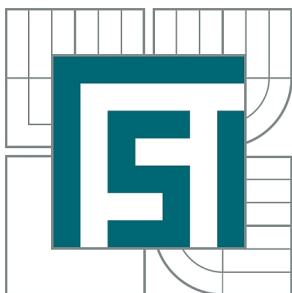


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## OPTIMALIZACE TECHNOLOGIE TLAKOVÉHO LITÍ TENKOSTĚNNÉHO ODLITKU

OPTIMIZATION OF DIE CASTING TECHNOLOGY OF A THIN-WALLED CASTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB MÍŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR CUPÁK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jakub Míšek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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

### **Optimalizace technologie tlakového lití tenkostěnného odlitku**

v anglickém jazyce:

### **Optimization of die casting technology of a thin-walled casting**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor vad odlitku ze slitiny hliníku odlévaného metodou vysokotlakého lití a stanovení příčin vzniku vad.

Cíle bakalářské práce:

Návrh úpravy technologie za účelem odstranění vad.

Seznam odborné literatury:

ANDREONI, L., CASE, M., POMESANO, G. The pressure die-casting process. Brescia (Italy): EDIMENT, 1996, 116 s. ISBN 88-86259-13-1.

KRŇÁVEK, V., STRÍTECKÝ, F. Konstrukce forem pro odlitky lité pod tlakem a její vliv na výskyt vad. Slévárství. 2007, roč. LV, č. 2-3, s. 81-86. ISSN 0037-6825.

VINARCIK, E.-J. High integrity die castings processes. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2002. 232 p. ISBN 0-471-20130-6.

SKALICKÝ, Z. Formy pro tlakové lití. Slévárství. 2008, č. 1-2, s. 27-28. ISSN 0037-6825.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Cupák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 13.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Cílem této práce je navržení úprav technologického procesu, které povedou ke snížení výskytu vad odlitku odlévaného metodou vysokotlakého lití. Odlitek je odléván firmou Alfred Engelmann CZ, spol. s.r.o. z hliníkové slitiny EN AB- AlSi12(Fe). Byl proveden rozbor současné technologie a také podrobný popis technologie vysokotlakého lití, včetně popisu materiálů a strojů. K určení příčin vzniku vad a jejich vlivů bylo provedeno experimentální lití zkušební série. Výsledky tohoto experimentu ukázaly, že nastavení licích parametrů má významný vliv na kvalitu odlitku. Bylo také prokázáno, že příprava taveniny ovlivňuje porozitu odlitku. Závěrem práce byly navrženy úpravy technologického procesu.

**Klíčová slova**

Vysokotlaké lití, licí stroje, porozita, vady odlitku, Siluminy

**ABSTRACT**

The aim of this work is to suggest changes of technological process, which will reduce amount of casting defects in cast made by high pressure method. The cast is casting by Alfred Engelmann CZ, spol. s.r.o. from aluminum alloy EN AB - AlSi12 (Fe). Current technology was analyzed and also was made detailed description of the high-pressure casting technology, including a description of materials and machines. To determine the causes of defects and their effects were done casting experimental test series. The results of this experiment showed that the set of casting parameter has a significant influence on the quality of the casting. It was also shown that the preparation of the melt affects the porosity of the casting. At the end was suggested changes of technological process.

**Key words**

High pressure die casting, casting machines, porosity, casting defects, Silumin

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MÍŠEK, J. *Optimalizace technologie tlakového lití tenkostěnného odlitku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Optimalizace technologie tlakového lití tenkostěnného odlitku vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

29. 5. 2015

.....  
Jakub Míšek

**Poděkování**

Tímto děkuji mému vedoucímu, Ing. Petru Cupákovi, Ph.D. za rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji pracovníkům firmy Alfred Engelmann CZ, spol. s.r.o. za rady při provádění experimentální části této práce.

**OBSAH**

Úvod .....	9
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ODLITKU.....	10
1.1 Vady odlitku.....	10
1.2 Materiál.....	11
1.3 Licí parametry.....	11
2 TECHNOLOGIE VYSOKOTLAKÉHO LITÍ HLINÍKU.....	12
2.1 Rozdělení technologie vysokotlakého lití .....	13
2.2 Příprava taveniny.....	14
2.2.1 Vliv výchozího materiálu.....	14
2.2.2 Vliv tavicí teploty na naplynění.....	14
2.2.3 Rafinace, odplynování a filtrace taveniny .....	15
2.3 Technologický proces lití .....	17
2.4 Licí parametry.....	20
2.5 Postřík formy a mazání.....	21
2.6 Odvzdušnění .....	21
2.7 Temperace .....	22
3 SLITINY HLINÍKU PRO VYSOKOTLAKÉ LITÍ.....	24
3.1 Významné slévárenské vlastnosti.....	24
3.2 Rozdělení slitin .....	24
3.3 Siluminy .....	25
3.4 Vlastnosti vybraných siluminů.....	26
4 STROJE .....	28
4.1 Základní parametry stroje .....	28
4.2 Kloubové uzavírací mechanismy.....	29
4.3 Mechanismus akumulace energie pro vstřikování .....	29
4.4 Stroje s teplou licí komorou .....	30
4.5 Stroje se studenou licí komorou .....	31
5 VADY ODLITKŮ PŘI VYSOKOTLAKÉM LITÍ.....	32
5.1 Porezita .....	32
5.2 Analýza vad řešeného odlitku.....	33
6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	35
6.1 Rozbor současné technologie .....	35
6.1.1 Tavba .....	35
6.1.2 Rafinace a Odplynění.....	35
6.1.3 Nastavení licího cyklu.....	36
6.1.4 Možné negativní vlivy .....	36
6.2 Zkušební série .....	37
6.3 Vyhodnocení série.....	38
6.4 Sledování teploty formy .....	40
6.5 Sledování výskytu vad rentgenem.....	40

7 NÁVRH ÚPRAVY TECHNOLOGIE .....	43
7.1 Úpravy Technologického procesu .....	43
7.2 Úpravy lícího procesu .....	43
7.3 Hospodárnost .....	44
8 ZÁVĚR.....	45
Seznam použitých zdrojů .....	46
Seznam použitých symbolů.....	48

## ÚVOD

Mezi nejpoužívanější metodu odlévání hliníkových slitin vysoké přesnosti patří lití za vysokého tlaku. Tato progresivní metoda dovoluje lítí odlitku velmi komplikovaných tvarů, které mnohdy jinak odlévat nelze. Tlakové lití se vyznačuje vysokou produktivitou. Nevýhodou jsou však vysoké pořizovací náklady forem a strojů. Odlitky také trpí častým výskytem vad, které však lze odstranit vhodnou úpravou procesu.

Tato práce se zabývá řešením vad odlitku klece vysokonapěťové pojistky odlévaného firmou Alfred Engelmann CZ, spol. s.r.o., u kterého se vyskytují typické vady vysokotlakých odlitků.

Cílem práce je stanovení nápravných opatření, které povedou ke snížení výskytu vad. Nejdříve je ale nutné analyzovat vady odlitku a provést rozbor současné technologie za účelem odhalení případných nedostatků v licím procesu. Součástí práce je také experimentální lití zkušební série, pro stanovení nejsilnějších vlivů na kvalitu odlitku.

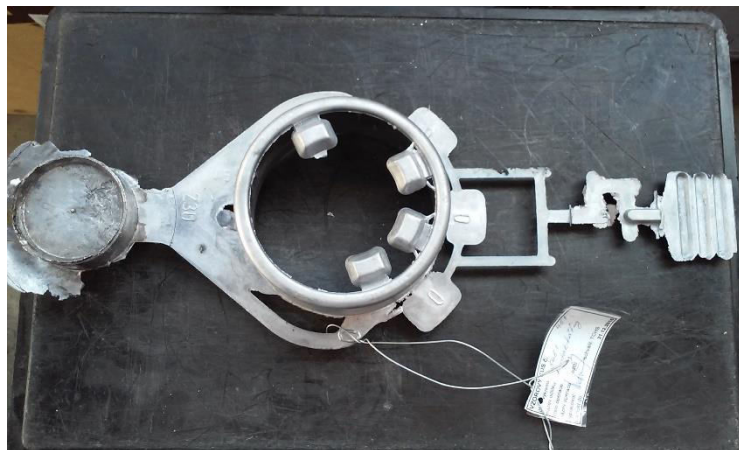
Jelikož výskyt chybných kusů ovlivňuje řada parametrů v průběhu celé operace, bude v této práci věnována pozornost jednotlivým částem technologického procesu lití. Zvýšená pozornost je věnována přípravě slitiny a jejímu zpracování. Je také nutné shrnout základní znalost používaných slitin a potřebné vědomosti o licích strojích.



Obr. 1-1 Model odlitku KONTAKTKÄFIG

## 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ODLITKU

Tenkostěnný tlakově lity odlitek je součástí vysokonapěťového zařízení větrných elektráren a je odléván pro firmu Siemens, s.r.o. Výroba odlitku probíhá ve firmě Alfred Engelmann CZ, spol. s.r.o. pod firemním označením "5451 - KONTAKTKÄFIG". Na Obr. 1-2 je vzorový kus hotového odlitku včetně vtoků a přetoků. Po odlití a apretaci je prováděno obrábění vnitřního i vnějšího průměru, ruční odjehlení hran, vyvrtávání otvorů a omílání ocelovými broky.



Obr. 1-2 Vzorový odlitek KONTAKTKÄFIG

### 1.1 Vady odlitku

Při současném stavu technologie se zmetkovitost výroby pohybuje mezi 20 a 50 %. Největší podíl na zmetkovitosti tvoří porezita a staženiny. Tyto vady jsou viditelné až po obrobení, které neprobíhá v areálu slévárny. Při transportu zmetků tudíž rostou náklady. Jelikož se jedná o odlitek vystavený velmi vysokému napětí, je nutné, aby výsledný výrobek byl zcela bez povrchových vad. V opačném případě dochází v okolí vad k jiskření a ztrátě funkčnosti zařízení. Na obrázku Obr. 1-3 lze vidět typické vady vyskytující se v odlitku.



Obr. 1-3 Častá vada odlitku

## 1.2 Materiál

Materiál odlitku je Silumin s označením EN AC-ALSi12(Fe), také označován jako DIN 230. Jedná se o slitinu vhodnou na tenkostěnné odlitky. Problematice materiálu je věnována kapitola třetí. Tavenina pro lití odlitku Kontaktkäfig se připravuje z housek a vratu v poměru 80 : 20.

Tab. 1-1 Chemické složení [%] slitiny EN AC-ALSi12(Fe) [1]

Slitina	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ti
EN AC-ALSi12(Fe)	10,5 – 13,5	1,0	0,1	0,55	0,15	0,15

Tab. 1-2 Mechanické vlastnosti slitiny EN AC-ALSi12(Fe) [1]

Slitina	R <sub>m</sub> [Mpa]	R <sub>p0,2</sub> [Mpa]	A <sub>50</sub> [%]	HBS
EN AC-ALSi12(Fe)	240	130	1	60

## 1.3 Licí parametry

Odlitek je odléván na vysokotlakém licím stroji se studenou horizontální komorou s označením CLH 400.03P. Jmenovitá uzavírací síla stroje je až 5 MN. Zařízení je vybaveno automatickým systémem plnění licí komory. Chlazení a ošetření formy je prováděno ručně. Po otevření formy je odlitek ručně vyjmut obsluhou stroje, která provede apretaci části odvodušňovací soustavy pro lepší skladování odlitků. Tab. 1-3 ukazuje nastavení licích parametrů stroje při běžné sériové výrobě.

Tab. 1-3 Nastavení licích parametrů

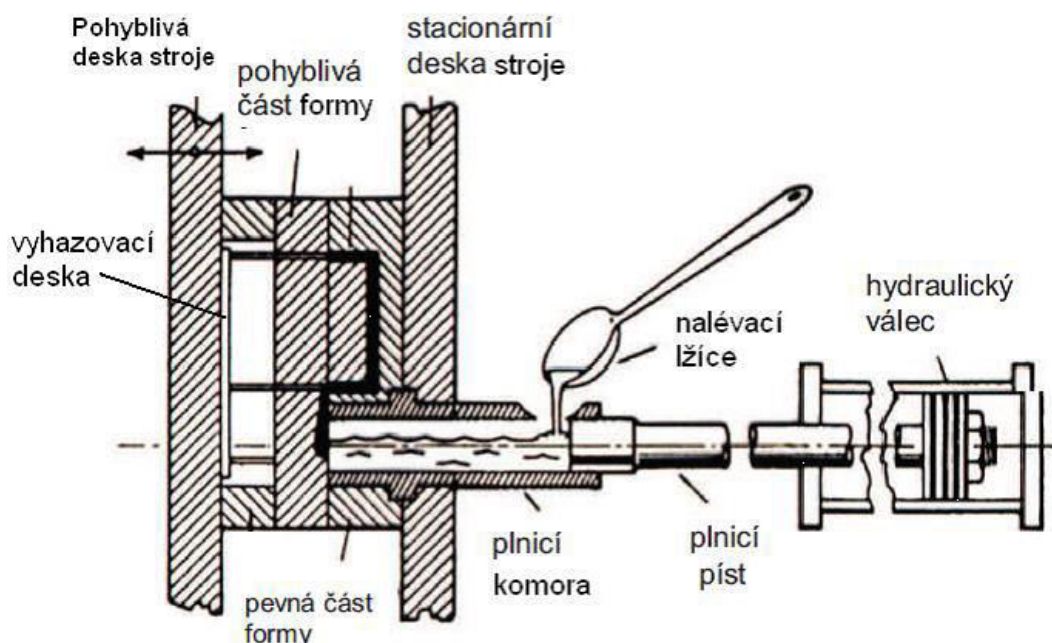
Licí parametr	hodnota	jednotka
Lisovací síla	4250	kN
Průměr pístu	82	mm
Plnicí rychlost	3.7	m/s
Poloha pístu při stratu II. licí fáze	350	mm
Dotlak	60	MPa

## 2 TECHNOLOGIE VYSOKOTLAKÉHO LITÍ HLINÍKU

Technologie tlakového liti je nejdůležitější technologií pro výrobu hliníkových odlitků. Jedná se o metodu odlévání do trvalých forem. Principem je vstřikování roztavené slitiny do dutiny kovové formy. Vstřikování probíhá pod vysokým tlakem, který může dosahovat až 250 MPa. Díky této technologii je možné odlévat tvarově velmi složité odlitky s velmi malou tloušťkou stěn. Rozměry bývají velmi přesné a lze u menších odlitků dosahovat přesnosti 0,3 až 0,5 %. [1]

Kovové formy se skládají z vložek, které jsou usazeny v rámu. Vložky jsou vyráběny z vysoce legovaných Cr-Mo ocelí. Jedná se totiž o funkční části formy, které jsou v kontaktu s roztaveným kovem a musí tedy splňovat vysoké mechanické a tepelné nároky. Rám formy se vzhledem k nižšímu namáhání vyrábí z méně ušlechtilé oceli. Při konstrukci formy je nutné respektovat možnosti rozebírání formy. Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům, se tato technologie využívá pro vysoko sériovou výrobu. [1]

Dávkování roztaveného kovu do plnicí komory lze provádět ručně nebo automaticky. Kov je odebírán z tzv. udržovací pece, která je součástí lícího stroje. Poté je kov pomocí plnicího pístu vstříknut do uzavřené formy. Po ztuhnutí kovu je odlitek z pohyblivé části formy vytlačen pomocí vyhazovačů. Odebrán je ručně nebo pomocí robotického ramene. Následuje zchlazení odlitku a jeho apretace, ostřížení vtoků a přetoků. Před dalším uzavřením formy a startem nového cyklu se forma ošetří separačními prostředky. Ošetření probíhá ručně nebo automatizovanými systémy. [1]



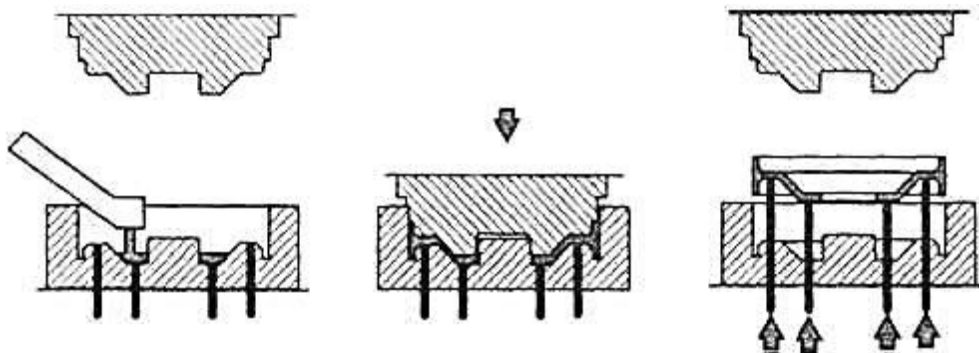
Obr. 2-1 Vysokotlaké lití na stroji se studenou horizontální komorou [1]

## 2.1 Rozdělení technologie vysokotlakého lití

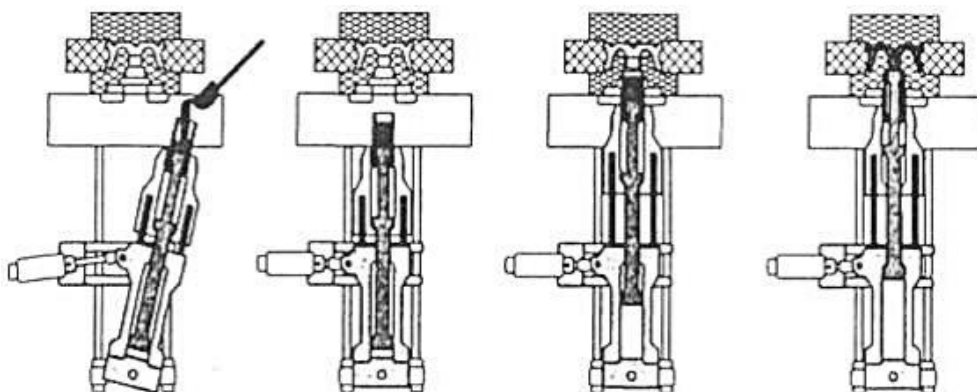
- Stroje s teplou licí komorou
- Stroje se studenou licí komorou
- Squeeze casting
- Semi-solid processing

### Squeeze casting

Jedná se o málo rozšířenou metodu lití do kovových forem využívající výhody pomalého plnění formy a vysokého tlaku během tuhnutí. U přímého squeeze castingu se spodní polovina formy volně zaplní taveninou. Poté se forma uzavře a horní část formy stlačí kov. Tlak působí po celou dobu tuhnutí. U nepřímého squeeze castingu se kov nejprve nalije do komory lisu a až poté je malou rychlostí (řádově 0,5 m/s) a velkým průřezem vtlačován do formy. [1]



Obr. 2-2 Princip přímého squeeze castingu [1]



Obr. 2-3 Princip nepřímého squeeze castingu [1]

### **Semi-solid processing**

Jedná se o metodu, při které se pracuje s kovem v polotuhém stavu. Vsázka je kov o hmotnosti konečného výrobku v polotuhém stavu. Po vložení vsázky do lisovací komory tlakového stroje následuje vtažení materiálu do dutiny formy. Existuje mnoho variací této metody, které se liší přípravou výchozího tělesa. Tímto procesem lze dosáhnout odlitku s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi a stejnoměrnou strukturou. [1]

## **2.2 Příprava taveniny**

Dobře připravená tavenina je základem pro kvalitní odlitek. Cílem tavícího procesu je roztavení slitiny s požadovanou kvalitou za co nejmenších nákladů. Kvalitní tavenina znamená především správné chemické složení s co nejnižším obsahem vměstků a s nízkým naplyněním. [1]

### **2.2.1 Vliv výchozího materiálu**

Vsázka obsahující zbytky vody, oleje nebo pevných nečistot zapříčiňuje fyzikálně-chemické procesy, které vyvolávají znečištění taveniny zejména oxidickými vměstkami. Tuhý hliník je proti pronikání kyslíku do materiálu chráněn vrstvou svých vlastních oxidů. Tato vlastnost je ale silně narušena ve vlhkém prostředí. Vsázkový materiál, který byl takto vystaven vlhkému prostředí, do své povrchové vrstvy nabral vlhkost a kyslík. Jeho použití je tedy nevhodné, protože při tavení zanášá takto okysličená vsázka do taveniny oxidy a vlhkost. Z tohoto důvodu jsou kladeny požadavky na uskladnění vsázkového materiálu. [2,3]

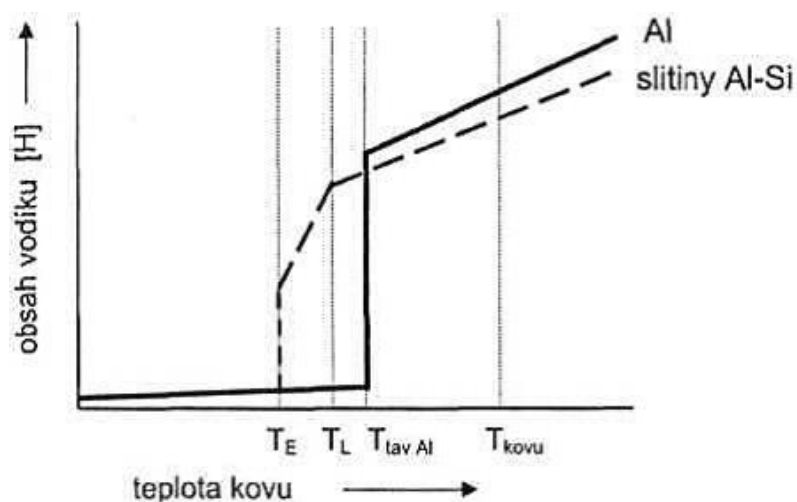
**Housky slitin** představují nejkvalitnější vsázkový materiál. Mívají garantované chemické složení a obsahují malé množství nečistot. [1]

**Vratný materiál**, zkráceně nazývaný "vrat", je významnou složkou vsázky. Jedná se o zmetky, části vtokové soustavy a nálitky. Vrat obsahuje zpravidla větší množství nečistot a vměstků, proto se jedná o méně kvalitní materiál. [1]

Tavenina se připravuje z vratného materiálu a housek. Správný poměr těchto dvou surovin má vliv na výslednou kvalitu odlitku a hospodárnost. Standardní poměr užívaný ve slévárnách je 40 % vratu a 60 % housek. Pro náročné odlitky lze poměr změnit na 20 % vratu a 80 % housek. [3]

### **2.2.2 Vliv tavící teploty na naplynění**

Hlavním zdrojem vodíku je vlhkost v pecní atmosféře, v solích a na špatně vysušených kelímcích či náradí. Jelikož teplota výrazně ovlivňuje rozpustnost vodíku v tavenině, tak je nutné zbytečně kov nepřehřívát. Zvýšení teploty o 110 K přibližně zdvojnásobí rozpustnost vodíku v tavenině. Běžná teplota tavení se v praxi pohybuje mezi 730° C a 760° C. Dlouhá doba tavení má také negativní dopad na obsah plynů v tavenině. Na Obr. 2-4 můžeme vidět vliv teploty kovu na rozpustnost vodíku. [1,2]



Obr. 2-4 Vliv teploty kovu na rozpustnost vodíku [1]

### 2.2.3 Rafinace, odplyňování a filtrace taveniny

Odplyňování je operace, při které se snižuje obsah vodíku v tavenině na takovou úroveň, aby se nevyloučil ve formě bublin. Vlivem vsázkových surovin, vlhkosti soli a řadou dalších faktorů je obsah vodíku v tekutém kovu obvykle mezi 0,2 a 0,8 cm<sup>3</sup>/100g Al. Pro zamezení vzniku bublin je potřeba tento obsah snížit pod 0,2, někdy až pod 0,1 cm<sup>3</sup>/100g Al. Odplyňování lze rozdělit na 2 základní skupiny. [1]

#### Odplyňování vakuováním

Tato metoda spočívá ve snížení tlaku atmosféry nad taveninou do takové míry, až vodík začne z taveniny samovolně unikat. Lící pánev se zaveze do vakuovacího zařízení, které sníží tlak na hodnotu asi 5 kPa. Tím se sníží rozpustnost vodíku a po dobu několika minut probíhá odplyňování. [1,2]

#### Odplyňování plyny

Princip je založen na difuzi vodíku do bublin s nulovým parciálním tlakem vodíku. Vodík se s těmito bublinami vznáší k hladině nebo s nimi reaguje. Při použití inertních plynů (argon, dusík) je snaha o vytvoření malých bublin u dna pánve nebo transportního kelímku. Toho je dosaženo buď ponořením **rafinační tablety** na dno kelímku pomocí ponorného zvonu, která se zde začne rozpouštět za vzniku plynného dusíku, nebo pomocí **grafitových rotorů**, připojených k rotorovému zařízení. Rotor ponořený na dno kelímku vhání do taveniny drobné bubliny inertního plynu. Dochází k intenzivnímu míchání taveniny a tudíž k rychlému a efektivnímu odplynění. Doba odplyňování většinou nepřesáhne 3 minuty. [1,2]



Obr. 2-5 Různé druhy rafinační soli [6]

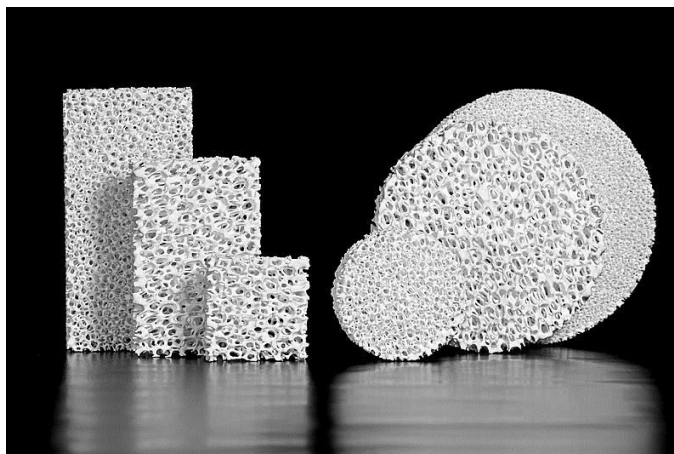


Obr. 2-6 Rotační odplyňovací zařízení [5]

**Rafinace** nebo-li čištění, je proces zbavování se oxidů v tavenině. Využívá se přitom reakce fluoridu v solích s mikroskopickými oxidy a schopnosti chloridu smáčet oxidy a pomáhat tak jejich vyplavení. Tato operace probíhá současně s odplyňováním taveniny. Rafinační sůl ve formě prášku nebo granulí je nasypána na povrch taveniny. Vlivem rotace taveniny způsobené grafitovým rotorem je vmíchávána do taveniny. Po ukončení operace se vyplavená sůl odstraňuje z povrchu v podobě stěru. [2]

Čištění rafinační solí je proces, který by měl následovat po každé manipulaci s taveninou. To znamená v tavící peci, v transportním kelímku a v udržovací peci. [3]

**Filtrace** je metoda odstraňování oxidů skrze keramické filtry. Jedná se o pěnové filtry, které obsahují velké množství malých komůrek. Při průchodu taveniny komůrkami dochází k víření a následnému odstředění oxidů na stěny filtru, kde zůstanou zachyceny. Vyčištění taveniny touto metodou je velmi účinné a většinou probíhá při lití kovu z transportního kelímku do udržovací pece. [2,3]

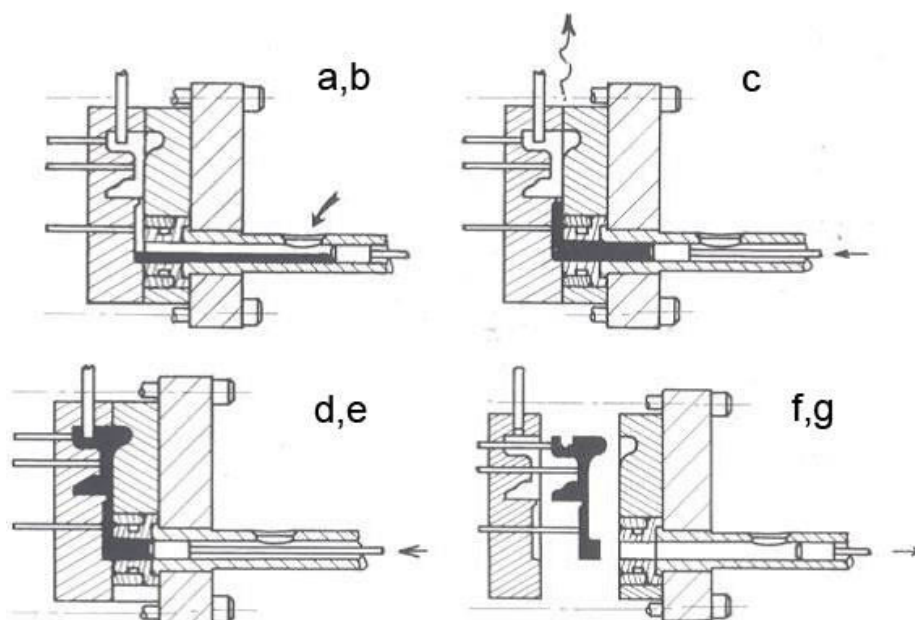


Obr. 2-7 Keramické filtry VUKOPOR A [7]

## 2.3 Technologický proces lití

Po transportu taveniny do udržovací pece následuje samotný proces lití. Lze jej rozdělit do několika částí. Popisovaný postup je technologie lití se studenou komorou, kterou je odléván řešený odlitek.

- a) Uzavření formy
- b) Naplnění licí komory taveninou
- c) Licí fáze I. (předplnění)
- d) Licí fáze II. (lisování)
- e) Licí fáze III. (dotlak)
- f) Otevření formy a vytažení odlitku
- g) Ošetření formy

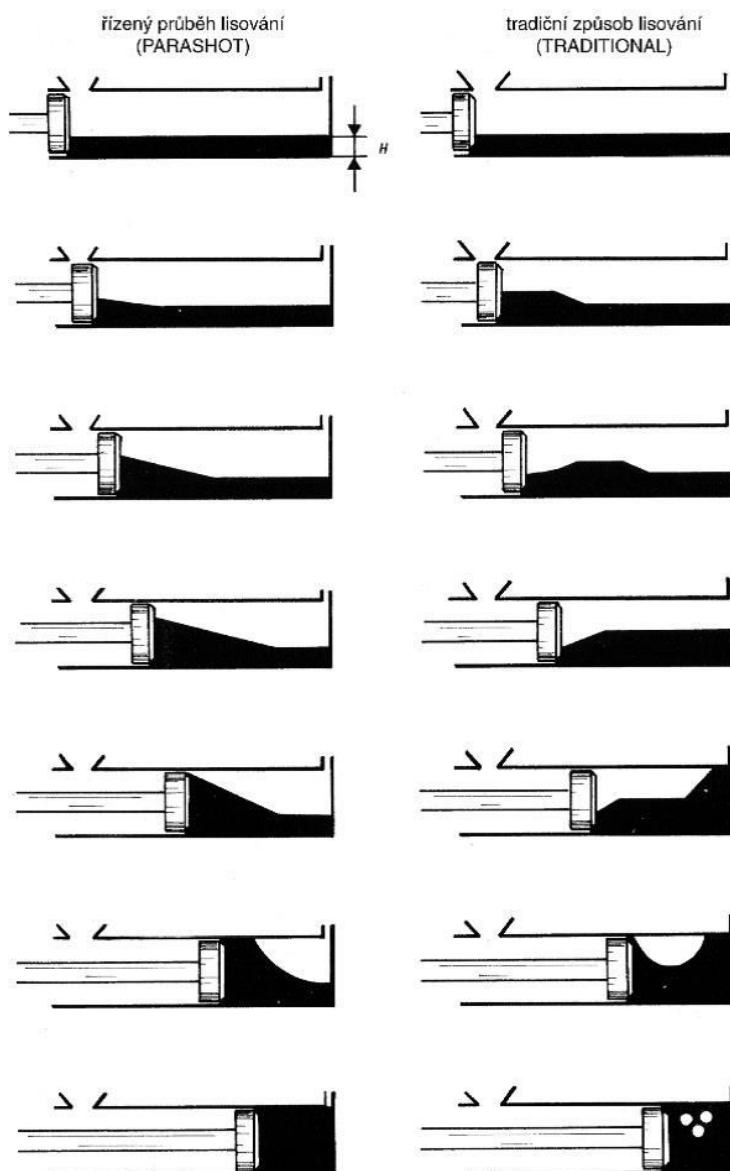


Obr. 2-8 Fáze při tlakovém lití na stroji se studenou horizontální komorou [8]

add a) Uzavření formy probíhá přisunutím pohyblivé poloviny formy k pevné polovině. Dochází k sjetí jader. [9,10]

add b) V této fázi je do licí komory nalit roztavený kov. Píst je ve výchozí poloze, tedy před nalévacím otvorem. Dávkování kovu probíhá ručně, kdy je zapotřebí nalévací lžice daného objemu, nebo automaticky, kde je dávkované množství nastaveno strojem. [9,11,10]

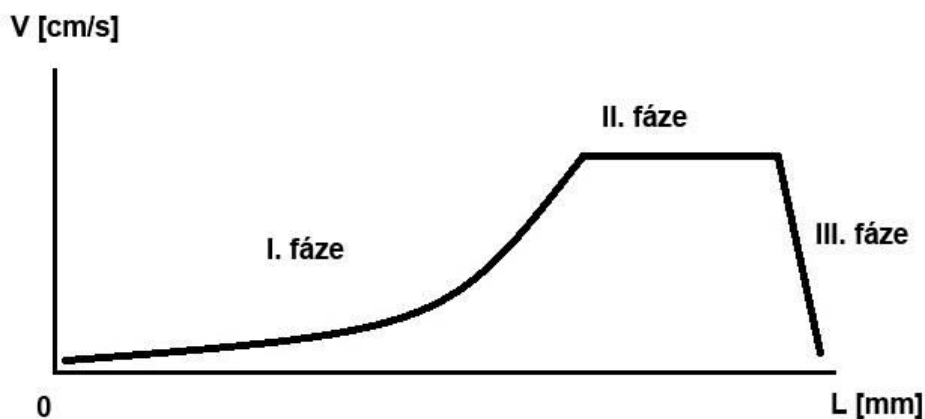
add c) Tato fáze (I.) začíná pohybem pístu, který před sebou tlačí roztavený kov a končí v okamžiku, kdy kov dosáhne vtokového naříznutí. Průběh rychlosti pohybu pístu v této fázi má velký vliv na kvalitu odlitku. Vzduch uzavřený v licí komoře musí být do dutiny formy vtlačen dříve než roztavený kov, jinak dojde k uzavření vzduchu v tavenině a tudíž k vyššímu výskytu pomezity. Viz Obr. 2-9. Požadovaného průběhu rychlosti pístu lze dosáhnout na strojích s řízeným průběhem lisování, též zvaným jako "parashot". [9,12,10]



Obr. 2-9 Porovnání řízeného a tradičního (neřízeného) průběhu lisování [13]

add d) Fáze (II.) lisování následuje bezprostředně po předplňování. Kov zaplňuje celou dutinu formy včetně přetoku a odvzdušňovacích prvků. Píst se zde pohybuje vyšší rychlostí než při předchozí fázi. Rychlost vstupu taveniny do formy může dosahovat rychlosti až 120 m/s. Dutina formy se tak naplní za několik setin sekundy. [9,11,12,10]

add e) Dotlak (III.) je aplikován ihned po úplném zaplnění formy taveninou. Vlivem setrvačných sil nastává hydraulický ráz a dochází k vzrůstu tlaku na maximální hodnotu. Toho je dosaženo pomocí multiplikátorů, které jsou součástí stroje. Dotlakem se snažíme eliminovat staženiny a dosáhnout tak dokonalého zaplnění dutiny formy. Je důležité, aby tato fáze proběhla před ztuhnutím vtokového kanálu. [9,11,12,10]



Obr. 2-10 Teoretická licí křivka, závislost rychlosti pístu na jeho poloze a vyznačení licích fází

ad f) Po zatuhnutí odlitku ve formě dojde k otevření formy a uvolnění odlitku pomocí vyhazováků. Odlitek musí být možno snadno odebrat kleštěmi nebo automatickým zařízením. Pokud dojde k zaseknutí odlitku ve formě, může při jeho vytahování dojít k deformaci tvaru odlitku. [9,11,10]

ad g) Ošetření formy probíhá vždy po vyjmutí odlitku. Při ručním postřiku se používá tlaková pistole, nevýhodou je však nerovnoměrné ošetření formy. Zde se mohou projevit zkušenosti slévače, který nedůsledným ošetřením může způsobit vady v následujícím odlitku. Výhodou jsou proto automatizované systémy. [9,10]



Obr. 2-11 Automatické mazací zařízení [14]

## 2.4 Licí parametry

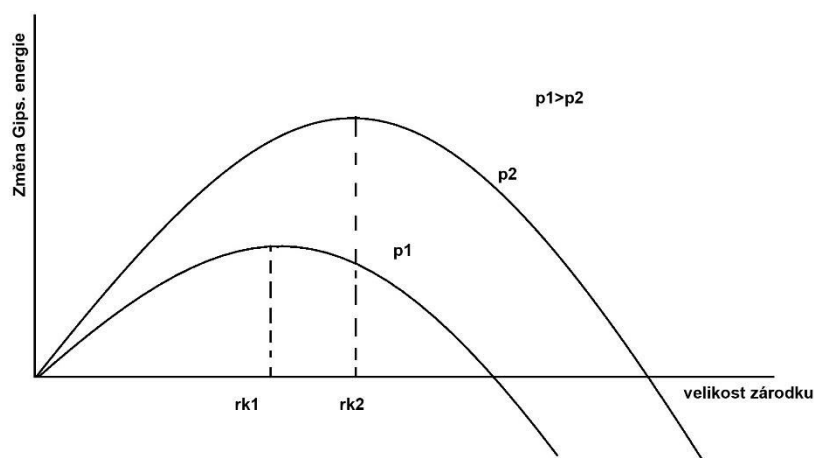
Na kvalitu odlitku má vliv celá řada licích parametrů. Významný podíl na kvalitě má plnicí (vstřikovací) rychlost. Vliv tohoto parametru bude také ověřován v experimentální části této práce.

### Vstřikovací rychlost

Velikost vstřikovací rychlosti ovlivňuje charakter plnění dutiny formy. Jedná se o rychlost pístu při druhé lisovací fázi. Pokud je průběh plnění špatný, může dojít k uzavření vzduchu v objemu kovu, což vede ke vzniku vad. To se děje například při obtékání jader, kdy vlivem turbulentního proudění dochází ke strhávání vzduchu a uzavírání v kovu. [15,16]

### Pracovní tlak

Při vyšším pracovním tlaku roste teplota likvidu slitiny. Dochází ke zjemnění zrna, protože roste počet zárodků vlivem klesající kritické velikosti zárodku, viz Obr. 2-12. Účinek tlaku je nejefektivnější při fázově přeměně z taveniny na tuhou fázi, kdy dochází ke změně objemu. Touto změnou objemu také dochází k eliminaci děr. [15,17]



Obr. 2-12 Závislost kritické velikosti krystalizačního zárodku na tlaku [17]

### Dotlak

Princip dotlaku je popsán v kapitole 2.3. Dále má pozitivní vliv na tvorbu jemnozrnné struktury. Tento vliv ale klesá při lití tenkostěnných odlitků. S rostoucím dotlakem také mírně rostou hodnoty meze pevnosti v tahu a tvrdosti odlitku. [18]

## 2.5 Postřík formy a mazání

Postřík slouží k vytvoření ochranné vrstvy, která zabraňuje nalepení odlitku na formu. Pro její efektivní nanesení je však zapotřebí správná teplota líce formy. Při nízké teplotě nedochází k odpařování vodní složky z postříku a při vysoké teplotě nedojde ke smáčení povrchu formy kapkami postříku. Ideální teploty pro nanesení dělicího prostředku jsou tedy mezi 180° C až 250° C. Mezi další funkce postříku patří zchlazení formy, mazání a odstranění nečistot z dutiny formy. Postříky lze aplikovat ručně pomocí slévačské pistole nebo automatickým systémem. [10,19]

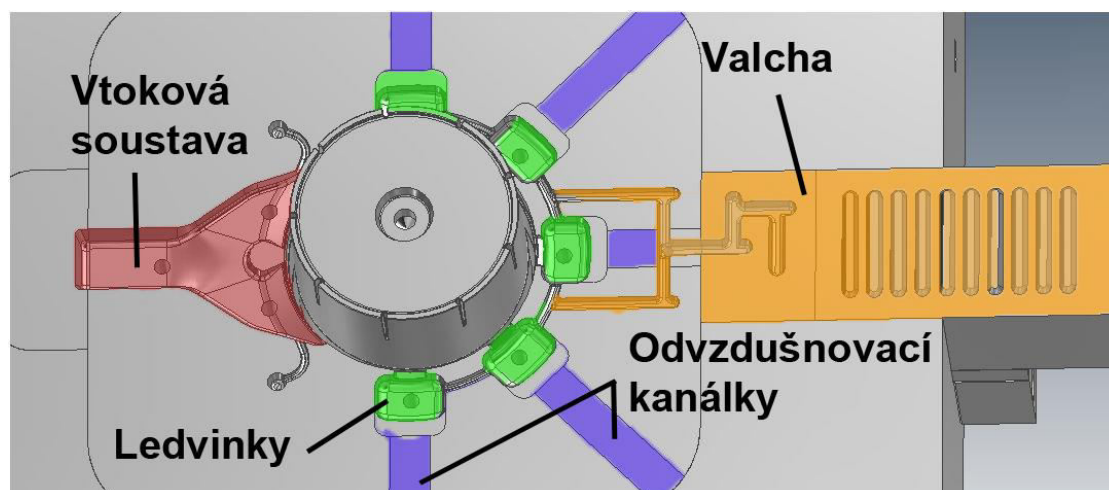
Mazání formy je důležité vzhledem k její správné funkci. Při rozjezdu stroje je nutné ručně namazat pohyblivé části formy (vyhazovače, jádra) mazací pastou. Po namazání slévač vždy odleje malé množství kusů, aby došlo k zaběhnutí formy. [3]

## 2.6 Odvzdušnění

V důsledku vysoké rychlosti plnění, je nutné odvést vzduch z dutiny formy. K tomu slouží odvzdušňovací kanálky, které se zhotovují v dělicí rovině formy. Tyto kanálky mají většinou šířku 2 až 40 mm a hloubku 0,05 až 0,1 mm. Větší průřezy kanálku se používají pro větší odlitky. Pokud pro odvzdušnění nestačí kanálky, používají se jiné technologické prvky. [15]

**Ledvinky** (přetoky) jsou méně efektivnější než jiné prvky. Jsou vytvořeny ve formě na okraji odlitku. Po zaplnění dutiny formy je vzduch odveden do těchto prvků. [12,9,20]

**Vlnovec (Valcha)** poskytuje efektivnější způsob odvzdušnění. Konstrukčně je řešen tak, aby po odvzdušnění zpomalil protékající kov, odvedl jeho teplo a způsobil tak jeho ztuhnutí. Vlnovce jsou ve formě vložek nainstalovány v obou polovinách formy. Bronzové vlnovce lépe odvádějí teplo než ocelové, mají ale nižší odolnost proti vymytí kovem. Dají se také použít jako náhrada za vakuovací ventil, ale s nižší účinností. [9,20]



Obr. 2-13 Vtoková a odvzdušňovací soustava v pohyblivé polovině formy řešeného odlitku [21]

**Vakuování** je neúčinnější metoda odvodu vzduchu. Princip spočívá v odsátí vzduchu z formy těsně před jejím plněním roztaveným kovem. K této operaci je zapotřebí vakuovací zařízení a vakuovací ventil či valcha. Vzhledem k náročnosti zařízení se používá především pro zvláště náročné odlitky. Je nutné přesné seřízení stroje. Vlivem nepřesného seřízení totiž může dojít k zalití vakuovacího ventilu. Při nedovírání formy, když styčné plochy formy nejsou rovnoběžné, technologie vakuování výrazně ztrácí svou efektivitu. [9]



Obr. 2-16 Vakuovací zařízení firmy FONDAREX [22]



Obr. 2-14 Valcha FONDAREX [22]



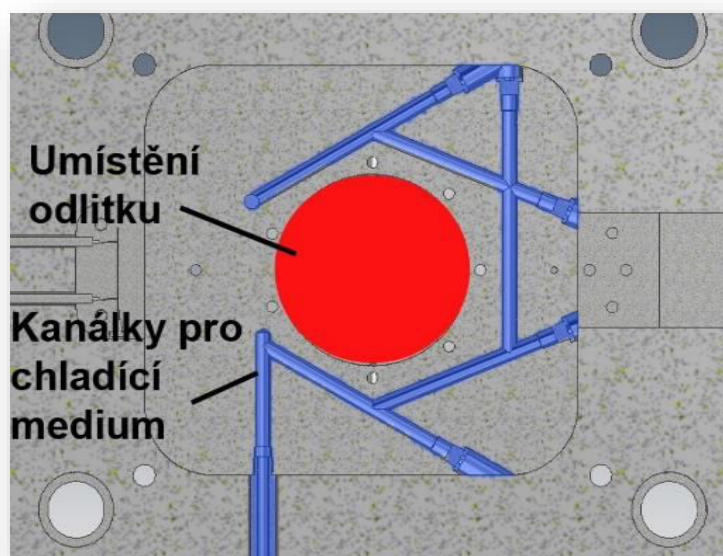
Obr. 2-15 Vakuovací ventil FONDAREX [22]

## 2.7 Temperace

Temperace slouží k zajištění homogenní teploty líce formy. Jednotlivé části formy se při provozu nesmí přehřívat nebo naopak podchladiť pod přípustnou teplotu. Přehříváním formy dochází například k připékání kovu na formu. Proto je nutné přebytečné teplo z formy odvést. [12,10]

Pro účely regulace teploty jsou ve formě zhotoveny průtokové kanálky, skrze které proudí temperační médium. To je v podobě oleje nebo chemicky upravené vody. Stálou teplotu média zajišťuje termoregulační zařízení. Tato teplota se pohybuje mezi 180 a 300° C. [10]

Na Obr. 2-17 je zobrazena část temperovací soustavy formy řešeného odlitku. Jedná se pouze o temperaci pohyblivé části formy. Další části jako valcha a vtoková soustava je chlazená další skupinou kanálků, které jsou vedeny v jiné rovině formy.



Obr. 2-17 řez formou – temperační kanálky v pohyblivé polovině formy řešeného odlitku [21]



Obr. 2-18 Temperační zařízení ROBATMAT [10]

### 3 SLITINY HLINÍKU PRO VYSOKOTLAKÉ LITÍ

Vlastnosti čistého hliníku jsou pro konstrukční použití nevyhovující. Proto se na výrobu odlitku využívají hliníkové slitiny. Podle požadovaných vlastností odlitku se volí slitiny s přísadovými prvky, které zvyšují mechanické vlastnosti a zlepšují technologické vlastnosti. [1]

#### 3.1 Významné slévárenské vlastnosti

Pod pojmem slévárenské vlastnosti myslíme vlastnosti, které souvisí s procesem lití. Tyto vlastnosti úzce souvisí s šířkou intervalu tuhnutí. Slitiny s úzkým intervalem tuhnutí blíží se složení eutektickému mají lepší slévárenské vlastnosti než slitiny s širokým intervalem. [1]

##### Zabíhavost

Technologická vlastnost, která udává schopnost slitiny zaplňovat dutinu formy. Je závislá na šířce intervalu tuhnutí. Slitiny s úzkým intervalem mají zabíhavost lepší, než slitiny s širším intervalem tuhnutí. Dále má na zabíhavost negativní vliv přítomnost oxidických vměstků. Uplatňuje se zde také vliv povrchového napětí, smáčivosti formy, modifikace taveniny apod. [1]

##### Sklon ke vzniku staženin

Charakterizuje objemový úbytek materiálu během tuhnutí. Staženiny mohou vznikat buď soustředěné, nebo rozptýlené. Eutektické slitiny mají sklon ke vzniku soustředěných staženin a lze je dobře nálitkovat. Rozptýlené staženiny se nálitkují obtížně a tvoří se u slitin se širokým dvoufázovým intervalem tuhnutí. Staženiny jsou nežádoucí vady odlitků. [1]

##### Sklon k naplynění

Je charakterizován rozpustností plynů v tekutém kovu. Naplynění taveniny ovlivňuje tvorbu plynových bublin, které jsou nežádoucí vadou odlitku. Na naplynění má výrazný vliv průběh teploty při přípravě taveniny, jak je popsáno v kapitole 2.2.2. [1]

#### 3.2 Rozdělení slitin

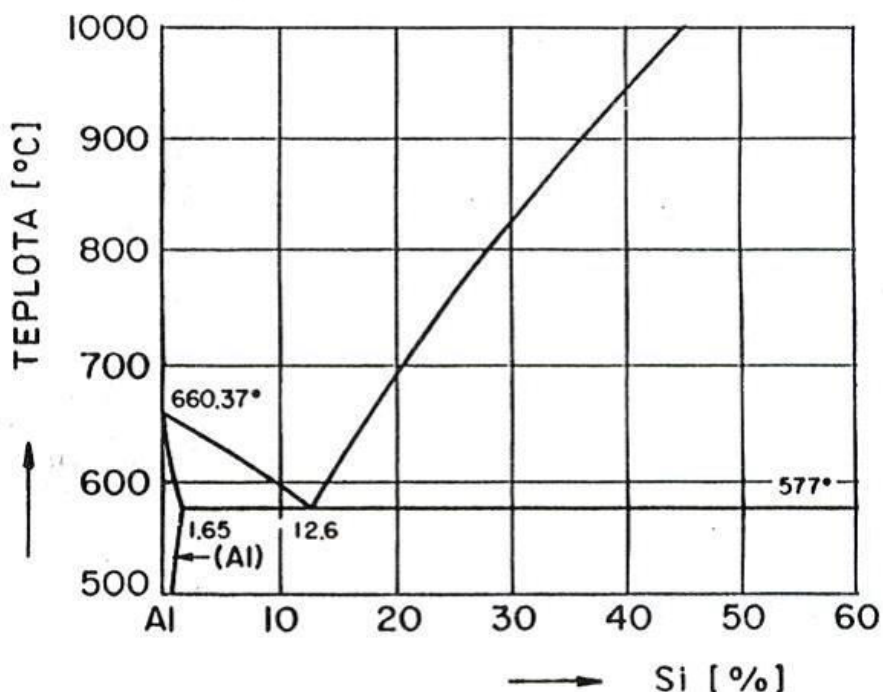
Podle hlavních přísadových prvků lze hliníkové slitiny rozdělit na tyto základní typy: [1]

- slitiny Al-Si – Siluminy,
- slitiny Al-Cu – Duralaluminium,
- slitiny Al-Mg – Hydronalium.

### 3.3 Siluminy

Jedná se o největší skupinu ze všech druhů hliníku. V současné době představují hlavní slitinu na výrobu hliníkových odlitků. Slévárenské a technologické vlastnosti jsou zlepšovány hlavním přísadovým prvkem, křemíkem. Mechanické vlastnosti jsou zlepšovány legováním mědí, hořčíkem nebo niklem. [1]

Rozpustnost křemíku v hliníku je velmi malá. Při eutektické teplotě je rozpustnost pouze 1,56 % Si. V používaných slitinách je však běžné, že obsah křemíku je vždy vyšší než obsah maximální rozpustnosti. Proto vždy vznikají eutektika, které se vyznačují dobrými slévárenskými vlastnostmi. Eutektická koncentrace křemíku je 12,6 % Si a eutektická teplota je 577° C. [1]



Obr. 3-1 Rovnovázný binární diagram Al-Si [1]

Na základě obsahu křemíku můžeme rozdělit Siluminy do tří skupin.

- **Podeutektické**

Obsah křemíku se pohybuje mezi 5 až 11 % Si. Struktura je tvořena sítí primárních dendritů fáze tuhého roztoku.

- **Eutektické**

Obsah křemíku je přibližně 11,5 -13 % Si. Struktura je tvořena pouze eutektikem, ale vlivem modifikace se mohou objevit jednotlivé krystaly tuhého roztoku.

- **Nadeutektické**

Obsah křemíku je nad 14 % Si. Většinou do 17 % Si, výjimečně však až do 25 % Si. Ve struktuře se nachází částice primárního křemíku, uložená v eutektické matici. [1]

### 3.4 Vlastnosti vybraných Siluminů

Pro vysokotlaké lití na strojích se studenou komorou se převážně používají slitiny Al-Si-Cu. Tato skupina je dominantní typem pro výrobu odlitku do automobilového průmyslu. Většinou se jedná o podeutektické, výjimečně až eutektické slitiny. Měď u slitiny zlepšuje mechanické vlastnosti a zlepšuje obrobiteľnosť. Snižuje však odolnosť proti korozi, ktorá je ale pro potřeby automobilového průmyslu dostatečná. [1]

Tab. 3-1 Přehled technologických vlastností vybraných Siluminů [1]

Slitina	Zabíhavost	Odolnost proti vzniku trhlin	Obrobiteľnosť	Odolnost proti korozi
EN AC-AISi12(Fe)	A	A	C	C
EN AC-AISi9Cu3(Fe)	B	B	B	B
EN-AC AISi12Cu1(Fe)	A	A	C	C
EN-AC-AISi10Mg(Fe)	A	A	B	C

Vysvětlivky k Tab. 3-1: A – výborné, B – velmi dobré, C - dobré

Tab. 3-2 Přehled mechanických vlastností vybraných Siluminů [1]

Slitina	R <sub>m</sub> [Mpa]	R <sub>p0,2</sub> [Mpa]	A <sub>50</sub> [%]	HBS
EN AC-AISi12(Fe)	240	130	1	60
EN AC-AISi9Cu3(Fe)	240	140	<1	80
EN-AC AISi12Cu1(Fe)	240	140	1	70
EN-AC-AISi10Mg(Fe)	240	140	1	70

#### EN AC-AISi9Cu3(Fe)

Nejčastěji používaná slitina pro tlakové lití. Má střední mechanické vlastnosti a dobrou pevnost. Odolnost proti korozi je průměrná. Vyznačuje se dobrou zabíhavostí a malým sklonem ke vzniku soustředěných staženin. Slitina se doporučuje očkovat.

Jedná se o typickou slitinu pro automobilní odlitky, například pro výrobu hlav válců, skříní atd. Pro elektrotechnický průmysl se slitina využívá na díly elektromotorů či domácích spotřebičů. [1]

**EN AC-AISI12(Fe)**

Eutektická slitina s vynikajícími slévárenskými a technologickými vlastnostmi. Velmi dobrá odolnost proti korozi a dobrá obrobiteľnosť. Sklon ke vzniku staženin je větší než u jiných slitin. Doporučuje se modifikace sodíkem.

Použití pro tenkostěnné odlitky s vysokou houževnatostí, při velmi dobré odolnosti proti korozi jako například lopatky, žebrovaná tělesa nebo tělesa pump. [1]

**EN-AC-AISI12Cu1(Fe)**

Vyznačuje se vynikající zabíhavostí a slévárenskými vlastnostmi. Vysoká odolnost proti vzniku trhlin. Používá se na tvarově složité a tenkostěnné odlitky.

Využití pro odlitky namáhané rázy se složitými napěťovými poměry. [1]

**EN-AC-AISI10Mg(Fe)**

Mírně podeutektická slitina s výbornými slévárenskými a technologickými vlastnostmi. Velmi dobrá obrobiteľnosť a odolnost proti korozi. Slitinu je při lití do kovových forem vhodné modifikovat.

Využívá se na tenkostěnné nebo tvarově složité odlitky s vysokými nároky na pevnost a houževnatost. Například pro vysoce namáhané součástky jako díly motorů, brzdové čelisti a pro rychloběžné součástky. [1]

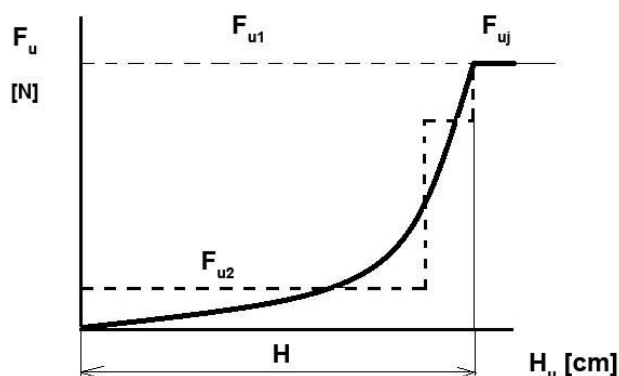
## 4 STROJE

Stroje na tlakové lití můžeme rozdělit podle několika hledisek. Základní rozdělení je však podle uspořádání vstřikovacího mechanismu, nebo-li podle toho, jestli je roztavená slitina v trvalém nebo přechodném styku se vstřikovacím mechanismem. [23]

### 4.1 Základní parametry stroje

Stroje je také důležité popsat z hlediska jejich základních parametrů. Nejdůležitější parametr, podle kterého si lze o stroji okamžitě udělat představu, je uzavírací síla. [23]

**Uzavírací síla** je síla, kterou jsou drženy obě poloviny formy v okamžiku vstřiku slitiny. Tato síla musí být z hlediska bezpečnosti vždy větší, než je síla otevírací. Průběh uzavírací síly  $F_u$  může být konstantní, nebo se může měnit v závislosti na dráze, kterou urazí nosič formy. Na Obr. 4-1 můžeme vidět průběh síly  $F_{u1}$  dosažené jednostupňovým uzavíracím mechanismem, průběh síly  $F_{u2}$  dosažený mechanismem s vícestupňovou regulací. [23]



Obr. 4-1 Průběh uzavírací síly [23]

Běžné lící stroje mají uzavírací sílu v rozmezí od 1,3 MN (stroj pro velmi malé odlitky) do 10 MN.

**Otevírací síla** je dána součinem specifického tlaku v dutině formy a projekční plochy odlitku včetně přetoků a vtoků, do roviny kolmé ke směru uzavírací síly. [23,12,13]

Určení velikosti stroje se provede na základě výpočtu otevírací síly: [13]

$$F_o = S_p \cdot p_s \quad (4.1)$$

kde:  $S_p$  – projekční plocha odlevu (odlitek včetně vtoků a přetoků) [m<sup>2</sup>],  
 $p_s$  – specifický tlak kovu v dutině formy [MPa].

Na základě otevírací síly se dále určuje uzavírací síla stroje: [13]

$$F_u = F_o \cdot k \quad (4.2)$$

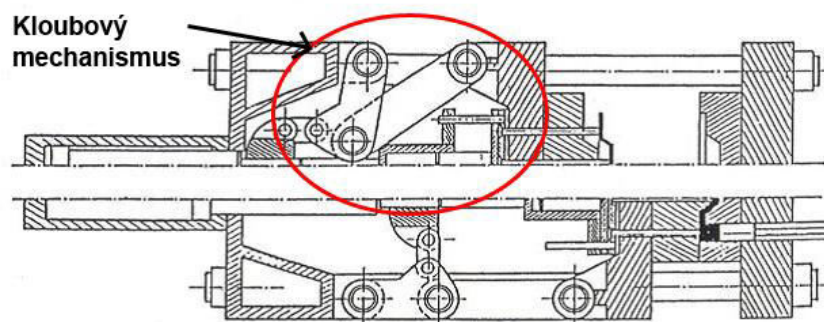
kde:  $F_o$  – otevírací síla stroje [N],  
 $k$  – koeficient volený na základě složitosti formy [-].

**Vstřikovací síla** je hodnota maximální dovolené vstřikovací síly dané pracovní kapalinou o jmenovitém provozním tlaku. Podle typu vstřikovacího mechanismu může být vstřikovací síla  $F_v$  konstantní, několikastupňová, nebo plynule měnitelná. [23,3]

**Rychlost zavírání formy** se mění v závislosti na poloze nosiče formy. Proto se počítá s její střední hodnotou, která se pohybuje v rozmezí od 0,1 až 1 m/s. U strojů pro vysokotlaké lití lze tuto rychlost nastavovat. Při její volbě se musí brát zřetel na hmotnost nesené formy a konstrukci stroje. Při vysokých rychlostech dochází ke zvýšenému zatěžování strojního zařízení vlivem setrvačných sil. Při rychlosti příliš pomalé klesá efektivita práce, vlivem nárůstu strojního času. [23,3]

## 4.2 Kloubový uzavírací mechanismus

Jedná se o nejvyužívanější uzavírací mechanismus. Skládá se ze systému pák, které multiplikují sílu vyvozenou hydraulickým válcem. Ta napíná pružný rám a tak vyvozuje uzavírací sílu. Kloubový mechanismus spadá do skupiny tuhých uzavíracích mechanismů. Vyznačuje se tím, že je uzavřen malou silou a teprve před zalisováním je na kloubový mechanismus vyvinuta maximální uzavírací síla. [23]

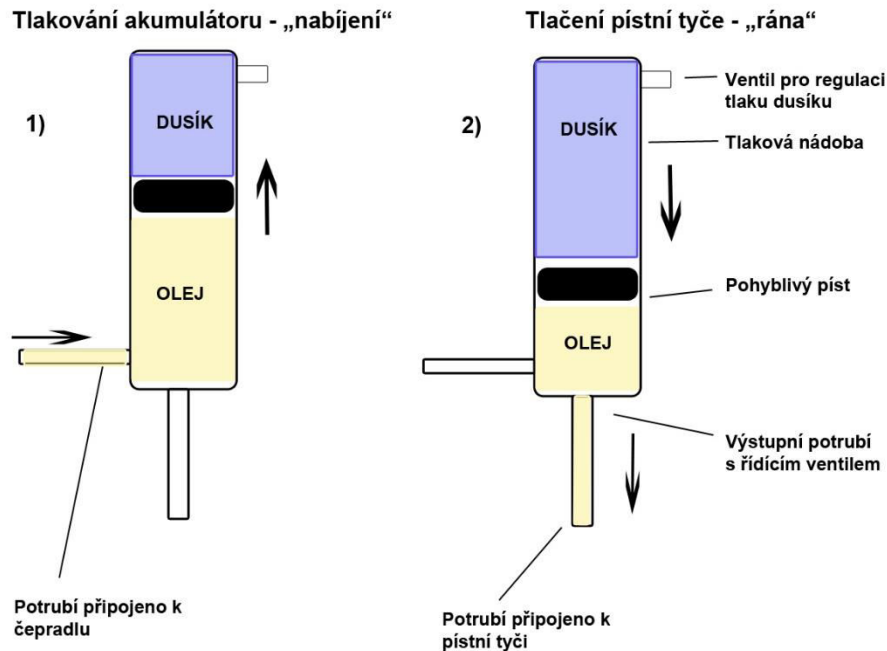


Obr. 4-2 Kloubový uzavírací mechanismus [9]

## 4.3 Mechanismus akumulace energie pro vstřikování

Jedná se o technologii akumulace energie tlakového čerpadla, pro potřebu okamžitého uvolnění a vstřiku taveniny do formy. Hydraulické čerpadlo (nejčastěji zubové) vhání hydraulický olej do spodní části akumulčního válce. Vlivem nárůstu objemu se posouvá píst, který stlačuje dusíkovou směs v horní části akumulčního válce. Při vyvození požadovaného tlaku v dusíkové směsi se uzavře plnicí ventil a v určený moment se otevře hlavní ventil, který žene olej na pístní tyč. Pístní tyč tlačí píst, který je v kontaktu s taveninou v licí komoře a provede vstříknutí kovu do dutiny formy. Po ukončení fáze vstřiku a následného

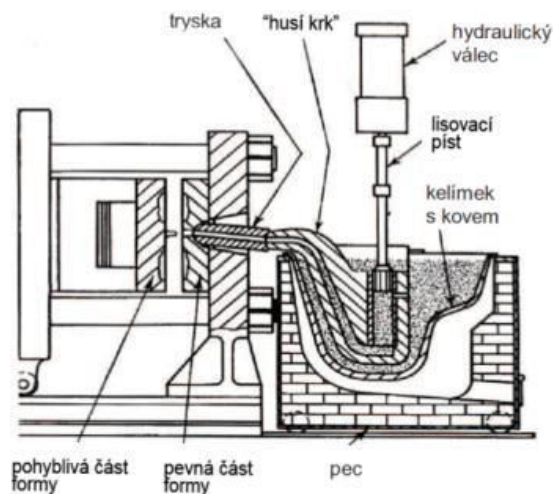
dotlaku se otevírá plnicí ventil. Akumulační válec je znovu natlakován a připraven na další cyklus. [23,3]



Obr. 4-3 Schéma principu akumuláčnických válců

#### 4.4 Stroje s teplou lící komorou

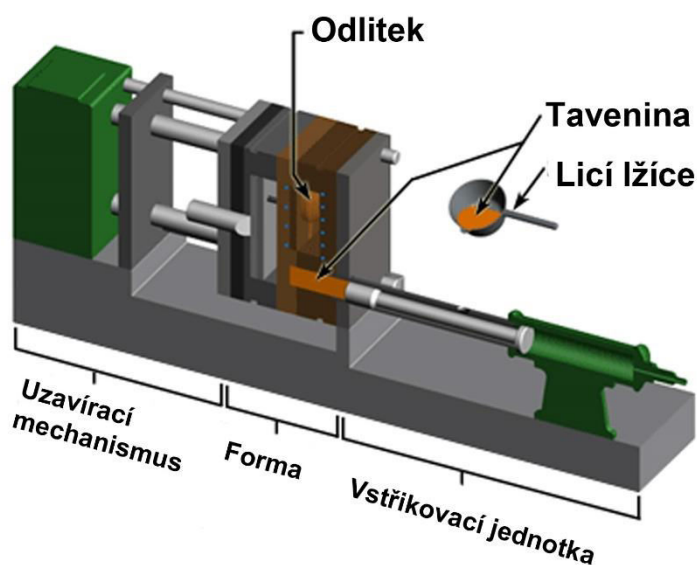
Jejich plnicí komora je umístěna uvnitř udržovací pece, pod hladinou roztaveného kovu. Výhodou je, že se kov při přesunu z udržovací pece do plnicí komory nepřelévá. Není tak vystaven atmosféře a tudíž nedochází k oxidaci. Stroje s teplou lící komorou mají časté použití pro lití slitin hořčíku a zinku. Tyto stroje lze rozdělit na **vstřikování kovu pístem** a **vstřikování kovu vzduchem**. Na Obr. 4-4 je schéma stroje s teplou lící komorou. [1]



Obr. 4-4 Lící stroj s teplou komorou [1]

## 4.5 Stroje se studenou licí komorou

Jedná se o technologii popisovanou v kapitole 2.3. Licí komora je umístěna mimo prostor udržovací pece. Vstřikovací mechanismus (píst) je zde v krátkém kontaktu s roztaveným kovem. To dovoluje odlévání kovu s vyšší teplotou tavení (slitiny hliníku). Tyto stroje mají obecně větší výkon a jsou spolehlivější. [9]



Copyright © 2008 CustomPartNet

Obr. 4-5 Licí stroj se studenou komorou [4]



Obr. 4-6 Vysokotlaký licí stroj se studenou horizontální komorou firmy CARAT 130 [24]

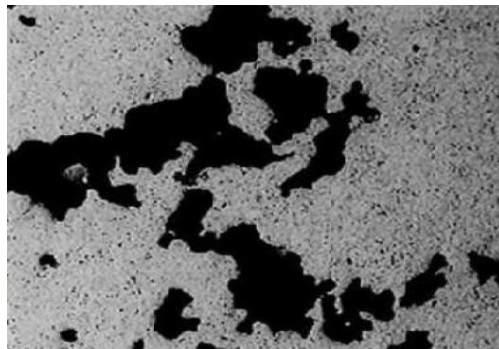
## 5 VADY ODLITKŮ PŘI VYSOKOTLAKÉM LITÍ

Při vysokotlakém lití se setkáváme s celou řadou vad. Správné určení vady je nutné pro její odstranění. Výskyt a druh chyb ovlivňuje celá řada faktorů jako je licí stroj, metalurgické zpracování slitiny, konstrukce formy, licí parametry a obsluha licího stroje. [13,25]

### 5.1 Porezita

Tuto vadu můžeme rozdělit na tři druhy:

- vzniklou staženinami,
- vzdušnou,
- plynnou (vodíkovou).



Obr. 5-1 Staženiny [26]

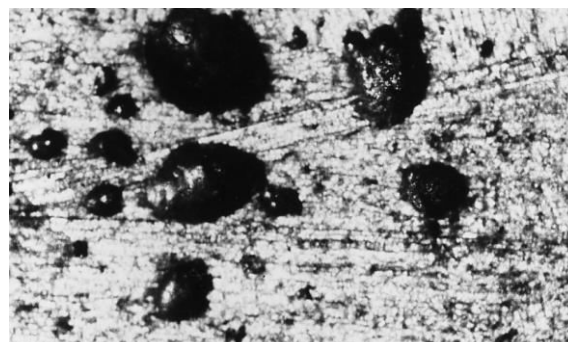
**Porezita (staženiny)** vzniká stahováním kovu v místech tepelných uzlů. Vzniká ve formě dutin s nepravidelným a drsným povrchem. Při konstrukci odlitku by proto měla být snaha o minimalizaci počtu tepelných uzlů. Tyto vady nejsou zjistitelné vizuální kontrolou a k jejich odhalení je zapotřebí rentgenová kontrola. Výskyt těchto vad má negativní dopad na mechanické vlastnosti odlitku. [13,16]

**Vzdušná porezita** je charakteristická bublinami s hladkým povrchem. Tato bublina je tvořena vzduchem, který zůstal uzavřen v dutině formy při jejím plnění. Této vadě lze předcházet účinným odvzdušněním formy, vhodným umístěním přetoků nebo vlnovců a správným uspořádáním vtokové soustavy. [13,26]

**Plynná porezita (vodíková)** je velice podobná porezitě vzdušné. Mechanismus její tvorby je však odlišný. Projevuje se velkým množstvím malých bublinek s hladkým povrchem. Příčina vzniku těchto bublinek je změna rozpustnosti vodíku v hliníku. Při chladnutí taveniny se rozpustnost vodíku snižuje a při překročení meze rozpustnosti se vodík uvolňuje. Nejčastěji mechanismem heterogenní nukleace, kdy jako nukleační zárodek slouží cizí tuhá částice. Oxidy jsou nejběžnější formou krystalizačních zárodků. [1,13,26]



Obr. 5-3 Vzdušná porezita [26]



Obr. 5-2 Plynná (vodíková) porezita [26]

## 5.2 Analýza vad řešeného odlitku

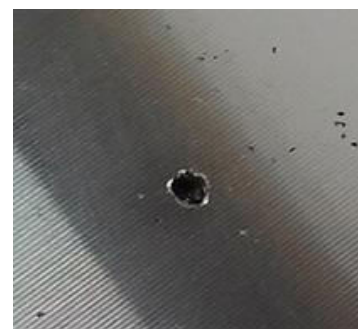
U řešeného odlitku se setkáváme s kombinací všech tří druhů perezity. Jelikož mikrostaženiny jsou vhodná místa pro tvorbu vodíkových bublin, vznikají tyto vady většinou v těsné blízkosti. Podle tvaru vady můžeme posuzovat, zda víc převládá vliv plynné perezity nebo vliv mikrostaženin.



Obr. 5-6 Vada řešeného odlitku – staženina/vzdušná perezita



Obr. 5-4 Vada řešeného odlitku – vzdušná perezita



Obr. 5-5 Vada řešeného odlitku – plynná perezita

Na základě pozorování viditelných vad v odlitku byly určeny jako nejčastější vady plynná a vzdušná perezita. V menším množství se pak vyskytovaly staženiny. K prvotnímu stanovení příčin těchto vad slouží Savenův diagram.

### Vady odlitku:

Nedolité  
Studené spoje  
Porézní  
Bubliny  
Staženiny  
Povrchové puchýře  
Mapovitý povrch  
Nečistý povrch  
Trhliny za tepla  
Prasklé  
Deformace

### Příčiny vzniku:

Licí rychlost  
Licí tlak  
Teplota formy  
Vtoková soustava  
Odvzdušnění  
Mazání  
Teplota kovu  
Vyhazování odlitku  
Pracovní rytmus

Obr. 5-7 Savenův diagram [13]



## 6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část bakalářské práce pojednává o praktických experimentech a pozorování použité technologie. Všechny experimenty a zkušební operace probíhaly ve firmě Alfred Engelmann CZ, spol. s r.o.

### 6.1 Rozbor současné technologie

V této kapitole jsou shrnuty základní kroky přípravy taveniny. Je zde poukázáno na procesy, které mohou ovlivňovat výslednou zmetkovitost.

#### 6.1.1 Tavba

Tavenina je připravovaná v plynové peci. Vsázka je v poměru 80 % housek a 20 % vratu. Housky i vrat jsou skladovány v prostoru tavní, na přilehlé rampě. Skladovaný materiál však není přímo vysoušen a je vystaven pouze zbytkovému teplu z peci (cca 30-40° C). Tímto roste riziko použití navlhle vsázky a zvýšení naplynění taveniny. Teplota taveniny v peci se pohybuje mezi 730° C až 760° C.



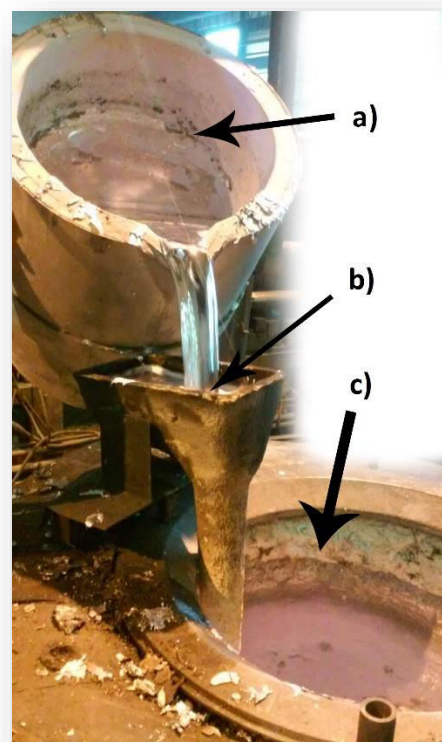
Obr. 6-1 Plnicí otvor tavící peci

#### 6.1.2 Rafinace a Odplynění

Po roztavení slitiny je tavenina přelita do transportního kelímku o maximální hmotnosti kovu 200 kg. Kelímek je pomocí mostového jeřábu umístěn do rotorového odplynovací zařízení, kde probíhá rafinace a odplynění.

Rafinační sůl – **ECOSAL AL 113.S**

Plyn použitý k odplynění – **DUSÍK UN 1060**



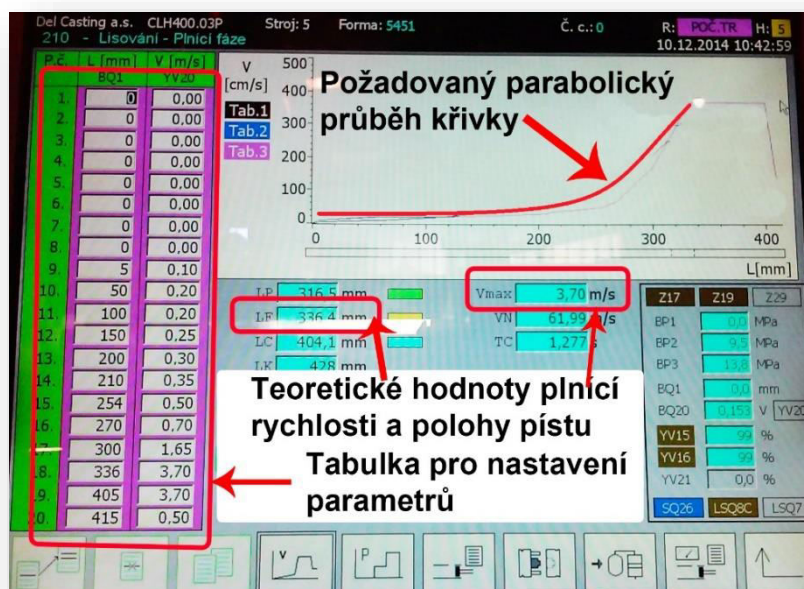
Obr. 6-2 Dolévání udržovací peci a) transportní kelímek b) Nálevka s keramickým filtrem c) Udržovací pec

Po provádění této operace je transportní kelímek pomocí jeřábu dopraven k udržovací peci liciho stroje, kde probíhá přelití slitiny. Ta je z udržovací peci do lici komory dávkována automatizovaným systémem. Je nutné, aby bylo nastavené přesné množství kovu, které bude automatizovaná lžice nabírat. Nepřesné určení množství kovu může vést k nedolítí nebo k prostřiku.

### 6.1.3 Nastavení licího cyklu

Základní licí parametry jsou uvedeny v Tab. 1-3. Při zahájení lití jsou seřizovačem nastaveny předepsané hodnoty (pokud nejsou uloženy v paměti stroje). Nejprve je odlito malé množství kusů, které slouží na „rozjetí“ stroje. Poté se odlíje 10 vzorových kusů pro vizuální a rozměrovou kontrolu a až po jejich schválení je povoleno zahájit sériové lití. V průběhu celé tavby je po každých 100 kusech odebráno 10 vzorků, které jsou obrobena a zkontrolovány. Na základně počtu zmetků po obrobění lze usoudit vhodnost nastavení licího cyklu. Problémem je však časové zpoždění mezi odebráním vzorku a vyhodnocením. Tato prodleva bývá cca 1 až 1,5 hodiny.

Po získání zpětné vazby může seřizovač upravit licí parametry. Zde záleží na zkušenostech seřizovače, jak dobře dokáže nastavit stroj. Základním kritériem je tzv. parabolický průběh křivky změny rychlosti. Hodnoty rychlosti a polohy pístu (fialová tabulka) se upravují tak, aby byla křivka plynulá.



Obr. 6-3 Tabulka pro úpravu parametru a průběh licí křivky

### 6.1.4 Možné negativní vlivy

**Ošetření formy** následuje po každém odlitém kusu. Použitý ošetřovací prostředek je CAST FLOW 5132 CZ. Zde je nutné, aby byl správný poměr vody a ošetřovacího prostředku. Pokud bude ve výsledné směsi malý obsah vody, může docházet k připékání separačního postřiku na stěnu formy a k následné tvorbě zavalenin. Zvýšené množství vody může způsobit nadměrnou tvorbu vodních par a tudíž vyšší výskyt vodíku v dutině formy.

**Netěsnost pístu** je nežádoucí chybou v procesu lití. Píst, který je vnitřně chlazen vodou může propouštět vodu. Ta se po kontaktu s taveninou vypaří, ale její páry zůstanou uzavřeny v odlitku. Tato vada vede ke vzniku velkých děr.

**Nedovření formy** se projevuje neshodností v geometrii odlitku. Obě poloviny formy jsou vůči sobě posunuté a chyba v geometrické přesnosti může přesáhnout toleranci. Dochází ke tvorbě tzv. „plachet“, které jsou zpravidla tvořeny po obvodu odlitku v jeho dělicí rovině. Při této vadě se výrazně snižuje efektivita dotlaku.

## 6.2 Zkušební série

Úkolem zkušební série bylo ověřit předpoklady a zjistit závislosti jednotlivých kritérií. Série byla rozdělena do dvou částí o třech skupinách. První část byla určena pro sledování licích parametrů a druhá část pro sledování vlivu taveniny. Celkem tedy bylo nalito 6 skupin, označených čísly 1 až 6. Každá skupina byla tvořena 50 kusy odlitků.

### Část první

Skupiny 1 až 3 slouží k zjištění závislosti plnicí rychlosti a poloze startu plnění na zmetkovitosti. Během lití byla slitina připravována se snahou dosáhnout nejvyšší čistoty taveniny. To znamená správný poměr housky – vrat, rafinace pece, dodržení a sledování tavící teploty, rafinace a odplynění v transportním kelímku, použití pěnových filtrů a rafinace v udržovací peci. Při změně parametrů bylo dbáno na to, aby křivka byla plynulá. Tab. 6-1 zobrazuje první tři licí skupiny a nastavení sledovaných parametrů.

Tab. 6-1 Nastavení licích parametrů skupin 1, 2, 3

č. skupiny	$L_p$ [mm]	$V_p$ [m/s]	Stupeň rafinace
Skupina 1	336	3,7	3.
Skupina 2	350	5	3.
Skupina 3	350	2	3.

### Část druhá

Skupiny 4 až 6 sloužily k ověření předpokladu, že správné a důsledné dodržení technologického postupu má nemalý vliv na výskyt vad. Řešený odlitek vykazuje zvýšené nároky na přípravu taveniny. Proto je nutné tento předpoklad ověřit. Tab. 6-2 zobrazuje licí skupiny 4 až 6. Je v ní také popsána míra rafinace hliníku.

Tab. 6-2 Nastavení licích parametrů skupin 4, 5, 6

č. skupiny	$L_p$ [mm]	$V_p$ [m/s]	Stupeň rafinace
Skupina 4	350	3,7	3. (tavící pec, kelímek, udržovací pec)
Skupina 5	350	3,7	2. (tavící pec, kelímek)
Skupina 6	350	3,7	1. (kelímek)

Po odlití proběhlo označení všech vzorových kusů a následovala apretace. Poté byl celkový počet 300 kusů převezen do obráběcí dílny, kde proběhlo soustružení vnějšího i vnitřního průměru.

### 6.3 Vyhodnocení série

Po navrácení všech vzorků z obráběcí dílny proběhla identifikace zmetků podle označení. Byl sledován počet zmetků u jednotlivých skupin, charakter a umístění vad. V Tab. 6-3 jsou uvedeny počty zmetků z celkových 50 kusů, litých v každé skupině.



Obr. 6-4 Poloha identifikačního čísla



Obr. 6-5 Rozdělení zmetků podle skupin

Tab. 6-3 Vyhodnocení počtu zmetků u jednotlivých skupin

č. skupiny	$L_p$ [mm]	$V_p$ [m/s]	Stupeň rafinace	Počet zmetků
Skupina 1	336	3,7	3. (tavící pec, kelímek, udržovací pec)	2
Skupina 2	355	5	3. (tavící pec, kelímek, udržovací pec)	13
Skupina 3	355	2	3. (tavící pec, kelímek, udržovací pec)	31
Skupina 4	350	3,7	3. (tavící pec, kelímek, udržovací pec)	2
Skupina 5	350	3,7	2. (tavící pec, kelímek)	5
Skupina 6	350	3,7	1. (kelímek)	8

#### Část první

##### Skupina 1

Lze vidět, že snížení polohy startu plnicí rychlosti z hodnoty 350 mm na 336 mm nemá na tvorbu vad významný vliv. Na dvou zmetcích byly patrné malé shluky bublin v oblasti připojení valchy. Vady byly charakterizovány jako vzdušná perezita.

### Skupina 2

Zvýšení plnicí rychlosti z 3,7 m/s na 5 m/s se projevilo výrazným nárůstem zmetku. Potvrdil se tak předpoklad že výrazné zvýšení plnicí rychlosti má negativní vliv kvůli větší míře turbulencí. Zmetky obsahovaly vzdušnou porezitu vyskytující se u vnějšího obvodu a staženiny větších rozměrů (až 3 mm) u vnitřního obvodu.

### Skupina 3

Zde proběhlo snížení plnicí rychlosti na 2 m/s. Počet zmetků je zde největší ze všech sledovaných skupin. Jedná se zde o vodíkovou porezitu vyskytující se po celém obvodu odlitku. Místy se projevily menší staženiny.



Obr. 6-8 Vada odlitku ze skupiny 6



Obr. 6-6 Vada odlitku ze skupiny 2



Obr. 6-9 Vada odlitku ze skupiny 1



Obr. 6-7 Vada odlitku ze skupiny 3

## Část druhá

### Skupina 4

U této skupiny byla použita tavenina nejvyšší čistoty. Probíhala trojitá rafinace a byly použity filtry. Byly nalezeny pouze dva zmetky. Jeden obsahoval drobnou staženinu a druhý oxidickou blánu.

### Skupina 5

Pouze rafinace v peci a v kelímku. Počet zmetků vzrostl na 5. Vady měly charakter malé staženiny.

### Skupina 6

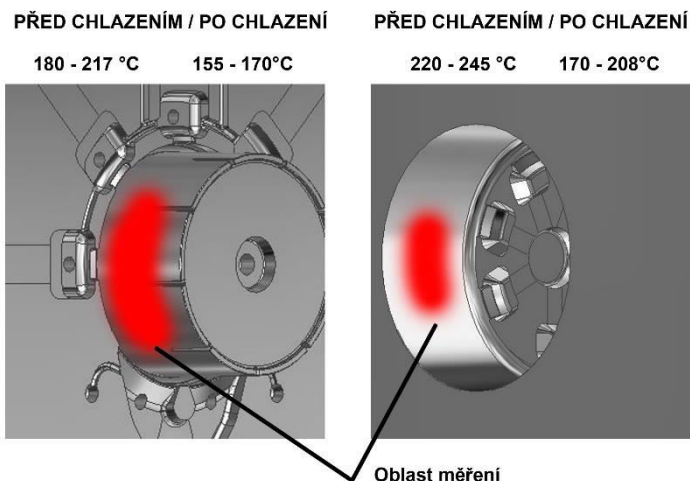
Tato skupina byla odlita taveninou rafinovanou pouze v transportním kelímku, a přelévána bez použití filtrů. Odhalilo se 8 zmetků, které měly charakter středně velkých staženin doprovázené vodíkovou porezitou.

Při porovnání zmetků v Tab. 6-3 lze říct, že nevhodná volba nastavení parametru licího stoje má na zmetkovitost větší vliv než nedůsledná rafinace taveniny. Nižší stupeň rafinace zvyšuje výskyt plynné poretivity. Další vadou jsou však staženiny. Tyto vady se obvykle vyskytují v místech tepelných uzlů. V řešeném odlitku se však objevují ve stěně odlitku, což není místo typického tepelného uzlu a proto se nejspíše jedná o vadu vzniklou lokálním podchlazením formy.

#### 6.4 Sledování teploty formy

V průběhu tavby zkušební série byla měřena teplota líce formy. Jelikož byla forma temperována, měření bylo spíše kontrolní. K odečítání teploty byl použit infračervený teploměr. Hodnoty byly měřeny na různých místech každé poloviny formy a to před zchlazením a po zchlazení. Toto měření probíhalo vždy po deseti cyklech stroje v průběhu celého lití.

#### Pohyblivá polovina Pevná polovina



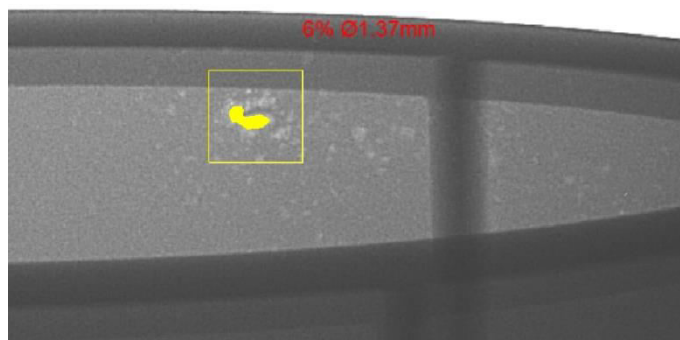
Obr. 6-10 Ukázka oblasti měření teploty obou polovin formy [21]

Měření ukázalo, že za dobu jedné směny vzrostly sledované teploty na formě o 10 až 30° C. Přesto, že nárůst teploty je znatelný, lze usoudit, že zvýšení teploty nemělo výrazný vliv na výsledky experimentu. Měření teploty infračerveným laserem nám však nedovoluje získat komplexní obraz o rozložení teplot ve formě. Pro tyto účely je nutná termická analýza odlitku a formy za pomoci termokamery. Takto pořízený obraz může poukázat na možné lokální nedostatky v teplotě formy. Jelikož je chlazení a postřik formy prováděn ručně, nelze vyloučit výkyvy teplot během lití nebo lokální přechlazení líce formy.

#### 6.5 Sledování výskytu vad rentgenem

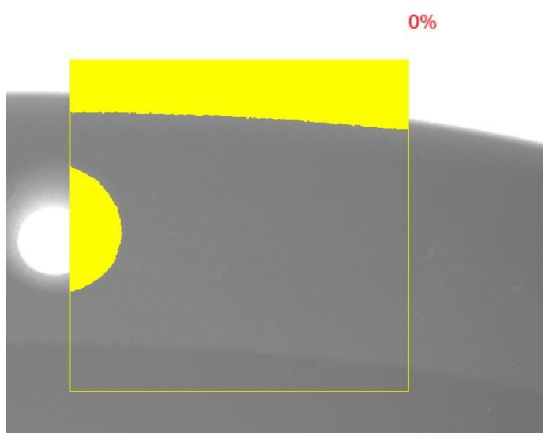
Pro účely rychlého a jednoduchého pozorování vad lze použít rentgenové zařízení. To umožňuje v krátkém čase kontrolovat vnitřní vady odlitků. Tato metoda však odhalí pouze vady větších rozměrů. Menší vady jsou obtížně rozpoznatelné a nelze stanovit jejich hloubka pod povrchem. Rentgenem tudíž

nelze nahradit proces obrobení a vizuální kontroly, ale může výrazně přispět k rychlosti řešení problému. Na Obr. 6-11 lze vidět výraznou vadu obklopenou porezitou, rovnoměrně rozprostřenou ve stěně. Odlitek je ze třetí skupiny (nejzmetkovitější).



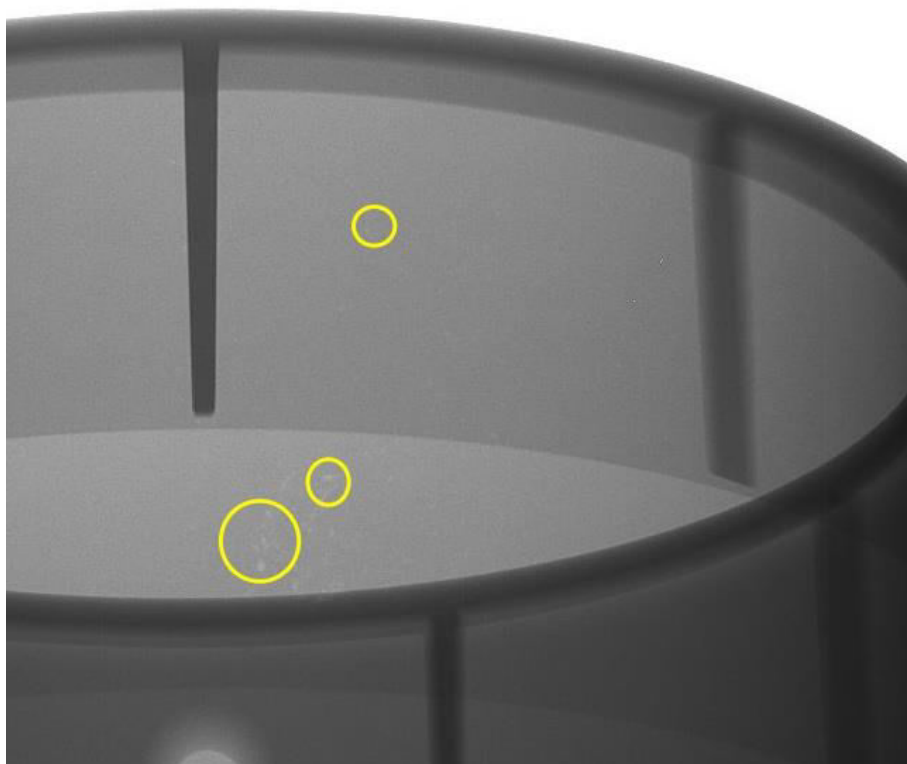
Obr. 6-11 Rentgenový snímek vady v odlitku skupiny 3

Následující dva snímky ukazují, že vady menší hloubky rentgen nedokáže rozpoznat. Žluté pole, které detekuje rozdíly barev a zviditelňuje tak slabě viditelné vady, nezachytilo žádné změny. Na Obr. 6-12 lze vidět, že po prosvícení vady z Obr. 6-13 rentgenem vadu nelze pozorovat.

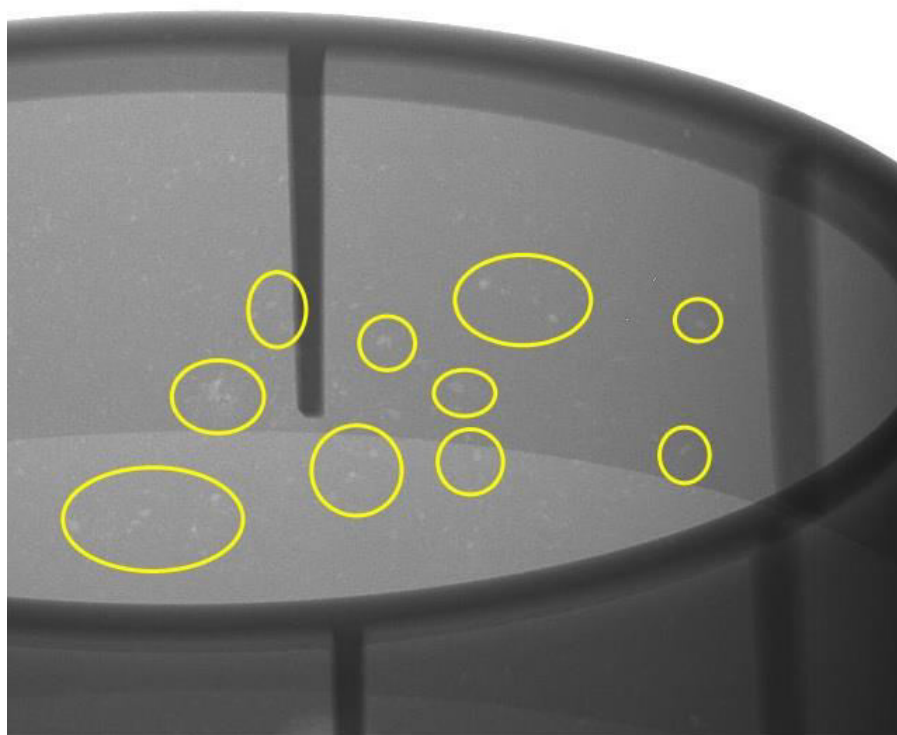


Obr. 6-12 Rentgenový snímek vady z Obr. 6-13      Obr. 6-13 Slabá vada pozorovatelná okem

Na rentgenových snímcích lze také dokázat významný vliv nastavení stroje. Následující snímky ukazují odlitky ze skupiny 4 a 3. Obě skupiny byly lity z taveniny stejné čistoty. Lze však vidět, že množství vad je výrazně větší u odlitku skupiny 3, který byl odléván sníženou plnicí rychlostí (2 m/s). Tato skutečnost potvrzuje zjištění, že nastavení stroje má na zmetkovitost významnější vliv, než stupeň rafinace taveniny. Snímky byly pořízeny při nastavení rentgenu na 71 kW a 1,15 mA, expozice trvala 127 ms. Kroužky znázorňují shluky vad.



Obr. 6-15 Rentgenový snímek vady odlitku skupiny 4



Obr. 6-14 Rentgenový snímek vady odlitku ze skupiny 3

## 7 NÁVRH ÚPRAVY TECHNOLOGIE

### 7.1 Úpravy technologického procesu

#### Příprava taveniny

Lití experimentální série ukázalo, že výskyt vodíkové porozity lze částečně snížit důslednou přípravou taveniny. Je tedy nutné, aby přípravě taveniny byla věnována zvýšená pozornost. Pro zlepšení kvality taveniny lze zavést následující opatření:

- Samostatná tavící pec  
Tavenina pro lití odlitku KONTAKTKÄFIG by měla být připravována v samostatné tavící peci a to z důvodu efektivnějšího využití kvalitnější taveniny
- Rafinace  
Tavič musí rafinaci provádět v tavící peci, v transportním kelímku současně s odplyněním a následně rafinaci v udržovací peci.
- Použití keramických filtrů  
Při přelévání taveniny z transportního kelímku do udržovací pece je nutné použít porézní keramický filtr. Sníží se tak počet vměsků a nečistot.
- Uklidnění taveniny  
Po dolití udržovací pece je vhodné pozastavit lití (zhruba na 5 minut) kvůli uklidnění rozvířené taveniny a klesnutí nečistot na dno udržovací pece.

#### Vsázka

Charakter a stav vsázkového materiálu souvisí s kvalitou výsledné taveniny.

- Vysoušení vsázky  
Nedostatečně vysušená vsázka (housky, vrat) vnáší do taveniny oxidy a vlhkost (vodík), které jsou zachyceny v jejich povrchových vrstvách. Je proto vhodné umístit skladovanou vsázku blíže k pecím, aby byl materiál vystaven vyšším teplotám a nedocházelo tak k navlhnutí.
- Volba vratového materiálu  
Jelikož přetoky typu ledvinky nebo vlnovce obsahují vzduchové bubliny a jiné nečistoty, nedoporučuje se jejich použití jako vsázkového materiálu. Vhodnější je použít vrat v podobě vtoků (tablety) a vtokových kanálků. Nutné je však třídění vratného materiálu už při apretaci odlitků.

### 7.2 Úpravy licího procesu

### **Vakuování**

Využití vakuovacího zařízení je vhodný způsob, kterým lze snížit výskyt vad. Pokud bude lití odlitku Kontaktkäfig dále probíhat na stroji CLH 400.03P, je vhodné zařadit vakuování do licího procesu. Při lití na jiných strojích ze strojního parku firmy by však vakuování nebylo příliš účinné, kvůli složitému seřízení.

### **Chlazení**

Přesto, že nárůst teploty formy v průběhu směny nebyl zásadní, je vhodné v průběhu lití zvyšovat intenzitu chlazení. Lze tak eliminovat případné nedostatky v odlitku způsobené přehřátím formy. Dále by bylo vhodné zhotovit termoanalýzu odlitku a formy. Technolog tak získá lepší představu o rozložení teplot a mohou se tak odhalit případné nedostatky.

### **Licí parametry**

Experiment prokázal, že současné nastavení licích parametrů je nejvhodnější a prokazuje nejnižší zmetkovitost. Proto je při seřizování stroje vhodné se příliš neodklánět od stávajícího nastavení a především dbát na správnou plnicí rychlost. Je však možné dále optimalizovat velikosti dotlaku a dobu jeho náběhu. Přesto, že se jedná o tenkostěnný odlitek (efektivita dotlaku klesá) je vhodné zabývat se vlivem dotlaku na snížení výskytu staženin a porezity.

### **Rentgen**

Využití rentgenových snímků je vhodnou metodou pro včasné odhalení případných vad. Při odhalení vad odlitku lze ihned upravit licí parametry a sledovat vývoj těchto vad. Přesto je však nutné stále využívat vizuální kontrolu po obrobení, jelikož drobné vady rentgen nedokáže odhalit.

## **7.3 Hospodárnost**

Před zavedením jakýchkoliv opatření je nutné provést ekonomickou rozvahu. Zhodnotit finanční náročnost navržených úprav a potenciální úspory při snížení zmetkovitosti.

## 8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navržení úprav v technologickém procesu za účelem odstranění vad odlitku. Nejdříve však bylo nutné vady analyzovat a zjistit příčiny, které mají na výskyt vad největší vliv.

V odlitku se vyskytovaly různé typy vad. Dominantní převahu měly shluky drobných kruhových bublin, charakteristické pro vodíkovou porezitu. Ty se seskupovaly v okolí výrazně větší bubliny, která měla oválný tvar a nepravidelný okraj. Tato vada byla vyhodnocena jako vzdušná porezita. V menším množství se objevily staženiny a zavaleniny, které však neměly výrazný vliv na počet zmetků.

Na základě Savénova diagramu se stanovily možné příčiny vzniku těchto vad a vybraly se parametry, jejichž vliv bude experimentálně ověřován při lití zkušební série. Těmito pozorovanými parametry byla plnicí rychlost a poloha pístu při startu druhé licí fáze. Dále byl v experimentu uvažován vliv přípravy taveniny. Předpokládalo se, že zvýšená čistota taveniny se pozitivně projeví na výskytu plynné (vodíkové) porezity. Zkušební série se skládala z 6 různých skupin, které se od sebe lišily nastavením stroje nebo stupněm rafinace hliníku.

Po vyhodnocení zmetků, které vzešly z jednotlivých skupin při lití zkušební série, bylo rozhodnuto o síle vlivu pozorovaných parametrů. Výsledky jednoznačně ukázaly, že poloha pístu při startu druhé licí fáze má na výskyt vad zanedbatelný vliv. Dále se potvrdil předpoklad, že zmetkovitost lze částečně snížit použitím řádně odplyněné a rafinované taveniny. Avšak nejvýraznější vliv na množství vad vykazovala plnicí rychlost. Její zvýšená hodnota se projevila silným nárůstem vzdušné porezity vlivem špatného plnění dutiny formy roztaveným kovem. Při pomalé plnicí rychlosti byl počet zmetků největší ze všech odlitých skupin. Odlitky obsahovaly velké množství malých bublin, které pravděpodobně nebyly eliminovány dotlakem kvůli jeho pozdní aplikaci.

Návrhy na úpravu technologie byly rozděleny do dvou skupin. První skupina zahrnuje úpravy týkající se přípravy taveniny. Mezi nejpodstatnější návrhy patří: vysoušení vsázky, volba vratu, rafinace taveniny a použití filtrů. Druhá skupina návrhů se týká úpravy licího procesu. Zde je podstatné zavedení vakuování, využití rentgenu a dodržování optimálních licích parametrů. Při úpravách technologie je však vždy nutné sledovat hospodárnost výroby. Podrobně jsou tyto body popsány v kapitole 7.

V této práci byla vysvětlena technologie vysokotlakého lití. Byl také rozebrán současný stav technologie výroby řešeného odlitku. Podrobné vědomosti o přípravě taveniny, vlastnostech materiálu a průběhu licího procesu spolu se znalostmi získanými ve firmě Alfred Engelmann CZ, spol. s.r.o. byly základní předpoklady při vyhodnocení experimentu a při návrhu úpravy technologie.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [2] KADLÁČEK, Václav a Jiří PTÁČEK. Tavení a rafinace hliníku. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, roč. 53, č. 2-3, s. 79-84. ISSN 0037-6825.
- [3] PŘECECHTĚL, Petr. *Metodika TSCH*. Kroměříž, 2013. 24 s. Interní dokument firmy Alfred Engelmann CZ, spol. s.r.o.
- [4] Custompartnet. *CustomPart* [online]. 2009 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/die-casting>
- [5] *Striko Westofen* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://strikodynamrad.com/products/peripherals/>
- [6] *Foundry Ecocer* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://www.foundryecocer.com/?page\\_id=412](http://www.foundryecocer.com/?page_id=412)
- [7] *Lanik: foram ceramics* [online]. 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.lanik.eu/filtrace-nezelezných-kovu/>
- [8] ANDREONI, Luigi, CASE Mario a POMESANO Giorgio. *The pressure die-casting process*. First edition. Brescia (Italy): EDIMET, 1996, 116 s. ISBN 88-86259-13-1.
- [9] KRŇÁVEK, Štěpán. *Optimalizace procesu lití tlakového odlitku ložiskového štítu elektromotoru*. Brno, 2012. 53 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.
- [10] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Výroba odlitků ze slitin hliníku* [online]. 2005. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/MV-cv\\_3.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/MV-cv_3.pdf)
- [11] KRŇÁVEK, Štěpán. *Optimalizace technologie lití pod tlakem odlitku vakuové pumpy*. Brno, 2014. 78 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.
- [12] MACHUTA, Jiří a Iva NOVÁ. *Slévárenské formy*. Vyd. 1. V Liberci: Technická univerzita, 2014, 165 s. ISBN 978-80-7494-083-5.
- [13] KRŇÁVEK, Václav a František STRÍTECKÝ. *Konstrukce forem pro odlitky lité pod tlakem a její vliv na výskyt vad*. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2007, roč. LV, č. 2-3, s. 81-86. ISSN 0037-6825.
- [14] *Tiesse Praha: Colosio* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.tiessepraha.cz/slevarenstvi-colosio-mazaci-zarizeni>
- [15] BAŘINKOVÁ, Dagmar a Jaroslav ČECH. *Změny parametrů liti a vliv termofyzikálních parametrů na jakost tlakově litých odlitků z Al slitiny*. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. LVI, č. 3-4, s. 185-188. ISSN 0037-6825.

- [16] MALIK, Jozef; FUTÁŠ, Peter; VASKOVÁ, Iveta. Vplyv parametrov litia a teploty vytvrdzovania na mechanické vlastnosti tlakového odlitku. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2009, roč. LVII, č. 1-2, s. 28-31. ISSN 0037-6825.
- [17] RUŽBARSKÝ, Juraj. Vplyv technologických parametrov tlakového litia na štruktúru odliatkov. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2009, roč. LVII, č. 3-4, s. 80-82. ISSN 0037-6825.
- [18] NOVÁKOVÁ, Iva a Iva NOVÁ. Struktura vysokotlakých odlitků ze slitin Al-Si. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2009, roč. LVII, č. 3-4, s. 75-79. ISSN 0037-6825.
- [19] ENGELHORN, Günter. Automatizovaný postřik forem. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. LVI, č. 3-4, s. 147-148. ISSN 0037-6825.
- [20] LICHÝ, Petr a Tomáš ELBEL. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Speciální metody výroby odlitků* [online]. 2008 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/632-Lichy-Specialni\\_metody.pdf](http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/632-Lichy-Specialni_metody.pdf)
- [21] JUNGER, Miloš. *Forma\_5451*, 2014. Interní zdroj firmy Alutex, spol. s.r.o.
- [22] *Fondarex: Swiss vacuum technology* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.fondarex.com/fr/produits/fonderie-sous-pression>
- [23] RUDOLF, Bedřich. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. *Tvářecí stroje I - Stroje pro lití kovu pod tlakem a zpracování plastických hmot*. První vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., Praha, 1969.
- [24] *Bühler* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://www.buhlergroup.com/global/en/about-buehler/news/archive/details-4723.htm?title=#.VWMGFk85\\_tR](http://www.buhlergroup.com/global/en/about-buehler/news/archive/details-4723.htm?title=#.VWMGFk85_tR)
- [25] BOLIBRUCHOVÁ, Dana; KANTORÍK, Radoslav; PASTIRČÁKOVÁ, Martina. Chyby hliníkových odliatkov odlievaných metódou vysokotlakového odlievania. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. LVI, č. 9-10, s. 422-426. ISSN 0037-6825.
- [26] WALKINGTON, William. NORTH AMERICA DIE CASTING ASSOCIATION. *Die casting defects* [online]. 2003 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.diecasting.org/education/online/courses/publications/515-tsg.pdf>

## Seznam použitých symbolů

$T_e$	[K]	Teplota eutektického bodu
$T_L$	[K]	Teplota likvidu
$T_{kovu}$	[K]	Teplota kovu
$T_{taval}$	[K]	Teplota tavení čistého hliníku
$v$	[cm/s]	Rychlost pístu
$L$	[mm]	Poloha pístu
$p_{1,2}$	[MPa]	Pracovní tlak
$r_{k1,2}$	[mm]	Kritická velikosti poloměru zárodku
$F_u$	[N]	Uzavírací síla
$F_{u1}$	[N]	Uzavírací síla vyvozená jednostupňovým mechanismem
$F_{u2}$	[N]	Uzavírací síla vyvozená vícestupňovým mechanismem
$F_{uj}$	[N]	Jmenovitá uzavírací síla
$H$	[cm]	Zdvih nosiče
$H_u$	[cm]	Vzdálenost nosiče od startovací polohy
$F_o$	[N]	Otevírací síla
$S_p$	[mm <sup>2</sup> ]	Projekční plocha odlevu
$p_s$	[MPa]	Specifický tlak kovu v dutině formy
$k$	[-]	Koeficient volený na základě složitosti formy
$F_v$	[N]	Vstřikovací síla
$R_m$	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	Hodnota smluvní meze kluzu
$A_{50}$	[%]	Tažnost
$HBS$	[-]	Tvrдость podle Brinella pro měkké materiály
$L_p$	[mm]	Poloha pístu při startu II. licí fáze
$V_p$	[m/s]	Plnicí rychlost