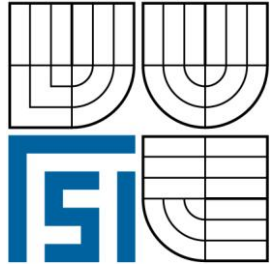


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE PROCESU LITÍ TLAKOVÉHO ODLITKU LOŽISKOVÉHO ŠTÍTU ELEKTROMOTORU

OPTIMIZATION OF DIECASTING PROCESS OF AN ELECTRIC MOTOR BEAR SHIELD CASTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ŠTĚPÁN KRŇÁVEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROMÍR ROUČKA, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Štěpán Krňávek

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Strojírenská technologie (2303R002)

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 procesu lití tlakového odlitku ložiskového štítu elektromotoru

v anglickém jazyce:

Optimization of diecasting process of an electric motor bear shield casting

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor vad typických pro odlitek štítu elektromotoru odlévaného z hliníkové slitiny metodou tlakového lití a jejich příčin.

Cíle bakalářské práce:

Návrh změny technologie odlévání s cílem odstranění vad odlitků.

Seznam odborné literatury:

1. ROUČKA, J. Metalurgie neželezných slitin. Skripta VUT. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
2. Katalog vad tlakových odlitků. SCHAEFFER CHEMICALS. Germany. Aalen: Arbeitsgemeinschaft Metallguss. 2008. BRITE/EURAM: PROJECT BE 3636(89).
3. BOLIBRUCHOVÁ, D. a TILLOVÁ. E. Zlievarenské zliatiny Al-Si. Skripta ŽU. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005. ISBN 80-8070-485-6.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 9.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací technologie lití pod tlakem u odlitku ložiskového štítu elektromotoru, který se odlévá ve slévárně Siemens Elektromotory s.r.o. v Mohelnici. V tomto odlitku se vyskytují slévárenské vady, které jsou nežádoucí a musí být odstraněny. V úvodu práce je proveden rozbor odlitku ložiskového štítu, jeho licí parametry, použitá slitina Al-Si9Cu3(Fe) a také problémy vzniklé v důsledku výskytu vad v odlitku. Dále je pak vysvětlena technologie lití pod tlakem, stroje používané v této technologii, nové konstrukční řešení těchto strojů a také nejčastěji vyskytující se vady u této technologie a jejich příčiny. V další části práce je provedena analýza odlitku rentgenem, termoanalýza odlehu a mikroskopická analýza dutiny vady. Na základě analýzy byly vady v odlitku identifikovány jako bubliny s uzavřeným vzduchem. Pro minimalizaci výskytu řešených vad v odlitku bylo navrženo několik možných nápravných opatření.

Klíčová slova

Lití pod tlakem, tlakové licí stroje, vady odlitků, analýza vad.

ABSTRACT

The present bachelor thesis deals with optimization of a die casting technology used to make a casting of an electric motor bear shield which is cast in the Siemens Elektromotory Ltd. foundry in the town of Mohelnice. There are foundry defects in the casting which are undesirable and must be removed. The introduction of the thesis is devoted to an analysis of the bear shield casting, its casting parameters, an alloy AlSi9Cu3(Fe) used and to problems resulting from the occurrence of defects in the casting. Subsequently, the die casting technology is explained, machines used in this technology and their new structural design are described, and the most frequently occurring defects in this technology and their causes are mentioned. In the following part of the thesis an x-ray analysis of the casting, a thermal analysis of the casting and a microscopic analysis of the defect cavity are carried out. On the basis of the analysis the casting defects have been identified as closed air - gas holes. To minimise the occurrence of the given casting defects several possible corrective measures have been suggested.

Key words

Die casting, die casting machines, casting defects, analysis of defects.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

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.

Prohlášení

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

25.5.2012

.....
Štěpán Krňávek

Poděkování

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

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU ODLITKU LOŽISKOVÉHO ŠTÍTU.....	9
1.1 Slitina AlSi9Cu3(Fe).....	10
1.2 Licí parametry řešeného odlitku.....	11
1.3 Místa odlitku s vyskytujícími se vadami.....	12
2 TECHNOLOGIE LITÍ POD TLAKEM.....	14
2.1 Slitiny používané v technologii lití pod tlakem.....	16
2.1.1 Slitiny Al-Si.....	17
2.2 Technologický proces lití.....	20
2.3 Odvzdušnění forem.....	23
2.4 Zásady navrhování tlakově litých odlitků.....	25
3 TLAKOVÉ LICÍ STROJE.....	28
3.1 Stávající tlakové licí stroje.....	28
3.2 Nová konstrukce tlakových licích strojů.....	32
4 VADY U TLAKOVĚ LITÝCH ODLITKŮ A JEJICH PŘÍČINY.....	35
4.1 Typické vady u tlakově litých odlitků.....	35
5 ANALÝZA VAD V ODLITKU LOŽISKOVÉHO ŠTÍTU.....	39
5.1 Analýza odlitku rentgenem.....	39
5.2 Mikroskopická analýza dutiny vady.....	40
5.2.1 Výbrus v místě vad.....	40
5.2.2 Analýza na stereoskopickém mikroskopu.....	42
5.3 Termoanalýza odlevu.....	44
5.4 Vyhodnocení vad v odlitku.....	46
6 NÁVRH ZMĚNY TECHNOLOGIE.....	47
6.1 Změny bez nutnosti odstavení formy.....	47
6.2 Změny s nutností odstavení formy.....	47
7 ZÁVĚR.....	49
Seznam použitých zdrojů.....	50
Seznam použitých symbolů.....	52
Seznam příloh.....	53

ÚVOD

Technologie lití pod tlakem je jednou z nejpoužívanějších technologií u odlévání hliníkových slitin, jejíž hlavní předností je dosažení vysoké přesnosti litých součástí a možností výroby odlitků komplikovaného tvaru čehož se u velké části jiných slévárenských technologií nedosahuje. Naopak zásadním problémem u tlakově litých odlitků je poměrně častý výskyt vad jako: porezita, staženiny, zavaleniny, bubliny, nedolití apod.

Ložiskový štít elektromotoru (*obr. 1.1*) ze slitiny $AlSi9Cu3(Fe)$, vyráběný ve slévárně závodu Siemens Elektromotory s.r.o. v Mohelnici je typickým příkladem tlakově litého odlitku, ve kterém se vyskytují některé z těchto vad.

Úkolem této práce je analyzovat vady v odlitku Ložiskového štítu elektromotoru a navrhnout způsob jak těmto vadám předejít. Pro analýzu vad v odlitku bude použito metod destruktivních a nedestruktivních. Na základě této analýzy bude navržena změna technologie, která povede k odstranění vad u tohoto odlitku.

Vznik vad v odlitku také ovlivňuje technologický proces tlakového lití, proto je důležité technologii lití pod tlakem vysvětlit. Konkrétně bude popsán technologický proces plnění dutiny formy, slitiny používané pro lití pod tlakem a také odvzdušnění forem. Pozornost bude věnována také strojům pro lití pod tlakem.

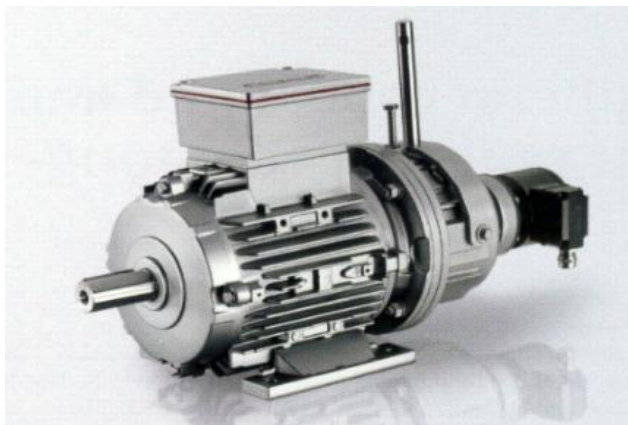


Obr. 1.1 Ložiskový štít elektromotoru - 3D model

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU ODLITKU LOŽISKOVÉHO ŠTÍTU

Tlakový odlitek ložiskového štítu (*obr. 1.1*) je jednou ze součástí nízkonapěťového asynchronního elektromotoru do 1250 kW vyrobeného firmou Siemens Elektromotory, s.r.o. v Mohelnici. Tento ložiskový štít je po odlití, otryskán a po obrobení je na montáži přišroubován na čelo statoru elektromotoru. Uprostřed odlitku je osazení, ve kterém je uloženo ložisko pro hřídel elektromotoru. Konkrétně se tento ložiskový štít montuje na jeřábové elektromotory (*obr. 1.2*) a elektromotory sloužící pro odsávání zplodin hoření (*obr. 1.3*).[1]

Jeřábové elektromotory je možné používat za nepříznivých podmínek uvnitř i venku a při drsném zacházení. Tyto motory se používají v lodních přístavech, přístavních zařízeních a u portálových jeřábů, které jsou součástí lodních přístavů.[1]



Obr. 1.2 Jeřábový elektromotor [1]

Oblast použití elektromotorů sloužících pro odsávání zplodin hoření je ve vysokých provozech, nákupních centrech, kinech, divadlech, na letištích, parkovacích garážích, schodištích a hlavně v tunelech, kde elektromotor je umístěn ve stropních částech tunelového komplexu, apod.[1]



Obr. 1.3 Elektromotor pro odsávání zplodin hoření [1]

1.1 Slitina AlSi9Cu3(Fe)

Ze slitiny AlSi9Cu3(Fe) je odléván řešený ložiskový štít elektromotoru. Jde o jednu z nejpoužívanějších slévárenských slitin a o slitinu druhého tavení. Hlavní využití této slitiny je v technologii lití pod tlakem. Kromě odlitků pro elektromotory se tato slitina hojně používá v automobilovém průmyslu. Typickými odlitky ze slitiny AlSi9Cu3(Fe) pro automobilový průmysl jsou např. skříně spojky a převodovky, bloky motoru, víka bloků válců atd. Tato slitina má také své uplatnění u odlitků s náročným tvarem a na odlitky, u kterých jsou kladeny vysoké jakostní a mechanické požadavky. Mohou to být také tvarově složité odlitky, jejichž některé stěny mají tloušťkou až 2 mm.[2,3]

- **Mechanické vlastnosti** (tab. 1.1):

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti slitiny AlSi9Cu3(Fe) [2,3]

Slitina	Rm [MPa]	Rp0,2 [MPa]	tvrdost HB	A ₅ [%]
AlSi9Cu3(Fe)	220-260	140	80-90	1

- **Fyzikální vlastnosti** (tab. 1.2):

Tab. 1.2 Fyzikální vlastnosti slitiny AlSi9Cu3(Fe) [3]

Slitina	Součinitel tepel. roztažnosti [20-200 °C] [10 ⁻⁶ /K]	Součinitel tepel. vodivosti [W/m.K]
AlSi9Cu3(Fe)	22	110-120

- **Chemické složení** (tab. 1.3):

Tab. 1.3 Chemické složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) dle normy EN 1706 AC [3]

Slitina	Chemické složení [%]										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
AlSi9Cu3(Fe)	8,0-11,0	1,3	2,0-4,0	0,55	0,05-0,55	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25

Předností této slitiny je dobrá zabíhavost a její malý sklon ke vzniku soustředěných staženin. Je zde doporučeno také očkování. Modifikace se doporučuje při odlévání do pískových forem. Zvýšením obsahu křemíku ve slitině se zlepšují slévárenské vlastnosti slitiny. I další prvky uvedené v (tab. 1.3) ovlivňují vlastnosti slévárenských slitin hliníku. [3]

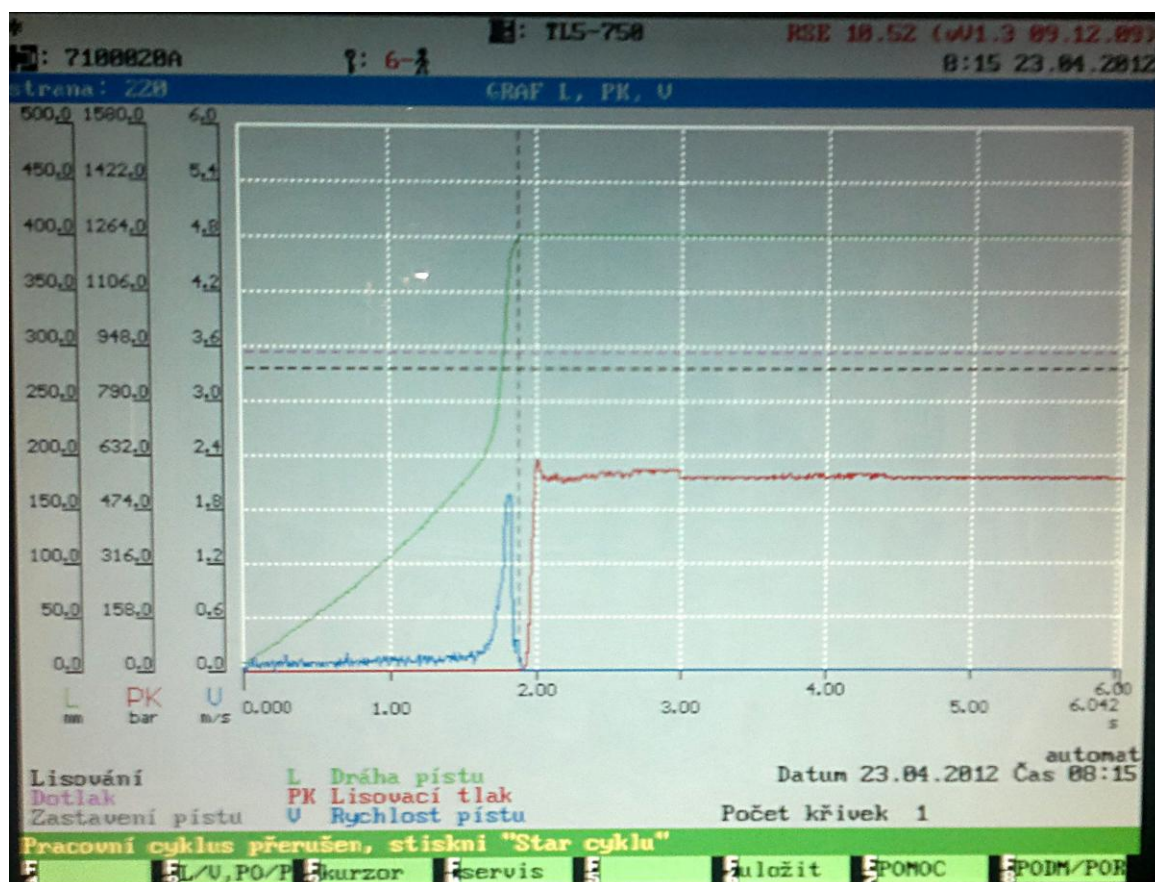
1.2 Licí parametry řešeného odlitku

Řešený odlitek LŠ byl odléván na tlakovém licím stroji se studenou komorou **CLH 630.05** a uzavírací silou **630 tun** (6,3 MN). Ošetřování dutiny formy bylo prováděno automatickým postřikovým zařízením fa. **Wollin**. Odlitek po odlití a tuhnutí byl vyjímán ručně pracovníkem. Odlitek byl odléván při následujících licích parametrech (tab. 1.4):

Tab. 1.4 Licí parametry

Licí parametry	hodnoty	jednotky
Lisovací síla	239	[kN]
Dotlak	62	[MPa]
Doba náběhu dotlaku	140	[ms]
Poloha pístu při startu II. fáze lisování	400	[mm]
Plnicí rychlost (II. fáze lisování)	1,96	[m/s]
Průměr plnicího pístu	70	[mm]

Tyto licí parametry byly odečteny z grafu průběhu lisování, který byl pořízen na výše uvedeném tlakovém licím stroji. Graf průběhu lisování je uveden na obr. 1.4.



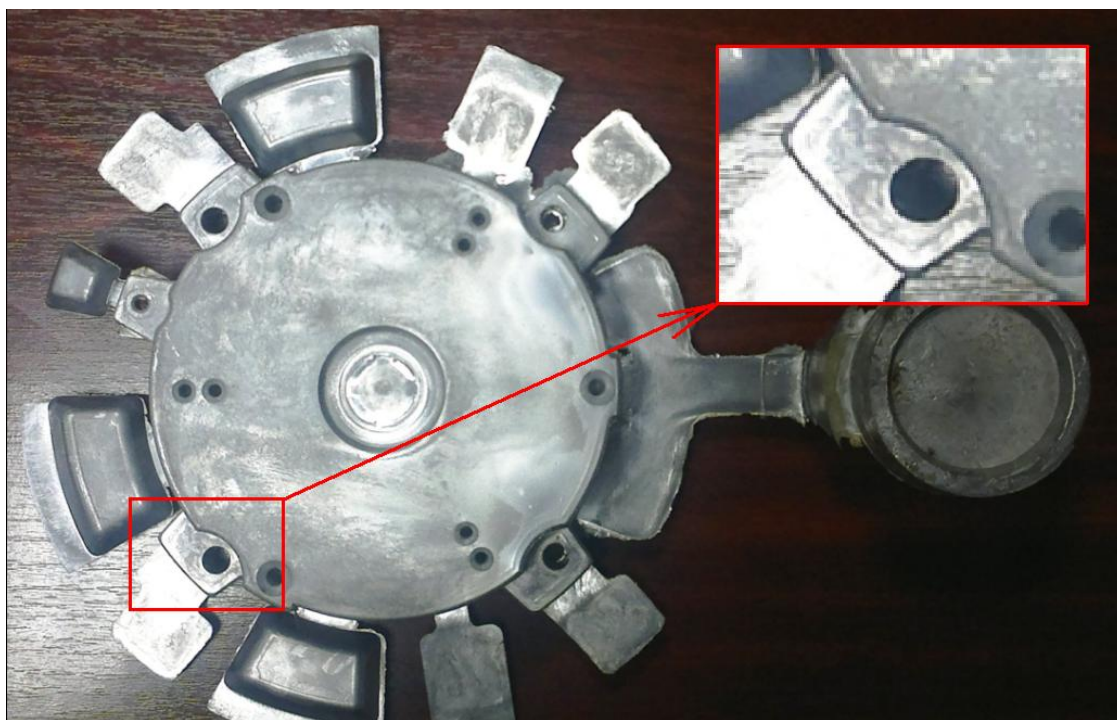
Obr. 1.4 Graf průběhu lisování

1.3 Místa odlitku s vyskytujícími se vadami

Problémem u odlitku ložiskového štítu elektromotoru, který byl firmou Siemens s.r.o. vyhodnocen jako zmetek jsou vnitřní vady, které se nachází v odlitku v „oušku“ (obr. 1.5), do kterého se po odlití vrtá otvor o průměru 5,3 mm a následně vyřeže závit M6. Tento otvor se tedy nepředlévá. Právě vyřezaný závit je poškozen těmito vadami. Tento otvor se závitem slouží pro spojení štítu elektromotoru s plechovým krytem motoru. Takto poškozený závit pak neplní dostatečně svou funkci. Šroubový spoj by v tomto případě nezajistil dostatečné spojení obou součástí a šroub by pak byl v závitě uvolněný. Důsledkem špatného šroubového spoje dochází k zvýšení hluku elektromotoru. Hlučnost je jednou z důležitých a garantovaných veličin.

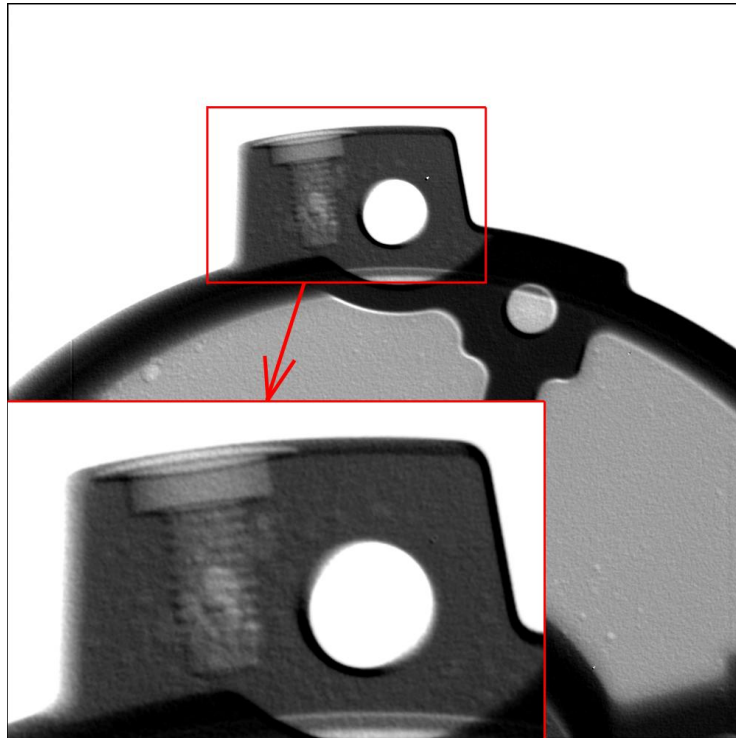
Důsledkem těchto vad v odlitku je zvyšující se interní zmetkovitost při výrobě ložiskového štítu a reklamace elektromotorů u zákazníků. Tímto vznikají náklady na odstranění těchto vad. Tyto vnitřní vady jsou doloženy rentgenovým snímkem (obr. 1.6). O jaký typ vady tlakově litého odlitku se jedná, se zjistí analýzou vad v kapitole 5.

- Místa na odlitku LŠ s vyskytujícími se vadami (obr. 1.5):



Obr. 1.5 Vady nacházející se v „oušku“ odlitku

- **Rentgenový snímek vad v „oušku“ (RTG):**



Obr. 1.6 Rentgenový snímek vad v okolí díry se závitem - pohled zepředu

- **Geometrie odlitku:**

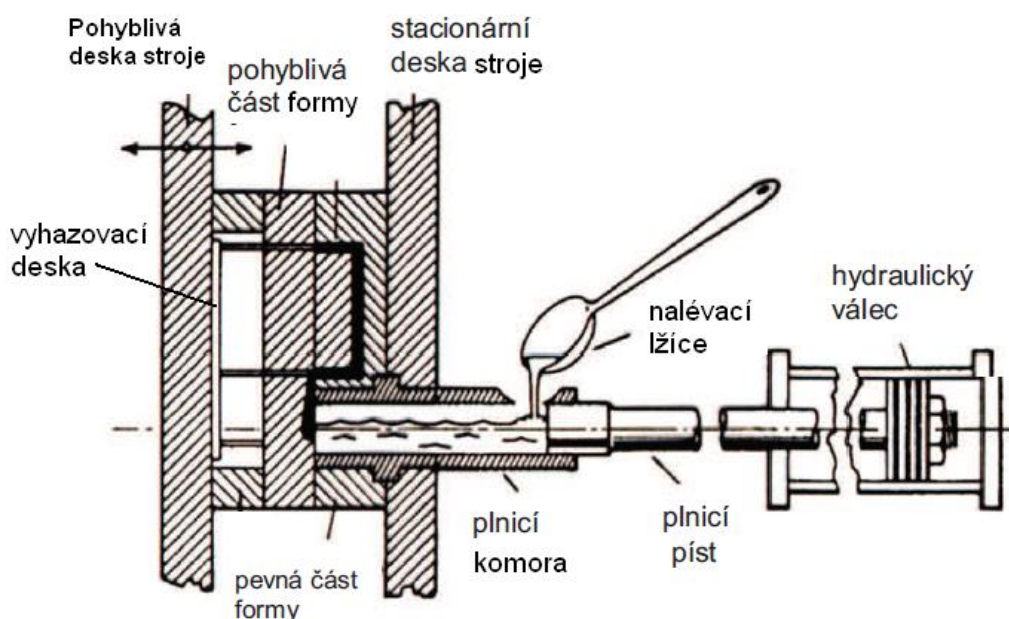
Geometrie odlitku a jeho tvar je zřejmý z výkresu odlitku č. 5_129_71000_20_000, který je uveden v příloze č. 1. Výkres odlitku č. 5_129_71000_20_001 pro obrobení děr a závitů v oušcích odlitku je uveden v příloze č. 2. Geometrie vložky formy je uvedena na výkrese č. 25327100920913 v příloze č. 3.

2 TECHNOLOGIE LITÍ POD TLAKEM

Technologie lití pod tlakem je metoda odlévání, která spadá do skupiny lití do trvalých kovových forem a protože je touto technologií vyráběn ložiskový štít, je dobré ji vysvětlit. Jedná se o techniku odlévání, která je známa skoro 100 let a která se rychle vyvíjí. Významným způsobem k vývoji této technologie přispěla Česká republika, kdy ve 20. letech byl udělen patent p. Ing. Polákovi - byl sestaven lisovací mechanismus se studenou komorou. Tento mechanismus znamenal přelom ve světě a Československo tehdy zaujalo přední místo ve výrobě a vývoji strojů pro lití pod tlakem. Splněním určitých podmínek jde o nejrychlejší a ekonomicky výhodnou výrobní technologii při výrobě součástí s vysokým standardem provedení. [4,5]

Je to nejčastěji používaná technologie lití hliníkových odlitků, kde její podstatou je plnění dutiny kovové formy vstřikováním roztavené slitiny pod vysokým tlakem až 100 MPa, proto se tato technologie také označuje názvem vysokotlaké lití. Kovová forma je dvoudílná, kde jedna polovina formy je pohyblivá a druhá pevná. Dobře zkonstruovaná a vyrobená forma je základním předpokladem ekonomické výhodnosti výrobní technologie.

Kov se nejprve nalije do plnicí komory (ručně, použitím manipulačního robota, nebo automaticky z dávkovací pece), následně je roztavený kov pod tlakem pomocí plnicího pístu vstříknut do formy. V konečné fázi plnění dutiny formy je aplikován tzv. „dotlak“, kterým je kompenzováno smrštění a také je zajištěno dokonalé vyplnění všech částí formy. Odlitek se pak vyjímá z formy pomocí vyhazovačů po otevření pohyblivé části formy. Odebírání ze stroje se pak provádí ručně, nebo robotem. Takto vyjmutý odlitek obsahuje vtokovou soustavu, která se ostříhuje na ostříhovacích lisech, které jsou součástí pracoviště tlakového licího stroje. Odlitky jsou dále dokončovány apretováním, omíláním, nebo také obráběním. Na obr. 2.1 je zachycen princip lití pod tlakem u horizontálního licího stroje se studenou tlakovou komorou.[3,4,5]



Obr. 2.1 Lití pod tlakem na stroji se studenou tlakovou komorou [3]

Tímto způsobem lití lze vyrábět odlitky s komplikovaným tvarem a také odlitky s vysokou rozměrovou přesností. Je tedy možné odlévat tenkostěnné odlitky, jejichž tloušťka bývá přibližně 1÷2 mm. Tvar odlitku musí být navržen tak, aby bylo možné jej po odlití vyjmout z kovové formy stroje. Otvory jsou předlévány pomocí kovových jader.[3] V současné době je již také nově vyvinuta technologie výroby solných jader, které jsou vkládány do dutiny formy před jejím zavřením. Po odlití je odlitek vložen do vody, kde dojde k rozpuštění jader. Tímto je možné odlévat odlitky s tvarově komplikovanými dutinami a odstranit tak jednu z hlavních nevýhod technologie lití pod tlakem.

Tlakovým litím nevznikají příliš kvalitní odlitky, co se vnitřní homogenity týče, protože vlivem rozstříku kovu ve formě vzniká velké množství vměstků, což jsou nežádoucí cizí částice, které ovlivňují čistotu kovu. Dalším problémem je možný zbytek uzavřeného vzduchu, který je příčinou vzniku bublin v odlitku. Používají se vakuované formy, které napomáhají k zlepšení některých těchto problémů tím, že se z formy odsává vzduch. [3] Ukázky tlakově litých odlitků jsou na obr. 2.2 a 2.3.



Obr. 2.2 Tlakové odlitky kompresorů klimatizací [6]



Obr. 2.3 Tlakový odlitek statoru elektromotoru [7]

2.1 Slitiny používané v technologii lití pod tlakem

V současné době se touto technologií odlévají převážně slitiny hliníku, jedná se především o slitiny hliníku s křemíkem Al-Si, kterým se také říká siluminy. Tlakovým litím se nejčastěji odlévají odlitky pro automobilový průmysl, a právě zde mají největší využití Al-Si slitiny. Hliníkové slitiny se odlévají na tlakových licích strojích se studenou komorou (obr. 2.1).

Na tlakových licích strojích s teplou komorou se odlévají slitiny zinku a slitiny hořčíku. Slitiny Mg, které se vyznačují nízkou hmotností, jsou odlévány na strojích s teplou komorou do uzavírací síly asi 400 tun. U větších odlitků jsou používány stroje se studenou komorou. V českých slévárnách se zatím sériově hořčíkové slitiny neodlévají.

Nejdůležitější fyzikální vlastnosti slitin pro lití pod tlakem [4]:

- hustota [kg/dm^3],
- teplota tavení [$^{\circ}\text{C}$],
- optimální licí teplota [$^{\circ}\text{C}$],
- lineární smrštění při tuhnutí [mm/m].

Tyto důležité fyzikální vlastnosti je nutné brát v úvahu při návrhu technologie lití pod tlakem.[4]

Základní mechanické vlastnosti slitin pro lití pod tlakem [4]:

- pevnost v tahu, R_m [MPa],
- napětí na mezi kluzu, $R_{p0,2}$ [MPa],
- procentuální prodloužení [%],
- tvrdost, tvrdost podle jednotek Brinela, HB.

Při konstrukci odlitků a následné konstrukci tlakových forem se musí důsledně vycházet z těchto výše uvedených vlastností.[4]

Požadované vlastnosti slitin pro lití pod tlakem [4]:

V následujících bodech jsou uvedeny vlastnosti, které musí slitiny pro lití pod tlakem splňovat.[4]

- Slévatelnost

Je to schopnost kovu dokonale vyplnit dutinu formy a vyplnit roztaveným kovem i ty nejmenší detaily formy. Slitina s dobrou slévatelností je důležitým předpokladem pro odlití kvalitních a tenkostěnných odlitků. Dobrá slévatelnost slitiny umožňuje odlévat odlitky bez studených spojů, zavalenin, staženin a porézity. Umožňuje získat odlitek s dobrými mechanickými vlastnostmi.[4]

- Bod tání a interval tuhnutí

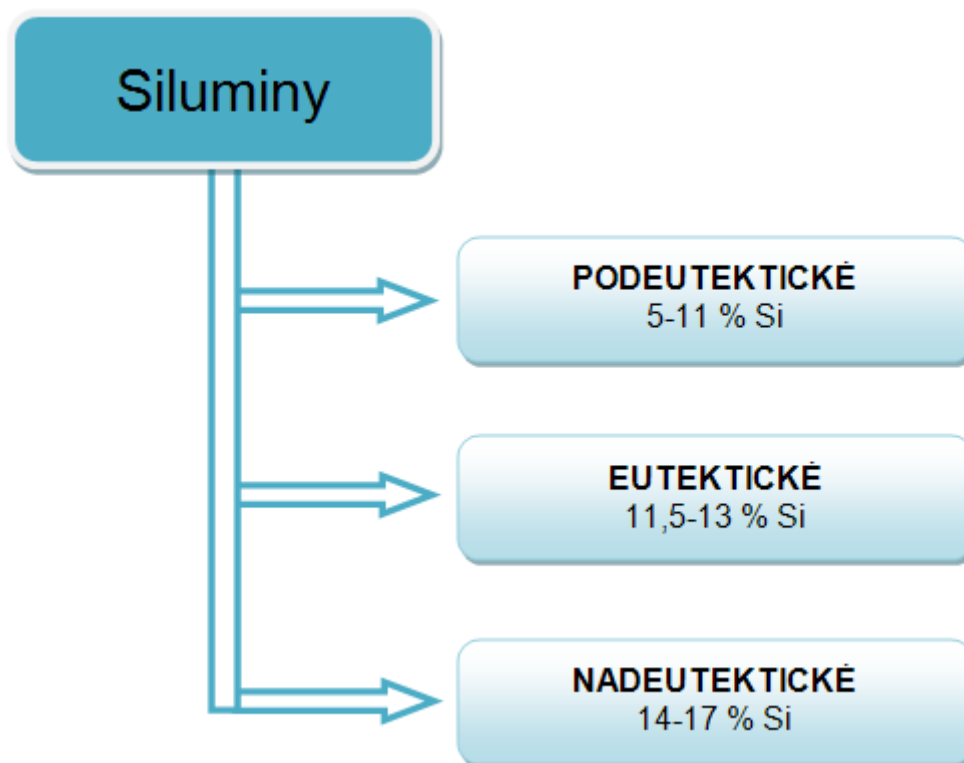
Žádoucí je také nízký bod tání, protože umožňuje vyšší produkci výroby a tím delší životnost formy. Forma je vystavena nižšímu stupni tepelného namáhání, proto se prodlužuje její životnost. Dále je pak žádoucí široký interval

tuhnutí slitiny, který umožňuje pomalejší plnění dutiny formy stroje a tím dochází k lepšímu odvzdušnění formy.[4]

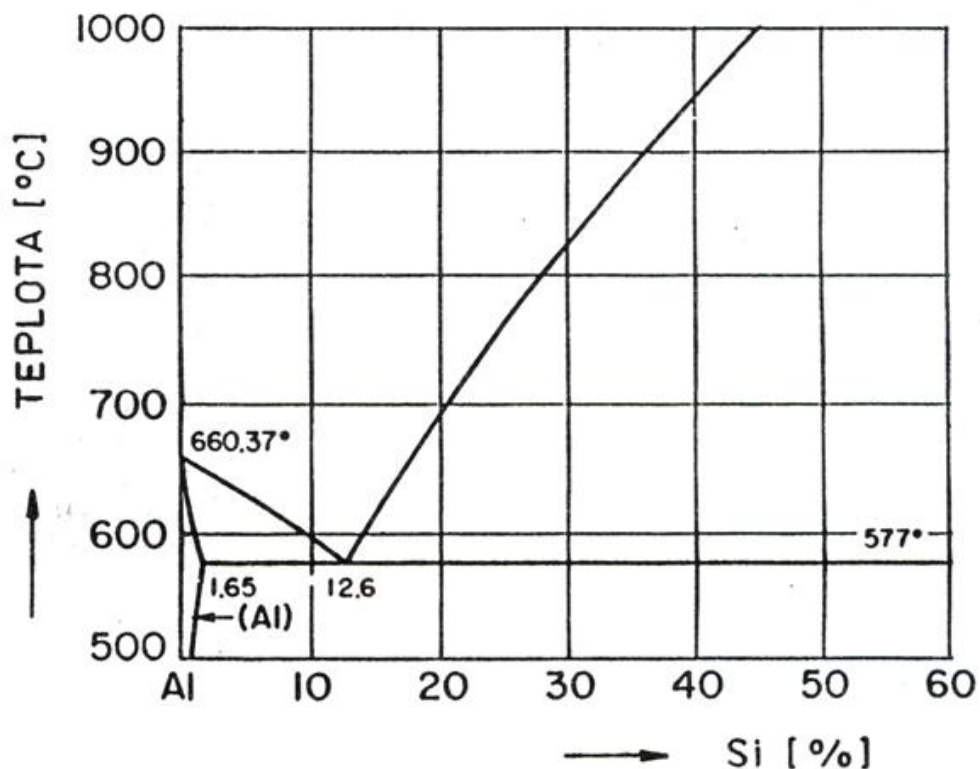
2.1.1 Slitiny Al-Si

Slitiny Al-Si jsou nejdůležitějším druhem slévarenských slitin hliníku, které představují drtivou většinu produkce hliníkových odlitků. Rozpustnost křemíku v hliníku je značně omezená. Maximální rozpustnost křemíku v hliníku při eutektické teplotě je 1,65 % Si a s klesající teplotou se pořád snižuje. Obsah křemíku je ve slévarenských slitinách vždy vyšší, než je maximální rozpustnost v tuhém roztoku $\alpha(\text{Al})$. Z tohoto důvodu tyto slitiny vždy obsahují eutektikum $\alpha(\text{Al})$ -Si. Křemík má eutektickou koncentraci 12,5 % Si a to při eutektické teplotě 577 °C. Tyto informace jsou také zřejmé z rovnovážného binárního diagramu Al-Si (obr. 2.5).[3]

Podle obsahu křemíku se siluminy dělí na podeutektické, eutektické a nadeutektické. Siluminy podeutektické obsahují vždy více než 5% Si, ale většinou se jeho obsah pohybuje mezi 7 ÷ 11 %. U eutektických je obsah křemíku cca 11,5 ÷ 13 % u nadeutektických kolem 14÷17%. U lití pod tlakem se využívají siluminy podeutektické a eutektické. Rozdělení siluminů je také vyobrazeno na obr. 2.4.[3]



Obr. 2.4 Rozdělení siluminů



Obr. 2.5 Rovnovážný binární diagram Al-Si [3]

Vlastnosti slitin Al-Si pro lití pod tlakem:

Nejpoužívanější siluminy pro lití pod tlakem jsou uvedeny v *tab. 2.1*, kde jsou jejich mechanické vlastnosti a v *tab. 2.2*, kde jsou jejich slévárenské vlastnosti.

Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti siluminů pro lití pod tlakem [3]

Slitina		Mechanické vlastnosti			
číselné značení	chemické značení	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₅₀ [%]	tvrdost HB
EN AC-43400	EN AC-ALSi10Mg(Fe)	240	140	1	70
EN AC-44300	EN AC-ALSi12(Fe)	240	130	1	60
EN AC-46000	EN AC-ALSi9Cu3(Fe)	240	140	< 1	80
EN AC-46500	EN AC-ALSi9Cu3(Fe)(Zn)	240	140	< 1	80
EN AC-47100	EN AC-ALSi12Cu1(Fe)	240	140	1	70

Tab. 2.2 Slévárenské vlastnosti siluminů pro lití pod tlakem [3]

Slitina		Slévárenské vlastnosti			
číselné značení	chemické značení	interval tuhnutí [°C]	zabíhavost	odolnost proti vzniku trhlin	nepropustnost
EN AC-43400	EN AC- AlSi10Mg(Fe)	600-650	A	A	C
EN AC-44300	EN AC- AlSi12(Fe)	580-570	A	A	C
EN AC-46000	EN AC- AlSi9Cu3(Fe)	600-490	B	B	C
EN AC-46500	EN AC- AlSi9Cu3(Fe)(Zn)	580-530	B	B	B
EN AC-47100	EN AC- AlSi12Cu1(Fe)	620-530	A	A	C

Vysvětlivky slévárenských vlastností [3]:

A – výborné, B – velmi dobré, C – dobré.

Použití slitin Al-Si pro lití pod tlakem [3]:

- Slitina EN AC- AlSi10Mg(Fe) :

Oblast použití - pro tvarově složité, tenkostěnné odlitky s vysokou pevností po vytvrzení a výbornou korozní odolností.

Příklady odlitků - Strojní součásti s vysokými nároky, např. hlavy válců, klikové skříně, brzdové čelisti, vibrující, rychloběžné součástky pro motory, ventilátory a jiné.

- Slitina EN AC- AlSi12(Fe) :

Oblast použití - pro více namáhané odlitky odolné proti korozi a odolnosti proti vzniku prasklin.

Příklady odlitků - odlitky namáhané rázy, se složitými napěťovými poměry, hlavy a bloky motorů, klikové skříně, tělesa pump, lopatková kola, žebrovaná tělesa, tenkostěnné skříně.

- Slitina EN AC- AlSi9Cu3(Fe) :

Oblast použití - slitina vhodná pro všeobecné použití, rovněž pro tvarově složité odlitky.

Příklady odlitků - Složité strojní součásti, odlitky pro automobilní průmysl, klikové skříně, součástky pro elektrotechniku, ložiskové skříně, víka, kryty, nebo štíty.

- Slitina EN AC- AlSi9Cu3(Fe,Zn) :

Oblasti použití i příklady odlitků jsou stejné jako u slitiny EN AC- AlSi9Cu3(Fe) .

- Slitina EN AC-*AlSi12Cu1*(Fe):

Oblasti použití - pro tvarově složité a tenkostěnné odlitky.

Příklady odlitků - Odlitky namáhané rázy, se složitými napěťovými poměry, hlavy a bloky motorů, klikové skříně, tělesa pump, lopatková kola, žebrovaná tělesa, tenkostěnné skříně.

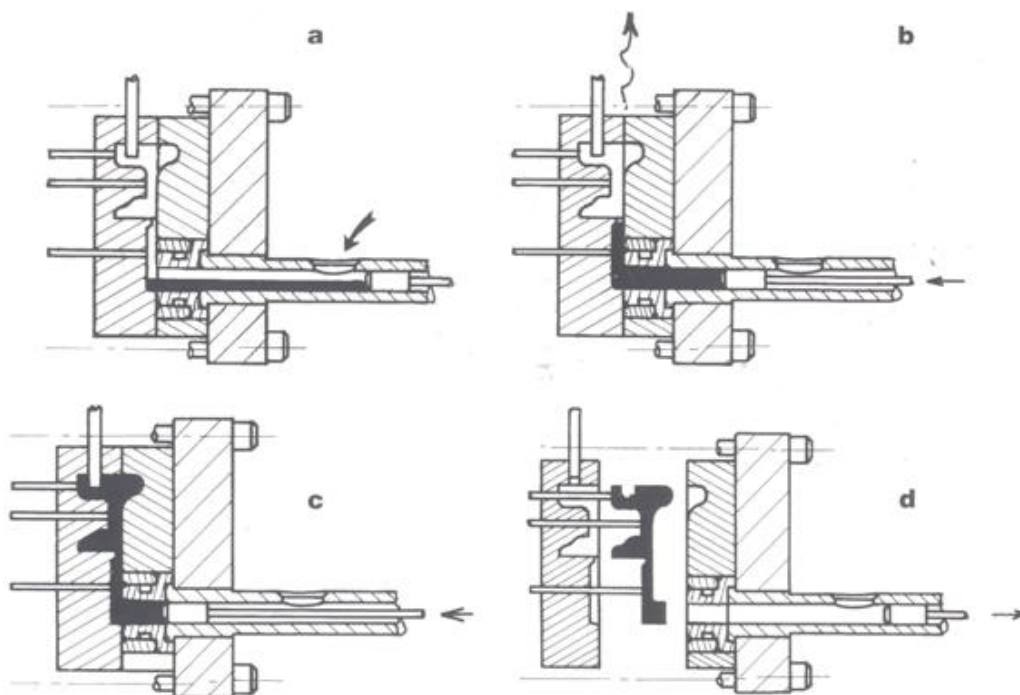
2.2 Technologický proces lití

Proces lití je zde vysvětlen pro lití pod tlakem na stojích s horizontální plnicí komorou. Technologický proces lití se skládá z několika základních úkonů [5]:

- uzavření stroje a formy,
- nalití tekutého kovu do plnicí komory,
- zalisování,
- doba tuhnutí,
- otevření formy a vyhození odlitků,
- ošetření formy a komory,
- zavření stroje a formy.

ad a) **Uzavření stroje a formy.** V tomto prvním úkonu se jedná o sjetí jader s pomocí tahačů na pohyblivém nebo pevném díle formy a uzavření formy stroje.[5]

ad b) **Nalítí tekutého kovu do plnicí komory.** Tento úkon se provádí ručně, nebo automaticky dávkováním. Pokud se provádí nalévání ruční, je nutné mít k dispozici nalévací lžíce určitých velikostí podle objemu, který odpovídá hmotnosti nalitého kovu pro surový odlitek. Automatické dávkování je realizováno dávkovací pecí, která je součástí pracoviště tlakového licího stroje.[5]



Obr. 2.6 Jednotlivé fáze plnění dutiny formy [4]

ad c) **Zalisování.** V tomto úkonu dochází k plnění dutiny formy tekutým kovem. Rozhodujícími činiteli při tomto úkonu jsou rychlost pístu, velikost naříznutí ve formě a délka dráhy pístu. Plnění dutiny formy pak probíhá v následujících fázích, které jsou mimo jiné uvedeny na *obr. 2.6*. [5]:

1. Naplnění komory kovem - píst je před plnicím otvorem, tato fáze je nakreslena *obr. 2.6 a*. [5]

2. Plnění dutiny vtokovým naříznutím - v této fázi píst zalisuje tekutý kov do dutiny formy a po provedení tohoto úkonu je za plnicím otvorem. Při této fázi dochází také k odvzdušnění formy. Tato fáze je vyobrazena na *obr. 2.6 b*. [5] Lisování je dnes u moderních strojů řízeno v reálném čase. Tento řízený průběh lisování se nazývá „parashot“. U tohoto řízeného průběhu lisování nedochází k smíchání vzduchu s taveninou v plnicí komoře, což je důležitý předpoklad pro odlití kvalitních odlitků. Na *obr. 2.8* se nachází srovnání řízeného a tradičního průběhu lisování. [8]

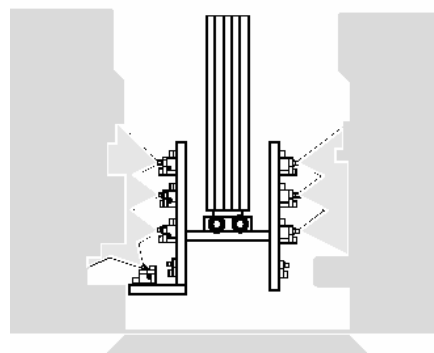
3. Ukončení plnění dutiny formy - píst je po ukončení plnění dutiny formy v konečné poloze (*obr. 2.6 c*), následovat bude dotlak. [5]

4. Dotlak - v této fázi je aplikován tzv. dotlak, jde o dodatečné působení tlaku na tekutý kov v zaplněné dutině formy. Včasně působení dotlaku je zárukou kvality tlakových odlitků. Dotlakem je kompenzováno smrštění a také je zajištěno dokonalé vyplnění dutiny formy. [4,5] Při návrhu odlitků se nekonstruují nálitky, protože je aplikován dotlak, který dokáže nahradit funkci nálitky.

ad d) **Doba tuhnutí.** Je dána velikostí dávky tekutého kovu, tvarem odlitku a systémem chlazení nebo regulací teploty formy. Doba tuhnutí má vliv na kvalitu odlitku, na životnost formy a její poruchovost obzvláště při předčasném otevření formy. [5]

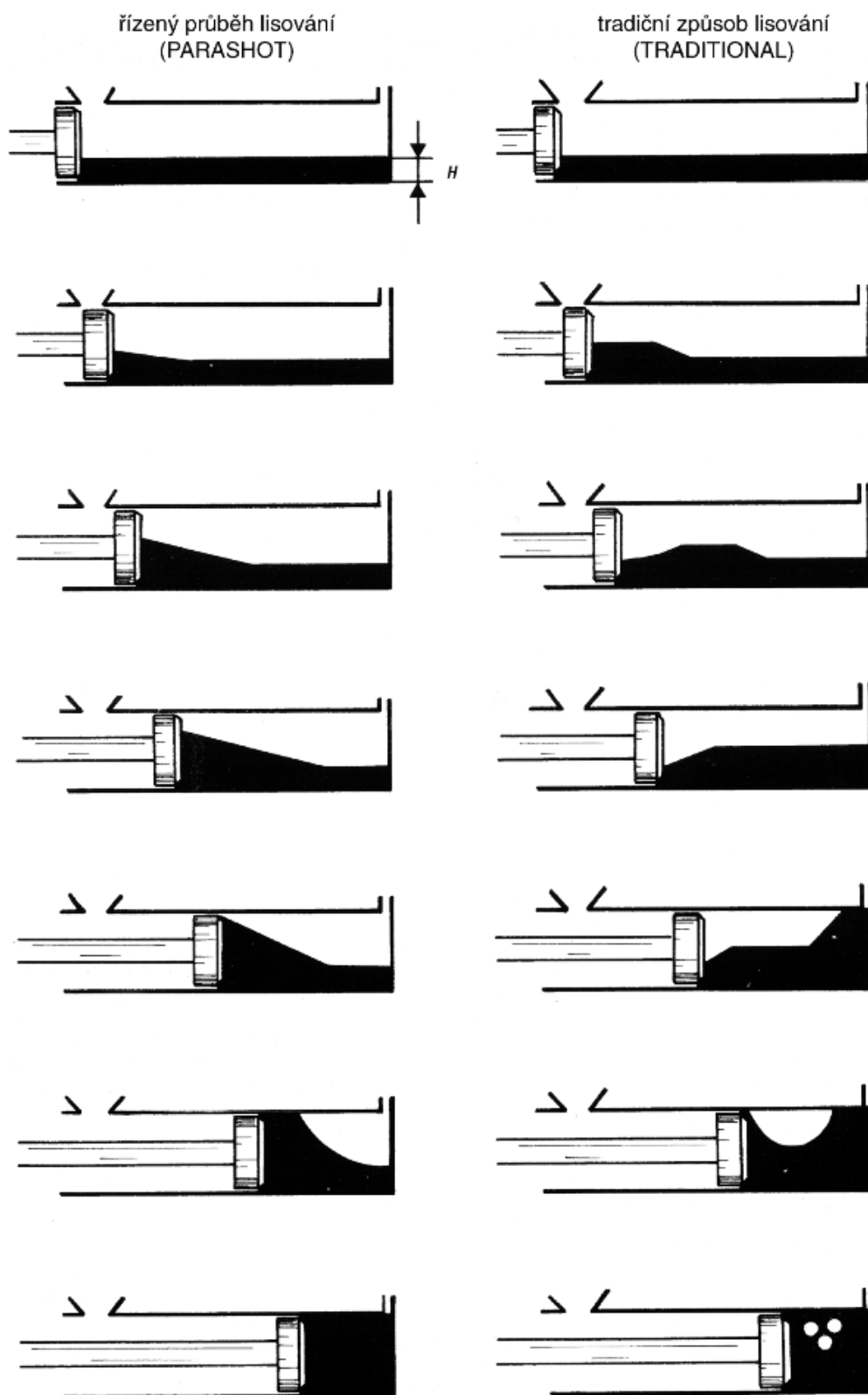
ad e) **Otevření formy a vyhození odlitků.** Při tomto úkonu se může projevit špatná práce konstruktéra, který chybně navrhl rozmístění vyhazovačů, v nedostatečném počtu vyhazovačů a v nedokonalé funkci tahačů nebo šikmých kolíků. Správná funkce je taková, že odlitek nebo celá sestava odlitků je pomocí vyhazovačů vynesena z formy, která zůstane na vyhazovačích do okamžiku odebrání odlitků kleštěmi slévače nebo vyjímacím zařízením (*obr. 2.6 d*). [5]

ad f) **Ošetření formy a komory.** Vhodně použité mazadlo a správně vyrobená forma by měla zajistit dobrý průběh tohoto úkonu. Mazání se provádí ručně nebo automaticky. U ručního mazání se používá tlaková pistole, která zaručí nanesení dělicího prostředku nebo mazadla tak, aby vytvořil slabou vrstvu filmu. U automatického mazání se využívá strojů se soustavou trysek, které po otevření formy zajedou mezi obě poloviny formy a provedou vstříknutí mazadla (*obr. 2.7*). [5]



Obr. 2.7 Ošetřovací zařízení firmy Wollin [9]

ad g) **Zavření stroje a formy.** Po uzavření stroje a formy se celý technologický proces lití opakuje.[5]



Obr. 2.8 Porovnání řízeného a tradičního způsobu lisování [4]

2.3 Odvzdušnění forem

Dutina formy je před začátkem plnění kovem zaplněna vzduchem a zplodinami vzniklými z tepelné reakce dělicích prostředků a mazadel. Tento vzduch zabraňuje tavenině správnému tečení a vyplnění dutiny formy. Dále je tento vzduch strháván jednotlivými proudy taveniny a dochází ke smíchání s taveninou. Toto má za následek vznik vad v odlitku. Proto je nutné odstranit, minimalizovat množství vzduchu v dutině formy. Technologický proces, kterým se minimalizuje obsah vzduchu v dutině formy se nazývá odvzdušnění a je ho možno provádět několika způsoby. Důležitým předpokladem pro odvzdušnění dutiny formy je však správné zaplnění formy kovem. Průběh zaplnění plnicí komory a následně dutiny formy musí probíhat podle systému „parashot“ jak bylo uvedeno na obr. 2.8.[8]

V dnešní době se používá několik způsobů odvzdušnění forem. Tyto způsoby jsou uvedeny v následujících bodech a jsou seřazeny podle jejich účinnosti.

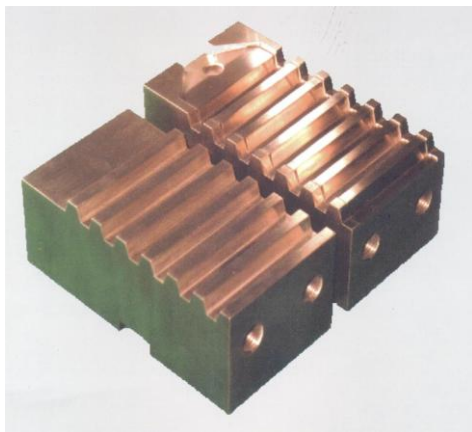
a) Odvzdušnění pomocí přetoků - je to starší způsob odvzdušnění formy, ke kterému se nepotřebuje žádného přídavného zařízení. Přetoky jsou konstrukční prvky vytvořené ve formě na kraji odlitku. Po zaplnění odlitku roztaveným kovem je vzduch odveden do těchto přetoků. Jedná se o méně účinný způsob odvzdušnění formy. Odvzdušnění řešeného odlitku ložiskového štítu je provedeno pomocí přetoků a ty jsou uvedeny na obr. 2.9.



Obr. 2.9 Přetoky na odlitku ložiskového štítu

b) Odvzdušnění pomocí valchy (vlnovce) - valcha je odvzdušňovací vložka umístěna ve formě. Mezi valchou a odlitkem je plnicí kanál, který je zaústěn do odlitku v místech, kde je nutné odvést vzduch. Vzduch tlačný kovem je odváděn mezerou v dělení valchy z prostoru formy. Valcha je konstrukčně řešena tak, aby rychlost taveniny vstupující do valchy byla snížena a aby současně došlo vlivem většího odvodu tepla k ztuhnutí taveniny. Současně zbrzděna a ochlazená. Valchy se nejčastěji vyrábí ze slitin Cu-Be a jsou opatřeny

chladícím kanálem pro zvětšení odvodu tepla. Vzhledem k větší vzdálenosti mezi oběma polovinami valchy je dosaženo většího odvodu objemu vzduchu. Účinnost tohoto způsobu odvzdušnění je větší, než u odvzdušnění pomocí přetoků. Ukázka odvzdušňovací valchy je uvedena na *obr. 2.10*.



Obr. 2.10 Valcha [10]



Obr. 2.11 Odsávaná valcha [11]

c) Odsávaná valcha - jedná se o stejný princip jako u vlnovcové valchy popsané v bodě b). Rozdíl je v tom, že na konci valchy je zaústěno vakuovací zařízení, sloužící pro odsátí vzduchu z dutiny formy přes valchu. Vzduch je tedy uměle odsáván – vakuován přes valchu z dutiny formy do vakuovacího zařízení. Účinnost u tohoto způsobu odvzdušnění je vyšší, než u klasické valchy bez odsávání. K tomuto způsobu odvzdušnění je však nutné pořízení vakuovacího zařízení. Valchy, které se používají s vakuovacím zařízením, jsou na *obr. 2.11*.

c) Vakuování s ventilem - Vakuování pomocí ventilu je neúčinnější způsob odvzdušnění formy a plnicí komory. Princip je založen na odsávání vzduchu z formy pomocí vakuovacího ventilu (*obr. 2.12*). Ve formě se nekonstruují přetoky, ale za odlitkem jsou vyrobeny odvzdušňovací kanálky, kterými je vzduch odsáván pomocí vakuovacího ventilu z formy. Jedná se o neúčinnější metodu odvzdušnění, ale také vzhledem k pořizovacím nákladům na vakuovací ventil a vakuovací zařízení o nejdražší metodu odvzdušnění. Tato metoda se používá u velmi náročných odlitků na porezitu.



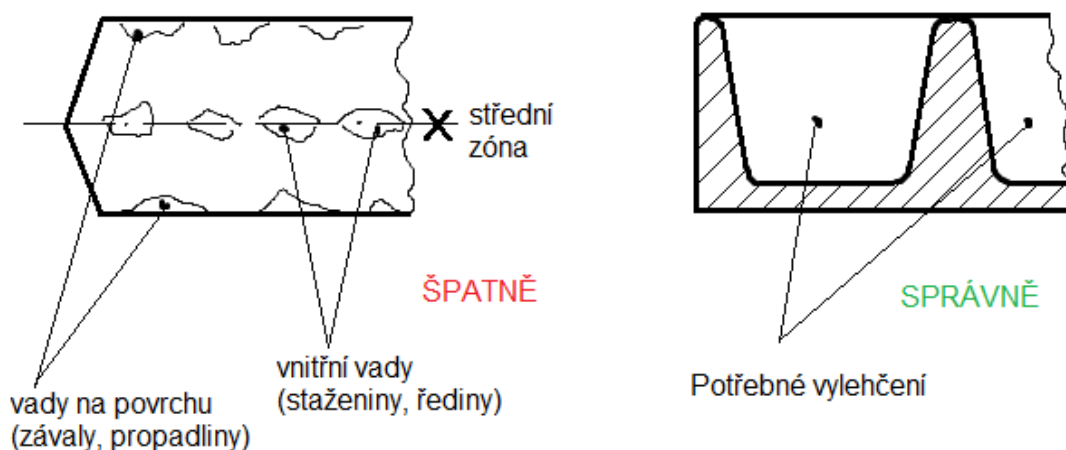
Obr. 2.12 Vakuovací ventil firmy Fondarex [11]

2.4 Zásady navrhování tlakově litých odlitků

Důležitým předpokladem pro zhotovení kvalitního odlitku (bez vad) je správná konstrukce odlitku. Odlitek musí být navržen tak, aby jeho konstrukce odpovídala zásadám lití pod tlakem. Proto je důležité tyto základní zásady vysvětlit. Při navrhování odlitků je vyžadována vzájemná spolupráce konstruktéra součásti, konstruktéra formy pro lití pod tlakem a technologa slévárny. Uvedení pracovníci by měli mít alespoň základní znalosti o technologiích a potřebách svých partnerů.[5]

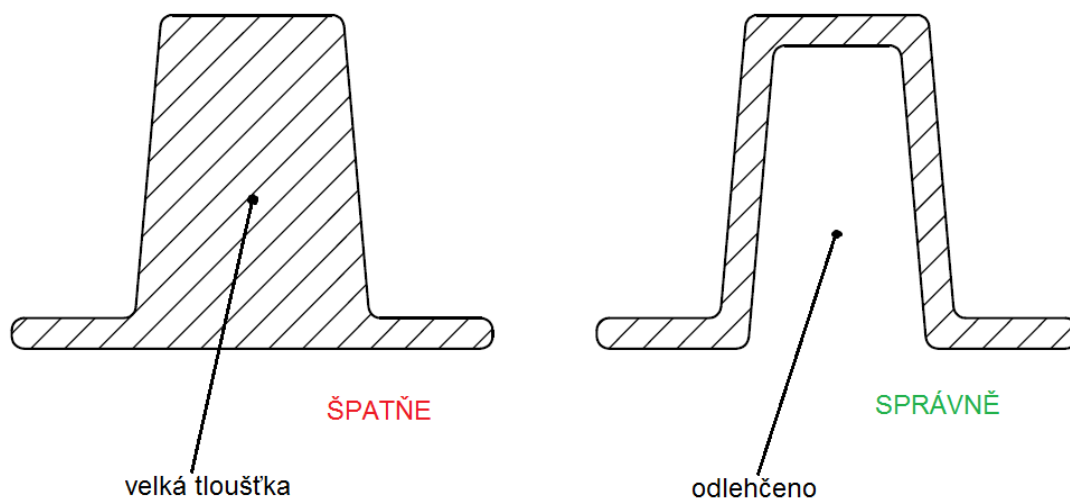
Jako příklad jsou zde uvedeny některé nevhodné tvary odlitků litých pod tlakem a návrhy opatření jak je upravit (obr. 2.13, 2.14 a 2.15).[5]

Na obr. 2.13 je špatně navržená stěna odlitku (stěna je příliš tlustá), kde pak vznikají staženiny a řediny. Správným řešením je konstrukce odlitku s potřebným vylehčením.



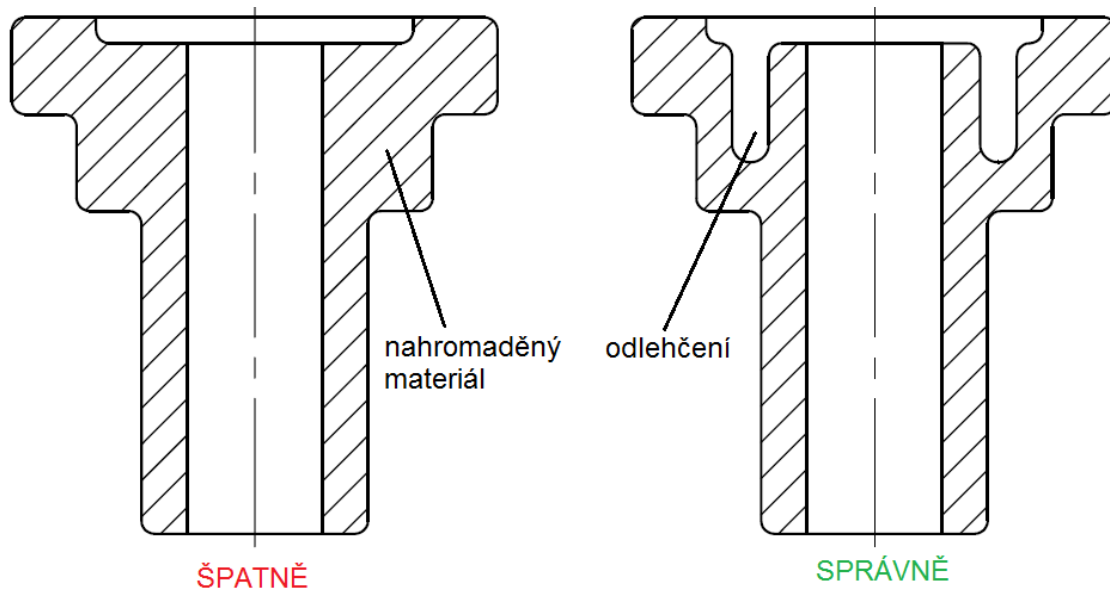
Obr. 2.13 Vady na povrchu a uvnitř a potřebné vylehčení [5]

Na obr. 2.14 je zobrazen odlitek s velkou tloušťkou materiálu, což je chybné konstrukční řešení. Náprava konstrukce je zde provedena odlehčením odlitku, tak aby se dosáhlo konstantní tloušťky odlitku.



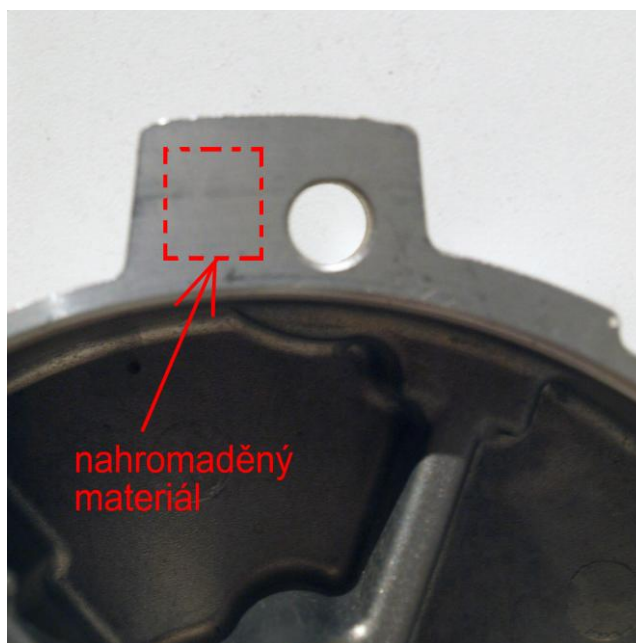
Obr. 2.14 Velká tloušťka materiálu a odlehčení [5]

Dalším příkladem nevhodně navrženého odlitku je odlitek s nahromaděným materiálem (obr. 2.15). Správné řešení konstrukce je zde opět realizováno odlehčením.



Obr. 2.15 Nahromaděný materiál a odlehčení [5]

U všech výše uvedených obrázků (obr. 2.13, 2.14 a 2.15) se tedy náprava řešila odlehčením, nebo vylehčením. U odlitku LŠ elektromotoru je také špatně provedená konstrukce. Na obr. 2.16 je zobrazeno místo na odlitku LŠ, kde je nahromaděný materiál, což je jeden z problémů, jehož důsledkem se vyskytují vady v „oušku“ odlitku.



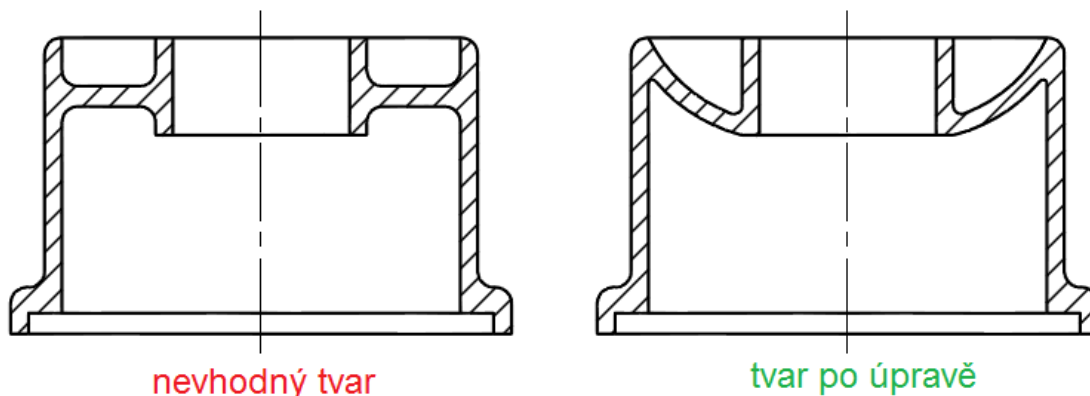
Obr. 2.16 Odlitek LŠ a nahromaděný materiál

Při návrhu odlitku musíme brát v úvahu následující vlivy [5]:

- **velikost přídavku na opracování.** Nejméně slévárenských vad je obsažených na povrchu (licí kůře) tlakového odlitku. Čím hlouběji se při obrábění zasahuje do stěny odlitku, tím více se obráběcí nástroj přibližuje k tzv. střední zóně odlitku, kde se vyskytuje větší množství slévárenských vad (staženin a ředin) jak již bylo uvedeno na *obr. 2.13*. Z tohoto důvodu je nutné volit minimální přídavky na obrábění. Volba minimálního přídavku není důležitá jen z důvodu výskytu ředin, ale také z hlediska nákladů na opracování.[5]

- **vliv tvaru odlitku na technologičnost formy.** Nevhodné jsou ostré zářezy na odlitku. Tvar formy je negativním tvarem odlitku, vytvoří vystouplé ostří na formě. Toto pak vede k poškození formy.[5]

- **vliv tvaru odlitků na technologii lití.** Aby bylo zajištěno spolehlivé otevírání formy, je důležité správně umístit jádra ve formě. Pokud je to možné, tak by měl být jádra umístěna v pohyblivém díle formy. Odlitek je potřeba konstruovat tak, aby byl bezpečně vynášen pohyblivým dílem z formy (*obr. 2.17*). [5]



Obr. 2.17 Ukázka konstrukce odlitku z hlediska jeho vyjímání z formy [5]

3 TLAKOVÉ LICÍ STROJE

Stroje používané v technologii lití pod tlakem můžeme rozdělit podle několika hledisek, jak je uvedeno na *obr. 3.1*. Stávající tlakové licí stroje budou popsány v kapitole 3.1. Novinkou u tlakových licích strojů je inovace konstrukce uzavíracího mechanismu. Konkrétně se jedná o dvoudeskové uzavírání, vysvětleno bude v *kapitole 3.2*.



Obr. 3.1 Rozdělení strojů pro lití pod tlakem

3.1 Stávající tlakové licí stroje

V této kapitole budou popsány stroje se studenou, teplou komorou a také jejich horizontální a vertikální konstrukce. Důležité je také popsat stroje z hlediska velikosti uzavírací síly. Stávající tlakové licí stroje jsou konstruovány tak, že uzavírání je realizováno kloubovým mechanismem, který bude také vysvětlen.

- **Uzavírací síla tlakových licích strojů:**

Uzavírací síla stroje je důležitým parametrem, protože každý výrobce má ve svém výrobním programu určitou řadu strojů na lití pod tlakem a pro jejich rozdělení se právě používá parametr uzavírací síly stroje. Velikost uzavírací síly lze dohodnout podle potřeby slévárny. Při volbě stroje je vždy rozhodující jeho cena.[5] Vyvozením uzavírací síly se docílí dokonalého uzavření formy stroje.

Uzavírací síla stroje (F_u) se určuje dle *vztahu 3.1*:

$$F_u = p \cdot S_p \cdot k \quad [\text{N}], \quad (3.1)$$

kde: p - tlak v plnicí komoře [Pa],

S_p - projekční plocha v dělicí rovině formy [m^2],

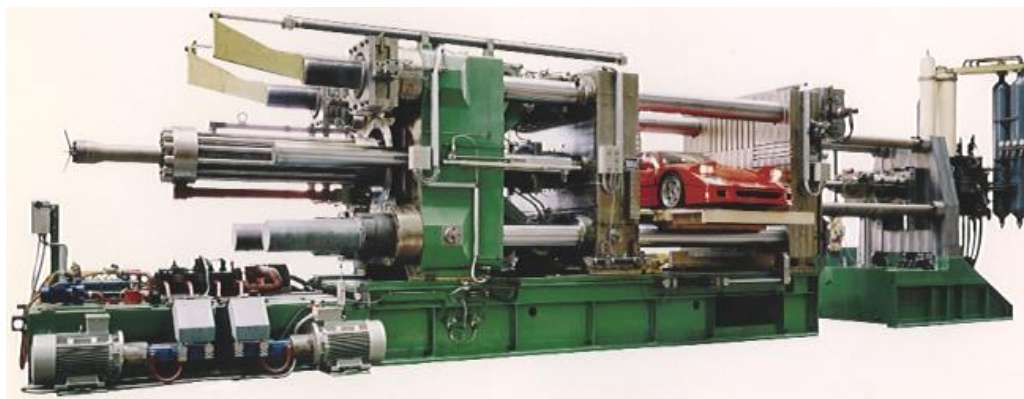
k - bezpečnost [-].

V současné době výrobci strojů na lití pod tlakem kladou velký důraz na přesnosti výroby jednotlivých částí strojů, trvale vylepšují jejich vybavení a také lisovací systémy. Výrobcem tlakových licích strojů v České republice je firma TOS a.s. Rakovník, kde se zatím vyrábějí stroje o velikosti uzavírací síly 2,5 a 6,3 MN.[5] Nejznámější zahraniční výrobci tlakových licích strojů jsou Bühler, Frech, Italpresse, Idra a Colosio. Vyrábějí stroje o velikosti uzavírací síly až 50 MN. Na *obr. 3.2* je uveden tlakový licí stroj Colosio PFO 250 (uzavírací síla 2,5 MN), na kterém se odlévají menší odlitky.



Obr. 3.2 Tlakový licí stroj Colosio PFO 250 - horizontální se studenou komorou [12]

Jako ukázka stroje s uzavírací silou 40 MN je na *obr. 3.3* uveden tlakový licí stroj Idra OL4000, na kterém se odlévají rozměrnější odlitky.



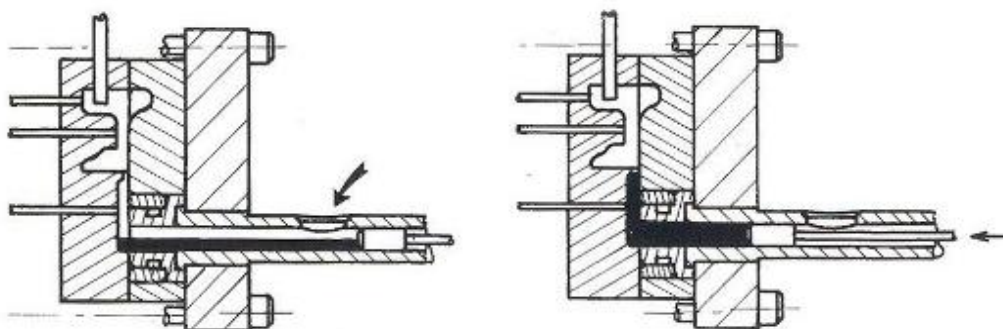
Obr. 3.3 Tlakový licí stroj Idra OL4000 - horizontální se studenou komorou [13]

• **Stroje se studenou komorou:**

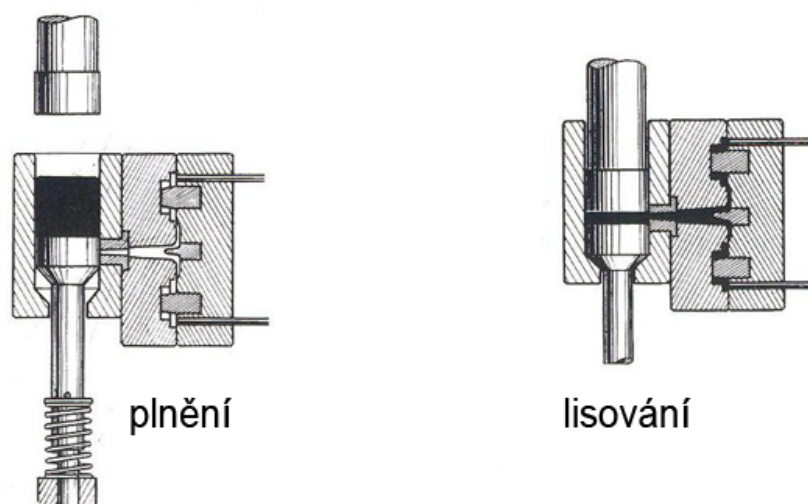
Tlakové lící stroje se studenou komorou jsou dle konstrukce **horizontální** a **vertikální**. Schéma vertikálního stroje je na *obr. 3.5*. V dnešní době se využívají stroje se studenou komorou pouze s horizontálním vstřikovacím ústrojím (*obr. 3.4*), jedná se o nejrozšířenější tlakové lící stroje. Odlévání odlitků z hliníkových slitin se provádí právě na těchto typech strojů.

Oproti vertikálním strojům mají horizontální stroje přednosti jako např.: větší výkon, spolehlivější provoz (mají jednodušší vstřikovací ústrojí a menší počet rychle se opotřebujících součástí) a lepší využití kovu. Při konstrukci forem pro tyto stroje je důležité dbát na řádné odzdušnění, protože se společně s kovem vtlačuje do dutiny formy větší množství vzduchu, které je v plnicí komoře. Horizontálně položená komora ústí svým průběžným otvorem přímo do dělicí roviny formy. [14]

Lisovací píst je uváděn do pohybu pomocí hydrauliky. Při odlévání hliníkových slitin se dosahuje rychlosti pohybu pístu cca do 5 m/s a tlaku v plnicí komoře do 100 MPa.



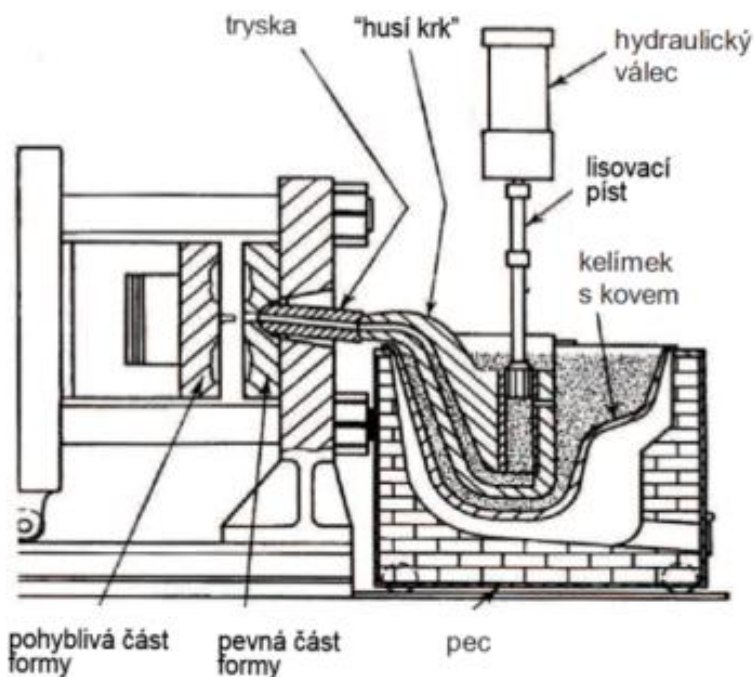
Obr. 3.4 Schéma části horizontálního stroje se studenou komorou [4]



Obr. 3.5 Schéma části vertikálního stroje se studenou komorou [4]

- **Stroje s teplou komorou:**

Jsou to stroje, jejichž plnicí komora je umístěna pod hladinou kovu v udržovací peci. Výhoda zde spočívá v tom, že kov se z udržovací do plnicí komory nepřelévá a tím pak nedochází k jeho oxidaci. Stroje s teplou komorou se značně používají při odlévání slitin hořčíku a zinku. Pro odlévání hliníkových slitin se ten typ stroje nepoužívá.[3] Schéma stroje s teplou komorou je uvedeno na obr. 3.6 a ukázka konkrétního stroje firmy Colosio je na obr. 3.7.



Obr. 3.6 Schéma tlakového licího stroje s teplou komorou [3]

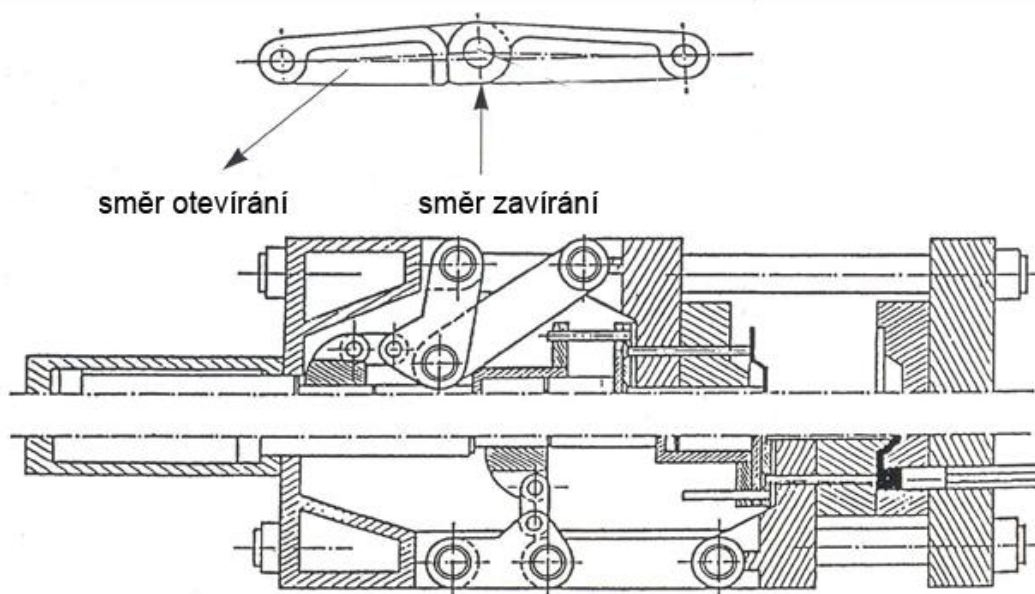


Obr. 3.7 Tlakový licí stroj s teplou komorou - Colosio PFZ 140 [12]

• **Mechanismus uzavírání u stávajících strojů:**

Pro bezpečný provoz strojů na lití pod tlakem, je důležité, aby uzavření formy bylo dokonalé. Tím se zajistí dodržení rozměrových tolerancí odlévaného odlitku a zabrání se vystříknutí kovu z dělicí roviny formy. V současné době se u většiny strojů pro uzavírání formy používá kloubový mechanismus (*obr. 3.8*).

Kloubový mechanismus je tvořen kolenovou pákou v jednoduchém, paralelním nebo za sebou řazeném provedení.[14] Stroje využívající tento mechanismus se skládají ze tří desek. Kloubový mechanismus je umístěn mezi dvě zadní desky a pevná část formy je umístěna na přední desce stroje.

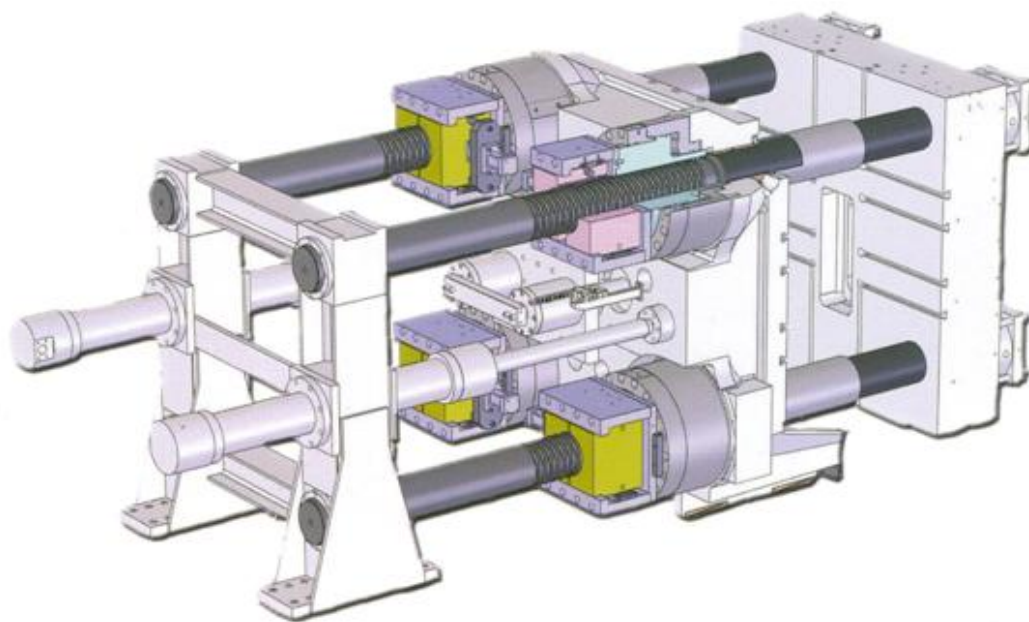


Obr. 3.8 Kloubový mechanismus - třideskové uzavírání [4]

3.2 Nová konstrukce tlakových licích strojů

Konstrukce tlakových licích strojů je v neustálém vývoji a momentálně je vývoj zaměřen hlavně na uzavírací část strojů. V současné době vstupují na trh stroje s novou koncepcí uzavírání nazývané stroje s dvoudeskovým uzavíráním. Tato nová koncepce uzavírání stroje je nyní velkou novinkou u tlakových licích strojů. Několik strojů s tímto dvoudeskovým uzavíráním je již provozováno ve slévárnách.

Schematicky je dvoudeskové uzavírání zobrazeno na *obr. 3.9*. Tlakový licí stroj s tímto druhem uzavírání je tvořen dvěma deskami. Obě desky jsou spojeny čtyřmi vodícími sloupy. Uzavírací síla je vyvozená hydraulickými válci. Na sloupech jsou drážky, do kterých se zamykají čtyři hydraulicky ovládané matice.



Obr. 3.9 Dvoudeskové uzavírání - schéma [15]

Uzavírací síly je zde dosaženo hydraulicky bez pomoci kloubového mechanismu. Požadované síly je dosaženo díky čtyřem hydraulickým blokům, které se nachází na zadní straně pohyblivé desky a na všech čtyřech vodících sloupech. Hydraulický blok je tvořen maticí, která je rozdělena na dvě poloviny. Matice jsou na obr. 3.9 zobrazeny žlutou barvou. V první fázi uzavírání je pomocí dvou pístů provedeno uzavření formy, tak že se posune pohyblivá deska. V druhé fázi uzavírání musí být zajištěna pohyblivá deska proti pohybu „zamčena“ tak, aby nedošlo k jejímu pohybu při vstříknutí taveniny do formy. To zajistí hydraulické matice, které se po uzavření formy sevrou do drážek ve vodících sloupech tlakového licího stroje.[15]

Dvoudeskové uzavírání má řadu výhod, zde jsou uvedeny některé z nich [15]:

- menší rozměry stroje – větší využití výrobního prostoru slévárny,
- menší náklady na údržbu mechanických částí strojů,
- větší rychlost uzavírání stroje – umožňuje zrychlení výrobního cyklu odlitku,
- větší zdvih mezi pevnou a pohyblivou deskou - umožňuje upnutí větších forem.[15]

Řada tlakových licích strojů firmy Italtipresse používající dvoudeskové uzavírání má označení TF. Tato italská firma vyrábí tyto typy strojů ve velikostech dle uzavírací síly od 0,8 MN do 50 MN. Ukázka stroje s tímto typem uzavírání je na obr. 3.10 a na obr. 3.3. Dvoudeskové uzavírání je použito také u tlakových licích strojů německé firmy Bühler.



Obr. 3.10 Tlakový licí stroj Italtresse TF 1350 [15]

4 VADY U TLAKOVĚ LITÝCH ODLITKŮ A JEJICH PŘÍČINY

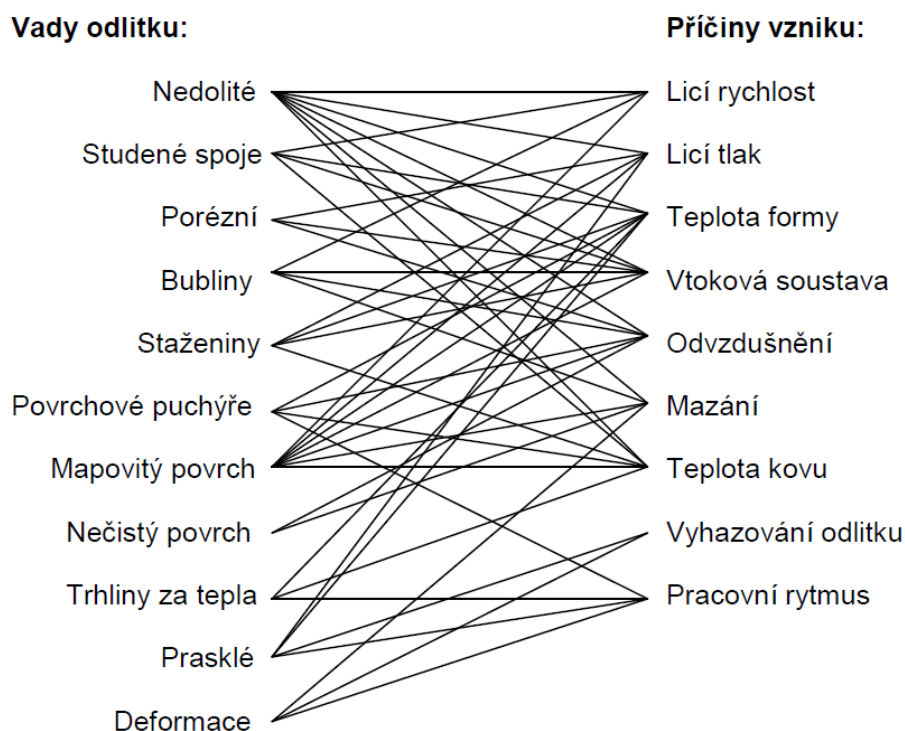
Výskyt vad u odlitků litých pod tlakem ovlivňuje mnoho faktorů. Zásadním faktorem je zde správná konstrukce licí formy. Sem patří hlavně vtoková soustava a odvzdušňovací a chladicí systém formy. Kvalita odlitku je ovlivněna i dalšími faktory. Jde např. o tlakový licí stroj, druh odlévané slitiny a její metalurgické zpracování, jakost vyrobené formy, nastavené technologické parametry a také obsluha tlakového licího stroje.[8]

V dnešní době se kladou na jakost dodávaných odlitků stále vyšší požadavky. Z tohoto důvodu je nutné při výrobě odlitků využívat kvalitní výrobní zařízení. Jde hlavně o zařízení pro tavení, úpravu taveniny, tlakový licí stroj včetně formy se správně zvolenou vtokovou soustavou.[8]

V kapitole 4.1 budou popsány typické vady u tlakově litých odlitků, jejich příčiny a také stručné rozdělení těchto vad.

4.1 Typické vady u tlakově litých odlitků

Nejčastěji vyskytující se vady u odlitků litých pod tlakem jsou vady zobrazené v Savenově diagramu (obr. 4.1). Tento diagram udává vztah vad a jejich příčin.

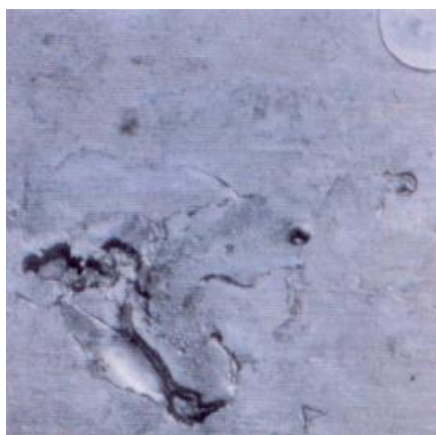


Obr. 4.1 Savenův diagram [8]

V tab. 4.1 je uveden vliv parametrů na výskyt jednotlivých vad. Informace v tabulce vycházejí ze zkušeností ověřených ve slévárenském provozu. V tabulce jsou zahrnuty i další rozhodující faktory.[8]

Níže jsou vysvětleny ty nejdůležitější vady, hlavně vady vnitřní, protože právě některé tyto se vyskytují v odlitku ložiskového štítu elektromotoru.

Nedolití – jedná se o vadu (*obr. 4.2*), při níž nejsou úplně vyplněny některé části odlitku. Tato nevyplněná místa se obvykle nacházejí nejdále od vtokového nařiznutí, která nejsou dostatečně odzdušněna nebo jsou proudícím kovem zanesena zbytky mazadel, které nebyly odvedeny do přetoků. Důležité je také umístění a nasměrování vtokového nařiznutí a celkové zaformování odlitku. Snaha je, aby kov nenarážel přímo na stěnu, a to hlavně v ústí nařiznutí. K tomu, aby se potlačil vznik této vady, jsou důležité znalosti konstruktéra. Jde hlavně o znalost zásad proudění a tuhnutí kovu ve formě. Zde se v dnešní době využívají počítačové simulace.[8]



Obr. 4.2 Nedolití [16]



Obr. 4.3 Porezita (staženiny) [16]

Porezita (staženiny) – tento druh porezity vzniká stahováním tekutého kovu v místech shluků a tepelných uzlů odlitku (*obr. 4.3*). U odlitku, který má rozdílné tloušťky stěn a není zajištěno dosazení taveniny po zalisování do míst s posledním tuhnutím, vznikají v těchto oblastech v odlitku dutiny s drsným a nepravidelným povrchem. Tento druh vady nelze zjistit pouhou vizuální kontrolou, je třeba použít zkoušku rentgenem. Důležité je včasné zjištění této vady, protože lze provést rychlá nápravná opatření k jejímu odstranění. Pro odstranění nebo zmenšení porezity je vhodné při konstrukčním návrhu odlitku snížit počet tepelných uzlů a také jejich velikost.[8]

Vzdušná porezita (bubliny, uzavřený vzduch) – tuto vadu můžeme charakterizovat jako malou dutinu s hladkým povrchem. Tento druh porezity je tvořen hlavně vzduchem z plnicí komory a dutiny formy. Při lisování, totiž nestačí všechen vzduch uniknout a zůstává po ztuhnutí v odlitku. Postupné plnění formy pomáhá ke zmenšení nebo odstranění porezity a má být ukončeno v těch místech, kde je možné provést účinné odzdušnění. Důležité je také zaústění vtokové soustavy, tak aby nedocházelo k uzavření vzduchu tekutým kovem zaplňujícím formu. Pro správnou volbu vtokové soustavy (zaústění nařiznutí, správná poloha přetoků a poloha vakuovacích kanálů) je opět vhodné použití simulačních programů. Kromě běžného odzdušnění forem se poslední dobou začíná využívat vlnoců (valcha).[8]

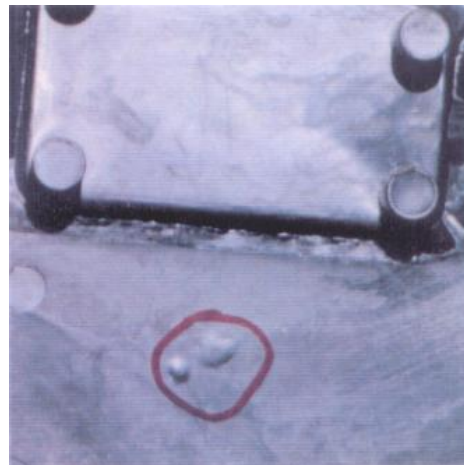
Plynná porezita (bubliny, vodíková porezita) - zde jde o trochu jiný typ vady než u vzdušné porezity (tento druh vady je také často označován názvem vodíková porezita). Tato vada je charakteristická velkým množstvím velmi malých bublinek (*obr. 4.4*), které vznikají v důsledku přítomnosti vodíku v tavenině. Aby se předešlo vzniku plynné porezity, je potřeba provést vhodný metalurgický zásah. Tavenina musí být před samotným odléváním správně odplyněna, čímž se sníží obsah vodíku. Kontrola odplynění se provádí pomocí tzv. dichte indexu, který je zjišťován výpočtem rozdílu hustot z odlitých vzorků odplyněné taveniny, kde první odlitý vzorek ztuhnul na vzduchu a druhý ve vakuu. Tato metoda kontroly se nazývá metoda dvojího vážení.

Při vzniku plynných bublin jsou zde klíčové zárodky pro iniciaci bublin. Těmito zárodky jsou většinou vměstky. Metoda dvojího vážení tedy neměří stupeň naplynění jako obsah rozpuštěného vodíku, ale hodnotí tendenci tvořit bubliny. Čistá slitina s malým obsahem vměstků pak nebude ani při relativně vysokém naplynění tvořit bubliny a výsledkem bude nízký dichte index. Na druhou stranu pak silně znečištěná slitina tvoří bubliny i při nízkém naplynění.[17]



Obr. 4.4 Plynná porezita [16]

Puchýře - Jedná se o typickou vadu (*obr. 4.5*), která se projevuje na odlitcích litých pod tlakem. Uzavřením vzduchu v oblasti těsně pod povrchem stěny odlitku dochází ke vzniku této vady. Díky velkému tlaku v bublině a malé pevnosti slabé stěny ještě horkého odlitku dojde k vytvoření tohoto puchýře. Příčinou je obvykle nedostatečné odvzdušnění formy, v zaústění vtokového naříznutí a umístění chladicích kanálů. Nadměrná teplota formy, vysoká lící teplota slitiny a malý, nesprávně naběhnutý dotlak jsou parametry, které mají také silný vliv na puchýře.[8]



Obr. 4.5 Puchýře [16]

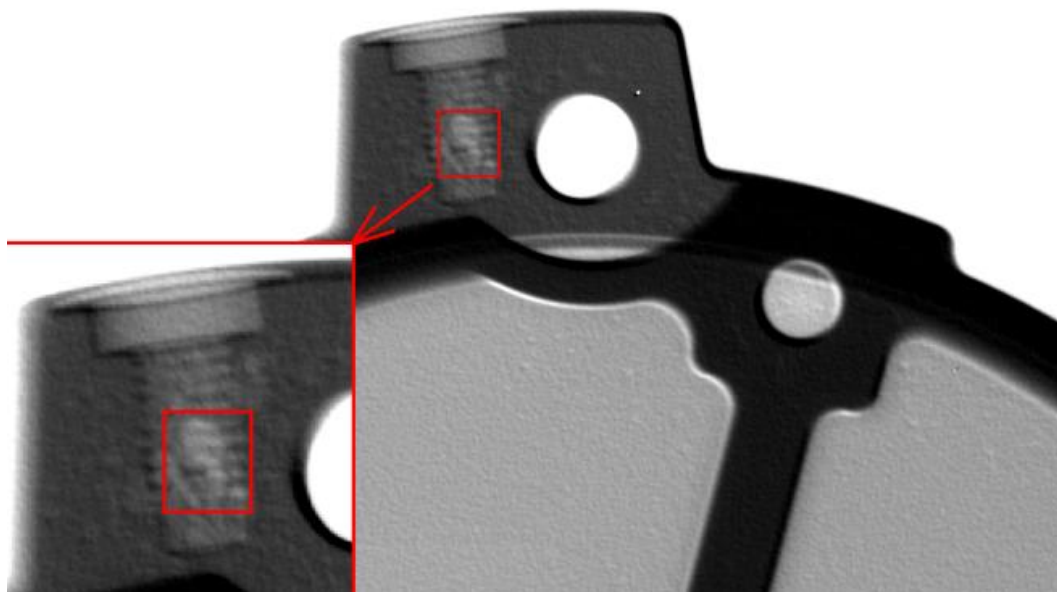
Množství druhů vad u tlakově litých odlitků je velké, jak je zřejmé z výše uvedeného textu. Důsledkem toho je pak poměrně různorodé nazývání těchto vad. Pro vady typu **porezita** se dnes používá velké množství názvů. Proto je dobré porezitu rozdělit na tři druhy. **Porezita plynná, vzdušná** a porezita typu **staženina**. Čím se jednotlivé druhy porezity liší je popsáno výše.

5 ANALÝZA VAD V ODLITKU LOŽISKOVÉHO ŠTÍTU

V této kapitole bakalářské práce budou analyzovány vady v odlitku ložiskového štítu elektromotoru pomocí metod destruktivních a nedestruktivních. Jako nedestruktivní metoda byla použita analýza odlitku rentgenem (kap. 5.1) a analýza odlitku termokamerou (kap. 5.3). Destruktivní metodou je zde provedení výbrusu části odlitku s vadami potřebného pro mikroskopickou analýzu dutiny vady (kap. 5.2). V kapitole 5.4 je uvedeno vyhodnocení vad v odlitku ložiskového štítu.

5.1 Analýza odlitku rentgenem

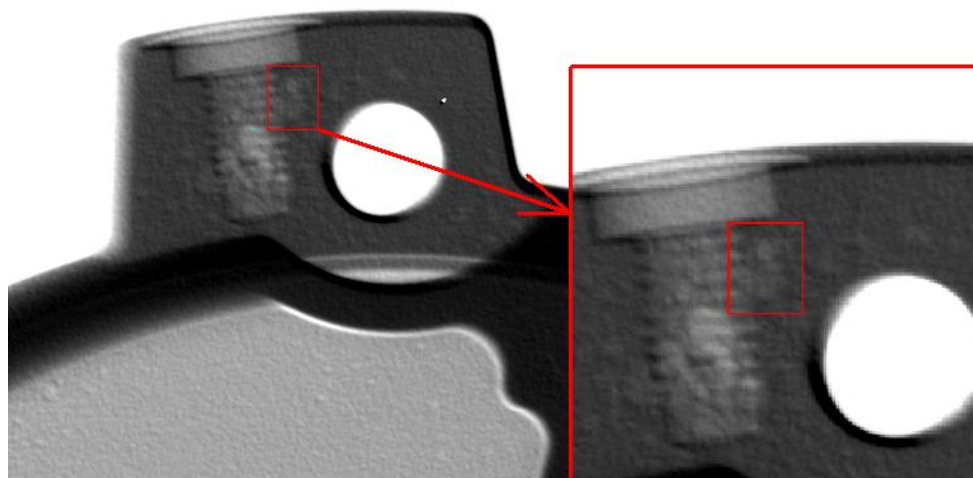
Níže uvedené rentgenové snímky byly pořízeny z rentgenového zařízení firmy KOVOLIT, a.s. v Modřicích. Provedení rentgenu je důležité pro zjištění polohy vad v odlitku, protože vadami bude veden řez pro získání výbrusu. Na prvním rentgenovém snímku (obr. 5.1) je naznačena **vada č. 1**, která byla nalezena v odlitku.



Obr. 5.1 Vada č. 1 v odlitku LŠ

Dále byla v odlitku nalezena **vada č. 2**, jejíž poloha byla naznačena na druhém rentgenovém snímku (obr. 5.2). Protože se obě vady svou polohou blíží ke střední části „ouška“ odlitku k jeho tepelné ose (vady se nenachází u stěn odlitku), můžeme předběžně tvrdit, že se možná bude jednat o staženiny.

Vzhledem k velikostem vad, které jsou poměrně velké, můžeme vyloučit variantu vodíkové pomezity. Vada č. 2 není na rentgenu viditelná tak dobře jako vada č. 1, ale na výbrusu bude její viditelnost dostatečná.



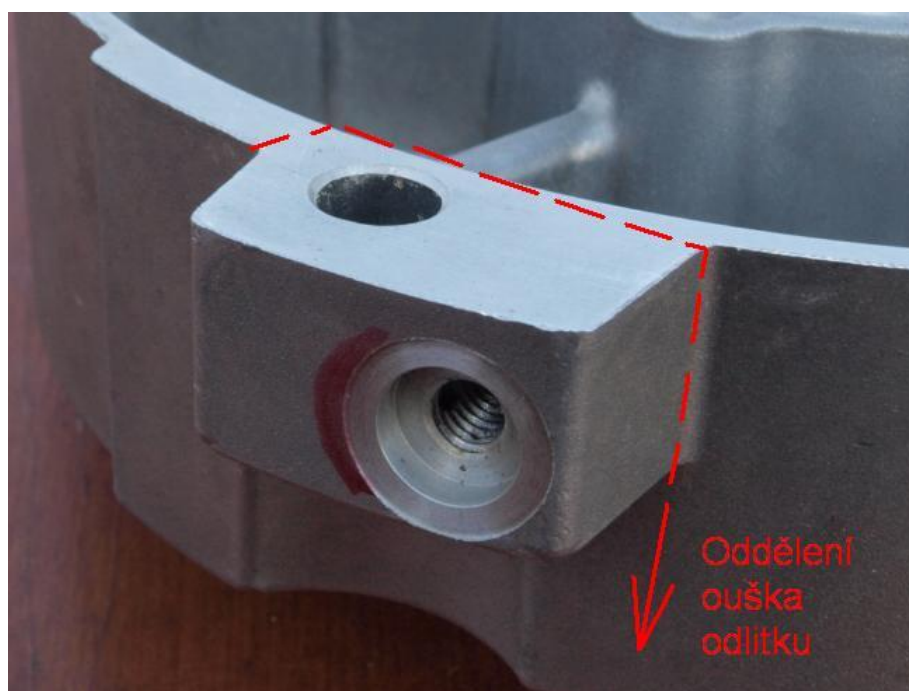
Obr. 5.2 Vada č. 2 v odlitku LŠ

5.2 Mikroskopická analýza dutiny vady

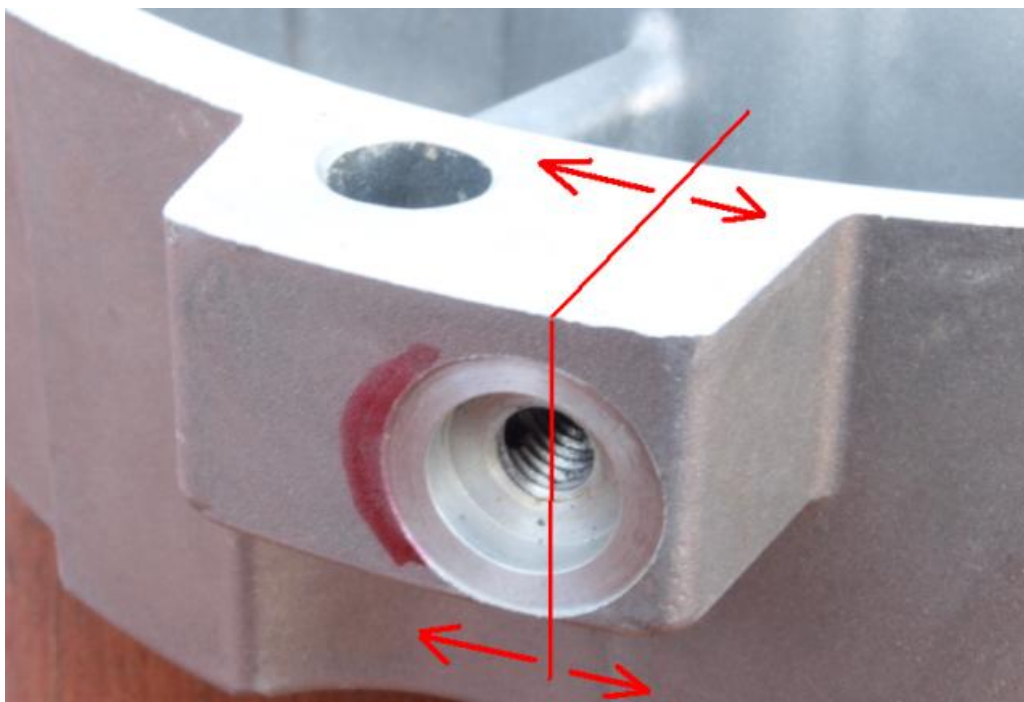
Před samotnou mikroskopickou analýzou je nutné vyrobit výbrus části odlitku („ouško“ odlitku), v němž se vyskytují vady. Výbrus je popsán v *kap. 5.2.1*.

5.2.1 Výbrus v místě vad

Vytvořením výbrusu se rozumí provedení řezu skrze závit a vadu v oušku odlitku. Ouško odlitku, naznačené červenou barvou na *obr. 5.3* se muselo nejprve oddělit (řezáním) od odlitku LŠ. Dále byl proveden řez ouškem skrz závit a vadu, řez je naznačen na *obr. 5.4*.

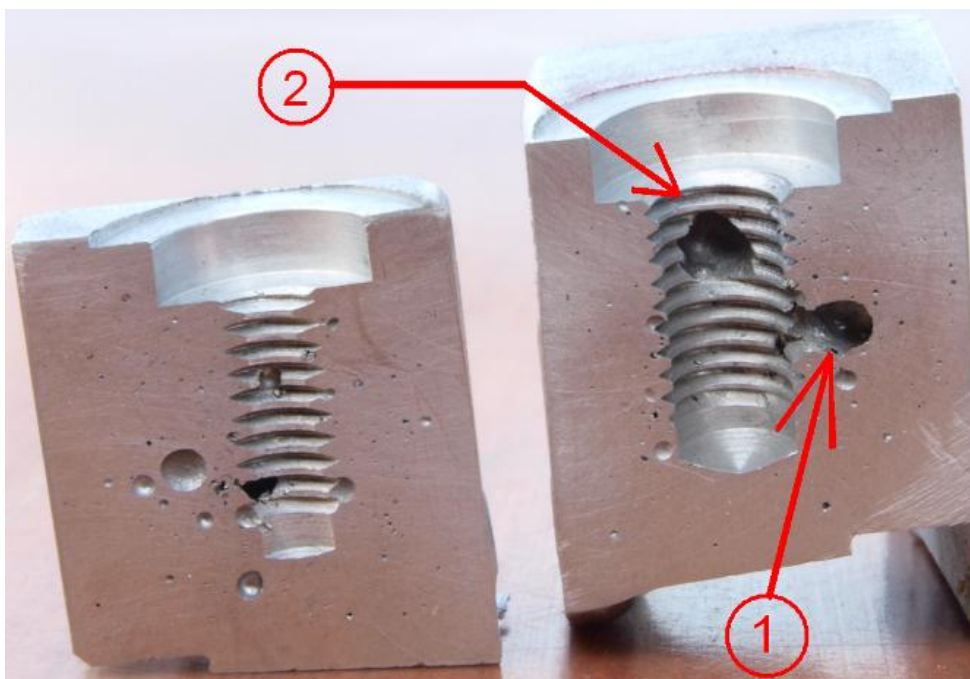


Obr. 5.3 Oddělení ouška odlitku



Obr. 5.4 Řez ouškem odlitku skrz vadu

Po rozříznutí ouška odlitku byly jeho obě poloviny broušeny postupně několika smirkovými papíry. Hned po rozříznutí bylo provedeno broušení „na hrubo“ s pomocí ruční vrtačky a smirkového papíru se zrnitostí **P40**. Broušení „na čisto“ bylo prováděno už jen ručně s přidáváním vody, postupně byly použity smirkové papíry se zrnitostí **P240**, **P400** a **P800**. Výsledkem je vytvořený výbrus sloužící pro mikroskopickou analýzu vad, nikoliv pro analýzu struktury slitiny. Výbrus obou polovin je uveden na obr. 5.5.



Obr. 5.5 Výbrus s vadami

Na výbrusu jsou také červeně označeny jednotlivé vady – **vada č. 1** a **č. 2**, které byly již před vytvořením výbrusem zjištěny z rentgenu odlitku. Kromě již zmiňovaných vad můžeme z výbrusu vypozařovat zřejmě vodíkovou pomezitu (velké množství malých bublinek), která se vyskytuje po celé ploše výbrusu, avšak dále se budou řešit pouze první dvě vady.

5.2.2 Analýza na stereoskopickém mikroskopu

Pro mikroskopickou analýzu byl použit výbrus, který se nachází na *obr. 5.5* vpravo. Mikroskopická analýza byla provedena na trinokulárním stereoskopickém mikroskopu na Odboru slévárenské technologie VUT v Brně. Tento druh mikroskopu byl pro tuto analýzu zvolen z toho důvodu, že jeho hloubka ostroiti je vyšší než u standardních metalografických mikroskopů.

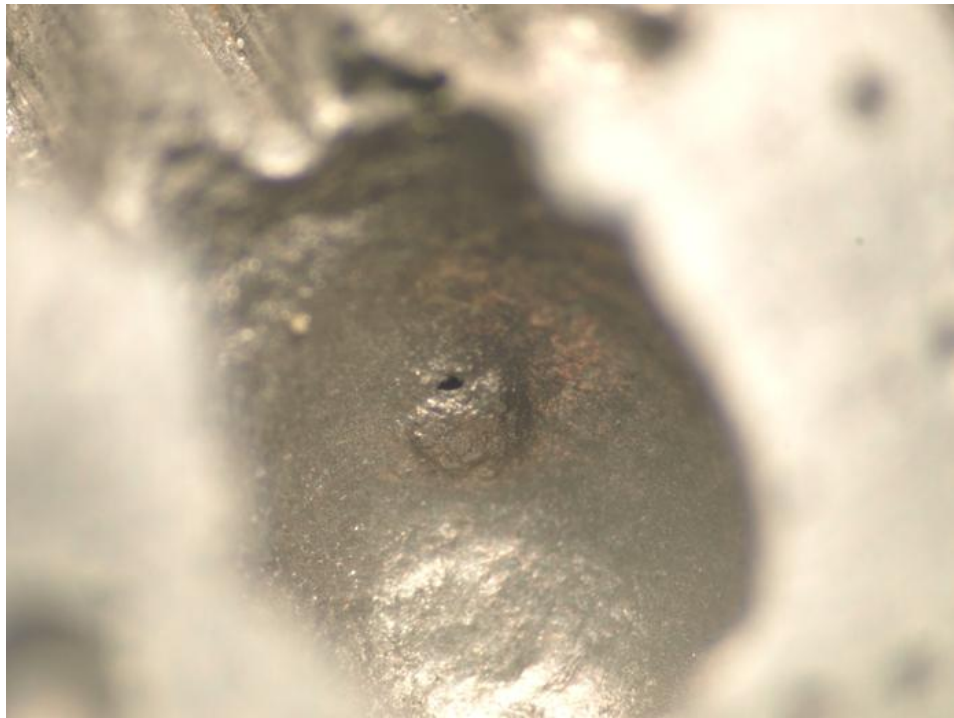
Použit byl tento stereoskopický mikroskop (*obr. 5.6*):

- Stereoskopický mikroskop, model STM 723
- výrobce: INTRACO MICRO spol. s r. o.
- maximální zvětšení: 90x
- použitý okulár: WF 20x
- zařízení pro pořizení snímků: Digitální fotoaparát OLYMPUS E450

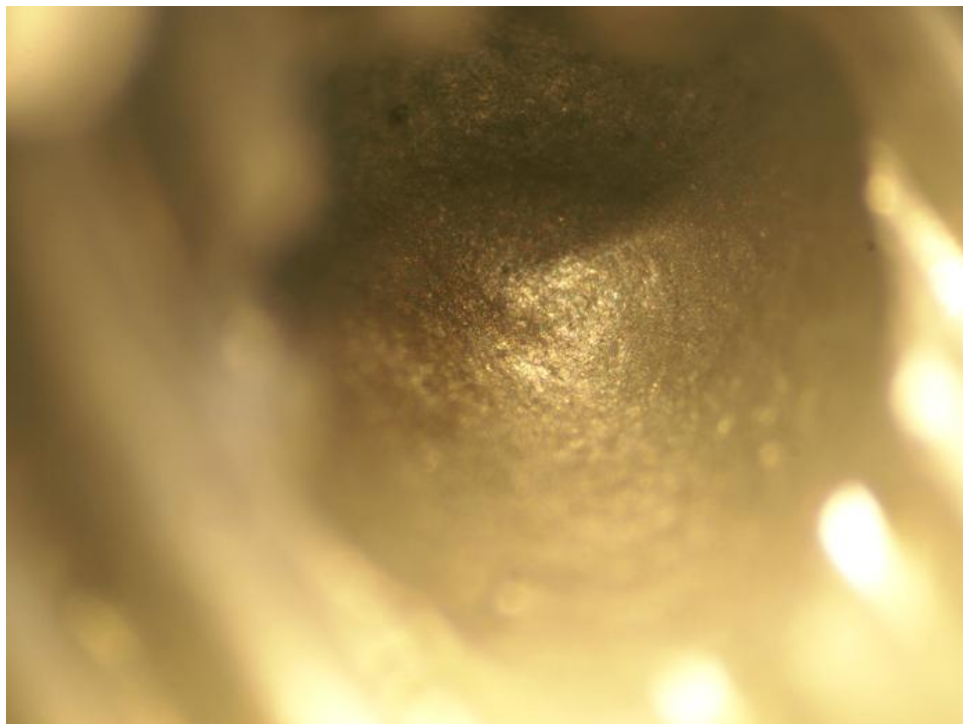


Obr. 5.6 Stereoskopický mikroskop STM 723 [18]

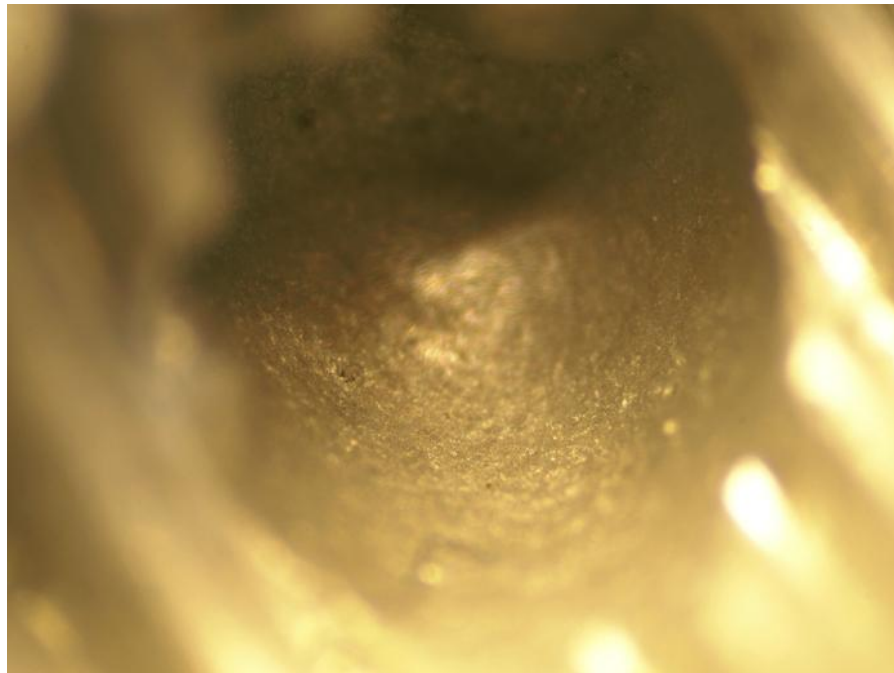
Snímány byly hlavně stěny dutiny vady a také dno vady (proto bylo důležité použít mikroskop s velkou hloubkou ostroiti), podle tvaru vady uvnitř a jejich stěn a dna se rozezná druh vady. Snímek **vady č. 1** ze stereoskopického mikroskopu je uveden na *obr. 5.7* (zaostřeno na dno i stěny). Snímek **vady č. 2** je uveden na *obr. 5.8* (zaostřeno na dno vady) a na *obr. 5.9* (zaostřeno na stěnu vady). Snímky byly pořizeny při zvětšení 84x (4,2x zoom, 20x okulár).



Obr. 5.7 Vada č. 1, zvětšení 84x



Obr. 5.8 Vada č. 2, zaostřeno na dno, zvětšení 84x

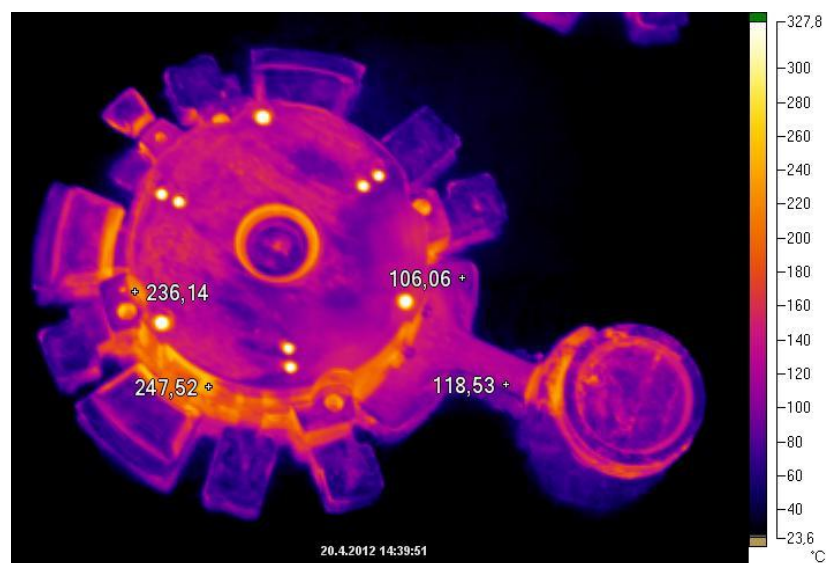


Obr. 5.9 Vada č. 2, zaostřeno na stěnu, zvětšení 84x

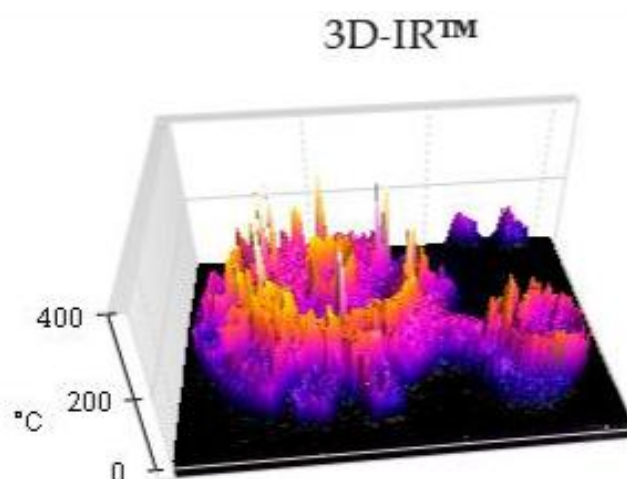
5.3 Termoanalýza odlevu

V této kapitole bylo provedeno měření rozložení teplot odlitku v době po vyjmutí z tlakové formy. Toto měření bylo provedeno termokamerou FLUKE Ti32. Získané snímky z termokamery byly poté zpracovány pomocí příslušného software termokamery.

Z obr. 5.10 a 5.11 je zřejmé, že chladnutí odlitku neprobíhá směrem od tablety vtokového systému. Hlavní vtokový kanál je hodně ochlazován, což má za následek nedostatečné využití dotlaku (třetí fáze lisování, byla popsána v kap. 2.2). Tímto dochází k tvorbě vad např. staženina, porezita, bubliny.

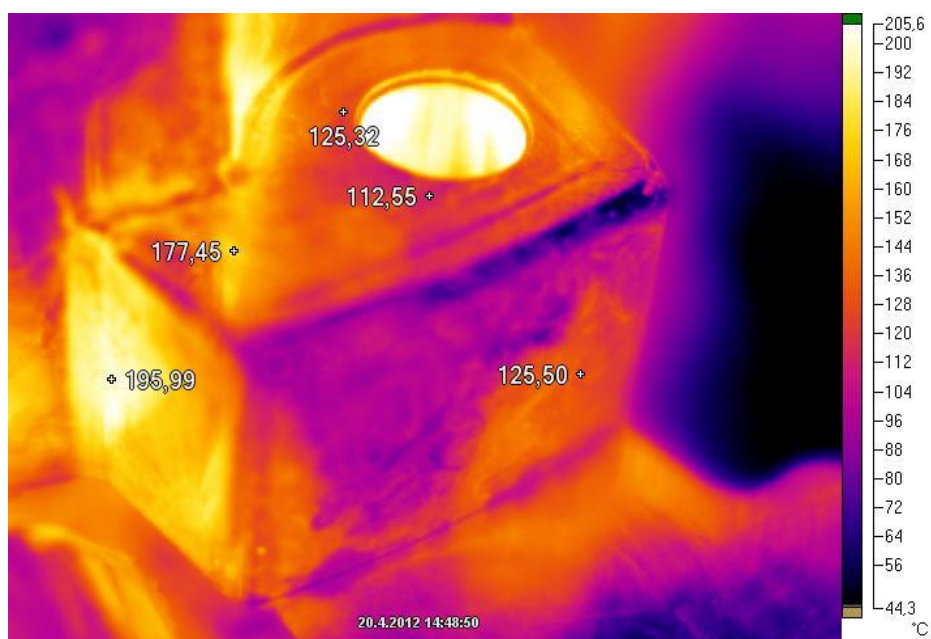


Obr. 5.10 Snímek z termokamery - celkový pohled na odlitek



Obr. 5.11 Snímek z termokamery - 3D pohled na odlitek

Na *obr. 5.12* je znázorněno rozložení teplot části odlitku, na kterém je největší výskyt vad. Z obrázku je patrné, že u jádra tvořícího otvor $\varnothing 8$ mm je odvod tepla větší, než ve druhé části, kde byly identifikovány vady.



Obr. 5.12 Snímek z termokamery - ouško odlitku

5.4 Vyhodnocení vad v odlitku

U řešeného odlitku byla provedena analýza rentgenem, mikroskopická analýza, výbrus v místě vady a také termoanalýza celého odlevu. Cílem těchto analýz bylo zajištění podkladů pro jednoznačné definování komplikované vady vyskytující se v tlakovém odlitku ložiskového štítu.

U analýzy pomocí rentgenu byly identifikovány dvě větší vady vyskytující se v oblasti „ouška“ odlitku. Z velikosti a tvaru identifikovaných vad je možné konstatovat, že příčina vady není způsobena nadměrným naplyněním taveniny. Pro další podklady podle kterých by bylo možno přesně identifikovat tyto vady bylo nutné provést výbrus v místě výskytu a následné prozkoumání vad.

Byl proveden řez v místě vady odlitku. Dále byl tento řez vybroušen a pomocí stereoskopického mikroskopu byly zhotoveny detailní snímky vad. Z těchto snímků je patrné, že stěny obou zkoumaných vad jsou hladké. Do konce na stěně jedné z vad je dobře patrný puchýř s otevřenou stěnou. Z těchto podkladů je možné tyto vady identifikovat jako porezita - bubliny s uzavřeným vzduchem.

Dále byla provedena také termoanalýza celého odlevu z důvodu přesného rozložení teplot při chladnutí odlevu. Odlev ihned po vyjmutí z formy byl položen na odkládací stůl na licím pecišti a pomocí termokamery byl pořízen termosnímek celého odlevu. Snímek byl následně pomocí příslušného SW zpracován viz. *obr. 5.10, 5.11 a 5.12*. Z těchto snímků je patrné, že hlavní vtokový kanál, který je mezi tabletou a naříznutím má podstatně nižší teplotu, než tableta a odlitek viz. *obr. 5.11*. Rychlé ochlazování tohoto kanálu je také jednou z příčin identifikovaných vad odlitku. V takovém to kanálu dochází k ochlazování taveniny a při tuhnutí dochází k snižování funkce dotlaku.

Na základě všech provedených analýz byly vyskytující se vady odlitku ložiskového štítu identifikovány jako bubliny s uzavřeným vzduchem. V následující kapitole č. 6 bude navrženo několik možných nápravných opatření k minimalizaci výskytu řešených vad v odlitku.

6 NÁVRH ZMĚNY TECHNOLOGIE

V této části bakalářské práce budou navržena nápravná opatření, která povedou k minimalizaci výskytu identifikovaných vad v odlitku ložiskového štítu elektromotoru. Při návrhu změny technologie se vycházelo z druhu identifikované vady v odlitku (porezita - bubliny, uzavřený vzduch) a z vlivů parametrů formy licího stroje na tento druh vady. K návrhu změny technologie byly nápomocny informace z *kap. 4.1*, konkrétně z *tab. 4.1*. Na základě informací uvedených v této tabulce i kapitole byly navrženy tyto změny technologie:

- úprava licích parametrů,
- úprava chlazení, temperování formy a ošetření dělicí roviny,
- úprava vtokového systému,
- zavedení technologie lití pod tlakem s vakuováním,
- předlití otvorů v oušku odlitku.

Tyto změny byly rozděleny na změny, které lze realizovat bez nutnosti úpravy formy a na změny u kterých je nutné formu odstavit z výroby a provést její úpravu.

6.1 Změny bez nutnosti odstavení formy

V této kapitole budou uvedeny změny technologie, které lze provést okamžitě bez nutnosti odstavení formy z výroby.

a) Optimalizace licích parametrů - je potřeba upravit stávající licí parametry uvedené v *kap. 1.2*. Při optimalizaci licích parametrů je nutné se zaměřit na zkrácení rychlosti náběhu dotlaku. To musí být provedeno z důvodu rychlého ochlazování vtokového kanálu, protože při rychlém ztuhnutí kovu v tomto místě není dosaženo funkce dotlaku. Dále je potřeba zvýšit velikost dotlaku.

b) Úprava chlazení, temperování formy a ošetření dělicí roviny - Na základě termoanalýzy odlevu je nutné seřízení postřiku formy dělicími prostředky tak, aby byla forma více ochlazovaná v oblasti oušek a minimálně v oblasti vtokového kanálu.

6.2 Změny s nutností odstavení formy

V této kapitole budou vysvětleny změny technologie, které se musí provést s nutností úpravy formy. Tyto změny je možné realizovat při dlouhodobější odstávce formy. Tyto úpravy jsou také finančně nákladné a je nutné před započítáním těchto změn provést ekonomickou rozvahu.

a) Úprava vtokového systému - uzavřený vzduch v ouškách odlitku vzniká nadměrným prouděním taveniny v této oblasti. Proto je nutné provést detailní simulaci plnění dutiny formy na základě nově vypočteného vtokového systému. Při provedení výpočtu musí být kladen důraz na dimenzování hlavního vtokového kanálu. Průřez vtokového kanálu musí být zvětšen, což umožní větší využití dotlaku.

b) Předlití otvorů - vzhledem ke konstrukci odlitku v místě oušek ložiskového štítu (jak je uvedeno v *kap. 2.4, obr. 2.16*) by bylo přínosem doplnit stávající konstrukci formy o boční jádra $\text{Ø}8$ mm, pomocí kterých by byly předlity otvory. Tím dojde k zvětšení odvodu tepla z problémové části odlitku.

c) Zavedení lití pod tlakem s vakuováním - doplnění stávající technologie o systém vakuování (technologie vakuování byla popsána v *kap. 2.3*) formy by vedl k snížení zmetkovitosti. Vzhledem k tomu, že jde jak o zásah do formy a pořízení celého vakuovacího zařízení, je nutné nejprve provést podrobnou ekonomickou rozvahu.

7 ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce byla identifikace vad v odlitku ložiskového štítu elektromotoru, vyráběného ve slévárně závodu Siemens Elektromotory s.r.o. v Mohelnici. Cílem bylo na základě identifikovaných vad v odlitku navržení vhodných změn technologie lití pod tlakem s cílem minimalizovat výskyt vad v tomto odlitku.

Pro identifikaci vad v odlitku bylo využito analýzy odlitku rentgenem, mikroskopické analýzy dutiny vady a termoanalýzy odlevu. Ukázalo se, že klíčové bylo pořízení snímků dutiny vad ze stereoskopického mikroskopu. Z těchto snímků jsou patrné hladké stěny i dno vad a také zaoblený tvar pozorovaných vad. Vady v odlitku ložiskového štítu byly identifikovány jako porezita - bubliny s uzavřeným vzduchem.

Termoanalýza odlevu byla nápomocna pro zjištění některých příčin vzniku vad v odlitku. Jednou z příčin vzniku vad bylo nadměrné ochlazování hlavního vtokového kanálu.

Zjištěny byly také další příčiny vzniku vad a to konkrétně: tloušťka a průřez naříznutí, druh a velikost odvzdušnění, teplota formy, chladicí systém, množství a druh dělicího postříku. Pro zjištění těchto příčin vad byly nápomocny informace z *kap. 4 a tab. 4.1*, kde byly popsány typické vady u tlakově litých odlitků a jejich příčiny. V *kap. 2* byla vysvětlena technologie lití pod tlakem a také způsoby odvzdušnění forem, protože odvzdušnění je jednou z hlavních příčin vzniku vad v tomto odlitku.

Na základě analýzy vad v odlitku a zjištěných příčin vzniku vad byly navrženy změny technologie. Konkrétní změny jsou: optimalizace licích parametrů, úprava chlazení, temperování formy a ošetření dělicí roviny. Dále pak úprava vtokového systému, zavedení technologie lití s vakuováním a předlití otvorů v oušku odlitku. Doporučením do výroby je provést nejprve ty změny technologie, které nevyžadují odstavení formy z provozu. Úpravu vtokového systému, zavedení lití s vakuováním a předlití otvorů je vhodné provádět až při zavádění nové formy do provozu.

V práci byla věnována pozornost také strojům v technologii lití pod tlakem. Zmíněna byla novinka u tlakových licích strojů - dvoudesková konstrukce uzavírání (*kap. 3.2*), která přináší řadu výhod oproti stávající konstrukci strojů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SIEMENS. *Ein lückenloses Programm an Niederspannungsmotoren bis 1250 kW: Prospektový katalog firmy Siemens*. Deutschland: Siemens AG, 2007, 8 s.
2. ČECH, Jaroslav, Ladislav ZEMČÍK, Kamil PALÁN a Dagmar BAŘINOVÁ. Možnosti experimentu a simulace při stanovení jakostních charakteristik litin a vad tlakově litých odlitků. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2002, roč. L, 8-9, s. 305-311. ISSN 0037-6825.
3. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
4. 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.
5. SMUTNÝ, Ivan et al. *Podklady kurzu: tavení, úprava taveniny a lití slévárenských slitin hliníku*. výtisk č. 11. Praha: Česká slévárenská společnost, 1995, 390 s.
6. KOVOLIS HEDVIKOV a.s. *Kovolís Hedvíkov: Produkty* [online]. Třemošnice: Kovolís Hedvíkov a. s., © 2011 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.kovolís-hedvíkov.cz/products.html>
7. Alupress: Tlakové lití hliníku. *Alupress: Reference* [online]. Liberec: Alupress s.r.o., © 2006-2011 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.alupress-sro.cz/reference/>
8. 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, 2-3, s. 81-86. ISSN 0037-6825.
9. Wollin: Systematic spraying technology. *Die Spraying Technology* [online]. Lorch: Firma Wollin GmbH [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.wollin.de/w3.php?nodeId=131>
10. NGK BERYLCO. *Vlnovce NGK: Odvzdušnění forem se slitinou Cu-Be*. Deutschland, 4 s. Dostupné z: www.ngkdbg.com. Prospektový katalog firmy NGK Berylco GmbH.
11. Die-cast products. FONDAREX. *Fondarex* [online]. Switzerland, 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.fondarex.com/index.php?option=com_content&view=section&id=8&Itemid=50&lang=en
12. COLOSIO. *Macchine ed accessori per pressofusione: Prospektový katalog firmy Colosio*. Brescia (Italy), 2006, 15 s. Dostupné z: www.colosiopresse.it
13. IDRA. *Prospektový materiál firmy Idra s.r.l.* Italy (Brescia), 2012.
14. VALECKÝ, Jindřich et al. *Lití kovů pod tlakem*. Vydání první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 452 s.
15. ITALPRESSE INDUSTRIE. *Italpresse TF: Prospektový katalog firmy Italpresse*. Capriano del Colle (Brescia) Italy.

16. MERTZ, KLEIN a BAWIDAMAN. Katalog vad tlakových odlitků. SCHAEFFER CHEMICALS. Germany. Aalen: Arbeitsgemeinschaft Metallguss. 2008. BRITE/EURAM: PROJECT BE 3636(89).
17. ROUČKA, Jaromír. Vměstky ve slitinách hliníku a hodnocení čistoty kovu. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2011, roč. LIX, 11-12, s. 345-350. ISSN 0037-6825.
18. INTRACO MICRO s.r.o. *Intraco Micro: Model STM 723* [online]. Tachlovice: Intraco Micro s.r.o., 2011 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.mikroskopy-optika.cz/produkty/model-stm-723-3223-20>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

A_5	[%]	Tažnost
F_u	[N]	Uzavírací síla stroje
HB	[jednotky Brinella]	Tažnost
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu
k	[-]	Bezpečnost
p	[Pa]	Tlak v plnicí komoře
S_p	[mm ²]	Projekční plocha v dělicí rovině formy

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres odlitku	č. výkresu 5_129_71000_20_000
Příloha 2	Výkres odlitku po obrobení	č. výkresu 5_129_71000_20_001
Příloha 3	Výkres vložky formy	č. výkresu 25327100920913