2.1.1 Slévárenské vlastnosti .....	3
2.1.2 Chemické vlastnosti .....	4
2.1.3 Mechanické vlastnosti .....	4
2.2 Rozdělení slitin hliníku.....	6
2.3 Druhy slitin hliníku.....	6
3 Současné trendy použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci automobilů .....	8
3.1 Použití odlitků ze slitin hliníku v blocích motorů osobních automobilů.....	10
3.2 Použití slitin hliníku pro výrobu hlav válců .....	12
3.3 Použití slitin hliníku pro výrobu pístů spalovacích motorů a kompresorů .....	13
3.4 Použití odlitků slitin hliníku pro výrobu litých kol .....	15
3.5 Použití odlitků slitin hliníku v dalších částech automobilu .....	16
4 Technologie výroby odlitků pro automobily.....	18
4.1 Gravitační lití.....	19
4.1.1 Kokilové lití.....	19
4.1.2 Lití do písku .....	20
4.1.3 Lost Foam.....	21
4.2 Nízkotlaké lití .....	22
4.2.1 Lití do kovových forem.....	22
4.2.2 Cosworth-princip.....	24
4.2.3 Lití do písku .....	24
4.3 Vysokotlaké lití.....	24
4.3.1 Squeeze-casting.....	27



4.3.2	Tlakové lití ve vakuu .....	27
4.3.3	Thixotropní lití.....	28
5	Příklady litých dílů v konstrukci automobilů.....	28
6	Závěr.....	33
	Seznam obrázků .....	34
	Seznam tabulek .....	35
	Použité zdroje.....	36

# Úvod

Hliník a jeho slitiny nabízejí širokou škálu schopností a možností použití. V celku mají jedinečnou kombinaci výhod, díky čemuž je používán pro výrobu mnoha produktů na různých trzích. *„Odlitky jsou podle definice materiály používané pro výrobu tvarových odlitků, tj. Výrobky z hliníkové slitiny se složitými geometrickými tvary. Odlévané slitiny hliníku jsou poměrně rozšířené a nacházejí stále více aplikací v moderním průmyslu.“* (Zolotorevkii, 2007)

Tato bakalářská práce se věnuje současným trendům použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci automobilů a její ambicí je přinést ucelený přehled o možnostech a také současných trendech použití těchto slitin. Zmiňované trendy budou popsány a analyzovány na základě rešerše české a zahraniční odborné literatury a odborných článků věnující se této problematice.

Tato práce je členěna do pěti kapitol. V první z nich jsou definovány cíle práce a uvedena bude také metodika zpracování a možné použití této práce pro praxi. Následující kapitoly se již věnují zpracování samotného tématu. Další kapitola bude zaměřena na slévárenské slitiny hliníku, jejich fyzikální, mechanické, chemické a také slévárenské vlastnosti, možnému rozdělení a také charakteristikám jednotlivých druhů hliníkových slitin.

Třetí část se bude věnovat dnešním trendům použití slitin hliníku v automobilovém průmyslu a jejich přínosům. V následující části budou popsány jednotlivé technologie výroby odlitků pro automobily a v poslední části budou shrnuta příklady použití litých dílů v konstrukci automobilů.

# 1 Cíle práce

Stanoveným hlavním cílem je identifikovat a také analyzovat současné trendy použití odlitků ze slitin hliníků v konstrukci automobilů. Tohoto hlavního cíle bude v této bakalářské práci dosaženo díky splnění následujících dílčích cílů:

- charakterizovat slévárenské slitiny hliníku, jejich vlastnosti a druhy
- popsat a analyzovat současné možnosti použití slitin hliníku v konstrukci automobilů
- shrnout stávající používané technologie pro výrobu odlitků pro automobily

Hlavní úkol práce je především podání uceleného přehledu o slitinách hliníku a jejich vlastnostech, možnostech jejich použití v konstrukci automobilů a také současné trendy v této oblasti. Možnosti použití budou také ilustrovány na konkrétních příkladech litých dílů, které jsou v konstrukcích automobilů používány.

## 2 Slévárenské slitiny hliníku

V této části budou nejdříve popsány vlastnosti hliníku a jeho slitin. Popsány budou jak slévárenské vlastnosti, tak také vlastnosti chemické, mechanické a fyzikální. Následně bude popsáno možné rozdělení slitin hliníku a popis jednotlivých druhů slitin.

### 2.1. Vlastnosti hliníku a jeho slitin

Hliník je jeden z nejvíce rozšířených kovů v přírodě a setkat se s ním lze například v korundu, diasporu, kaolinitu, andaluzitu a také v dalších minerálech.

Vlastnosti čistého hliníku lze ovlivnit různými způsoby. Zlepšení pevnostních vlastností lze docílit například pomocí mědi či hořčíku, chemické vlastnosti pak bývají zlepšovány legováním, čímž je zpravidla zlepšena také odolnost některých slitin proti korozi a také napětí. Z technologických vlastností lze pomocí křemíku zlepšit slévárenské vlastnosti, svařitelnost je zlepšována pomocí stroncia. Možné je také zlepšení elektrické vodivosti přidáním boru.

Hliník, druhý nejrozšířenější kovový prvek, je ekonomickým konkurentem v různých aplikacích díky svému vzhledu, nízké hmotnosti, zpracovatelnosti, fyzikálním vlastnostem, mechanickým vlastnostem a odolnosti proti korozi. [1,2]

#### 2.1.1. Slévárenské vlastnosti

Slévárenské vlastnosti slitin jsou popisovány jako schopnosti slévárenských slitin vytvářet kvalitní odlitky. Tyto vlastnosti jsou pro automobilový průmysl jedny z nejdůležitějších. Slévateľnost ovlivňuje:

- tavitelnost – schopnost přecházet ze stavu pevného do kapalného
- zabíhavost – schopnost vyplnit dutinu slévárenské formy
- odolnost proti vzniku bublin, trhlin a prasklin
- sklon ke vzniku staženin – objemové změny během tuhnutí
- sklon k smršťování – objemové změny během chladnutí

Zabíhavost je vlastnost tekuté slitiny hliníku vyplnit formu. Záleží na časovém intervalu tuhnutí materiálu. S rostoucím množstvím oxidických vměstků zabíhavost klesá. Velký vliv na tuto

vlastnost má povrchové napětí a smáčivost formy. Odolnost proti vzniku bublin a trhlin je schopnost slitiny nepodléhat napětí, které vzniká při ubíhání objemu odlitku po dobu chladnutí. Ve slitinách se zjemněním zrna dosáhne naočkováním taveniny v peci specifickým množstvím daného zjemňovače zrna. [3,4,5]

### 2.1.2. Chemické vlastnosti

Čistý hliník má výbornou chemickou odolnost při pH v rozmezí 4,5-8,5, avšak v zásaditém prostředí je tato odolnost výrazně omezená. Chemické složení spolu s parametry tuhnutí ovlivňují mikrostrukturální vlastnosti, které ovlivňují výsledné mechanické vlastnosti slitiny.

Jedna z předností slitin hliníku je jeho chemická stabilita. Z pohledu chemického složení obsahují slitiny hliníku další přísady pro zlepšení jeho vlastností, které budou popsány v navazující části zaměřené na mechanické vlastnosti slitin hliníku. [6,7]

### 2.1.3. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti čistého hliníku jsou špatné, avšak například legování je možné výrazně zvýšit. Díky výborným plastickým vlastnostem a současně nízké pevnosti v tahu je čistý hliník jako konstrukční materiál téměř nepoužitelný. V následující tabulce 1 jsou pro používané prvky uvedeny účinky legování.

Prvek	Zn.	Účinky legování
Antimon	Sb	zušlechťování eutektické struktury při koncentracích 0,05 % nebo vyšší
Beryllium	Be	snižování oxidačních ztrát
Bor	B	zjemňování struktury a zvyšování elektrické vodivosti
Bismut	Bi	zlepšování mechanické obrobitelnosti
Chrom	Cr	snižování náchylnosti k růstu zrn u slitin hliník-hořčík
Měď	Cu	zvyšování pevnostních vlastností

Tabulka 1 – Účinky legování [7]

Hlavními přednostmi slitin hliníku je nízká měrná hmotnost a také dobrá pevnost. Tím se stávají měrné charakteristiky vybraných slitin hliníku stejné, nebo v některých případech i lepší než obdobné charakteristiky některých typů ocelí. [12] Srovnání mechanických vlastností vybraných litých materiálů je uveden v následující tabulce.

<b>Materiál</b>	<b>Mez kluzu [MPa]</b>	<b>Mez pevnosti [MPa]</b>	<b>tažnost [%]</b>	<b>tvrdost [HB]</b>
litiny s lupínkovým grafitem	110-290	110-400	<1	180-270
litiny s kuličkovým grafitem	210-600	400-900	2-22	160-360
uhlíkové oceli na odlitky	200-350	400-1000	7-27	103-193
slitiny Al-Si	70-180	150-250	<1-5	45-90
slitiny Al-Cu	180-325	280-410	2-8	85-120

*Tabulka 2 – Orientační hodnoty mechanických vlastností vybraných litých materiálů [8]*

Hlavními výhodami slitin hliníku je především jejich dobré mechanické vlastnosti, kujnost a dobrá odolnost vůči korozi. Do slitin je často přidáván hořčík, a to především pro zlepšení schopnosti tepelného zpracování a pevnosti slitiny.

K dalším výhodám slitin hliníku patří také dobrá odolnost proti nárazu, zavedené technologie lití a také zavedení technologie recyklace a v neposlední řadě také zavedenou technologii recyklace.

Vlastnosti slitin hliníku ovlivňují také nežádoucí sloučeniny a prvky. Jedním z nich je podle železo, které tvoří intermetalické sloučeniny, které zhoršují tažnost a tvárnost slitiny. Do slitin hliníku se dostává při tavně, pokud se používají druhotné suroviny. Železo i při malé koncentraci tvoří velké množství intermetalických fází. [6,9,10]

## 2.2. Rozdělení slitin hliníku

Obecně lze rozdělit slitiny hliníku pro konstrukční účely na dvě skupiny, a to na slitiny se tvářením a slitiny slévárenské. Jako slévárenské slitiny hliníku jsou označovány binární slitiny typu hliník-křemík, hliník-hořčík a hliník-měď, dále pak ternární slitiny typu hliník-křemík-hořčík, hliník-křemík-měď, hliník-hořčík-křemík a další. Tyto slitiny mohou být jak vytvrditelné, tak i nevytvrditelné. [3,11]

Slitiny hliníku pro tvářením mohou být slitiny nízkopevnostní s dobrou odolností proti korozi, slitiny s vyšší a vysokopevnostní, avšak s nízkou odolností proti korozi. [12]

## 2.3. Druhy slitin hliníku

Při srovnání nákladů je možné zvažovat celkem tři složky těchto nákladů, a to skutečně vynaložené náklady na suroviny, náklady na přidanou výrobní hodnotu a také náklady na návrh a testování produktu. Z hlediska nákladů na suroviny jsou slitiny hořčíku nákladnější než slitiny hliníku. Nutné je však vzít v úvahu také další vlastnosti, hliníkové odlitky používané pro automobilový průmysl mohou představovat snížení hmotnosti o 30–50 % oproti oceli, při použití slitin hořčíku je však možné dosáhnout snížení hmotnosti oproti oceli až o 40–60 %.

Slitiny hliníků se dají rozdělit do dvou základních typů: lité hliníkové slitiny a tvářením hliníkové slitiny. Slitiny hliník-křemík jsou využívány hojně v automobilovém průmyslu, a to především díky jejich dobré slévateľnosti, nízkým nákladům a také díky výborným mechanickým vlastnostem.

Pro výrobu odlitků jsou nejčastěji využívány siluminy (hliník-křemík), dualuminy (hliník-měď), hydronalia (hliník-hořčík) a také ternární slitiny. Ty mohou být tvořeny například kombinací hliník-křemík-hořčík, hliník-křemík-měď.

Níže je uvedeno srovnání některých vlastností slitin hliníku. První číslice obsahuje třídu hliníkových slitin, následně je také uveden obsažený prvek a posílení procesu. Hodnocena je síla, odolnost proti korozi a také zpracovatelnost/tvarovatelnost, a to na stupnici od 1 do 5, kde 1 představuje nejlepší vlastnosti a 5 představuje vlastnosti nejhorší. [6,13,14,15,16]

<b>Třída</b>	<b>Prvek</b>	<b>Proces</b>	<b>Síla</b>	<b>Odolnost proti korozi</b>	<b>Zpracovatelnost, tvarovatelnost</b>
1xxx	nelegované	zpevnění tahem	5	1	1
2xxx	Cu	tepelně zpracovatelný	1	4	4
3xxx	Mn	zpevnění tahem	3	2	1
4xxx	Si	závisí na slitině	3	4	1
5xxx	Mg	zpevnění tahem	2	1	1
6xxx	Mg, Si	tepelně zpracovatelný	2	3	2
7xxx	Zn	tepelně zpracovatelný	1	1	4
8xxx	další prvky	omezený	-	-	-

*Tabulka 3 – Druhy slitin a hodnocení jejich obecných vlastností [16]*

K dalšímu vývoji odlitku ze slitin hliníku by napomohly dvě možnosti. První možnost je vylepšení technologie odlévání a vývoj nových technologických procesů, které by zajistily vysokou kvalitu odlitků vyrobených ze slitin s nízkou slévatelností. Další možnost je vývoj nových slitin pro odlévání, které by kombinovaly vynikající úroveň vlastností s dobrou slévatelností pomocí tradičních přístupů. [17]



### **3. Současné trendy použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci automobilů**

V posledních letech je publikována řada příspěvků věnující se problematice lehkých slitin a jejich použití v automobilovém a také například leteckém průmyslu. To je zejména proto, že hybridní komponenty přitahují zájem o tuto vědecko-technologickou oblast. Nejběžněji používanými materiály jsou v případě kovů především slitiny hliníku a oceli, v případě kompozitů pak například polymery vyztužené uhlíkovými vlákny.

Rostoucí poptávka po palivově úspornějších vozidlech s cílem snížit spotřebu energie a znečištění ovzduší je výzvou pro automobilový průmysl. Charakteristické vlastnosti hliníku, vysoký poměr tuhosti k hmotnosti, dobrá tvarovatelnost, dobrá odolnost proti korozi. Díky recyklačnímu potenciálu jsou slitiny hliníku ideálním kandidátem pro nahrazení těžších materiálů (ocel nebo měď) v automobilu, aby bylo možné reagovat na poptávku po snížení hmotnosti v automobilovém průmyslu.

Automobilové strukturní díly, jsou díly, které buď/a/nebo: nesou hmotnost automobilu, absorbují rázy od nerovností vozovky, absorbují a přenášejí energii nárazu, jsou součástí ochrany pasažérů při nárazu, určují tvar karoserie, drží motor apod., tzn. Mají klíčovou roli v provozu automobilu a bezpečnosti pasažérů.

V ekonomice vyspělých zemí má automobilový průmysl rozhodující roli. Pokud jde o nejnovější trendy ve výrobě automobilů, je použití principů lehkých konstrukcí hlavní prioritou pro uspokojení požadavků zákazníků a zvýšených právních požadavků. Jednou z možností je použití vysoce pevných lehkých materiálů.

Odlitky ze slitin hliníku jsou velkou měrou spjaty s automobilovým průmyslem. V současné době roste zájem po vozidlech s nízkou spotřebou paliva, a to především pro snížení potřeby energie a v neposlední řadě také pro snížení znečištění ovzduší. I to je jeden z důvodů, proč jsou odlitky ze slitin hliníku často diskutovány především v souvislosti s elektricky poháněnými automobily.

Slitiny hliníku se díky svým vlastnostem staly klíčovými materiály pro dosažení lehčích vozidel, které budou zároveň efektivnější. Mezi slitinami hliníkových odlitků jsou slitiny Al-Si zdaleka nejrozšířenější, zejména pro automobilové aplikace.

Díky zvyšující se tendenci používání hliníkových slitin v konstrukcích automobilů dochází k úsporám paliva a také ekologičtějším provozu. Z tohoto důvodu jsou v automobilech vyráběny vozy s větším podílem hliníku, který je používán na bloky motorů, části karoserií, konstrukční části apod.

Při volbě slévárenské technologie pro výrobu odlitků ze slitin hliníku pro konstrukce automobilů hrají důležitou roli následující kritéria a to je kvalitativní požadavky na odlitek, velikost série, hospodárnost, investiční objem, vliv na životní prostředí, kompatibilita s materiálovými toky v rámci celého chodu výroby, vyplývající prostorové nároky (např. oblast formování) a stupeň automatizace. [8,13,18,19,20,21,22,23,24]

Obecně se lze se slitinami hliníku setkat v mnoha částech automobilu. Následující tabulka uvádí procentuální vyjádření průniku pro jednotlivé komponenty motoru, kterými jsou hlavy válců, bloky motoru, písty motoru, sací potrubí, kryty startéru a olejové vany.

<b>Komponent motoru</b>	<b>Procento využití slitin hliníku</b>
Hlavy válců motoru	75 %
Bloky motoru	22 %
Písty motoru	100 %
Sací potrubí	64 %
Kryty startéru	100 %
Olejové vany	52 %

*Tabulka 4 – Využití slitin hliníku ve vybraných komponentech motorů osobních automobilů [25]*

Odlitky ze slitin hliníku jsou v osobních automobilech využívány v mnohých částech, v následujících podkapitolách bude popsáno použití odlitků ze slitin hliníku v blocích motorů, pro hlavy válců a také pro litá kola a ostatní části.

### 3.1 Použití odlitků ze slitin hliníku v blocích motorů osobních automobilů

Výrobci bloků motoru se neustále snaží vyrábět lepší a lehčí bloky za účelem zlepšení a zvýšení účinnosti automobilových motorů. Blok motoru je největší a nejsložitější kus kovu použitý v konstrukci automobilu, na kterém jsou namontovány další důležité součásti motoru. Samotný blok motoru představuje 3-4 % z celkové hmotnosti průměrného vozidla. Hraje klíčovou roli ve všech úvahách o snižování hmotnosti. Použití hliníkového bloku motoru začalo u benzínových motorů koncem 70. let. Kolem roku 2005 dosáhl podíl hliníkových bloků motoru na trhu 50 % a jeho pronikání na trh je i nadále zvyšováno. V dnešní době jsou bloky pro benzínové motory běžně vyráběny ze slitin hliníku, jeho aplikace také silně roste v blocích dieselových motorů.

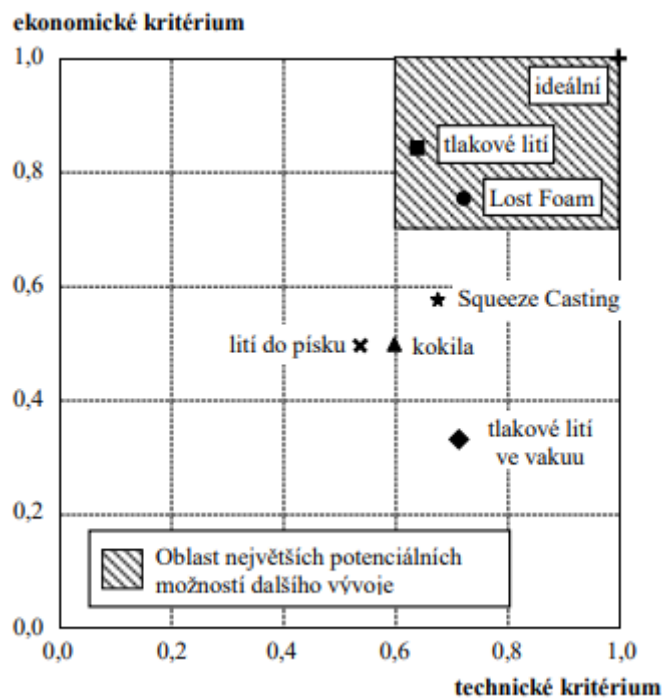
Hliníkové bloky motorů musí splňovat jisté požadavky:

- Tepelnou vodivost – Vysoká tepelná vodivost lité hliníkové slitiny zajišťuje efektivní odvod tepla do chladicího média.
- Pevnost při zvýšených otáčkách – To je vyžadováno hlavně ve styčné ploše s hlavou válce, kvůli zatížení hlavy šroubu a v ložiskových sedlech, aby vydržely výstupní síly z rotace klikové hřídele a tepelného roztažení bloku motoru
- Pevnost / tvrdost při pokojové teplotě – Je nutná minimální pevnost / tvrdost slitiny hliníku při pokojové teplotě pro zajištění dobré obrobitelnosti

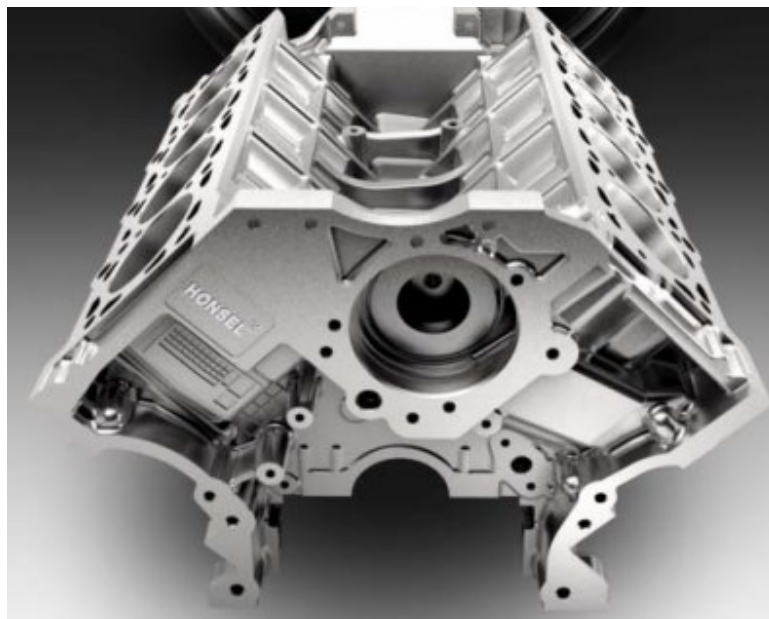
Pro výrobu bloků motorů je využívána řada slitin hliníku, které jsou využívány jak pro motory vznětové, tak i pro motory zážehové. Nejčastěji používanými slitinami jsou pak slitiny Alusil, Galnikal a Lokasil. Alusil má vysoký podíl křemíku a je proto těžko zpracovatelný a také poměrně drahý. Galnikal je obdobně jako Alusil základním materiálem, jelikož má však nižší podíl křemíku, je levnější a také lépe zpracovatelný než zmiňovaný Alusil. Lokasil je patentem německé firmy Kolbenschmidt. Jedná se o základní materiál, který je obdobně jako slitina Galnikal levnější a snáze opracovatelný než slitina Alusil.

Při volbě slévárenské technologie pro výrobu odlitků pro použití v blocích motorů osobních automobilů hraje důležitou roli zejména kvalitativní požadavky na odlitek, velikost série, hospodárnost, investiční objem, vliv na životní prostředí, kompatibilita s materiálovými toky v rámci celého chodu výroby. Pro lití dílů hliníkových částí bloků motorů bylo sestaveno

grafické vyjádření srovnání pro posouzení vhodnosti jednotlivých technologií, které je znázorněno na následujícím obrázku. Největší potenciální možnosti dalšího vývoje jsou v oblasti tlakového lití a lost foam. [24,26,27]



Obrázek 1 – Srovnání slévárenských technologií pro lití dílů hliníkového motoru [24]



Obrázek č. 2 – Blok motorů pro Ford Mustang Shelby GT 500 [26]

## 3.2 Použití slitin hliníku pro výrobu hlav válců

Jednou z částí motoru, ve které jsou využívány odlitky ze slitin hliníku jsou hlavy válců motorů. Hlava válců tvoří víko pracovního válce a část spalovacího motoru. Je zatížena proměnným tlakem spalování, tlakem od předpětí hlavových šroubů a těsnění.

Hlava válců je ve většině případů utěšňována pomocí matic na šrouby, mezi válce a hlavu válců je pak zpravidla vkládáno také těsnění. Jedním z hlavních požadavků na tuto část je, aby byl zachován spalovací tlak. Vzhledem však ke skutečnosti, že je tato část tepelně a mechanicky namáhána plyny vznikajícími při spalování, je nutné, aby byla vyrobena z materiálu, který má jak vysokou tvarovou pevnost, tak i malou tepelnou roztažnost.

Na odlitky pro použití jako hlavy válců jsou kladeny konkrétní požadavky vyplývající ze způsobu namáhání této části motoru. Použitý materiál musí být především odolný vůči velkému mechanickému zatížení, které vzniká v důsledku sil vyvolaných předpětím ve šroubových spojích, napětími vznikajícími při explozích směsi ve spalovacím prostoru a tlakem plynů ve výfukových kanálech, tepelných pnutí (teplotní gradienty v celém odlitku včetně střídavého tepelného namáhání) a zbytkových pnutí z výrobního procesu. Kladeny jsou také požadavky na kvalitu povrchu sacích kanálů, nízkou hmotnost a také těsnost v prostoru vodních kanálů. Veškeré obrysy i tloušťky stěn by pak neměly být menší než 2,5 mm a veškeré plochy, které jsou obráběné, by měly být bez vnitřních homogenit, aby byla zajištěna těsnost stěn po obrobení.

Nejlepší pro výrobu hlavy válců je kombinace pevnosti a tažnosti. Zde jsou nabízeny odlévání slitin s nízkým obsahem železa, například jako AlSi7Mg0.3 (A356). Proto byla v minulosti většina hlav válců vyrobena z primárního slitin hliníku. Ale také slitiny, které lze vyrobit pomocí recyklovaného hliníku (tj. s mírně zvýšeným obsahem nečistot), jako je AlSi10Mg nebo AlSi7Mg, které stále poskytují dostatečnou tažnost.

Pro výrobu hlav válců je možné využít tři skupiny způsobů výroby, a to gravitační lití, nízkotlaké lití a také tlakové lití. Pro gravitační lití je používáno kokilové lití, lití do písku a Lost Foam, pro nízkotlaké lití je pak používáno lití do kovových forem, Sosworth-princip nebo lití do písku, pro tlakové lití je používáno Middle-Pressure. Tyto technologie budou blíže specifikovány následující kapitole. [26,28,29,30]

### 3.3 Použití slitin hliníku pro výrobu pístů spalovacích motorů a kompresorů

Slitiny hliníku jsou používány také pro výrobu pístů spalovacích motorů a také kompresorů v automobilovém průmyslu. Tyto odlitky jsou také používány do motorů letadel, především špičkové odlitky. Pro výrobu pístů spalovacích motorů a kompresorů jsou používány především slitiny hliníku, které mají vyšší obsah křemíku a také s obsahem charakteristických legur, a to především z důvodu lepších mechanických, fyzikálních a také užitných vlastností ve srovnání s běžnými slitinami hliníku a křemíku. [31]

Tabulka 5 uvádí přehled základních slitin hliníku a také předpisy výrobců a odběratelů pístů, které z těchto základních slitin vychází.

Základní slitina	Předpis	Základní slitina	Předpis
AlSi10CuMg	KS 270	AlSi15Cu3Ni2Mg	M 145
AlSi12NiMg	KS 1275 S	AlSi18CuNiMg	424386 S
AlSi12CuNiMg	ČSN 424336		KS 281.1
	KS 1275		M 138
	M 124		FM 180
	GK-K12	AlSi20Cu2NiMgMn	ČSN 424386
	AE.109 AXP	AlSi21CuNiMg	KS 280
	FM 120	AlSi25CuNiMg	KS 282
	424336 S		M 244
	KS 1275.2	AlCu4NiMg2	ČSN 424315
AlSi12Cu3Ni2Mg	M 142		KS Y
	AK 12 M	AlSi12Cu4Ni2Mg	M 174+
AlSi16CuNiMg	M 126		KS 1295

Tabulka 5 – Přehled základních slitin a z nich vycházejících předpisů výrobců a odběratelů pístů [31]

Pro slitiny uvedené v předcházející tabulce je dále v jednotlivých předpisech specifikováno chemické složení v hmotnostních procentech. Pro vybrané slitiny je jejich chemické složení a také příslušný předpis uveden v následující tabulce.

Základ	AISI10CuMg	AISI12NiMg	AISI12CuNiMg	AISI12Cu3Ni2Mg	AISI12Cu4Ni2Mg	AISI15Cu3Ni2Mg	AISI16CuNiMg	AISI18CuNiMg	AISI20Cu2NiMgMn
Předpis	KS 270	KS 1275 S	ČSN 424336	M 142	M 174+	M 145	M 126	424386 S	ČSN 424386
SI	9-10,5	11,5-12,5	11-13	11-13	11-13	14-16	14-18	17-19	19-22
Fe	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
Cu	2,5-3,5	02	0,8-1,5	2,5-4	3-5	2,5-4	0,8-1,5	0,8-1,5	1,5-2
Mn	0,5	0,2-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1-04
Mg	0,7-1,2	1,3-1,7	0,3-1,3	0,5-1,2	0,5-1,2	0,5-1,2	0,8-1,8	0,8-1,3	0,7-1,1
Cr				0,05	0,05	0,05	0,05		
Ni	0,5	0,8-1,2	0,8-1,3	1,75-3	1-3	1,75-3	0,8-1,3	0,8-1,3	0,5-1
Zn	0,8	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
Ti	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ca			0					0,005	

Co									min.0, 7
V				0,18	0,18	0,18			
Zr				0,2	0,2	0,2			

Tabulka 6 – Chemické složení vybraných slitin [31]

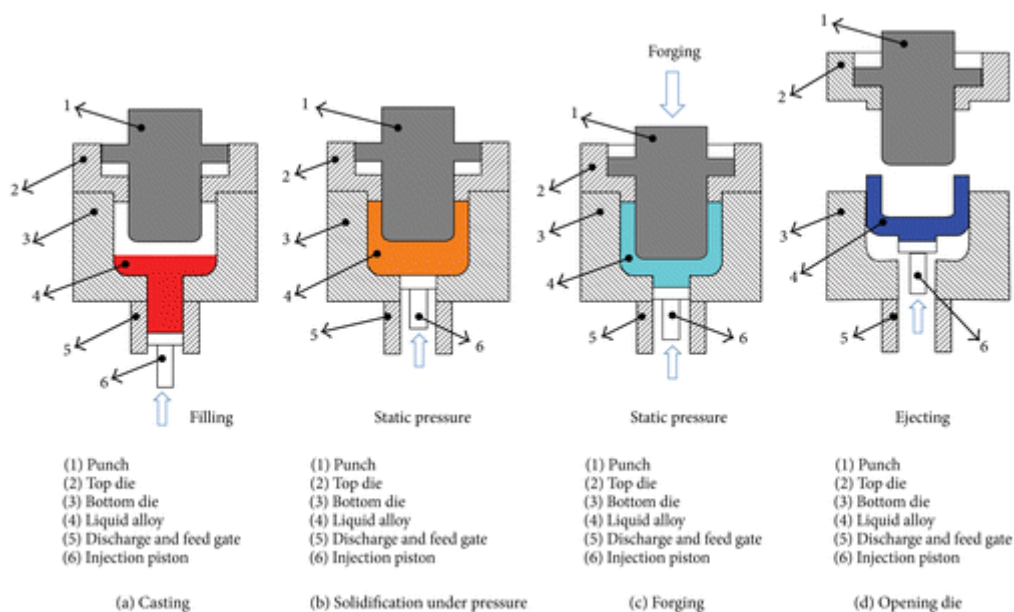
### 3.4 Použití odlitků slitin hliníku pro výrobu litých kol

Použití hliníkových kol u osobních automobilů nezačalo primárně jako odlehčující opatření. Na začátku byla hliníková kola obvykle nabízena jako volitelný doplněk nebo jako součást dražší výbavy. Dnes se však hliníková kola nacházejí na více a více modelů automobilů jako standardní výbava. V roce 2011 asi 50 % celosvětově vyráběných vozidel používá kola na bázi hliníku, tj. kola představují téměř 15 % průměrného obsahu hliníku v osobních a lehkých nákladních automobilech. V Severní Americe se prodej hliníkových kol na trhu blíží 70 %, v Japonsku přibližně 60 % a v Evropě v roce 2006 asi 50 %. V dnešní době zájem o litá kola na trhu neustále roste.

Na výrobu litých kol se nejčastěji používá slitina pod označením Silumin (AlSi11) kvůli jejím dobrým mechanickým vlastnostem a vysokou odolností vůči korozi. Litá kola se po odlití a zchladnutí opatřují několika vrstvami laků kvůli mechanické a chemické ochranně (odolnost proti mechanickému oděru, posypovým materiálům) či vzhledu (mat, lesk, černění). Takovéto složení materiálu a povrchovou úpravu mají téměř každá alu kola.

Hliníková litá kola mohou být vyráběna pomocí integrovaného procesu lití a kování (ISFP). Jedná se o výrobní postup, který kombinuje výhody kování s výhodami lití. Integrovaný proces lití a kování byl navržen především pro výrobu dílů, které mají komplikovaný tvar a jsou kladeny vysoké nároky na jejich kvalitu. Zároveň je tato technologie z hlediska nákladů efektivnější a také energeticky účinnější. [26,32,33] Princip procesu integrovaného lití a kování znázorňuje Obrázek 3.



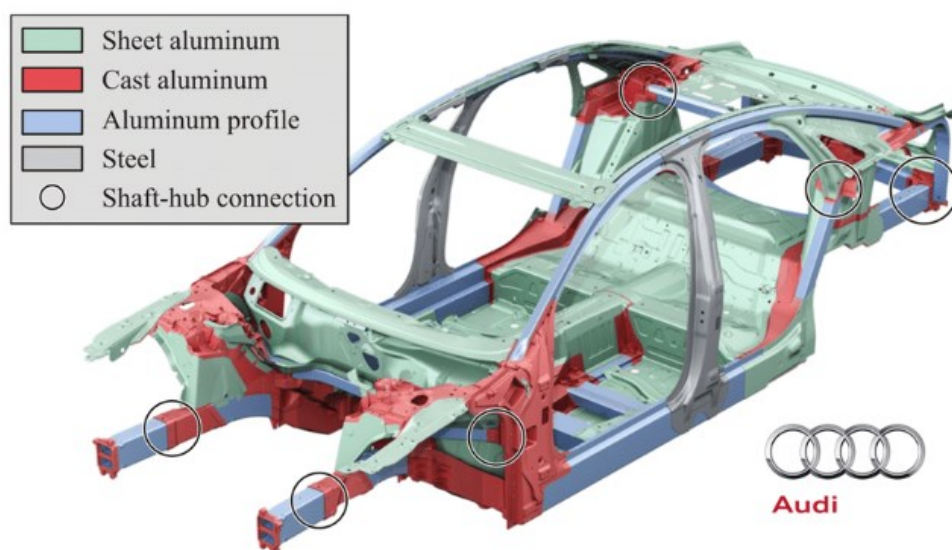


Obrázek 3 – Princip ISFP [33]

### 3.5 Použití odlitků slitin hliníku v dalších částech automobilu

Odlitky slitin hliníku jsou kromě bloků motorů, hlav válců a litých kol používány také pro výrobu dalších částí osobních automobilů. Jedná se například o části převodovkové skříně, sací potrubí, kryty startéru, olejové vany, turbodmychadla, řemenice, palivová čerpadla, části klimatizace či skříň diferenciálu.

Za zmínku stojí také použití odlitků ze slitin hliníku v karoseriích osobních automobilů. V karoseriích jsou hliníkové slitiny obecně používány v hojné míře. Používány jsou jak odlitky, tak také hliníkové plechy, a hliníkové profily. Obrázek 4 znázorňuje příklad využití odlitků hliníku v karoseriích osobních automobilů. Na tomto obrázku jsou zelenou barvou označeny části vyrobené z hliníkového plechu, červenou barvou pak části, které byly vyrobeny odléváním, modře jsou označeny hliníkové profily a šedě jsou pak označeny ocelové části karoserie.



Obrázek 4 – Použití slitin hliníku v konstrukci karoserie osobního automobilu [34]

Na hliníkové odlitky, stejně jako na další části karoserie jsou kladeny nároky na mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost), svařitelnost, schopnost spojování lepením, schopnost spojování nýtováním, nízký obsah pórů z důvodu zaručení mechanických vlastností a svařitelnosti, požadavky na dokumentaci a zpětnou sledovatelnost. [35] Mechanické vlastnosti hliníkových odlitků podle normy DB49180 shrnuje Tabulka 7.

	<b>PV.10</b>	<b>PV.20</b>	<b>PV.30</b>	<b>PV.40</b>
mez kluzu [Mpa]	≥ 100	≥ 100	≥ 120	≥ 140
Mez pevnosti [MPa]	≥ 180	≥ 180	≥ 180	≥ 240
Tažnost [%]	≥ 4	≥ 10	≥ 10	≥ 2
úhel ohybu [°]	bez požadavku	≥ 50	≥ 60	bez požadavku

Tabulka 7 – Mechanické vlastnosti hliníkových odlitků podle normy DB4918 [35]

## 4 Technologie výroby odlitků pro automobily

Slitiny hliníku jsou používány nejen v automobilovém průmyslu, ale také v průmyslu leteckém. Je to především z toho důvodu, že mohou být tepelně zpracovány a díky tomu dosáhnou lepší pevnosti, zpracovatelnosti, elektrické vodivosti a také lepší odolnosti za současného zachování hmotnosti. Na slitiny hliníku jsou aplikovány různé procesy tepelného zpracování, a to dle požadavku na výsledné vlastnosti produktu. Jedná se především o homogenizaci, žíhání, vytvrzování, kalení a také chladnutí při pokojové teplotě, nebo při zvýšení teplotě.

Je možné konstatovat, že pro výrobu odlitku z hliníkových slitin jsou používány téměř všechny slévárenské metody. Hliníkové slitiny mají relativně nízkou tavící teplotu, a proto například pro lití jsou používány také nelegované slitiny železa. Možnosti použití slévárenských technologií výroby odlitků ze slitin hliníku:

- *gravitační lití do kokil*
- *gravitační lití do pískových forem*
- *lití metodou Lost-foam*
- *lití do kovových forem*
- *Cosworth-princip*
- *nízkotlakého lití do písku tlakové lití*
- *vysokotlaké lití*
- *Squeeze-Casting*

Struktura a také vlastnosti slitin hliníku jsou mimo jiné dány intenzitou ochlazování při tuhnutí. Pokud dojde k rychlému tuhnutí odlitků, dochází hned k několika příznivým efektům, například vzniká jemnozrnná struktura s podstatně lepšími mechanickými vlastnostmi, je menší strukturní heterogenita slitiny a nižší výskyt vad typu mikrostaženiny a ředin, omezuje se vylučování rozpuštěných plynů a vznik plynových dutin, zvyšuje se disperzita intermetalických částic, které pak mají mnohem méně negativní účinek na vlastnosti slitiny, při rychlém tuhnutí je proto ve slitinách obvykle přípustný vyšší obsah doprovodných prvků. [4,9]

Při volbě vhodné technologie pro výrobu odlitků slitin hliníku je pak nutné zvážit několik faktorů. Jedná se zejména o sériovost a produktivitu, která úzce souvisí s návratností vynaložených investic. Technologií jsou dále ovlivněny jeho mechanické a fyzikální vlastnosti, proto by technologie měla být vybírána také na požadované budoucí vlastnosti odlitku. V neposlední řadě je také nutné zvážit ekologické vlivy na pracovní prostředí a design. [4,9,36]

## **4.1 Gravitační lití**

Gravitační lití jako jeden ze způsobů výroby odlitků ze slitin hliníku v automobilovém průmyslu je možné dále rozdělit podle technologie výroby na kokilové lití, lití do písku a Lost Foam. Kokilové lití pak může být stacionární, a to způsobem lití horem, lití dolem a DYPUR, a ROTACAST, pro lití do písku může být také využito ROTACAST, nebo také jádrový paket. Tyto technologie budou přiblíženy v následujících kapitolách.

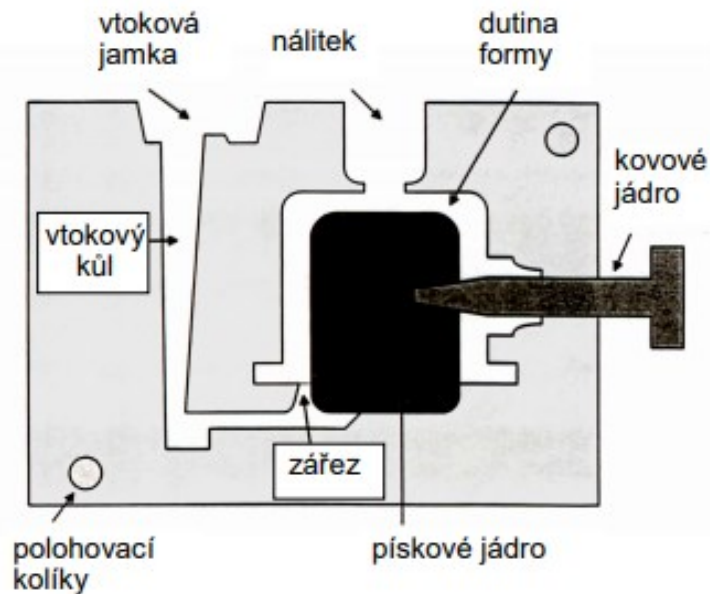
### **4.1.1 Kokilové lití**

Gravitační lití do kokil je jednou z nejpoužívanějších technologií, která je hojně využívána také pro výrobu hlav válců. Do dutiny kokily může být kov vpraven dvěma způsoby, a to horem, nebo spodem. Při spodním plnění dochází k neusměrněnému tuhnutí, při využití tohoto způsobu plnění je také potřebná větší objemnost vtokové soustavy. Při plnění horem pak je v porovnání s plněním spodem vtoková soustava déle plněna.

Formy pro tuto technologii jsou vyráběny převážně odléváním z litiny s lupínkovým nebo kuličkovým grafitem. Dělicí rovina, upínací výstupky a vyhazovací otvory jsou obrobeny, funkční plocha dutiny formy zůstává často v litém stavu.

Formy přitom mohou být dvoudílné nebo vícedílné, jádra pak bývají kovová nebo písková. Stěny odlitku musí mít minimální tloušťku 4-5 mm, úkosy pak musí být minimálně 2-3°. Provozní teplota kovových forem se pohybuje v rozmezí 200-250 °C a chlazení pak může být jak vodní, tak i zalitými chladícími šneky či přišroubovanými chladícími deskami. Pro zamezení lepení odlitků ke kokile je prováděno periodické ošetření formy speciálními nátěry.

Pro kokilové odlitky jsou kladeny následující požadavky, a to dobré lící vlastnosti při teplotách blízkých  $T_s$ , dostatečnou pevnost slitiny do doby vytažení odlitku z kokily, nízké smršťování a minimální sklon k naplynění. Obrázek 5 znázorňuje kovovou formu s jádry, konkrétně s jedním pískovým a jedním kovovým jádrem z pohledu do dělicí roviny.



Obrázek 5 – Kovová forma s jádry – pohled do dělicí roviny [4]

Hlavní výhodou této technologie je především rychlejší tuhnutí odlitků ve srovnání s pískovými formami. Odlitky mají také lepší povrchovou jakost, roste mez pevnosti a výsledný odlitek má jemnozrnnou strukturu. V porovnání s odléváním do pískových forem je při odlévání do kokil doprovázeno větší výrobností, a to 3-5 x. Zároveň jako výhodou je možné označit zlepšení zdravotních a hygienických podmínek. Kokilové lití má však kromě uvedených výhod také určité nevýhody. Jedná se například o mnohonásobně vyšší náklady na výrobu formy, než je tomu u lití do písku, a proto je tato technologie vhodná až při určitém objemu výroby. Omezena je také pro určité druhy slitin za dodržení zvláštních principů. [4,30,36]

#### 4.1.2 Lití do písku

Lití do pískových forem je jednou z nejlevnějších výrobních metod. Nevýhodou této metody je pak skutečnost, že při jejím použití nemohou být splněny požadavky na některé mechanické vlastnosti odlitku.

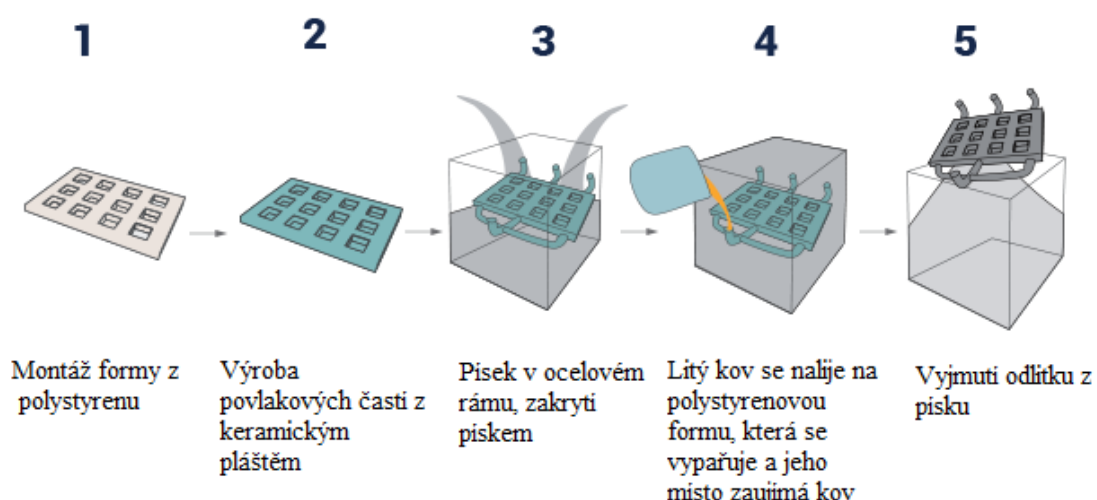
Další výhodou této metody je její flexibilita, lití do pískových forem je možné využít pro veškeré hmotnostní kategorie odlitků. Ačkoli je možné tuto metodu využít pro veškeré hmotnostní kategorie odlitků, nejčastěji je využívána pro kusovou a také pro malosériovou výrobu. Hlavním důvodem je především neekonomické použití kovových forem. [4,30]

### 4.1.3 Lost Foam

Tato technologie spadá do skupiny lití do písku, vzhledem však k jejímu významu se vyčleňuje jako samostatná technologie. Tato technologie je používána pro složité kovové součásti. Při tomto způsobu se obvykle vzor vyrobí z expandovaného polystyrenu, který se potom připojí k hrádlovacímu systému a poté se na celou sestavu nanese tenká vrstva žáruvzdorného povlakového materiálu. Po úplném zaschnutí povlaku je pěnový vzor zcela zapuštěn do písku v nádobě. Během cyklu lití písku se na baňku aplikují vibrace k zhutnění písku.

Proces Lost Foam je nákladově efektivní způsob výroby. Další výhodou je také menší omezení tuhnutí odlitku, takže se porušení za horka objevuje v mnohem menším množství. Při použití této technologie je zajištěna vyšší výtěžnost odlitku.

Při procesu Lost Foam se tekutý kov nalije na polymerní předlohu, která je potažena žáruvzdorným materiálem. Polymerní materiál následně podléhá tepelné degradaci a postupně je nahrazován roztaveným kovem, který postupně tuhne. [30,37,38,39] Proces Lost Foam uvádí následující Obrázek 6.



Obrázek 6 – Proces Lost Foam [40]

## 4.2 Nízkotlaké lití

Metoda nízkotlakého lití je pracovní postup, kdy je tavenina vytlačována z udržovací pece keramickou trubicí nahoru do dutiny samotné licí formy. Je přitom využíváno principu podtlaku. Na hladinu taveniny působí přetlak, díky kterému je tavenina plynule natlačována do formy. Udržovací pec zde slouží pouze k udržení taveniny na požadované teplotě, a ne k roztavení kovu. Díky tomuto, pro nízkotlaké lití charakteristickému uspořádání "pec-plnicí trubice-forma", je dosaženo kontrolovaného tuhnutí materiálu. Odpadá tak potřeba složité a nákladné vtokové soustavy a chlazení. Pro odlev se využívají pískové, keramické nebo kovové formy.

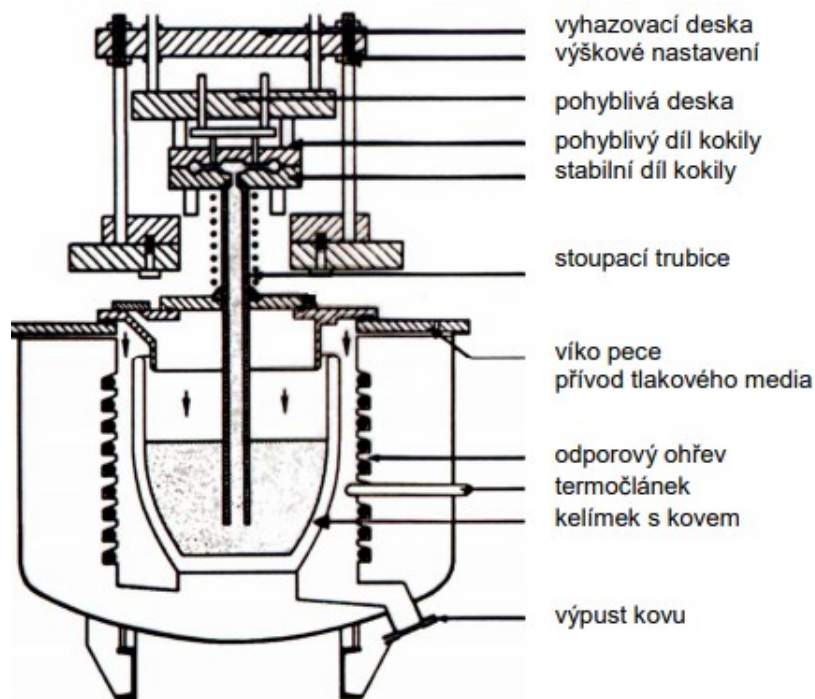
Jedna z dalších variant nízkotlakého lití je metoda lití s protitlakem. Zde zpočátku působí přetlak plynů i na straně formy a odlití se dosahuje snižováním tlaku ve formě. V systému je celkově vyšší tlak než při nízkotlakém lití, což zrychluje odvod tepla z odlitku do formy (zvyšuje se součinitel přestupu tepla) a omezuje se vznik ředin a plynových bublin při tuhnutí. Technologie je vhodná zvláště pro odlitky s větší tloušťkou stěn.

Mezi nízkotlaké lití lze zařadit lití do kovových forem, Coswort-princip a také lití do písku. Při lití do písku pak mohou být využita jak formy s rámem, tak také formy bez rámu. Jednotlivé technologie budou charakterizovány v následujících podkapitolách. [36,41]

### 4.2.1 Lití do kovových forem

Tato technologie je charakteristická vyššími investičními náklady. Každý jednotlivý odlitek je vždy vyroben na samostatném licím stroji, což vlastně určuje i délku výrobního taktu. Větší produktivity se daří dosáhnout zavedením předmontáže jader a robotizovaným zakládáním těchto jádrových celků do formy.

Při nízkotlakém lití je kov vpravován do formy rychlostí přibližně 0,5 m/s pomocí tlaku do 0,3 MPa. Stroj pro nízkotlaké lití je tvořen udržovací pecí, nad kterou je dělení kovová forma. [30,36] Schematicky je stroj pro nízkotlaké lití uveden na následujícím Obrázku 7.



Obrázek 7 – Schéma stroje pro nízkotlaké lití [4]

Pracovní postup nízkotlakého lití je možné rozdělit do tří fází. Jednotlivé fáze nízkotlakého lití znázorňuje Obrázek 8.



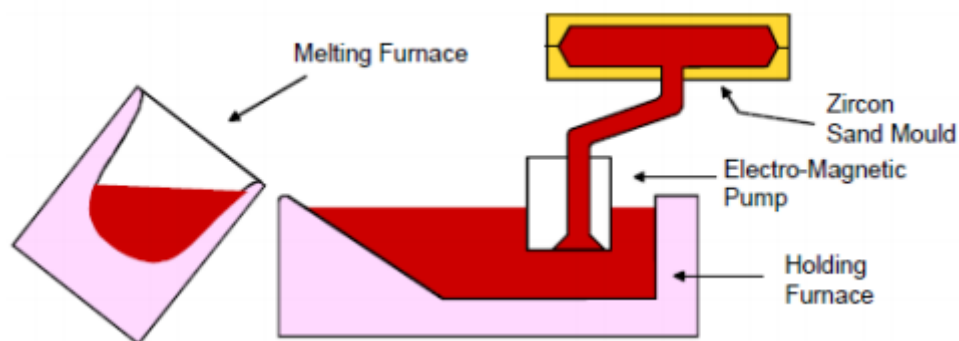
Obrázek 8 – Princip a pracovní postup výroby odlitků nízkotlakým litím [36]



#### 4.2.2 Cosworth-princip

Tento proces je určitou modifikací nízkotlakého lití. Pomocí elektromagnetické pumpy je kov dopravován do dutiny formy a zároveň je také umožněno odlévat odlitky, které mají více jader, nebo mají jádra komplikovaná, jako jsou například hlavy válců. Nevýhodou této technologie je především dlouhá doba taktu.

V tomto procesu nejprve dochází k plnění formy, které je realizováno prostřednictvím elektromagnetického čerpadla, nebo také za pomoci tlaku. [30,42] Schéma celého procesu uvádí Obrázek 9.



Obrázek 9 – Schéma procesu Cosworth [42]

#### 4.2.3 Nízkotlaké lití do písku

Lití do písku může být prováděno buď do forem s rámem, nebo do forem bez rámu. Při použití formy bez rámu je dotlak, který není řešen pístem ve „vpichové“ trubce, ale trubice jiné konstrukce je napojena na řízený přetlak, který začne působit po aktivaci uzavíracího zařízení. Proces nízkotlakého lití do písku je vhodné k lití neželezných slitin, které jsou náchylné k oxidaci. [30,43]

### 4.3 Vysokotlaké lití

Vysokotlaké lití do formy je metoda, při které je tavenina tlačena pod tlakem do bezpečně uzavřené dutiny kovové formy, kde je držena silným lisem, dokud kov nevytuhne na požadovanou teplotu. Po ztuhnutí kovu se matrice otevře a odlitek se vysune. Po odstranění odlitku se matrice uzavře pro další cyklus. Vhánění kovu do dutiny formy je dokončeno za

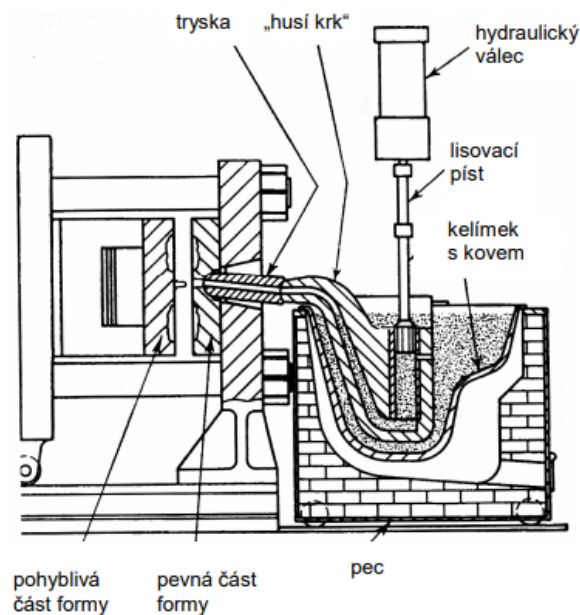
zlomek sekundy. Zatímco roztavený kov je stále držen v matrici, je vynaložen extrémně vysoký tlak. Tento vysoký tlak stlačuje jakýkoli plyn zachycený v kovu a přivádí další kov do dutiny, aby kompenzoval smrštění kovu, když tuhne.

Tlakové stroje jsou z hlediska své konstrukce rozdělovány na dva základní typy, a to na tlakové stroje se studenou komorou a na tlakové stroje s teplou komorou. Podle směru pohybu plnicího pístu jsou tlakové stroje rozdělovány na stroje se svislou komorou a stroje s vodorovnou komorou. Pro výrobu odlitků ze slitin hliníku jsou pak zpravidla nejčastěji používány stroje se studenou horizontální komorou. Schéma horizontální tlakového stroje se studenou komorou uvádí Obrázek 11.

Dávkování do plnicí trubice spoje probíhá buď manuálně, u novějších strojů se pak častěji objevuje automatické dávkování pomocí plnicí lžice nebo pomocí pneumatického dávkovacího zařízení z dávkovací pece, která je součástí pracoviště tlakového stroje.

Systém *horké komory* se používá s kovy, jako je zinek, hořčík a olovo. Vstřikovací systém z komory stroje horkého se ponoří do lázně roztaveného kovu z tavicí pece. Jak se stělný píst pohybuje, tlačí kov tryskou do formy.

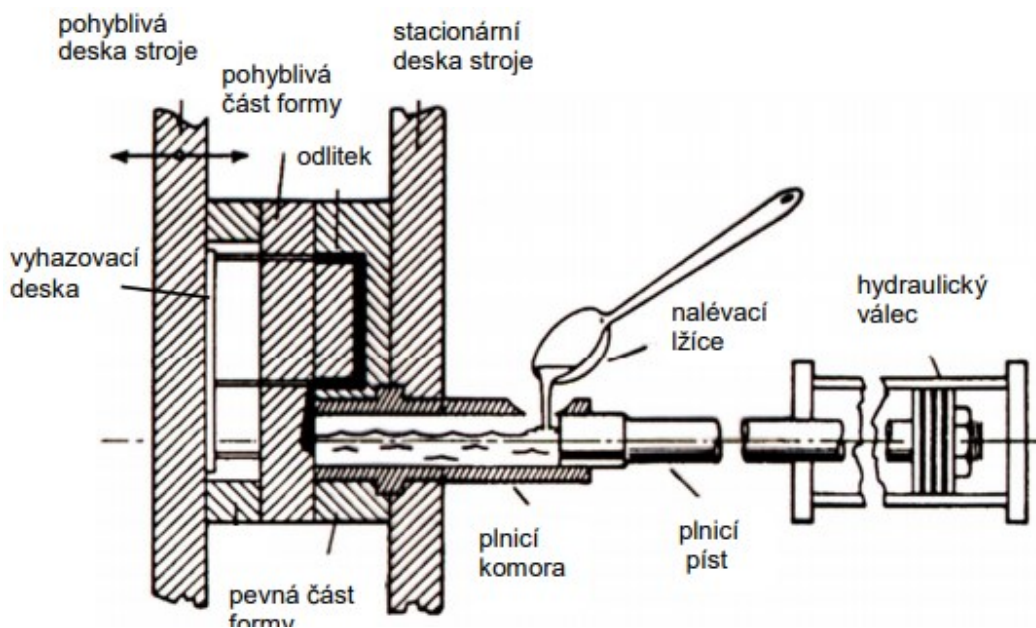
Stroje s teplou lící komorou mají plnicí komoru umístěnou pod hladinou kovu v udržovací peci. Jejich výhodou je, že kov se z udržovací do plnicí komory nepřelévá, a tak nedochází k jeho oxidaci. [4,36,44] Obrázek 10 uvádí schématické znázornění tlakového stroje s teplou komorou.



Obrázek 10 – Tlakový stroj s teplou komorou [4]

Systém se studenou komorou se používá pro kovy, které se taví při vysokých teplotách, jako je hliník, mosaz a hořčík. V procesu studené komory se také používají dva vstřikovací systémy, horizontální a vertikální vhnání. Při procesu v chladné komoře se tavenina nalije ručně nebo automatickými prostředky do portu objímky studené komory. Hydraulicky ovládaný plunžr postupuje skrz toto ocelové pouzdro, utěsňuje port a tlačí kov do matrice vysokou rychlostí a tlakem. Po vytuhnutí odlitku je píst zasunut, lisovna se otevře, odlitek se vypustí a systém je pak připraven na další vhnací cyklus. V tomto systému se používá vyšší tlak než v horké komoře. Rychlost výroby stroje s horkou komorou je vyšší než rychlost stroje se studenou komorou kvůli kratší době potřebné během operace lití. [44]

Obrázek 11 – Horizontální tlakový stroj se studenou komorou



Obrázek 11 – Horizontální tlakový stroj se studenou komorou [4]

Kromě konvenčních způsobů vysokotlakého lití do forem bylo v posledních letech vyvinuto několik vylepšení procesu. Tato vylepšení zahrnují použití vakuových systémů pro snížení zachyceného plynu, pomalejší procesy plnění, aby se eliminovalo turbulence během plnění a umožnilo použití tepelného zpracování ke zlepšení mechanických vlastností odlitků a použití polotuhé látky zpracování kovů za účelem vytvoření tlakově těsných částí, které za normálních okolností nelze vyrábět při vysokotlakém lití do formy. Každý z těchto procesů využívá základy vysokotlakého lití do formy, ale s dalšími schopnostmi vyrábět součásti s

vysokou integritou. Rovněž vyvinuli jedinečná jména za účelem odlišení se od konvenčních procesů lití horkou komorou a tlakovým litím za studena.

Výhody vysokotlakého lití: Zahrnují vyšší rychlost výroby než při gravitačním nebo nízkotlakém lití. Schopnost výroby odlitků s úzkou kontrolou rozměrů také výrazně snižuje obráběcí operace. Odlitky mají dobrou povrchovou úpravu, což je základní požadavek na pokovování, a mnohem menší tloušťka stěny je možná, aby se snížila celková hmotnost odlitku. Raznice mají dlouhou životnost, což snižuje náklady na kusové součásti, a mohou se vyrábět složitější díly, čímž se snižuje počet součástí požadovaných v sestavě.

Nevýhody vysokotlakého lití: Je to, že je nevhodnější pro díly s velkým objemem. Vysoké náklady na nástroje způsobují, že krátké výrobní procesy jsou neekonomické. Rovněž vnitřní porozita převládající v konvenčních vysokotlakých tlakových odlitcích ztěžuje výrobu tlakově těsných dílů, což často vyžaduje použití vakuového tlakového lití, vytlačování do formy nebo lití polotuhých kovů. Existuje omezený počet slitin vhodných pro tlakové lití, což omezuje tepelné zpracování nebo svařování hotových odlitků. Slitiny železa nebo oceli obvykle nejsou odlévatelné. V oblasti tlakového lití existují omezení související s velikostí a tloušťkou stěny. Toto vylučuje možnost lití některých částí do formy. Omezení se snížilo vývojem nových procesů vysoké integrity vakuového lití do formy, squeeze-casting a lití polotuhých kovů. Stroje na tlakové lití a náklady na údržbu jsou vyšší než u jiných procesů lití. [44]

#### **4.3.1 Squeeze-casting**

Squeeze-casting je vysokotlaký proces lití do formy, který může odlévat s minimem turbulence a zachycení plynu. Použití velmi velkých bran a vysokého hydraulického tlaku způsobí, že roztavený kov vstříkne pomalu do dutiny a natlačuje těsně před tuhnutím. To snižuje smršťování. Ve srovnání s konvenčním vysokotlakým tlakovým litím je výsledkem bezporézní, tepelně zpracovatelná součást se silnou stěnou schopnou přežít kritické funkční testování, které je nezbytné pro konstrukční díly automobilů. Tato technika se používá hlavně pro hliníkové bloky mající vrtanou stěnu z kompozitní mikrostruktury. Pomalá injekce a středotlaké stlačení napomáhají infiltraci hliníku. [45]

#### **4.3.2 Tlakové lití ve vakuu**

Prostřednictvím vakuového tlakového lití je možné vyrábět vysoce kvalitní tenkostěnné díly s očekávanými a opakovatelnými mechanickými vlastnostmi, s tepelným zpracováním nebo

svařováním nebo bez něj. Vakuové tlakové lití bylo poprvé použito v Japonsku a rychle se rozšiřovalo po celém světě. Vakuové tlakové lití má některé důležité výhody: vakuové systémy odstraňují vzduch z dutiny a snižují pórovitost plynu. Kromě toho lze velmi snadno odlévat velmi tenké profily; dobré povrchové úpravy a vzhled povrchu lze získat bez dalšího obrábění.

Obecný princip je stejný jako u nízkotlakého lití do formy. Celá forma, vstřikovací komora a pec jsou uzavřeny v prostoru, ve kterém je před zahájením procesu lití vytvořen podtlakem. Roztavený kov je dopraven z pece do vstřikovací komory podtlakovým dávkovačem. Při použití této techniky jsou vady odlitku nízké. V závislosti na použité slitině lze požadovaných vlastností dosáhnout vakuovým tlakovým litím i bez dalšího tepelného zpracování. [49]

### **4.3.3 Thixotropní lití**

Thixotropní lití (thixocasting) je novou progresivní metodou, která je svým charakterem na pomezí mezi odléváním a lisováním. Thixotropie je schopnost některých polotuhých kovových tavenin, chovat se v nezátíženém stavu jako vysoce viskózní (tj. poměrně tuhé) těleso, za působení stříhových sil se však viskozita o několik řádů snižuje, takže slitina má dobrou tekutost. Ve srovnání s konvenčními technologiemi lití má thixocasting nižší tvarovací teplotu, výrazně delší životnost formy, vysokou přesnost součástí, efektivitu výroby a komplexní mechanické vlastnosti. Ve srovnání s technologiemi kování za tepla má thixocasting poměrně nízkou mez kluzu, vysokou tekutost, nízké zatížení při tváření a nízkou drsnost povrchu.[36]

## **5. Příklady litých dílů v konstrukci automobilů**

Odlitky ze slitin hliníku jsou využívány v mnoha částech osobních automobilů. Jedná se např. o převodovky, hlavy válců, písty spalovacích motorů, ojnice, brzdové třmeny a také další části osobních automobilů. Níže budou uvedeny jednotlivé příklady odlitků slitin hliníku v těchto částech osobních automobilů.

Značná množství hliníku se používají nejen v motoru, ale také ve zbytku motoru hnacího ústrojí, tj. v převodovce a různých komponentech hnací soustavy. Převodovka je zařízení, které slouží pro změnu počtu nebo směru otáček mezi vstupní a výstupní hřídelí. Převodovka se skládá minimálně ze dvou hřídelí (nejčastěji drážkovaných), na kterých řadicí mechanismus přesouvá

ozubená kola tak, abychom dosáhli určitého počtu otáček na výstupní hřídeli. Hnací ústrojí můžeme rozdělit do 3 kategorií: Pohon předních kol, pohon zadních kol a pohon všech kol. [26]



*Obrázek č.12 – 6stupňová převodovka [26]*

Dalším příkladem použití odlitků slitin hliníku v konstrukci osobních automobilů je použití těchto slitin pro hlavy válců. Hlava válce je nedílnou součástí spalovacích motorů. Ta zprostředkovává vzduch a benzín do spalovací komory a slouží jako kryt válců. Další funkce hlavy válců má pomoci těsnění hlavy správně utěsnit válce tak, aby byly schopny sestavit dostatečnou kompresi pro provoz motoru. Hlavy válců jsou obvykle vyráběny gravitačním nebo nízkotlakým litím do formy. V Evropě byly šedé litinové hlavy válců během posledních 20 let téměř úplně nahrazeny slitinami hliníku. [26]



*Obr.č.13 - Hlava válce s vačkovými hřídelemi a sacími trubkami [26]*

Pro písty motoru jsou využívána jak odlitky hliníkových slitin, tak také speciální ocel. Jako příklad využití odlitku slitin hliníku pro písty motoru byl vybrán příklad jejich kombinace, tedy kloubový píst s kovanou horní ocelovou částí a hliníkovou sukňí. Většina pístů je vyráběna tlakovým litím. Optimalizované složení slitin a správně regulované podmínky tuhnutí umožňují výrobu pístů s nízkou hmotností a vysokou strukturální pevností. [26,46] Ukázka tohoto pístu je uvedena na následujícím obrázku.



*Obrázek 14 – Kloubový píst s kovanou horní ocelovou částí a hliníkovou sukňí [46]*

Jedním z dalších dílů ze slitin hliníku je ojnice. Ojnice je specializovaná strojní součást sloužící pro mechanický přenos hnacích sil. Jedná se o tyč (podélný nosník), která v pístových strojích převádí posuvný pohyb na rotační, nebo naopak.

Obecně se ojnice vyrábějí z uhlíkové oceli; slitiny hliníku jsou dnes nejlepším alternativním materiálem pro výrobu ojnice. Hliníkové slitiny mají nižší hmotnost a absorbují vysokou rázovou pevnost, protože se nejlépe hodí pro vysokorychlostní motor. [26]



*Obrázek č. 15 – Ojnice [47]*

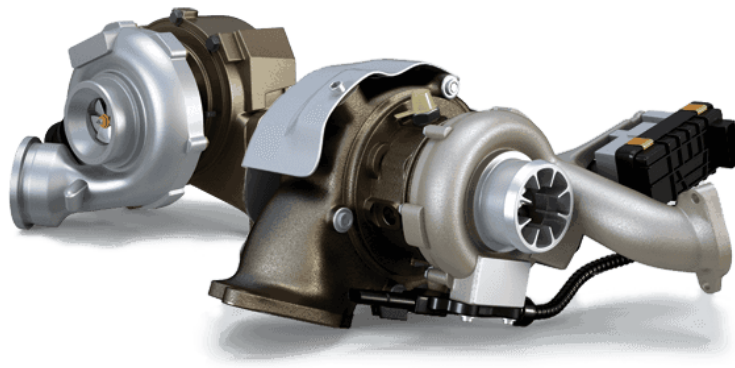
Další důležitou částí automobilu je brzdový třmen. Brzdový třmen je součástka do, které je namontován brzdový píst (bývá obvykle jeden; více jich je u drahých sportovních aut) a vsuvně připevněné brzdové destičky. Tato součástka je pevně připojena k vozidlu. Na obrázku č. 16 je uveden brzdový třmen pro automobily Lamborghini Aventador, který se vyrábí gravitačním litím do kokil ze slitiny hliníku s křemíkem (AlSi7). [48]



*Obrázek č. 16 Brzdový třmen – Lamborghini Aventador [48]*

Nedílnou součástí motorů automobilů, jak vznětových, tak těch zážehových je turbodmychadlo. Turbodmychadlo je v základě vzduchový kompresor poháněný výfukovými plyny. Turbodmychadla využívají a zpracovávají energii vytvářenou motorem a převádějí energii spotřebovaného paliva na mechanickou sílu. V důsledku toho využívají přeplňované motory energii paliva mnohem lépe než atmosférické motory. Zatímco turbínová skříň je vyrobena téměř výhradně z litiny, dmychadlová skříň pak z hliníkových slitin. [50]





*Obrázek č.17 – Turbodmychadlo [50]*

Hliníkový disk je součástí kola automobilu (ráfek), vyrobená ze slitiny hliníku a několika dalších lehkých kovů. Díky vysokému podílu hliníku se tyto disky nazývají Alu kola. Odlévají se jako jeden kus (v případě šroubovaných kol jsou složeny z více dílů). Výroba hliníkových disků probíhá procesem nízkotlakého lití, kdy je tekutý hliník vytlačován zesponu do permanentní formy. Po vyjmutí odlitku jsou otřepy na hranách kola ručně odstraněny a v dalším kroku jsou vyvrtány otvory na šrouby a otvor pro ventilek. V závěrečné fázi se na hliníkové kola nanáší vrstva ochranného laku. [51]



*Obrázek č.18 – Hliníkový disk pro BMW X5*

## 6. Závěr

Hliník a jeho slitiny jsou ve velké míře používány v mnoha odvětvích, a to především díky jeho vlastnostem. Tato práce byla zaměřena na současné trendy použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci automobil a jejím hlavním cílem bylo popsat současné trendy použití odlitků ze slitin hliníku v konstrukci automobilů. V rámci tohoto hlavního cíle pak byly stanoveny tři vedlejší cíle, a to charakterizovat slévárenské slitiny hliníku, jejich vlastnosti a druhy, popsat a analyzovat současné možnosti použití slitin hliníku v konstrukci automobilů a sumarizovat stávající používané technologie pro výrobu odlitků pro automobily.

Slitin hliníku existuje celá řada a výrazným způsobem se liší ve svých mechanických a také fyzikálních vlastnostech. Po výrobu odlitků jsou nejčastěji využívány siluminy, duraluminy, hydronalia a také mnohé ternární slitiny, jako například slitiny vznikající kombinací hliník-křemík-hořčík, hliník-křemík-měď.

Kapitola současné trendy použití odlitku ze slitin hliníku v konstrukci automobilu byla zaměřena na blok motorů, hlavy válců, písty spalovacích motorů a kompresorů, litých kol a karoserii. Odlitky ze slitin hliníku jsou pro své vlastnosti používány v mnoha částech osobních automobilů.

Technologií výroby odlitků slitin hliníku existuje celá řada a v zásadě jsou děleny do třech skupin, a to na lití gravitační, nízkotlaké a vysokotlaké lití. Nejčastěji se lze setkat s gravitačním litím do kokil, které však není vhodné pro všechny aplikace. Jednou z dalších technologií je Thixotropní lití. Nová progresivní metoda, která je svým charakterem na pomezí mezi odléváním a lisováním.

V poslední kapitole bylo uvedeno sedm příkladů litých dílů v konstrukci automobilů. Pro ukázkou převodovky byl vybrán typ se 6ti-stupni převodů, jako vzor hlavy válců pak byla vybrána hlava válců motoru s vačkovými hřídelemi a sacími trubkami. Jako ukázkou pístu byl vybrán kloubový píst s kovanou horní ocelovou částí a hliníkovou sukní. V posledních příkladech byla znázorněna klasická ojnice, brzdový třmen od Lamborghini Aventador, turbodmychadlo a hliníkový disk pro BMW X5.

Hlavním úkolem této práce bylo především podání uceleného přehledu o slitinách hliníku a jejich vlastnostech, možnostech jejich použití v konstrukci automobilů a také současné trendy v této oblasti na základě českých a také zahraničních zdrojů

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Srovnání slévárenských technologií pro lití dílů hliníkového motoru.....	11
Obrázek 2 – Blok motorů pro Ford Mustang Shelby GT 500.....	11
Obrázek 3 – Princip ISFP.....	16
Obrázek 4 – Použití slitin hliníku v konstrukci karoserie osobního automobilu .....	17
Obrázek 5 – Kovová forma s jádrem – pohled do dělicí roviny .....	20
Obrázek 6 – Proces Lost Foam .....	21
Obrázek 7 – Schéma stroje pro nízkotlaké lití .....	23
Obrázek 8 – Princip a pracovní postup výroby odlitků nízkotlakým litím .....	23
Obrázek 9 – Schéma procesu Cosworth.....	24
Obrázek 10 – Tlakový stroj s teplou komorou.....	25
Obrázek 11 – Horizontální tlakový stroj se studenou komorou.....	26
Obrázek 12 – 6ti stupňová převodovka.....	29
Obrázek 13 - Hlava válce s vačkovými hřídelemi a sacími trubkami.....	29
Obrázek 14 – Kloubový píst s kovanou horní ocelovou částí a hliníkovou sukňí.....	30
Obrázek 15 – Ojnice.....	31
Obrázek 16 – Brzdový třmen – Lamborghini Aventador .....	31
Obrázek 17 – Turbodmýchadlo.....	32
Obrázek 18 – Hliníkový disk pro BMW X .....	32

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Účinky legování .....	4
Tabulka 2 – Orientační hodnoty mechanických vlastností vybraných litých materiálů . <b>Chyba!</b> <b>Záložka není definována.</b>	
Tabulka 3 – Druhy slitin a hodnocení jejich obecných vlastností.....	7
Tabulka 4 – Využití slitin hliníku ve vybraných komponentech motorů osobních automobilů .	9
Tabulka 5 – Přehled základních slitin a z nich vycházejících předpisů výrobců a odběratelů pístů .....	13
Tabulka 6 – Chemické složení vybraných slitin .....	15
Tabulka 7 – Mechanické vlastnosti hliníkových odlitků podle normy DB4918.....	17

## Použité zdroje

1. LICHÝ, Petr, Vlasta BEDNÁŘOVÁ a Ivana KROUPOVÁ. *Slévárství slitin neželezných kovů*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013.
2. ROOY, Elwin L. Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys. Properties and Selection: *Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. [online]. 1990. [cit. 2020-01-21]. DOI: 10.31399/asm.hb.v02.a0001057. ISBN electronic: 978-1-62708-162-7. Dostupné z: <https://dl.asminternational.org/handbooks/book/14/chapter-abstract/186663/Introduction-to-Aluminum-and-Aluminum-Alloys?redirectedFrom=fulltext>
3. Technická univerzita v Liberci. *Slévárenské slitiny*. [online]. 2019. [Cit. 2020-01-04]. dostupné z: [https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/290325/mod\\_folder/content/0/TE-cv-4-2019.pdf?forcedownload=1](https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/290325/mod_folder/content/0/TE-cv-4-2019.pdf?forcedownload=1)
4. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin.*, 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 stran, ISBN 80-214-2790-6.
5. Pio, Lim & Sulaiman, Shamsuddin & Hamouda, A.M.S & Megat Ahmad, Megat Mohamad Hamdan. (2005). Grain refinement of LM6 Al–Si alloy sand castings to enhance mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology - J MATER PROCESS TECHNOL.* 162. 435-441. 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.217.
6. FORTINI, Annalisa, Mattia MERLIN, Elettra FABBRI, Stefano PIRLETTI a Gian Luca GARAGNANI. On the influence of Mn and Mg additions on tensile properties, microstructure and quality index of the A356 aluminum foundry alloy. *Procedia Structural Integrity* [online]. 2016, 2, 2238-2245 [cit. 2020-01-21]. DOI: 10.1016/j.prostr.2016.06.280. ISSN 24523216. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2452321616302918>
7. KEARNEY, A. a Elwin L. ROOY. Aluminum Foundry Products. *ASM Handbook Committee*, p 123-151. [online]. 1990. [Cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://materialsdata.nist.gov/bitstream/handle/11115/190/Foundry%20Products.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

8. BRYKSI STUNOVÁ, Barbora. (2018). Aluminium and its alloys from the perspective of the history, the present and the future. *Slévárenství*. LXVI. 91-95.
9. BALAN, Kannadi Palankeeze. Manufacturing Defects. Metallurgical Failure Analysis [online]. *Elsevier*, 2018, 2018, s. 49-91 [cit. 2020-01-21]. DOI: 10.1016/B978-0-12-814336-0.00005-6. ISBN 9780128143360. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128143360000056>
10. NOVÁ, Iva a Jiří MACHUTA. Výroba strukturálních odlitků ze slitin hliníku. *Slévárenství*. [online]. 2017, 7/8. [Cit. 2020-01-10]. Dostupné z: [https://issuu.com/inasport/docs/slevarenstvi\\_7\\_8\\_2017/11](https://issuu.com/inasport/docs/slevarenstvi_7_8_2017/11)
11. HODIS, Zdeněk. *Strojírenská technologie*. Brno: Masarykova univerzita, 2012.
12. Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni. *Hliník a slitiny hliníku*. [online]. Nedatováno. [Cit. 2020-01-12]. Dostupné z [https://www.opi.zcu.cz/download/Slitiny09\\_10.pdf](https://www.opi.zcu.cz/download/Slitiny09_10.pdf)
13. MUSFIRAH, A.H. a A. G. JAHARAH. 2012. Magnesium and aluminum alloys in automotive industry. *Journal of Applied Sciences Research*, [online]. 2012.pp.4865-4875. [Cit. 2020-01-18]. Dostupné z: <http://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2012/4865-4875.pdf>
14. PANDA, Somya Somalina. *Aluminium Alloys in Automotive Application*. [online]. Gdansk University of technology. [Cit. 2020-01-06]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/37877580/Aluminum\\_Alloys\\_in\\_Automotive\\_Application\\_No\\_of\\_Words\\_4563](https://www.academia.edu/37877580/Aluminum_Alloys_in_Automotive_Application_No_of_Words_4563)
15. Strojnické tabulky online. Metalurgie slitin hliníku [online]. 2020. [Cit. 2020-01-18]. Dostupné z: <https://www.strojnicketabulkyonline.cz/odlevani/metalurgie-slitin-hliniku/>
16. Thomas Industry Update. Types of Aluminum. [online]. 2020. [Cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/types-of-aluminum/>
17. ZOLOTOREVSKIĚ, Vadim Semenovich, N. A. BELOV a Michael V. GLAZOFF. *Casting aluminum alloys*. Oxford: Elsevier Science, 2007. ISBN 978-0-08-045370-5.

18. RUBIO, E.M., D. BLANCO, M.M. MARÍN a D. CAROU. Analysis of the latest trends in hybrid components of lightweight materials for structural uses. *Procedia Manufacturing* [online]. 2019, **41**, 1047-1054 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.10.032. ISSN 23519789. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978919311941>
19. MILLER, W., S., ZHUANG, L., BOTTEMA, J., et al. *Recent development in aluminium alloys for the Automotive industry*. Materials Science and Engineering: A. Issue 1, Vol. 280, 2000, pp. 37-49
20. STUNOVÁ, Bryksí. *Lité strukturní díly-konstrukční metalurgické a technologické aspekty výroby*. Slévarenství [online]. 2017, 2017, LXV (7-8), 218-220 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: [https://issuu.com/inasport/docs/slevarenstvi\\_7\\_8\\_2017/14](https://issuu.com/inasport/docs/slevarenstvi_7_8_2017/14)
21. TISZA, Miklos a Imre CZINEGE. Comparative study of the application of steels and aluminium in lightweight production of automotive parts. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture* [online]. 2018, **1**(4), 229-238 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1016/j.ijlmm.2018.09.001. ISSN 25888404. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2588840418300301>
22. KURSA, Miroslav. Perspektivy rozvoje výroby a použití materiálů na bázi neželezných kovů v technické praxi 3. tisíciletí. *Metal*. [online]. VŠB – TUO: 2001. [Cit. 2020-01-14]. Dostupné z: [http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal\\_01/papers/187.pdf](http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal_01/papers/187.pdf)
23. OTARAWANNA, S. a A.K. DAHLE. Casting of aluminium alloys. *Fundamentals of Aluminium Metallurgy* [online]. Elsevier, 2011, 2011, s. 141-154 [cit. 2020-01-21]. DOI: 10.1533/9780857090256.1.141. ISBN 9781845696542. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845696542500067>
24. GRZINČIČ, Marko, *Trendy ve výrobě bloků motorů osobních automobilů*. [online]. nedatováno. [Cit. 2020-01-12]. Dostupné z: [https://www.detycon.com/images/Ke\\_stazeni/Casopis\\_slevarenstvi\\_1/Clanek-pro-slevarenstvi\\_Bloky-motoru.pdf](https://www.detycon.com/images/Ke_stazeni/Casopis_slevarenstvi_1/Clanek-pro-slevarenstvi_Bloky-motoru.pdf)
25. HADLEY, S.W., S. DAS a J. W. MILLER. Aluminum R&D for Automotive Uses And the Department of Energy's Role. [online]. 2000. [Cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.368.7289&rep=rep1&type=pdf>

26. *European-Aluminium* [online]. Brusel, Belgie, 2011 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.european-aluminium.eu/resource-hub/aluminium-automotive-manual/>
27. FULÍN, Stanislav. *Opravy hliníkových motorů*. [online]. 2004. [Cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/opravy-hlinikovych-motoru.html>
28. Technická univerzita v Liberci. *Hlava válců*. [online]. 2016. [Cit. 2020-04-20]. Dostupné z: [http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/PSM/PSM\\_16.pdf](http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/PSM/PSM_16.pdf)
29. VLK, František. *Konstrukce motocyklových motorů*. [online]. 2006. [Cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2006-04-224-243.pdf>
30. GRZINČIČ, Marko. *Výroba velmi náročných odlitků z hliníkových slitin pro automobilový průmysl – hlav válců*. [online]. 2010. [Cit. 2020-04-20]. Dostupné z: [https://detycon.com/images/Ke\\_stazeni/Casopis\\_slevarenstvi\\_3/Slavrenstv-2010.pdf](https://detycon.com/images/Ke_stazeni/Casopis_slevarenstvi_3/Slavrenstv-2010.pdf)
31. BRYKŠÍ STUNOVÁ, Barbora. Slitiny hliníku pro písty spalovacích motorů a kompresorů. In: *Slévárství*. 3-4/2016. 82-85.
32. Alu-pneu-tech. <http://www.alu-kola-pneu.cz/> [online]. 2013 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.alu-kola-pneu.cz/2013/11/struktura-materialu-alu-kola.html>
33. ZHANG, Qi, Miao CAO, Dawei ZHANG, Shuai ZHANG a Jue SUN. Research on Integrated Casting and Forging Process of Aluminum Automobile Wheel. *Advances in Mechanical Engineering* [online]. 2015, 6 [cit. 2020-04-29]. DOI: 10.1155/2014/870182. ISSN 1687-8140. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2014/870182>
34. WEDDELING, Christian. *Electromagnetic Form-Fit Joining*. [online]. 2014. [Cit. 2020-04-26]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/272823106\\_Electromagnetic\\_Form-Fit\\_Joining](https://www.researchgate.net/publication/272823106_Electromagnetic_Form-Fit_Joining)
35. JELÍNEK, Milan. Základní principy výroby strukturálních odlitků. In: *Slévárství*. 7-8/2017. 221-224.
36. LICHÝ, Petr a Tomáš ELBEL. *Speciální metody výroby odlitků*. Ostrava: Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, 2008.
37. KARIMIAN, Majid, A. OURDJINI, M.H. IDRIS, T. CHUAN a Hassan JAFARI. Process Control of Lost Foam Casting using Slurry Viscosity and Dipping Time. *Journal of Applied*



- Sciences* [online]. 2011, **11**(21), 3655-3658 [cit. 2020-04-29]. DOI: 10.3923/jas.2011.3655.3658. ISSN 18125654. Dostupné z: <http://www.scialert.net/abstract/?doi=jas.2011.3655.3658>
38. FASOYINU, Yemi a John A. Griffin. *Lost Foam Thin Wall: Feasibility of Producing Lost Foam Castings in Aluminum and Magnesium Based Alloys*. [online]. 2014. [Cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1131409/>
39. SHIVKUMAR, S., L. WANG a D. APELIAN. The lost-foam casting of aluminum alloy components. *JOM* [online]. 1990, **42**(11), 38-44 [cit. 2020-04-29]. DOI: 10.1007/BF03220435. ISSN 1047-4838. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF03220435>
40. Lost Foam cast. <Http://www.fv-cast.com/> [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <http://www.fv-cast.com/en/production/>
41. Silesia-Tech. <Http://www.silesia-tech.cz/> [online]. 2016 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <http://www.silesia-tech.cz/nizkotlake-liti>
42. WEISS, David. Advances in the Sand Casting of Aluminium Alloys. *Fundamentals of Aluminium Metallurgy* [online]. Elsevier, 2018, 2018, s. 159-171 [cit. 2020-04-29]. DOI: 10.1016/B978-0-08-102063-0.00005-9. ISBN 9780081020630. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081020630000059>
43. SANITAS, A., N. CONIGLIO, M. BEDEL a M. EL MANSORI. Investigating surface roughness of ZE41 magnesium alloy cast by low-pressure sand casting process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer Verlag*, 2017, 92 (5-8), pp.1883-1891. ff10.1007/s00170-017-0283-4ff. fffhal-01579860f. Dostupné také z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01579860/document>
44. High-pressure Die Casting. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* [online]. Elsevier: Pergamon, 2001 [cit. 2020-04-28]. ISBN 978-0-08-043152-9. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/high-pressure-die-casting>
45. Squeeze die casting. *The Science and Technology of Materials in Automotive Engines* [online]. Woodhead: Woodhead Publishing, 2005 [cit. 2020-04-28]. ISBN 978-1-85573-742-6. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/high-pressure-die-casting>

46. Motorservice. *Piston*. [online]. 2020. [Cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://www.ms-motorservice.com.sg/products-catalogues/products-in-the-engine/pistons/>
47. *EU-autodily* [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.euautodily.cz/katalog-nahradnichdilu/ojnice-10624>
48. Brembo s.r.o.. <https://www.brembo.com/> [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.brembo.com/cz/auto/prvovyroba/produkty/Trmeny>
49. Proces vakuového lití. *Total Materia* [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=424>
50. Turbo-Tec. [Http://www.turbo-tec.eu](http://www.turbo-tec.eu) [online]. 2014 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <http://www.turbo-tec.eu/cz/princip-cinnosti-turbodmyhadla/>
51. Pneu Magazín. <https://pneumagazin.cz/> [online]. 2019 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://pneumagazin.cz/jak-vznika-alu-kolo-od-prvniho-nacrtu-az-po-dodani-podivejte-se/>