

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2015

ONDŘEJ VLČEK

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



Výroba odlitků ze slitiny hliníku
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Jiří Votava, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Ondřej Vlček

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „ Výroba odlitků ze slitiny hliníku“ vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mojí diplomové práce panu Ing. Jiřímu Votavovi Ph.D. za odborné vedení, věcné připomínky, doporučení a pomoc při vypracování této diplomové práce. Velmi si vážím a oceňuji jeho odbornost, vstřícnost a trpělivost při konzultacích spolu s operativním přístupem při řešení problémů i mimo domluvené konzultační hodiny.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá výrobou odlitků ze slitiny hliníku. Je zaměřena na oblast produkce odlitků vyráběných metodou tlakového lití a konkrétního postupu výroby vybraného odlitku. Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. V teoretické části je popsán časový vývoj, současný stav odvětví a všeobecný popis metod s hlavní orientací na tlakové lití a nové progresivní metody výroby. Experimentální část se věnuje postupu a sousledu operací při výrobě vybraného odlitku, kontrolních postupů, měření a zkoušek použitých při výrobě. Dále je tato část práce zaměřena na netěsnost sériově vyráběného odlitku v důsledku porozity, rozboru důvodu vzniku a výskytu na odlitku, vyhodnocení a její odstranění nebo co největší eliminaci.

Klíčová slova: tlakové odlitky, postup výroby odlitků, vady a kontrola, porozita a těsnost

ABSTRACT

The aim of this Master's Thesis is to describe the process of aluminum alloys cast manufacturing. The Thesis is focused on manufacturing casts by method of die-casting. The manufacturing process is described on a concrete type of aluminum die-cast.

The Thesis is divided into two parts, theoretical and experimental. The theoretical part describes historical development of alloy industry, current status of this industry, and general description of casting methods with the focus on die-casting and new progressive manufacturing methods. Experimental part describes process, i.e. the order of manufacturing steps of a chosen part, quality inspection procedures, control measurement procedures and testing procedures used during manufacturing process. Furthermore, the Thesis focuses on description of consequences of porosity that cause leakage of casts produced in high-volume series, analysis and evaluation process of the reasons of porosity, and partial or total elimination of porosity.

Key words : die-casts, manufacturing procedures of casting, defects and quality inspection, porosity and leakage

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	CÍL PRÁCE.....	10
3	ODLÉVÁNÍ HLINÍKU	11
3.1	Historie a vývoj v oboru	11
3.2	Vybrané metody odlévání	12
3.2.1	Tlakové lití.....	12
3.2.2	Nízkotlaké lití	13
3.2.3	Kokilové lití	14
3.2.4	Odstředivé lití.....	14
3.3	Metody vývoje	15
3.3.1	Vývoj nových materiálů	15
3.3.2	Postupy výroby	16
3.3.3	Simulační software	17
4	HLINÍKOVÉ ODLITKY A JEJICH UPLATNĚNÍ	18
4.1	Silné a slabé stránky hliníkových odlitků.....	18
4.2	Použití hliníkových odlitků	19
4.3	Nejvýznamnější uplatnění.....	19
4.3.1	Automobilový průmysl.....	19
4.3.2	Zemědělská technika	20
4.3.3	EGR ventil	21
5	TLAKOVÉ LITÍ HLINÍKOVÝCH ODLITKŮ	22
5.1	Nejpoužívanější slitiny hliníku	24
5.2	Výroba tekutého kovu	25
5.3	Tlakové lící stroje a pracoviště	26
6	PRACOVIŠTĚ TLAKOVÉHO LITÍ BÜHLER 84 D.....	30
6.1	Lící stroj tlakového lití Bühler 84 D	31
6.2	Lící formy pro výrobu	34
6.3	Udržovací pec a dávkovací zařízení.....	36
6.4	Periferní zařízení pracoviště.....	36
6.4.1	Vyjímací robot	37
6.4.2	Ostříhovací lis	38
6.4.3	Ošetřovací a mazací robot	39
6.4.4	Temperovací a chladicí zařízení.....	39
6.4.5	Vakuovací zařízení	40
6.4.6	Odsávací a filtrační zařízení	41
7	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	42
	VÝROBA ODLITKU 1515	42
7.1	Specifikace výrobku	42
7.2	Sousled operací	43
7.3	Technologický postup.....	43
7.4	Kvalitativní požadavky	44
7.4.1	Kontrolní plán.....	45

7.5	Kontrola, měření a zkoušky při výrobě.....	45
7.5.1	Kontrola tekutého kovu	45
7.5.2	Mechanické vlastnosti	51
7.5.3	Kontrola po odlití	52
7.5.4	Obrábění CNC	54
7.5.5	Tlakové zkoušky po obrábění.....	55
7.6	Vyskytující se vady a jejich popis	56
7.7	Porezita	59
7.8	Vyhodnocení porezity.....	59
7.8.1	Nápravná opatření dotlaku	66
7.8.2	Nápravná opatření tvaru jádra	70
8	DISKUZE	75
9	ZÁVĚR	77
10	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	78
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
12	SEZNAM TABULEK.....	81
13	SEZNAM GRAFŮ	82
14	SEZNAM PŘÍLOH.....	82

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá výrobou odlitků ze slitin hliníku ve strojírenské výrobě. Téma práce bylo zvoleno na základě poznatků a zkušeností, které jsem načerpal při absolvování výrobní praxe ve firmě, zabývající se výrobou a následnou finalizací odlitků ze slitin hliníku. Tuto akciovou společnost lze považovat za nejvýznamnější českou firmu působící v tomto dynamicky se rozvíjejícím oboru. Z nejvíce používaných způsobů odlévání hliníkových slitin je diplomová práce především zaměřena na technologii tlakového lití, tedy metodu vhodnou pro realizaci velkosériové výroby.

Možno připomenout, že k vynálezu tlakového licího stroje došlo ve třicátých letech dvacátého století a to právě v tehdejší Československu. Tento vynález byl následně dále rozvíjen a rychle rozšířen do celého světa.

Můj celoživotní zájem o dopravní techniku všeobecně, se s vývojem času vyprofiloval a rozšířil, při studiu na Mendelově univerzitě, z automobilové techniky pro přepravu osob, také a na techniku určenou pro zemědělskou výrobu, lesnictví a stavebnictví. Použití osobního automobilu a zemědělské techniky je sice rozdílné, množství a série vyráběných kusů jsou téměř nesrovnatelné, ale základy výroby a jednotlivých komponentů této techniky jsou společné. Možno tedy říct, že jednotlivé díly osobního automobilu jsou v mnoha případech shodné a dokonce i od stejného výrobce, jako díly, kterými je osazen moderní zemědělský stroj. O tom jsem měl možnost osobně se přesvědčit na výstavách zemědělské techniky, které pravidelně se zájmem navštěvuji.

Významné světové ekonomiky jsou zásadně ovlivněny vývojem a úspěšností automobilového průmyslu. Toto odvětví je charakteristické tím, že dochází k velmi rychlé aplikaci přímých poznatků výzkumu a vývoje do nejrozvinutější výrobní praxe. Potřeby tohoto dynamicky se rozvíjejícího oboru vytváří tlak na dodavatele jednotlivých komponent a tím je nutí, prostřednictvím konkurenčního trhu, k neustálému vývoji svých výrobků, zvyšování jejich kvality a to vše při neustálém požadavku na snižování ceny a růstu rentability výroby.

Výroba odlitků z neželezných kovů, především pak z hliníkových slitin, její následné opracování a finalizace ve velkých sériích, je jednou z nejprogresivnějších technologií při produkci těchto komponentů, používaných v širokém spektru konečných výrobků a zařízení.

2 CÍL PRÁCE

Diplomová práce má za cíl shrnout informace o současných moderních metodách výroby odlitků ze slitiny hliníku a popsat nejčastěji používané materiály při této výrobě. Dále jsou v diplomové práci popsány postupy a jednotlivé technologie lití slitin hliníku, základní rozdělení licích strojů a jejich parametrů. Experimentální část se zaměřuje na konkrétní odlitek a jeho proces výroby. Této části je věnována velká pozornost a dopodrobna popisuje jednotlivé kroky a úkony při výrobě. Cílem experimentu je identifikovat, vyhodnotit a posoudit problematiku vad odlitků, vznik netěsnosti a přímý vliv důsledků porezity. Pro účely vyhodnocení porezity se provede analýza použitého materiálu, rozbor chemického složení slitiny, porovnání tabulkových a dosažených reálných hodnot. Výsledky složení používané slitiny poskytne spektrální analýza. Hodnoty mechanických vlastností slitiny se zjistí trhací zkouškou.

Důležitým cílem experimentální části práce je problematika zkoumání mikrostruktury. V problematickém místě odlitku bude na jednotlivých vzorcích uskutečněn příslušný metalografický rozbor a provedeno vyhodnocení výsledků. Na základě zjištění, budou navržena a přijata opatření, k maximálnímu zamezení vzniku vad. Vyhodnocení porezity se provede ze získaných hodnot experimentálního měření a skutečných hodnot realizovaných výrobních dávek. Bude sledován vývoj v rámci nápravných opatření, s možností posouzení souvislostí k ostatním vyskytujícími se vadám u konkrétního hliníkového odlitku vybraného pro účely experimentu.

3 ODLÉVÁNÍ HLINÍKU

Hliník je prvek, který je nejvíce zastoupený v zemské kůře. V přírodě se s ním setkáváme ve formě jeho sloučenin. To je způsobeno v důsledku velké reaktivity. Průmyslová výroba byla dlouho velmi obtížná, jelikož elementární hliník nelze jednoduchým způsobem metalurgicky vyredukovat z jeho rudy. Francouzský chemik Henry Sainte – Claire Devile v roce 1854 vynalezl a ověřil postup, jak průmyslovým způsobem vyrábět hliník. Proces průmyslové elektrolýzy taveniny kovových rud dovolil levnou produkci čistého hliníku. Elektrolýza je proces, kdy se z taveniny, která je směsí přečištěného bauxitu s kryolitem, při teplotách kolem 950 °C, vylučuje na katodě elementární čistý hliník. Na anodě dochází ke vzniku kyslíku, který reaguje společně s materiálem elektrody a dochází ke vzniku plynného oxidu uhelnatého CO, který je toxický. Hliník je v čistém stavu značně reaktivní, při styku se vzduchem se pokrývá tenkou vrstvou oxidu Al_2O_3 . Tato vrstva oxidu chrání samotný kov před vznikem další oxidace.

Zásadní uplatnění hliníku nastává ve formě hliníkových slitin. Jednou z neznámějších je takzvaný dural, tedy slitina s hořčíkem, mědí a manganem. Díky fyzikálním, mechanickým, chemickým a technologickým vlastnostem byl v historii o tento neželezný kov a jeho slitiny značný zájem, což vedlo k prudkému rozvoji technologií jeho zpracování metodami odlévání. *(Roučka J. 2004)*

3.1 Historie a vývoj v oboru

Rozvoj průmyslu na začátku 20. století umožnil taktéž rozvoj technologií odlévání hliníku, který v roce 1923, vyústil ve vznik u nás vyrobených prvních licích strojů se studenou komorou. Tím byly vytvořeny velmi příznivé podmínky pro rozšiřování slévárenské výroby a to s velkou orientací na vývoj strojních zařízení pro lití pod tlakem. Tyto technologie pak byly rozšířeny po celém světě a u nás vzniklé myšlenky byly dále uváděny do praxe v zahraničí. Společně s vývojem licích strojů pro tlakové lití byly vyvíjeny jednotlivé druhy slitin a to pro metody gravitačního lití do písku a kokil. Vývoj nových slitin umožňoval rychlý rozvoj těchto odlišných technologií, které svým pojetím umožňují vznik výrobků s odlišnými parametry. Velmi zásadní vliv na vývoj licích strojů měl rychlý rozvoj elektroniky, který přispěl k ovládnutí a řízení těchto výrobních zařízení. *(Valecký J. a kol. 1963)*

3.2 Vybrané metody odlévání

Jednotlivé metody jsou charakterizovány způsobem dopravy taveniny do formy nebo kokily a dále pak samotným provedením licí formy nebo kokily. Použitím jednotlivých metod vznikají odlitky s rozdílnými vlastnostmi a způsoby jejich použití, včetně různé a v mnoha případech složité tvarové náročnosti. Vlastnosti odlitků jsou předurčeny druhem používané slitiny, tedy vstupního materiálu pro samotné odlévání. Konečné vlastnosti výrobků jsou taktéž ovlivněny následnými povrchovými úpravami a tepelným zpracováním. *(Michna Š. a kol. 2005)*

3.2.1 Tlakové lití

Tlakové lití je jednou z nejvíce rozšířených metod výroby odlitků ze slitin hliníku. Využívá se hlavně pro výrobu odlitků ve velkých sériích a to především s ohledem na rentabilitu výroby. Odlitky vyrobené touto metodou odlévání, lze začlenit do kategorie malých a středních velikostí, vyznačují se tenkostěnností, složitými tvary, velmi hladkými povrchy a přesnými rozměry. Velmi často již po samotném odlití odpovídají požadovanému tvaru konečného výrobku. Vytvoření odlitku je realizováno v kovové, opakovatelně používané trvalé formě s dutinou. Forma se skládá z pevné a pohyblivé části a k jejímu uzavření při lití slouží mechanismus zavíracích zámků a kloubový systém. Dutina má požadovaný tvar budoucího odlitku, do které se pod vysokým tlakem vstříkne připravená, roztavená slitina, která vyplňuje prostor dutiny formy, kde vzniká vlastní odlitek.

Tlakové licí stroje jsou nejčastěji v provedení s teplou nebo studenou komorou. Proces tlakového lití je velmi úzce navázán na celé licí pracoviště a periferní zařízení. Mezi důležité aspekty při této výrobě patří plnicí tlak roztavené slitiny, konstrukce formy, uzavírací síla formy, ošetření formy a nastavované parametry licího stroje. Celý proces odlévání trvá jednotky až desítky sekund, tudíž je předurčen pro sériovou výrobu.

Úskalím takto vyrobených odlitků je problematika výskytu mnoha druhů vad, které snižují celkovou jakost výrobků. Jednou z nejvíce závažných vad metody tlakového lití je porezita vyráběných odlitků.

Hliníkové slitiny mají vysokou afinitu, nebo-li slučivost s kyslíkem a to jak v tekutém, tak i v tuhém stavu, což je spojené s intenzivní a rychlou tvorbou oxidů, tedy oxidu hlinitého Al_2O_3 . Dalším škodlivým plynem pro hliníkové slitiny je vodík, jehož

rozpustnost v tekutém hliníku je značná a roste výrazně s teplotou. V průběhu krystalizace nastává vylučování formou pórů a bublin. Porezita se projevuje uvnitř struktury odlitků, ale i na povrchu odlitků. Důsledkem porezity je netěsnost odlitků u kterých je tato vlastnost funkčně nežádoucí. Touto problematikou se zabývá experimentální část diplomové práce. (Roučka J. 2004)



Obr. 1 Ukázka tlakového odlitku tělesa olejového čerpadla

(www.kovolit.cz)

3.2.2 Nízkotlaké lití

Metoda nízkotlakého lití je založena na principu nízkého přetlaku na hladině dávkovaného materiálu v tavicí peci. Tímto přetlakem je zajištěno dopravení roztaveného materiálu do příslušného místa licí formy. Zpravidla bývá materiál dopravován do dutiny formy zespodu směrem nahoru, kde postupně vyplňuje tvarová místa. Toto je realizováno pomocí stoupací nebo jinak nazývané plnicí trubice.

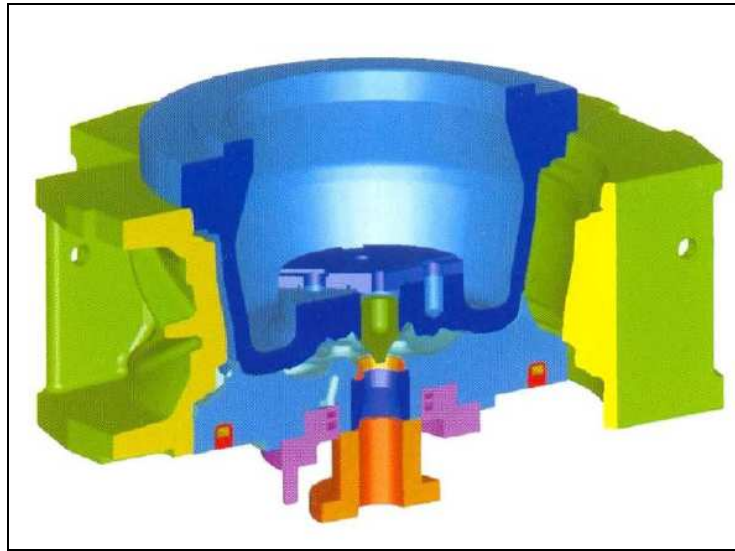
Současně s tím je odsáván prostor dutiny formy a není potřeba velký přetlak k dopravě tekutého kovu. Takto je také zajištěna lepší zabíhavost a tečení odlévaného materiálu, což přispívá k dosažení vyšší jakosti výrobků.

Při této metodě lití tuhne odlitek obráceně než při metodě gravitační, tedy z vrchní části směrem dolů k plnicí trubici. Ke zlepšení návaznosti procesu lití se forma nachází nad dávkovací pecí.

Metodou nízkotlakého lití jsou vyráběny například automobilové disky kol, právě proto, že jsou eliminovány strukturální vady v odlitku. Za jistou nevýhodu metody

nízkotlakého lití lze považovat delší časy tuhnutí odlitků, čímž dochází ke zpomalení procesu výroby. Kontrolované plnění a minimální turbulence plnicího kovu, včetně řízeného tuhnutí, je dosahováno výrobou odlitků, které vykazují velmi jemnou a těsnou materiálovou strukturu. Odlitky jsou tedy s minimální porezitou, vyznačují se velkou přesností, dobrými mechanickými vlastnostmi a jejich povrch je velmi kvalitní.

(Michna Š. a kol. 2005)



Obr. 2 Řez kovovou formou pro odlévání automobilových kol *(www.alcoa.com)*

3.2.3 Kokilové lití

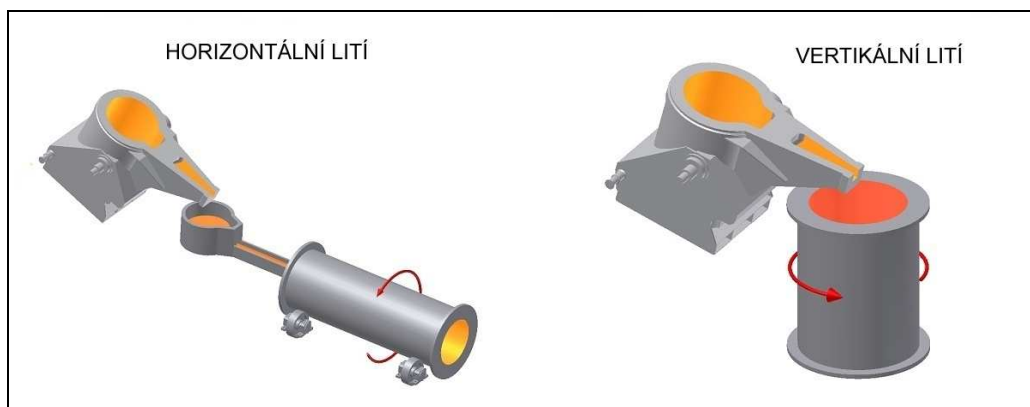
Kokilové lití patří mezi metody gravitačního lití. Metoda je obzvláště výhodná pro odlévání hliníku, hořčíku a mosazi. Při výrobě kokil se nejčastěji používá litina nebo ocel. Před litím jsou funkční plochy kokil, na které působí tekutý kov, ošetřeny speciálním dělicím nátěrem na bázi kaolinu. Pro vytvoření požadovaných tvarů, které nelze zaformovat na tělese kokily, bývají použita nejčastěji písková jádra. Písková jádra jsou po odlití zničena. Tepelné vodivosti kokily je využíváno k rychlejšímu tuhnutí odlitků. Takto vyrobený odlitek má jemnou a těsnou materiálovou strukturu a vykazuje lepší mechanické vlastnosti ve srovnání s odlitkem litým do písku. Kokilové odlitky vykazují malou porezitu, rozměrovou přesnost a kvalitní povrch. *(Roučka J. 2004)*

3.2.4 Odstředivé lití

Tvar odlitku se při metodě odstředivého lití vytvoří působením odstředivé síly na taveninu. Do keramické, nebo kovové formy, je naléván tekutý kov a ten je odstředivou

silou tlačení na stěnu formy. Odstředivá síla působí na kov a ten se pohybuje proti a podél stěny formy, čímž se dosáhne těsného kontaktu mezi kovem a lící formou. Oxidy ve formě strusky a vměstků včetně plynů mají menší měrnou hmotnost jako odlévaný kov a jsou vytlačované směrem ke středu rotace, to znamená k vnitřní ploše odlitku. Tuhnutí probíhá od vnější plochy směrem dovnitř odlitku, při tuhnutí nepřetržitě působí odstředivá síla a zbytky tekutého kovu jsou po dobu tuhnutí vtlačovány do dutin. Tím je dosaženo zvýšení homogenity odlitků. Odlitky vyrobené touto technologií jsou rozměrově přesné, strukturálně kvalitní a povrchově čisté. Jedná se o technologii velmi rychlou a přiměřeně nákladnou. Osa rotace může být buď vertikální, nebo horizontální.

(Michna Š. a kol. 2005)



Obr. 3 Způsoby odstředivého lítí do kokilové formy

(www.vuhz.cz)

3.3 Metody vývoje

Tak jako v každém perspektivním oboru, je i v oboru odlévání hliníkových slitin, potřeba vyvíjet nové postupy a metody. To je vyvoláno poptávkou především z oblastí automobilového a elektrotechnického průmyslu, kde jsou kladeny požadavky na rozšiřování velkosériové výroby, neustálou modernizaci a inovaci dílů, nebo montážních komponentů, spolu s neustále rostoucími požadavky na zvyšování kvality a to vše při snižování ceny.

(Bryksí Stunová B. 2013)

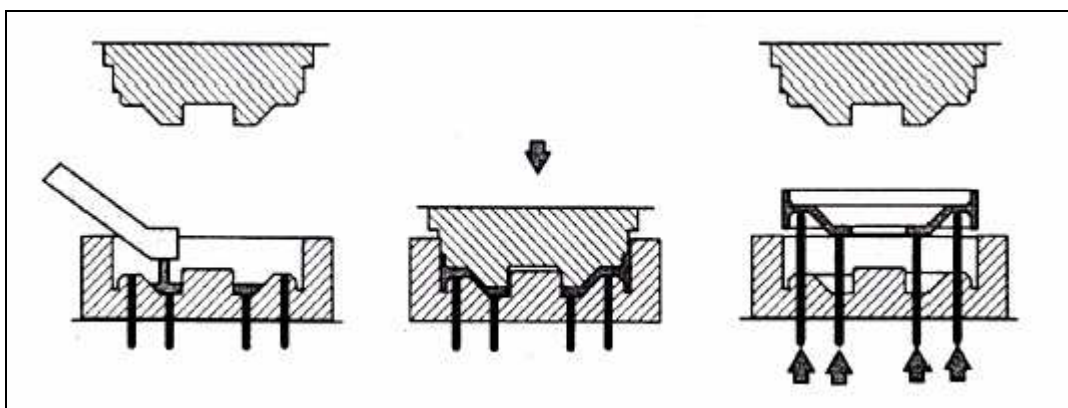
3.3.1 Vývoj nových materiálů

Neustále se zvyšující požadavky a poptávka zákazníků na výrobu odlitků z modifikovaných slitin určených pro úzce specifikované obory použití, nutí výrobce k neustálému vývoji odlévaných materiálů. Požadavky jsou směřovány na zlepšení vybraných vlastností vyráběných produktů, čemuž je nutno primárně přizpůsobit

odlévaný materiál. Jedná se o požadavky na zvýšení mechanických a fyzikálních vlastností. Z tohoto důvodu jsou vyvíjeny slitiny s různě se lišícím obsahem cínu a křemíku. Pro použití v leteckém průmyslu jsou to pak slitiny na bázi AlSc a taktéž ALLi. Dále jsou to kompozitní materiály s hliníkovou maticí. Pro automobilový průmysl je podmínka dobré obrobitelnosti slitin při třískovém obrábění. Zpracování na obráběcích automatech vyžaduje použití materiálu, u kterých je zaručena obrobitelnost zejména z hlediska utváření třísky. Z důvodů zachování dobré obrobitelnosti je olovo nahrazováno mědí, scandiem a bismutem. Další směry vývoje se ubírají cestou používáním nanokrystalických slitin a v určitých oborech používáním takzvaného pěnového hliníku. *(Michna Š. a kol. 2005)*

3.3.2 Postupy výroby

V tomto směru přicházejí nové a modernější metody výroby odlitků. Mezi tyto metody patří stále více se rozšiřující lití s krystalizací pod tlakem nebo-li squeeze casting. Toto lití se vyznačuje výhodami pomalého plnění formy a vysokého tlaku během tuhnutí. Postup výroby lze dále rozdělit na přímý nebo nepřímý squeeze casting. Principem přímé metody je, že se volně nalije přesně odměřený roztavený kov do spodní části kovové formy, kov je následně stlačen horní částí formy a tlak působí po celou dobu, po kterou odlitek tuhne. Užití tohoto způsobu výroby je nejčastější u větších odlitků.



Obr. 4 Squeeze casting přímá metoda

(Roučka J. 2004)

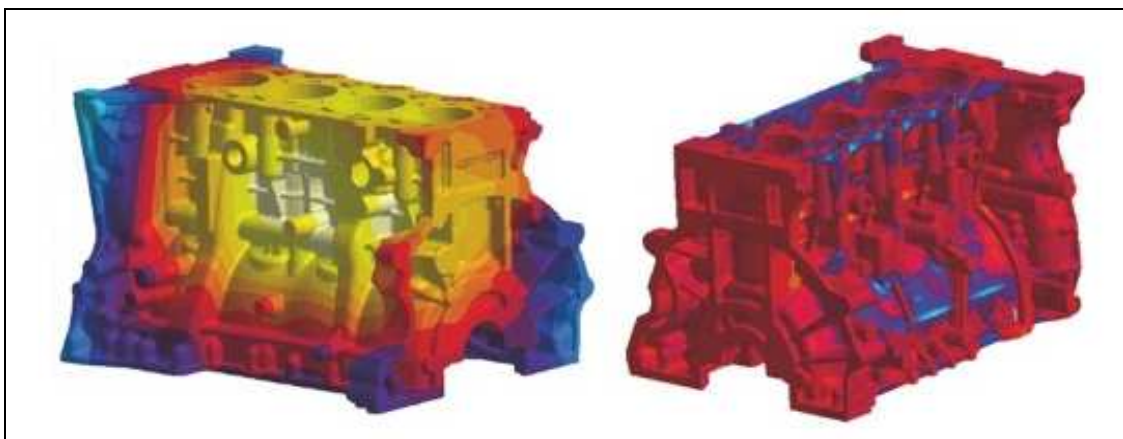
Výroba pomocí nepřímého squeeze castingu je založena na principu podobném jako je tlakové lití, ale s rozdílem pomalejšího průtoku kovu. To zabezpečuje klidné plnění formy pomocí laminárního proudění a je výhodné z důvodu menší možnosti vzniku vad. Také upravuje přestup tepla mezi kovem a formou. Zkracuje dobu tuhnutí a vytvoření

žádoucí jemnozrnné struktury. Dalším přínosem této metody je možnost takzvaného lokálního dotlaku. To znamená, že v místě, kde byl odhalen problém nebo se vyskytuje vada odlitku při odlévání, je vytvořen dodatečný zvýšený lokální tlak za pomoci menšího píستku a dojde k požadované nápravě a eliminaci vzniku vady.

Thixocasting je postup, který spojuje oblast odlévání a lisování. Materiál je lisován ve specifickém polotuhém stavu. U této metody je zcela zásadní příprava materiálu před tlakovým lisováním. Výhodou je velmi nízké procento vzniku vad a jakost výsledného odlitku s ohledem na mechanické vlastnosti. Nevýhodou je poměrně vysoká energetická náročnost na tepelnou energii. Metoda velmi obdobná s Thixocastingem je Rheocasting, při které nechává kov zchladnout. Velkou výhodou Rheocastingu je nízká energetická náročnost na tepelnou energii. *(Michna Š. a kol. 2005)*

3.3.3 Simulační software

Vývoj v této oblasti je velmi důležitý pro zefektivnění výroby a snížení nákladů při návrhu a zavedení nových výrobků. Simulační programy dokáží nasimulovat chování slitiny ve formě, určit riziková místa koncepčního návrhu, nebo upozornit na konstrukční nedostatky formy. Je možno zobrazit postup tuhnutí odlitku, odhalit možná kritická místa pro vznik vad a simulovat teplotní spády. Znalost teplotních poměrů a jejich predikce je ovlivňujícím parametrem pro budoucí jakost odlévaných výrobků. Programy také pomáhají při návrhu trvalých forem před jejich výrobou a nabízejí možná řešení problémů. *(Michna Š. a kol. 2005)*



Obr. 5 Zobrazení tuhnutí hliníkového bloku motoru v programu MAGMAsoft *(www.magma-soft.com)*

4 HLINÍKOVÉ ODLITKY A JEJICH UPLATNĚNÍ

Hliníkové odlitky jsou již řadu let nepostradatelnou součástí celého spektra výrobků. Je jen velmi málo oborů, ve kterých se hliníkové odlitky neobjevují. Velmi široké a různorodé uplatnění hliníkových odlitků je ve své podstatě předurčeno materiálem, ze kterého jsou vyráběny. Mechanické a fyzikální vlastnosti hliníku spolu s rostoucí poptávkou, vybízejí k rozvoji strojních zařízení na jejich výrobu, vývoji nových složení materiálů a souvisejících produktů pro výrobu jako jsou mazadla, ošetrovací přípravky na trvalé formy a obslužná zařízení ve výrobě. *(Ragan E. a kol. 2007)*

4.1 Silné a slabé stránky hliníkových odlitků

Jako každý produkt mají i hliníkové odlitky své výhody a nevýhody. V oblasti silných stránek se dá hovořit především o jejich nízké hmotnosti. Právě kvůli této vlastnosti nacházejí odlitky ze slitin hliníku široké uplatnění v oblasti automobilového, leteckého a elektrotechnického průmyslu. Další příznivou vlastností je odolnost vůči korozi. Ta je bezesporu důležitá v prostředích, ve kterých jsou odlitky vystaveny zvýšené ohroženosti. Korozní odolnost má samozřejmě své limity a hranice. Hodnoty tvrdosti a pevnosti hliníkových slitin lze v určitém rozsahu měnit v závislosti na složení slitiny, ale také tepelným zpracováním vyrobeného odlitku.

Velmi důležitou vlastností je dobrá obrobiteľnosť hliníkových odlitků, která je vyžadována při následném opracování a finalizaci do konečné podoby výrobku. Mezi ceněnou vlastnost hliníkových slitin patří také velmi dobrá zpracovatelnost a slévateľnosť.

Dalším významným přínosem a silnou stránkou, je možnost hliníkové odlitky a výrobky, velmi dobře recyklovat. To napomáhá obnovovat životní cyklus výrobků a snižuje potřebu výroby úplně nového vstupního materiálu.

Mezi hlavní nevýhody odlitků ze slitin hliníku patří v rámci výroby, problematika výskytu různých druhů vad. Tyto vady mohou zapříčinit následnou provozní únavu či deformaci nebo úplnou destrukci odlitku. Strukturální vady odlitků jsou ovlivněny použitou metodou výroby. Za nepříznivý se dá označit i fakt, že odlitky nepohlcují vznikající vibrace a ani je netlumí. Další nevýhodou jsou vysoké finanční náklady na sofistikované výrobní zařízení a spojené náklady na formy a periferní příslušenství.

(Bryksí Stunová B. 2013)

4.2 Použití hliníkových odlitků

Mezi hlavní oblasti uplatnění hliníkových odlitků patří především odvětví dopravy a na ni o navázané obory. Těmi jsou například letecký průmysl, již zmíněný automobilový průmysl, kolejová doprava, lodní průmysl, nebo třeba kosmonautika a výzkum vesmíru. Mezi dalšími odvětvími ve kterých se uplatňují hliníkové odlitky jsou stavebnictví a technika s ním spojená, energetický a elektrotechnický průmysl, potravinářství, chemický průmysl, rekreační průmysl, sport a jiné oblasti použití jako například klenotnictví a moderním umění. *(Michna, Š., Nová, I., 2008)*

4.3 Nejvýznamnější uplatnění

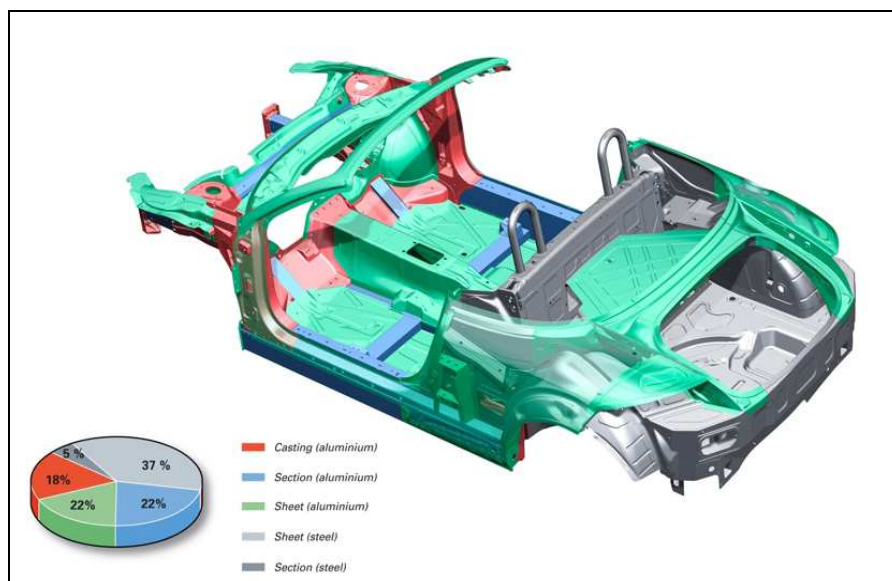
Pravděpodobně nejvýznamnější průmysl, ve kterém se denně setkáváme s hliníkovými odlitky je doprava. Patří mezi největší odběratele a zde je také největší rozmach v pokroku a nových technologií. Dále je zde zahrnuta stále více se rozvíjející technika pro zemědělství. Tento obor se dostává do pozornosti mnoha výrobců odlitků a to díky zvyšujícímu se boji o zákazníka. Proto se hledají další odvětví, která nejsou tolik pokrytá touto výrobou. *(Ragan E. a kol. 2007)*

4.3.1 Automobilový průmysl

Celý automobilový a dopravní průmysl je stěžejním odběratelem hliníkových odlitků a tvoří tím část odvětví, na kterém mají i celé státy založenou svou ekonomiku. Tato část výroby je přímo závislá na odlitcích ze slitiny hliníku. Zastoupení dílů vyrobených z hliníkových slitin a hliníku všeobecně je stále rostoucí. Tyto výrobky jsou používány jak v exteriéru, tak i v interiéru a díky svým specifickým vlastnostem jsou jedny z nejvyhledávanějších.

Největším zastoupením jsou součásti karoserií a komponenty pracovních zařízení nezbytných pro jeho funkci. Jedná se zejména o písty spalovacích motorů, součásti turbodmychadel, chladičů, celých bloků motorů, rámu, nosníků, kol, ramen, hydraulických ventilů, součástí na snížení emisí, celé prvky skříní převodovek, klimatizační komponenty a mnohé další.

Samostatnou oblastí použití hliníkových slitin v konstrukci automobilů, je výroba takzvaných strukturálních dílů, což jsou celé konstrukce nosných prvků karoserií a jednotlivé části samotných karoserií. *(Michna Š. a kol. 2005)*



Obr. 6 Příklad využití hliníkových odlitků z 18 % v konstrukci karoserie (*www.aa-academy.com*)

4.3.2 Zemědělská technika

Přesto, že není zjevná návaznost využití odlitků ze slitin hliníku v zemědělství, tak jako je tomu v případě automobilovém průmyslu, je zemědělská, stavební a těžká dopravní technika velmi závislá na produktech tohoto odvětví.

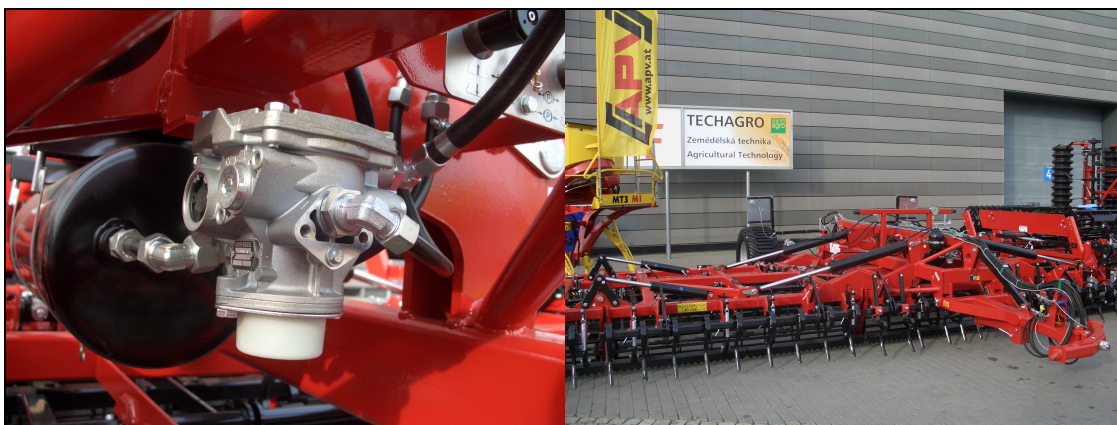
Je samozřejmé, že stejně jako v automobilovém průmyslu, se používají obdobné výrobky i v této technice. Jedná se hlavně o oblast spalovacího motoru a motorového prostoru, brzdového systému, chlazení, řízení a dalšího specifického vybavení strojů.

Vlastním výzkumem v této oblasti těžké techniky bylo vyhodnoceno, že užití je více než velké, značně různorodé a specializované. Při tomto tvrzení se vychází z poznatků načerpaných na výstavě Techagro a vlastních zkušeností v tomto oboru.

Hliník je zde používán díky svým výborným vlastnostem a hlavně korozivzdornosti, která je velmi žádoucí. Velmi často se objevují produkty z hliníkových odlitků ve spojitosti s hydraulickými a pneumatickými rozvody a to jak na samotných zemědělských strojích, ale i na pracovních nářadích.

Další oblastí širokého použití odlitků z hliníkových slitin v zemědělství, jsou motory a převodovky menší zahradní a komunální techniky. Dále se také používají u stacionárních zařízení, například v zařízeních pro krmení hospodářských zvířat a mnoha dalších.

(Ragan E. a kol. 2007)



Obr. 7 Hliníkové odlitky na zemědělské technice

4.3.3 EGR ventil

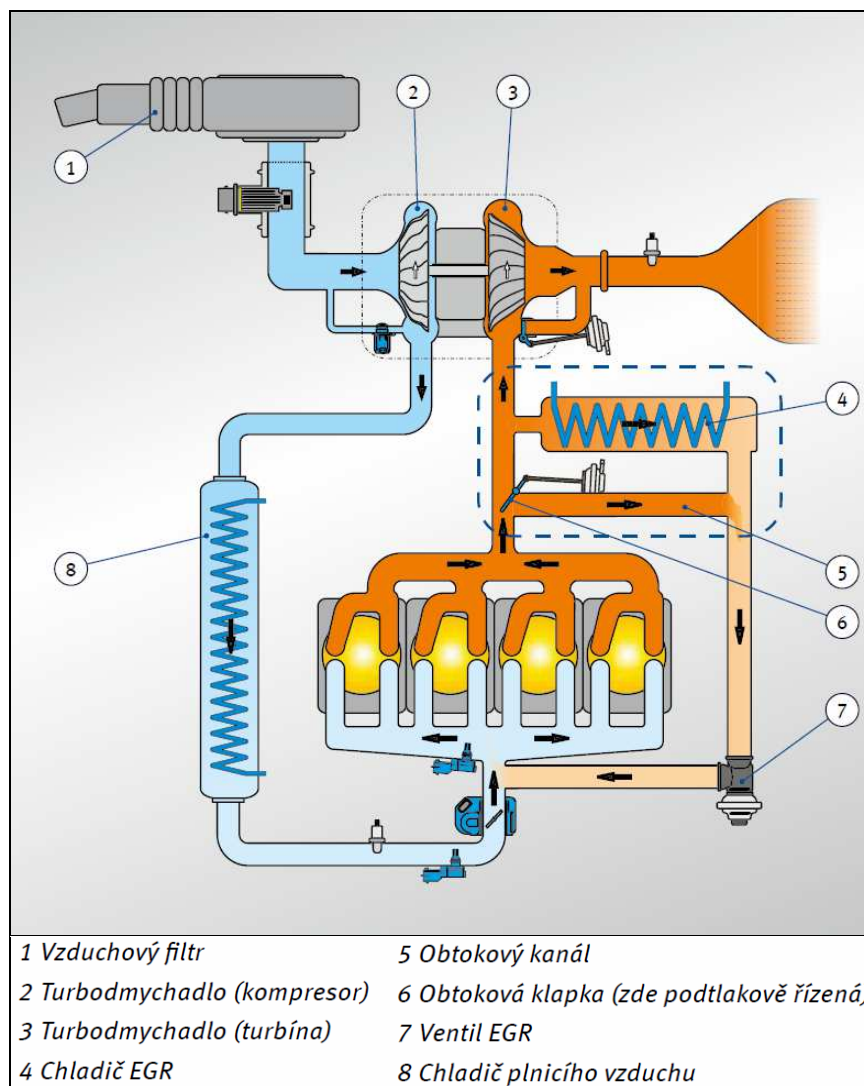
Tato část byla zařazena s ohledem na experiment diplomové práce, kde je hlavním odlitkem těleso systému EGR.

Tento systém je zařazován do strojů se spalovacím motorem. Toto důmyslné zařízení je instalováno jako jedno z těch, které dokáže účinně snižovat nežádoucí plyny a prvky produkované funkcí spalování paliva v motoru.

Prvky, které snižují tyto škodlivé plyny jsou dnes hlavně v evropských zemích velmi aktuálním tématem a normy pro splnění jsou velmi přísné. Samozřejmou věcí je rozdíl mezi produkcí výfukových zplodin z osobního automobilu, nákladního prostředku nebo stavebních či zemědělských strojů. Každé má své specifické nařízení, jaké limity musí splňovat. Normy přesně definují limit jednotlivých součástí odcházejících z výfukového potrubí. Jedná se zejména o oxid uhelnatý CO, nespálené uhlovodíky HC, oxidy dusíku NO_x, pevné částice PM a další. Pro toto snížení se používá zařízení s názvem EGR nebo AGR ventil. Díky němu dochází k navrácení části výfukových plynů zpět do sání a opětovnému cyklu spalování ve spalovacím prostoru. Ventil se používá k vrácení výfukových plynů v rámci vnější recirkulace.

Jedná se o odlitek pro model by-pass, který se zapojuje například v době studeného startu, kdy teplé výfukové plyny putují mimo chladič a tím přispívají k rychlejšímu dosažení provozní teploty spalovacího motoru. Množství takto recirkulovaných plynů se pohybuje kolem 15 až 20 %. Vše je regulováno řídicí jednotkou motoru, která vyhodnocuje a připojuje EGR systém tak, aby jeho funkce byla co nejvíce využita.

(Gscheidle R. a kol. 2005, Bauer.F a kol. 2013)



Obr. 8 Schematické chlazení zpětně vedených spalin (www.ms-motorservice.com)

5 TLAKOVÉ LITÍ HLINÍKOVÝCH ODLITKŮ

Tato metoda je jednou ze stěžejních metod sériové výroby odlitků ze slitiny hliníku. Je to proces, při kterém je jednotlivý výrobek vytvořen během několika sekund a je tedy výhodný pro již zmiňovanou velkosériovou výrobu. Vytvořený odlitek je totožný s požadovaným tvarem hotového výrobku. Tudíž je zde snížen celkový náklad v oblasti následných operací.

Metodou tlakového odlévání se běžně dosahuje přesnosti, která se pohybuje v hodnotách ± 0.05 mm až $\pm 0,2$ mm. Ve většině případů, se vyjma funkčních ploch, které jsou obráběny různými metodami, nemusí nijak upravovat. Odlitky vyrobené tímto postupem jsou převážně menší, tvarově velmi složité, s kvalitními a hladkými povrchy. Největším problémem této metody lití je výskyt různých druhů vad. Proto je

celý průběh a parametry lití, nastavované během procesu, velmi důkladně sledován a kontrolován.

Je zajímavé, že počátky tohoto odvětví a celé oblasti tlakového lití jsou spojeny s naší republikou, přesněji s panem Ing. Josefem Polákem, který metodu navrhl a nechal si ji patentovat v roce 1929. Prvním výrobcem těchto strojů byla jeho továrna v Praze Holešovicích.

Principem této metody je, za pomoci vysokého tlaku pístu, dopravit roztavený kov do dutiny uzavřené formy. Tento proces vlastního odlití probíhá v řádech sekund. Tlak dosahuje hodnot, dle provedení a konstrukce stroje, v rozmezí od 10 MPa do 100 MPa.

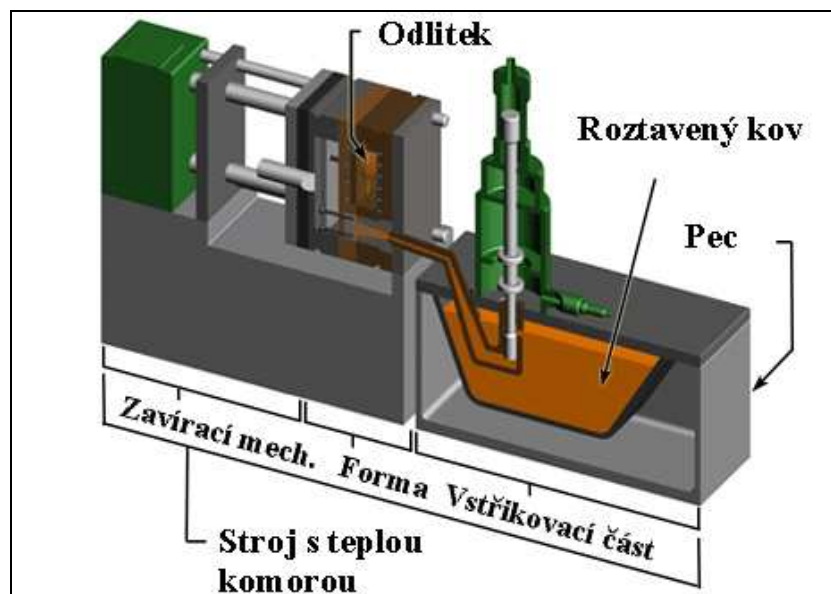
(Michna a kol. 2005)

Podle uspořádání vstřikovacího ústrojí rozdělujeme stroje na:

- Stroje s teplou komorou

Tento typ strojů se používá k odlévání nízkotavitelných slitin. Součástí stroje je tavící pec, ze které je roztavený kov tlačěn pístem přímo do prostoru uzavřené formy. U novější koncepce vyráběných licích strojů s teplou komorou, je proces plnění formy tekutým kovem realizován pomocí tlaku vzduchu a pístem.

(Dillinger a kol. 2007)



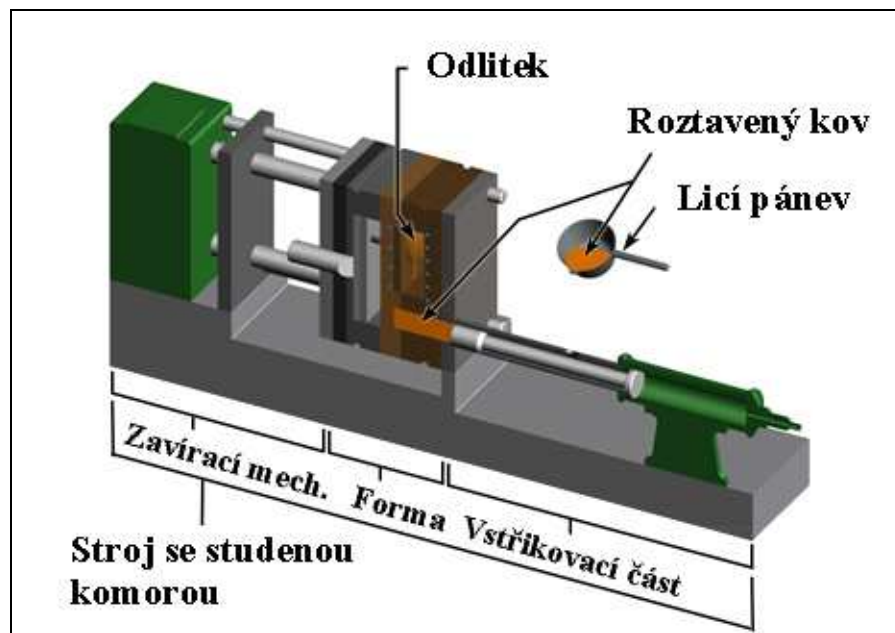
Obr. 9 Schéma zařízení s teplou komorou

(www.custompartnet.com)

- Stroje se studenou komorou

Licí stroje se studenou komorou mají tavicí nebo udržovací pec umístěnu mimo prostor samotného stroje a roztavený kov se dopravuje z pece do licí komory za použití dávkovacího zařízení, které je umístěno mezi udržovací pecí a licím strojem.

(Dillinger a kol.2007)



Obr. 10 Schéma zařízení se studenou komorou (www.custompartnet.com)

5.1 Nejpoužívanější slitiny hliníku

Slitiny hliníku pro tlakové lití jsou uspořádány a řazeny do pěti skupin a jsou rozděleny dle obecně charakteristických vlastností pro účely potřeby výroby odlitků.

- Slitiny typu Al-Cu-Si

V amerických normách je typickým představitelem Slitina AA 380.0, které přibližně odpovídá ČSN 42 4339, což je slitina AlSi8Cu2Mn. Jedná se o nejvíce aplikované slitiny pro tlakové lití. Mají velmi dobrou slévatelnost a dobré mechanické vlastnosti, ale mají malou odolnost vůči korozi.

- Slitiny typu Al-Si-Mg

Dle amerických norem AA 360.0 odpovídá ČSN 42 4331, tedy slitině AlSi10MgMn. Tyto slitiny jsou považovány za univerzální. Vyznačují se dobrou

slévateľností a odolností proti korozi. Mají ale naopak zhoršenou mechanickou obrobiteľnosť a jejich mechanické vlastnosti jsou nižší než u předchozí slitiny.

- Slitiny typu Al-Si-Cu-Mg

Označení AA 390.0 a dle ČSN 42 4386 jí přibližně odpovídá AlSi20Cu2NiMgMn. Slitina vyniká výbornou otěruvzdorností, menší teplotní roztažností, vysokou tepelnou vodivostí, dobrými mechanickými vlastnostmi za zvýšených teplot a dobrou slévateľností. Nevýhodou je nízká korozní odolnost, nižší plastické vlastnosti a špatná mechanická obrobiteľnosť.

- Slitiny typu Al-Si

Podeutektická slitina s označením C 443.0 a jí částečně odpovídající ČSN EN 1706, slitina EN AC AlSi5Cu1Mg a také nadeutektická 413.0, ta odpovídá ČSN 42 4320. Tato slitiny se vyznačují vynikající slévateľností, velmi dobrou odolností vůči korozi, ale mají zhoršenou mechanickou obrobiteľnosť. Využívají se zejména pro odlitky větších rozměrů a pro tenkostěnné odlitky.

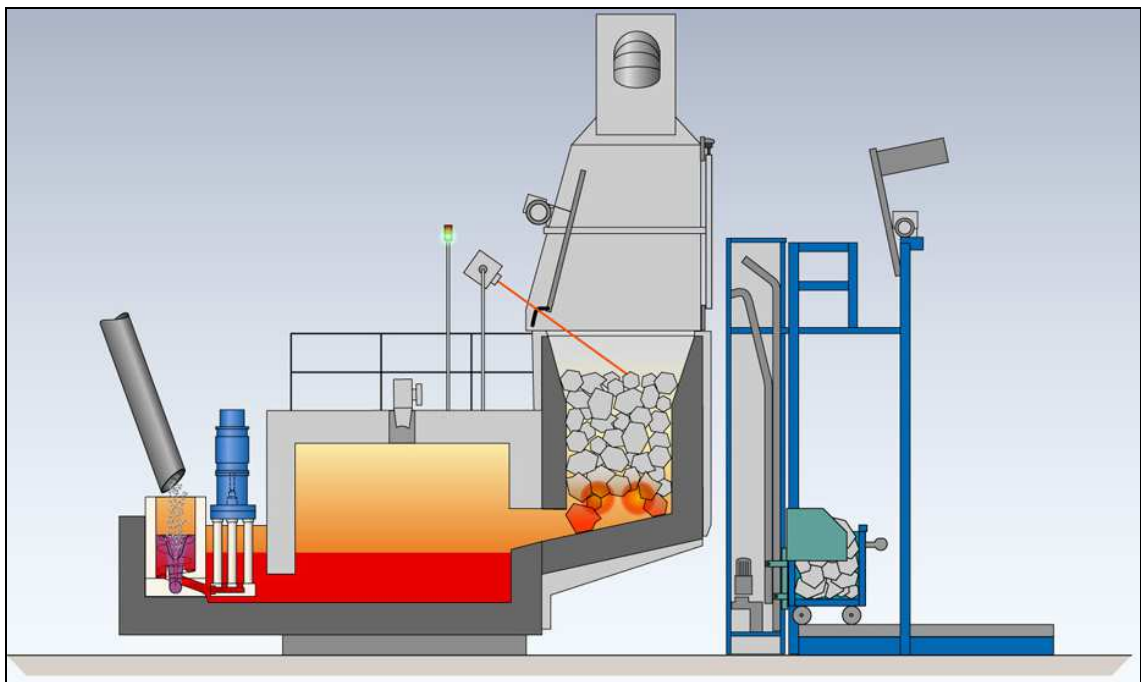
- Slitiny typu Al-Mg

Představitelem je slitina AA 518.0, které částečně odpovídá ČSN EN 1706, slitina EN AC AlMg5. Tyto slitiny se používají kvůli jejich výborné korozivzdornosti. Mají také vysoké pevnostní vlastnosti, vysokou tažnost, vynikající mechanickou obrobiteľnosť, dobré lomové hodnoty a velmi nízkou specifickou hustotu. Slévářenské vlastnosti ale nejsou příliš dobré. *(Michna Š. a kol. 2005)*

5.2 Výroba tekutého kovu

Velmi zásadním bodem v procesu výroby odlitků je správná příprava roztavené slitiny. Ta probíhá v tavírně, kde se v pecích roztavuje materiál v podobě takzvaných housek, které mají garantované složení. Spolu s tímto novým materiálem se přidává do pece vratný materiál a odpad, jako jsou například vtokové a výfukové soustavy, nálitky, neshodné a poškozené kusy. Takto provedená skladba vsázky je velice výhodná z hlediska recyklovatelnosti materiálu a úspory finančních nákladů. Vždy však musí být dodrženo požadované chemické složení taveniny, kterou je možno přesně upravit v tavící peci, nebo v lící pánvi ještě před dopravou k lícímu stroji. Mezi důležitou

úpravu taveniny patří proces odplynění taveniny pomocí odplyňovacího zařízení. Tato operace při výrobě tekutého kovu má velký vliv na celkovou kvalitu vyráběných odlitků, především pak v oblasti výskytu strukturálních vad. Jakmile je tavenina připravena pro použití, je distribuována k jednotlivým licím pracovištím. Pro tavení se využívají tavící pece s různým druhem vyhřívání. Jedná se o pece plynové a elektrické. S ohledem na skutečnost, že slitiny hliníku rychle oxidují, jsou k tavení vhodné pece, které mají mírně redukční prostředí a to jsou pece plynové. (Bryksí Stunová B. 2013)



Obr. 11 Řez plynovou pecí Striko Westofen

(www.strikowestofen.com)

5.3 Tlakové licí stroje a pracoviště

Stěžejním strojním zařízením při procesu tlakového odlévání je samostatný licí stroj. Tyto stroje jsou vyráběny v mnoha specifikacích, modifikacích a velikostech. Podle druhu stroje, jeho velikosti a volitelného vybavení je také odvislá cena, která se pohybuje v hodnotě desítek milionů Kč.

Nejnámějšími výrobci a dodavateli licích strojů jsou firmy:

Bühler (Švýcarsko), Italtresse (Itálie), Colosio (Itálie), Toshiba (Japonsko), Dynacast (USA), Frech (Německo), Müller-Weingarten (Německo), Techmire (Kanada), Ube (Japonsko)

(www.svazslevaren.cz)

Na tlakový licí stroj se dá pohlížet z několika pohledů. Mezi ta nejzásadnější rozdělení, patří již zmíněná rozdílnost v licích komorách, tedy stroje s teplou nebo studenou komorou.

Za další velmi důležitý rozlišující parametr licího stroje je považován mechanismu uzavírání licí formy při lití a s tím související návaznost velikosti uzavírací síly. Možností pro další rozdělení licích strojů může být například konstrukční velikost, rychlost procesu odlévání, druh řídicí jednotky, možnost napojení periferních zařízení na řídicí systém stroje, způsob zavírání formy a další.



Obr. 12 Tlakový licí stroj Bühler Evolution B 84D

(www.buhlergroup.com)

- Uzavírací síla

Vycházíme ze skutečnosti, že při vstřikování materiálu do dutiny formy, působí takzvaná otevírací síla F_o , která působí proti uzavírací síle F_z . Velikost uzavírací síly přijali výrobci tlakových licích strojů za jisté měřítko pro rozdělení velikosti tlakového licího stroje. Pro samotný zdárný průběh lití a bezpečného uzavření licí formy musí platit vždy podmínka, že F_z musí být větší než F_o .

Dokonalé uzavření licí formy je nezbytnou podmínkou k zamezení vystříknutí tekutého kovu přes dělicí rovinu formy. Dokonalé uzavření formy má taktéž vliv na toleranci rozměrů odlévaného odlitku. (Čada R. 2010)

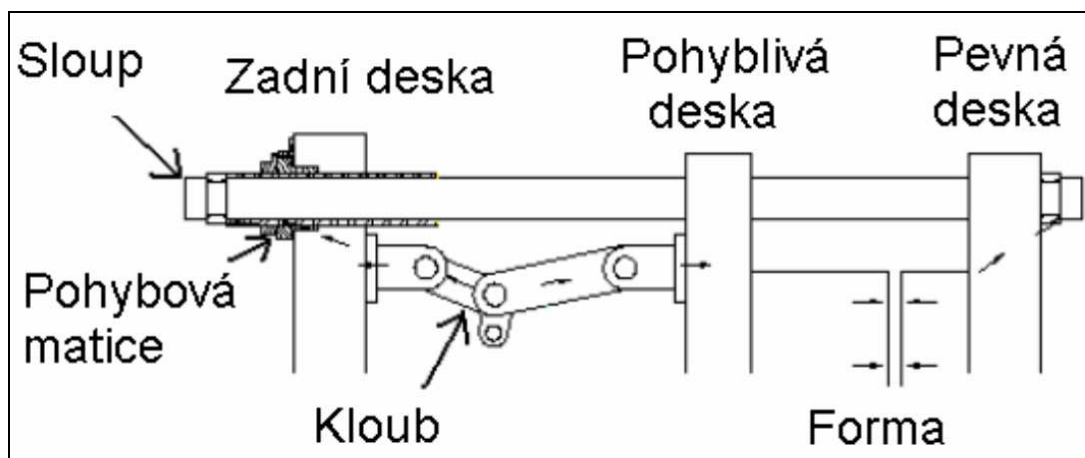
Tab. 1 Rozdělení licích strojů podle velikosti uzavírací síly (Michna Š. a kol. 2005)

Malé stroje	Uzavírací síla od 0,6 do 4 MN
Střední stroje	Uzavírací síla od 6,3 do 11 MN
Velké stroje	Uzavírací síla od 14 do 43 MN (a vyšší)

K dokonalému uzavření formy jsou prakticky užívány dva způsoby. Jedná se o mechanismus kloubový třídeskový a modernější dvoudeskový.

- Mechanismus uzavírání

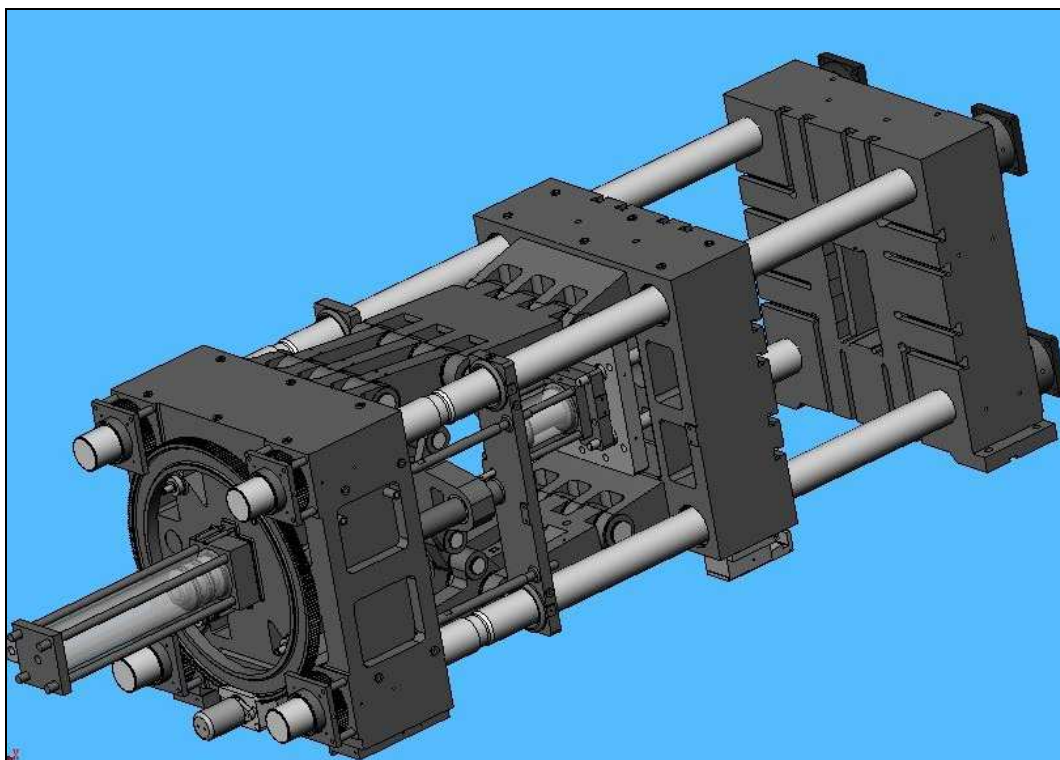
Mechanismus uzavírání licí formy prodělal zásadní vývoj v důsledku růstu požadavků na kvalitu, ale do jisté míry i snahou nalézt technicky jednodušší řešení. Starší licí stroje, které jsou však běžně užívány k výrobě, mají mechanismus uzavírání realizován kloubovým mechanismem, nebo-li takzvanou kolenovou pákou.



Obr. 13 Kloubový mechanismus

(www.fs.cvut.cz)

Uspořádání kloubového mechanismu a jeho provedení může být jednonásobné, nebo vícenásobné, v paralelním, nebo následném, takzvaném za sebou řazením. Je pak využíván princip, který se skládá ze tří desek. Dvě zadní desky pohyblivé části mechanismu jsou opatřeny samotným kloubovým mechanismem a na přední desce stroje je připevněná pevná část formy.



Obr. 14 Prostorové zobrazení kloubového mechanismu

(www.sdbmc.com)

U moderních tlakových licích strojů je způsob kloubového mechanismu pro uzavírání formy nahrazen dvoudeskovým zavíráním.

Principem tohoto řešení jsou čtyři vodící sloupy, které spojují přední a zadní část stroje a tedy pevných i pohyblivých desek stroje.

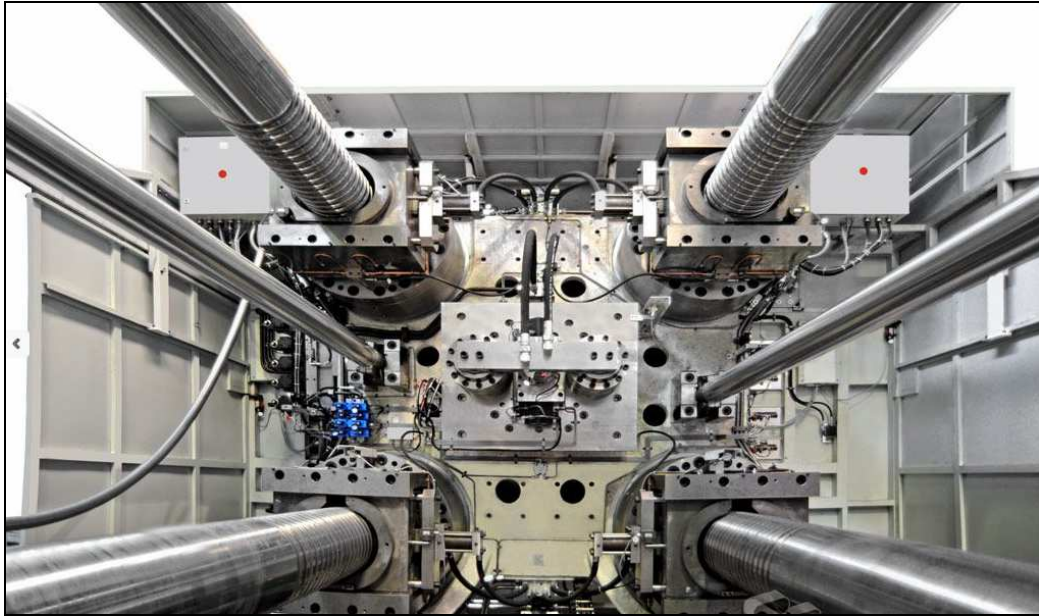
Pohyblivá část se pohybuje po těchto vodících sloupech a hydraulické válce vytvářejí uzavírací sílu. Průměr vodících sloupů je dimenzován dle velikosti uzavírací síly licího stroje.

Vodící sloupy jsou opatřeny drážkami, do kterých zapadnou speciální půlené matice, které jsou ovládány hydraulicky. Tím dojde k takzvanému zamknutí a poté následuje vstříknutí tekutého kovu.

Dvoudeskové řešení je z mechanického pohledu méně technicky náročné, přesto je pokrokovější a možno říct, že u nových strojů nejvíce používané.

Bylo umožněno vývojem hydraulicky ovládaných, dělených, zamykacích matic.

(Bryksí Stunová B. 2013)



Obr. 15 Sloupy s uzamykacími maticemi

(www.italpresse.it)

6 PRACOVISTĚ TLAKOVÉHO LITÍ BÜHLER 84 D

Licí pracoviště je soubor zařízení, které umožňuje přeměnu tekutého kovu na vstupu, až po ostřížený odlitek umístěný do palety na výstupu. Licí pracoviště jsou projektována s ohledem na vyráběný sortiment výrobků a jejich uspořádání vyžaduje důkladnou projektovou přípravu. Velký důraz je kladen na efektivní logistický tok výroby a to nejen samotného pracoviště, ale na celkovou koncepci slévárenského provozu, ve kterém je dílčí pracoviště umístěno.

Pracoviště bylo navrženo jako plně robotizované uspořádání. Základem pracoviště je licí stroj od firmy Bühler Evolution B 84 D. Licí pracoviště je dále tvořeno udržovací a dávkovací pecí firmy Krown s typovým označením Krownmatic KM 1200. Dalším periferním zařízením tohoto pracoviště je robotizovaný systém vyjímání odlitků a ošetřování licí formy. Pro vyjímání je použit průmyslový robot Kawasaki typ RS 30N-FE 42. Mazání a ošetření formy realizuje robotizovaný systém mazání, kterým je průmyslový robot Kawasaki typ RS 80N-FE 42. Dále je licí pracoviště vybaveno dvourychlostním ostříhovacím lisem typu T45 NG+ Diesse Presse S.r.l.

Na tomto licím pracovišti je využívána metoda tlakového lití za použití vakuovacího zařízení. Odsávání zplodin vznikajících při tlakovém lití je zajištěno odsávacím zařízením od firmy KMA.



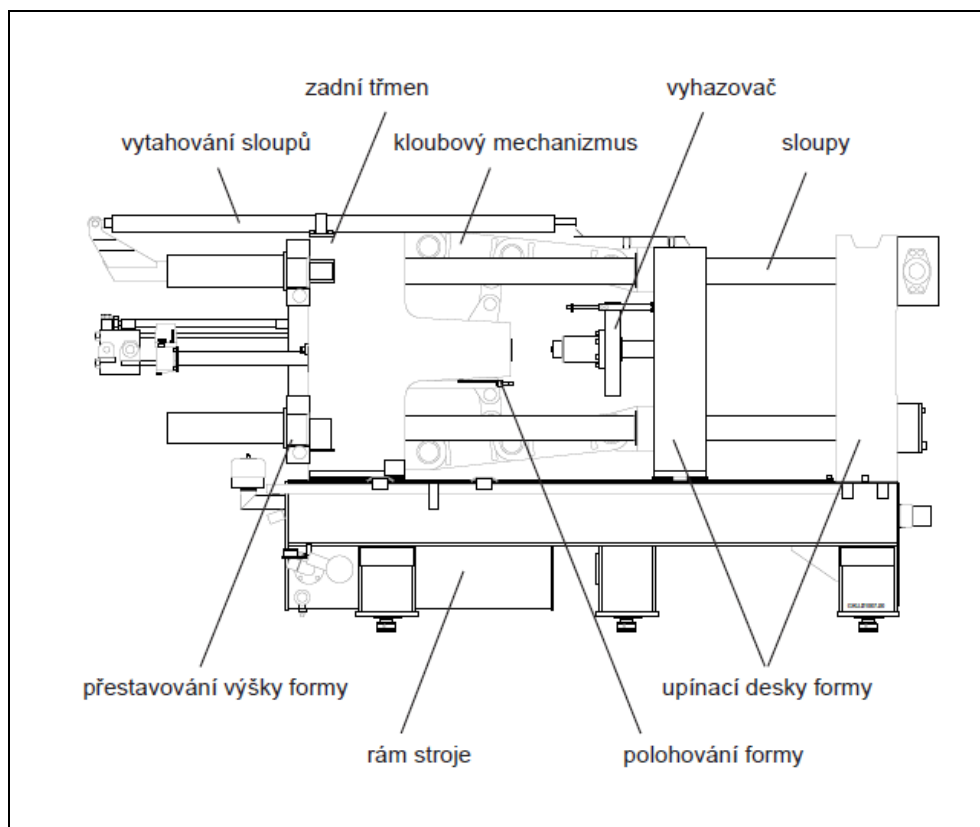
Obr. 16 Pohled na konkrétní lící pracoviště

6.1 Lící stroj tlakového lití Bühler 84 D

Lící stroj od firmy Bühler Evolution B 84 D. Firma Bühler patří mezi přední světové výrobce lících strojů a ve svých výrobcích aplikuje nejpokrokovější poznatky výzkumu a vývoje. Jedná se o horizontální tlakový lící stroj se studenou komorou, který je vhodný především pro tlakové lití slitin hliníku při aplikaci metod Squeeze Casting a Semi Solid Metal Casting.

Uzavírací část stroje

Uzavírací jednotka formy je tvořena čtyřmi sloupy průběžné horizontální konstrukce s hydraulicky ovládaným dvojitým kolenopákovým kloubovým systémem. K prodloužení životnosti a minimalizaci nákladů spojených s údržbou, slouží upínací desky z oceli vyztužené kloubními šrouby, které jsou umístěny v pouzdrech s malým opotřebením. Upínací desky jsou chráněny proti korozi žárovým kovovým nástřikem. Všechna pohyblivá uložení jsou mazána cyklicky centrálním mazacím zařízením. K zamezení lomu sloupů jsou sloupy a matice opatřeny speciálním závitem vyvinutým u firmy Bühler.



Obr. 17 Mechanismus uzavírání

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)

Rám stroje

Rám stroje přebírá statické zatížení uzavírací části a 6 opěrných bodů zabezpečuje stejnoměrné zatížení základu. Pevná upínací deska, tedy přední třmen, je sešroubován s rámem stroje. Pohyblivá upínací deska s nosičem forem leží na vodicích lištách sloupů. Do rámu stroje je integrována nádrž hydraulické kapaliny.

Polohování formy

Stroj je vybaven absolutním systémem měření dráhy pro uzavírací část formy, aby spolu s hydraulickým polohováním otevíracího zdvihu, řídil pohyby formy. Měření dráhy se děje na válci uzavírání. Měřená hodnota se přepočítává na polohu pohyblivé upínací desky.

Zařízení k vytahování jader

Na nosiči forem je šest zařízení k vytahování jader a na pevné upínací desce jsou tato zařízení celkem čtyři. Na obou deskách je umístěn jeden centrální redukční tlakový ventil, který umožňuje použití tahačů jader s provozními tlaky nižšími než je maximální tlak v systému.

Dohutňovač

Při výrobě komplexních tlakových odlitků za použití metody Squeeze Casting a Semi Solid Metal Casting vzniká požadavek, na dohutnění exponovaných nebo mechanicky vysoce namáhaných tvarových částí. K tomuto účelu se do tvarových částí formy zalisovávají dohutňovací kolíky ovládané hydraulickými válci. Výbava tohoto stroje obsahuje pět na sobě nezávislých dohutňovacích jednotek na pohyblivé upínací desce a dvě nezávislé dohutňovací jednotky na pevné desce.

Dohutňovací jednotka se skládá z následujících prvků:

- magnetický ventil
- škrťací zpětný ventil s redukcí tlaku k nastavení rychlosti zajíždění dohutňovače
- redukční tlakový ventil ke snížení systémového tlaku na dohutňovač
- měřicí mezideska
- přípojný blok

Na obslužné jednotce je programovatelné

- zpoždění zajetí
- doba navolení
- zpoždění vyjetí

Licí jednotka

Licí jednotka je vybavena číslicovou regulací v reálném čase 2. generace Shot Control firmy Bühler, pro fázi plnění a dotlaku. Optimální přizpůsobení licí křivky tlakovému odlitku je zaručeno dvaceti body křivky pro fázi plnění a dvaceti body křivky pro fázi dotlaku. Licí jednotka je vybavena multiplikátorem. Ten se automaticky připojuje dle naprogramovaného nastavení křivky. Stroj je vybaven testem řazení plnění přes celou fázi plnění. Ke kompenzaci rozptylu dávkovaného množství tekutého kovu je možno použít senzory čela kovu a senzory tlaku v dutině formy.

Licí válec a spojitý ventil

Licí válec je konstruován s pístnicí. Systém měření dráhy licího válce je integrován v pístnici. Během fáze plnění se vede olej ze skupiny akumulátorů přes rozvodný blok na primární stranu licího válce.

Pro fázi dotlaku se podle potřeby připojuje multiplikátor. Na sekundární straně licího válce reguluje spojitý ventil rychlost ve fázi plnění a tlak kovu ve fázi dotlaku. Vícestupňový spojitý ventil tvoří s jemu příslušnou ventilovou elektronikou jednu jednotku. Odtékající olej hlavním stupněm spojitého ventilu se vede teleskopem do nádrže hydrauliky, řídicí olej se dostává do nádrže zvláštní hydraulickou hadicí.

Akumulátorová skupina

Aby mohlo být během fáze plnění krátkodobě k dispozici velké množství oleje, používá se pístový akumulátor. Pístový akumulátor je na plynové straně spojen přes uzavírací kohout s láhvemi dusíku. Protrhávací kotouč je pojistka, která zabraňuje převýšení tlaku v systému dusíku. Spínání koncových poloh ukazuje, když je pístový akumulátor naplněn

Multiplikátor (převodník tlaku)

Aby se ve fázi dotlaku dosáhl vysoký tlak, je použit multiplikátor. Ten se podle potřeby, v závislosti od naprogramovaného nastavení křivky, připojí automaticky.

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)

6.2 Licí formy pro výrobu

Licí forma je zařízení napojené na okruhy licího stroje. U tlakového lití se používá trvalá dělená forma. Vnitřní dutina má tvar odlitku zvětšený o technologické přídavky a nálitky. Skládá se z části pevné a pohyblivé. Licí formy se vyrábí v horizontálních a vertikálních provedeních. Ve formě je umístěna vtoková a výfuková soustava.

Vtoková soustava má po odlití takzvanou tabletu, u které se měří její výška. Výška tablety a její hmotnost by měla být v průběhu licí série stejná, což nasvědčuje stabilitě opakovaného procesu. Moderní výfukové soustavy bývají zakončeny labyrinty nebo vlnovci, které zabezpečují dokonalejší zaběhnutí slitiny a větší intenzitu odvzdušnění. Na tyto součásti bývají také napojeny vakuovací zařízení pro zlepšení parametrů lití. Součástí formy jsou vložky a jádra. U této metody se využívají trvalá jádra. Trvalá jádra jsou pomocí hydrauliky ovládané licím stroje vysunuta na předepsané místo ve formě tak, aby vytvořila požadovaný tvar v odlitku.

Vložky se využívají k drobným změnám tvaru dutiny z ekonomických důvodů, protože upravovat celou formu by bylo nákladné.

Po skončení životnosti jsou jednoduše vložky vyměněny. Novější formy jsou vybaveny speciálními zařízeními pro lokální dotlaky v určitých místech neboli squeeze casting. Pro vyšší efektivitu při výrobě mohou být formy vícenásobné, to znamená, že při jednom licím cyklu se vyrobí v jedné formě více odlitků.

Součástí formy jsou vyhazovací zařízení neboli vyhazovače pro oddělení odlitku od formy a umožňují vyjmutí mimo formu. Vyjmutí odlitého celku pomocí robota je realizováno úchopem kleštin neboli prstů za tabletu vtokové soustavy.

Mezi nejčastější materiály pro výrobu formy se používají oceli odolné vůči teplotám a přímo určené k této výrobě. U méně namáhaných částí formy se používají konstrukční legované oceli a u vložek vysokolegované oceli určené pro práci za tepla.

Ošetření formy zajišťuje k tomu určený robot. Forma se napojuje na okruhy zabezpečující chlazení, temperování a předehřev. Moderní metodou návrhu, výroby a úpravy formy je použití simulačního software pro grafické modelování a vyhodnocování. *(Bryksí Stunová B. 2013)*



Obr. 18 Pohled do licí formy odlitku

6.3 Udržovací pec a dávkovací zařízení

Toto zařízení odebírá materiál dopravený z tavnice. Je důležité pro zachování správné teploty taveniny, jelikož nemůže být celý materiál spotřebován na výrobu okamžitě. Udržovací pec je velmi často vybavena speciální filtrací tekutého kovu. Tyto filtry zachycují nečistoty, stěry a nežádoucí vměšky obsažené v připravené tavenině. Filtrace probíhá několikrát za sebou tak, aby byla dosažena co možná největší čistota tekutého kovu. Nečastěji jsou filtry umístěny ještě před pecí nebo přímo v udržovací peci. Nejlepším umístěním filtrů je místo ve vtokové soustavě odlitku. Dalším možným řešením, je použití filtrů při přelévání taveniny z licí pánve. Jedná se o filtrační nálevky a boxy nebo filtrační přepážky umístěné přímo v udržovací peci.

Dávkovací zařízení je důležité pro přesné odměření požadované dávky tekutého kovu do formy. Odměření dávky probíhá za pomoci čidel umístěných na nabíracím zařízení a využívá vodivost kovu. *(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)*



Obr. 19 Udržovací a dávkovací pec KROWNOMATIC

6.4 Periferní zařízení pracoviště

Jedná se o zařízení, která přímo navazují nebo podporují hlavní agregát procesu, kterým je licí stroj. Kromě udržovací pece se jedná o automatické stroje pro zajištění kontinuitu procesu. Manipulační roboti zabezpečují bezpečné vyjímání odlitku z licí

formy a jeho přesun k další strojní operaci, případně k uložení do palety. Ošetřovací robot zajišťuje správnou funkčnost licí formy. Dalším strojem, který bývá označován za periferní zařízení je ostříhovací lis, který bývá ve většině případů umístěn za licím strojem. Důležitým periferním zařízením pracoviště jsou temperovací a chladicí zařízení napojené na licí stroj a na formu. *(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)*

6.4.1 Vyjímací robot

Průmyslový robot, typ Kawasaki RS 30N-FE 42. Robot, zajišťující rychlé a bezpečné vyjmutí odlitku z otevřené formy. Je plně automatizován a elektronicky propojen s licím strojem. Vyjmutý odlitek je přesunut ve většině případů přímo do ostříhovací jednotky. Řídicí systém Kawasaki E42 je vybaven diagnostickým komponentem vyhledání chyb a vizuálním zobrazením chybových hlášení na LCD obrazovce. Pneumatické kleště pro uchopení vyjímaného kusu jsou tříčelist'ové, zakončené terminálky a manipulují s tabletou vtokové soustavy zvoleného průměru. Kontrola celistvosti kusů je zajištěna osmi optickými senzory, které kontrolují celistvost odlitého a vyjímaného kusu. Dále je robot vybaven jedním optickým senzorem, který kontroluje vyjmutí odlité sady z prostoru formy a dává povel řídicí jednotce pro činnost a vstup ošetřovacího robota do prostoru otevřené formy. Řídicí program robotu umožňuje provádět výběr a pořadí fotobuňek určených ke čtení poloh. Rameno robota je kloubové, maximální funkční délka 2100 mm, počet os je 6, nosnost zápěstí 30 kg, hnací motory jsou bezkartáčové AC. *(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)*

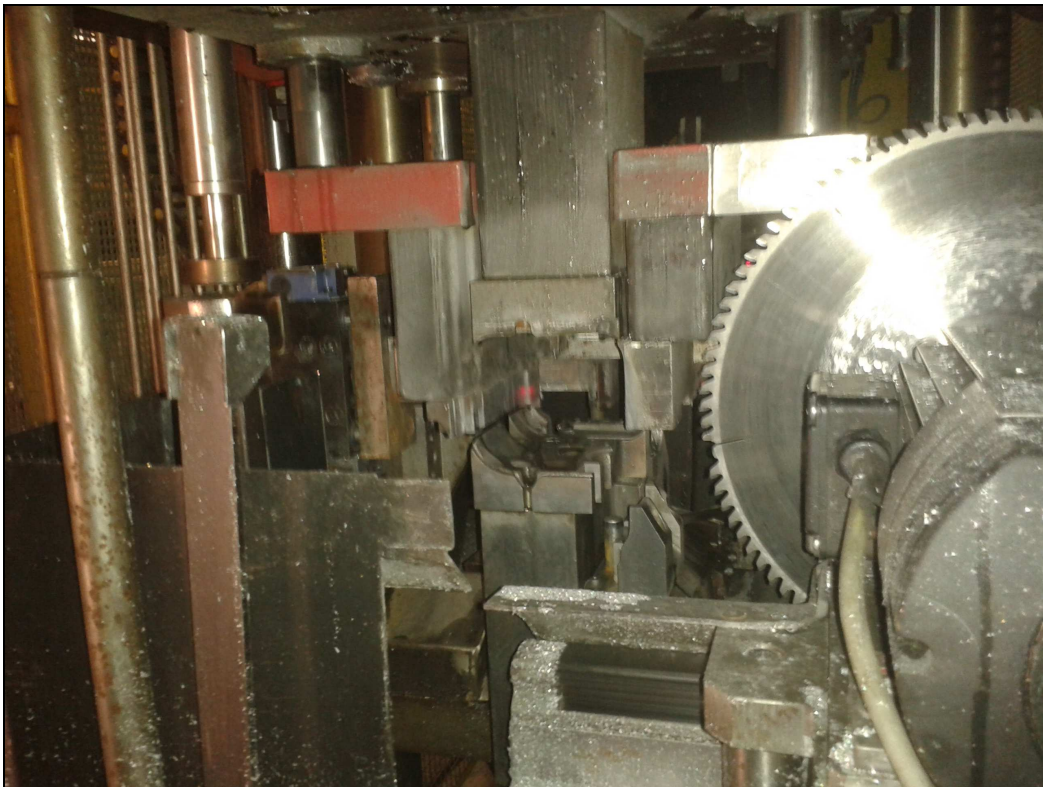


Obr. 20 Vyjímací robot Kawasaki

6.4.2 Ostřihovací lis

Dvourychlostní ostřihovací lis T45 NG+ od firmy Diesse Presse S.r.l, který odstraňuje přebytečné části vzniklé při odlévání. Jmenovitě jsou to vtokové a výfukové soustavy, nálitky a přebytky. Oddělení probíhá principem lisování na ostřihovacím přípravku a lis může být vybaven i speciálními zařízeními jako například kotoučová pila, která odstraňuje další části odlitku nepotřebné a nebylo je možné odstranit lisem. Jedná se o ostřihovací lis se čtyřmi sloupy s pevnou dolní deskou a centrálním otvorem, kde lisovací nástroj je upevněn v drážkách tvaru T nebo závitovými otvory M16. Mobilní pohyblivá deska je osazena kluznými pouzdry na sloupech, drážkami tvaru T pro upevnění ostřihovacího nástroje a průchozími otvory pro zabudování vyrážecích tyčí. Systém kontroly polohy mobilní desky je zajištěn analogickým lineárním snímačem. Pohon ostřihovacího lisu je zajištěn hydraulickým agregátem lopatkového čerpadla s elektronicky ovládaným polohovacím kohoutem. Průtok hydraulické kapaliny je zajištěn elektricky ovládanými ventily a kontrolou pro řízení pohyblivé mobilní desky. Ovládací systém s logickým programováním je typu Siemens S7 313C.

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)



Obr. 21 Ostřihovací lis - detail vnitřního prostoru

6.4.3 Ošetřovací a mazací robot

Jedná se o zařízení firmy Kawasaki RS 80N-FE 42, které je nezbytné pro správný chod procesu této výroby. Stálá licí forma vyrobená z oceli musí být v každém cyklu výroby očištěna a řádně namazána. To zabezpečuje automatický robot, který má na konci svého ramene hlavici. Tato hlavice je opatřena několika tryskami. Za pomoci této hlavice je forma očištěna tlakovým vzduchem od nečistot a zbytků vzniklých při odlévání předchozího kusu. Po tomto očištění následuje ošetření formy mazací emulzí. Nástřík emulze odděluje tekutý kov od stěny formy a usnadňuje vyjímání odlitku. Jedná se o velmi důležitý postup za účelem maximální ochrany formy. Při nesprávném fungování mazání může dojít k poškození nebo destrukci licí formy a výraznému zvýšení nákladů z důvodu údržby, opravy a odstavení licího stroje při výměně za jinou. Postřikový modul firmy Wollin typ PSR 3MS je vybaven šesti okruhy pro postřík, šesti okruhy pro operaci ofuků, dvěma separátními okruhy umožňujícími ofuk ošetřované formy pod velkým tlakem a dvěma okruhy pro ošetření dělicími prostředky.

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)



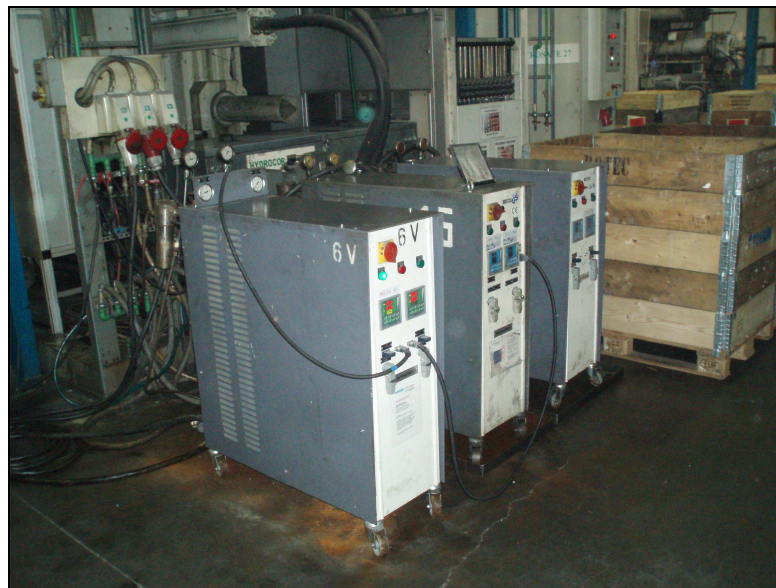
Obr. 22 Ošetřovací robot s postřikovým modulem

6.4.4 Temperovací a chladicí zařízení

Temperovací a chladicí zařízení slouží k udržování požadovaných optimálních teplotních hodnot na licí formě v průběhu velkých licích dávek procesu odlévání. Tyto zařízení mají zajišťovat optimální teplotu formy, taktéž při krátkodobém přerušení odlévacích cyklů, například při diagnostice zařízení tak, aby byly zachovány teplotní podmínky pro následné spuštění.

Jedná se kombinaci procesu chlazení a zahřívání formy. Těchto zařízení je využíváno k přípravě licích forem mimo stroje, například při výměně či změnách výrobního programu v průběhu směn. Tím je dosaženo zkrácení neproduktivních časů licích strojů a pracovišť. Zařízení jsou vybavena několika samostatnými okruhy s možností volby rozdílných teplot jednotlivých okruhů a lze je napojit na samotné tělo licí formy a nebo k chlazení pohyblivých jader. Teploty jednotlivých okruhů jsou elektronicky snímány.

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)



Obr. 23 Temperovací a chladící zařízení Regloplas

6.4.5 Vakuovací zařízení

Toto zařízení zabezpečuje vakuum pro tlakové lití. Vakuum je dosaženo pomocí vývěvy. Princip vakua je velmi důležitý pro licí proces, jelikož vznikající podtlak pomáhá tavenině uvnitř formy dosáhnout všech požadovaných míst. Tavenina tak nemusí překonávat velký odpor a snadněji se dostane i do tvarově komplikovaných míst. Zařízení bývá napojeno na výfukovou soustavu a odvzdušňovací systém formy. Tímto principem se dosahuje menšího výskytu vad odlitek. Dochází také k zamezení styku taveniny s ostatními plyny v prostoru licí formy při odlévání, které mohou ovlivnit nežádoucím způsobem vyráběný odlitek.

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)



Obr. 24 Vakuovací zařízení VDS Provac PLC 250-03

6.4.6 Odsávací a filtrační zařízení

Zařízení s označením Ultravent od společnosti KMA má za úkol eliminaci škodlivých látek, které se uvolňují během procesu tlakového lití. Je důležité, odsávat a filtrovat tyto zplodiny z důvodu znečišťování okolí. Nejvíce jde o zachycení tuhých znečišťujících látek (TZL) a oxidy dusíku vyjádřené jako oxid dusičitý (NO_x), nebo například vypařování plynů mazadel formy a jiné. Povolené limity na produkci jsou dány zákonem, nesmí být překročeny a jsou trvale monitorovány. Emisní limity spadají do oblasti podle § 14 odst. 1 a 3 zákona o integrované prevenci a související monitoring.

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)



Obr. 25 Odsávání a filtrace pomocí Ultravent KMA

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

VÝROBA ODLITKU 1515

Experimentální část práce se zaměřuje na výrobu odlitku 1515 vyráběného metodou tlakového lití. Zkoumání je zaměřeno na technologii výroby a vliv jednotlivých technologických operací na kvalitu vyráběného odlitku. Kvalita tohoto odlitku je nejvíce ovlivněna výskytem porezity, která je průvodním jevem při výrobě tlakově litých odlitků a vzniká během fáze tuhnutí změnou rozpustnosti vodíku, nebo objemovou změnou, ale v nejčastějším případě nastává při kombinaci obou těchto procesů. Výskyt porezity také přímo souvisí se vznikem staženin v odlitku. Jako porezita se pak projevuje současný vznik bublin a tvorba mikrostaženin. Samostatně se mikrostaženiny a plynové bubliny, jako vady, projevují velmi zřídka. Takto vzniklé dutiny mají rozdílné tvary. Kulatý tvar je charakteristický pro plynové dutiny, členitý tvar mají staženiny.

7.1 Specifikace výrobku

Jedná se o tlakově litý odlitek ze slitiny hliníku s přesným označením AlSi10Mg(Fe). Tento výrobek je odléván pomocí tlakového licího stroje se studenou komorou. Odlitek je následně obráběn na CNC zařízeních a podroben tlakové zkoušce. Je určen pro automobilový průmysl, jako součást motorového systému pro recirkulaci výfukových plynů. Jedná se o takzvaný by-pass na přemostění chladicího zařízení u zpětně vedených výfukových plynů. Tato specifikace je určena pro normu EU 6.



Obr. 26 Experimentální odlitek

7.2 Soused operací

Soused výrobních operací tohoto odlitku je dán technologií výroby metodou tlakového odlévání a konkrétním výrobním zařízením, na kterém je výrobek vyráběn.

Jedná se především o tyto operace:

- výrobu tekutého kovu a kontrolu při tavení
- dávkování tekutého kovu z udržovací a dávkovací pece
- ošetřování licí formy, mazání a ofukování
- odlévání
- vyjímání odlitků z licí formy
- ochlazení odlitku pro další zpracování
- ostříhování odlitku a apretace u stroje
- kontroly rozměrů a RTG
- tryskání
- apretace
- CNC obrábění
- praní
- tlaková zkouška
- výstupní kontrola a balení

Všechny uvedené operace jsou podrobně specifikovány v technologickém postupu s předepsanými parametry příslušných strojních zařízení a činnostmi zaměstnanců na jednotlivých pracovištích.

7.3 Technologický postup

Technologický postup tlakového odlitku použitého pro experimentální část, patří mezi řízené dokumenty výroby dle VDA 6.5 a obsahuje podrobné informace o výrobku. Jedná se především o aktuálně platnou výkresovou dokumentaci, pořadí jednotlivých operací a to včetně alternativních možností použití strojů či přípravků. Za účelem experimentu hodnocení perezity jsou v následující tabulce zahrnuty technologické operace, které mají přímý vliv na vznik strukturální a povrchové perezity. S tímto dokumentem je provázán z hlediska činnosti kontroly kvality dokument nazvaný plán kontroly a řízení. V plánu kontroly a řízení jsou ke každé operaci rozpracovány

kontrolní metriky s popisem kvalitativních ukazatelů, metodou a prostředky použitými pro měření včetně popisu reakcí při jednotlivých zjištěních.

Tab. 2 Operace technologického postupu s vlivem na porezitu

Číslo procesu	Název operace	Zdroj/stroj	Specifikace procesu	Hodnocení	Vliv na experiment/porezitu
1	Příjem materiálu	Pracoviště příjmu	Dodací list	Vážení/chemické složení	Nízký
2	Tavení	Tavící pec	AlSi10Mg(Fe)	Spektrometr	Vysoký
3	Odlévání	Lící stroj	Parametry licího stroje	Měření	Vysoký
4	Hranění	Hranicí lis	Vzhled odlitku, povrch bez vad a otřepů	Vizuálně	Žádný, možno pouze zjistit
5	Tryskání	Tryskací zařízení	Bez otřepů na neobráběných plochách	Vizuálně	Žádný, možno pouze zjistit
6	Apretace	Pilovací nástroje	Plochy dle etalonu, bez porezity	Vizuálně	Žádný, možno pouze zjistit
7	Obrábění	CNC obráběcí centrum	Obrábění ploch a otvorů	Měření, vizuální kontrola	Žádný, možno pouze zjistit po obrobení
8	Tlakování	Tlakovací zařízení	Zjištění těsnosti odlitků	Měření	Žádný, možno pouze zjistit netěsnost
9	Výstupní kontrola	Kontrolní pracoviště	Kontrola dle etalonu	Měření, vizuální kontrola	Žádný, možno pouze zjistit

Z výběrové tabulky vyplývá, že na vznik porezity mají zásadní vliv pouze procesy kvality dodávaného vstupního materiálu, příprava tavení a výroba slitiny pro odlévání. Nejdůležitější je samotný proces odlití výrobku.

7.4 Kvalitativní požadavky

Kvalitativní požadavky vyráběného odlitku jsou specifikovány již při poptávce ze strany konečného odběratele. Především se jedná o výkresovou dokumentaci, požadavek na materiál odlitku, předávací etalony včetně 3D modelu a zadávací měrový protokol. V přípravné fázi projektu je nutno s konečným odběratelem identifikovat nspecifikované rozměry a minimalizovat neurčité oblasti.

7.4.1 Kontrolní plán

Dle technologického postupu výroby je zpracován pro vyráběný díl plán kontroly a řízení, který přesně identifikuje vyráběný odlitek z hlediska označení, varianty provedení, materiálu a schvalovacího procesu. V plánu kontroly a řízení jsou popsány jednotlivé kroky výrobního procesu z technologického postupu. Dále zdroj, čímž se rozumí pracovník, nebo zařízení, na kterém bude proces prováděn nebo vyráběn, znaky produktu, metoda hodnocení nebo měření daného procesu, kdo toto měření procesu provádí, kdo je za správnost procesu zodpovědný a jaká je forma záznamu nebo dokladová evidence procesu. Nejdůležitější je popis činnosti a plán reakce při výskytu problémů a zjištění produkce neshodných výrobků.

7.5 Kontrola, měření a zkoušky při výrobě

V průběhu celého výrobního procesu jsou prováděny kontroly po jednotlivých operacích, které vychází z plánu kontroly a řízení. Rozpracovány jsou pro jednotlivá pracoviště a konkrétní vyráběný díl. Kontrolní a měřicí postupy včetně měřících etalonů jsou dále rozpracovány v návodkách jednotlivých operací tak, aby každý pracovník postupoval jednotným postupem při kontrolní činnosti. Veškeré prováděné kontroly jsou průkazně zaznamenávány do průvodek, sběrných karet procesu a informačního systému firmy.

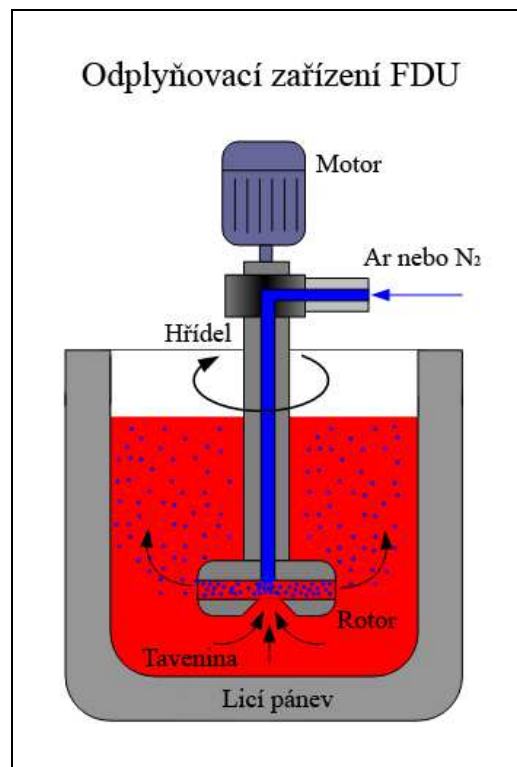
7.5.1 Kontrola tekutého kovu

Výroba tekutého kovu patří mezi základní předpoklady úspěchu při výrobě odlitků a ve svém důsledku ovlivňuje kvalitu výrobků z hlediska jeho struktury a s tím spojených strukturálních vad. Kvalita tekutého kovu ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti. Může také ovlivnit rozměrové a tvarové vlastnosti odlitku.

Během výroby taveniny je prováděno očkování a modifikace a to především s ohledem na tvorbu staženin a porezity. Na vytváření zárodků krystalů takzvané primární fáze má zásadní vliv intenzita chladnutí. To je důvodem rozdílných struktur odlitků odlévaných do kovových forem a taktéž struktura tenkostěnných a silnostěnných odlitků může být zásadně odlišná. Metoda očkování AlSi slitin napomáhá tuhnutí objemovému. Očkování je metoda úpravy tekutého kovu přidáním očkovačla, kterou se ovlivňuje počet krystalizačních zárodků, tím dochází ke zjemnění struktury, která vzniká přímo z taveniny hliníku ve slitinách AlSi. Modifikace AlSi slitin podporuje

tuhnutí vrstvené. Samotný křemík se vylučuje ve slitinách AlSi s velmi malým obsahem příměsí. Modifikace znamená úpravu taveniny jinými prvky, které způsobují změnu tvaru a velikosti krystalů. Množství modifikátorů ovlivní způsob růstu krystalizačních zárodků. Důsledkem jsou změny při vylučování fází krystalizace křemíku ve slitinách AlSi. Za účelem modifikace AlSi slitin bývá nejčastěji použit sodík, antimon a stroncium.

Bloky určené k výrobě taveniny jsou na vstupní kontrole podrobeny lomové zkoušce. Dle katalogu vad je lomová zkouška prováděna především pro kontrolu obsahu vměstků. Nejčastěji se jedná o vměstky soustředěné na povrchu bloku vzniklé v důsledku nerozpuštěných legur. V tavenině hliníku a jeho slitinách patří mezi nežádoucí nečistoty plyny, kovové a nekovové vměstky. Plynné látky jsou tvořeny přibližně 97 % vodíku, zbytek je tvořen CO_2 a dusíkem. Vodík se v tavenině výborně rozpouští a při ochlazení se z taveniny vylučuje. Rozpustnost vodíku prudce vzrůstá s teplotou taveniny. S velkou přesností možno stanovit, že v rozmezí teplot 560 až 900 °C každý nárůst teploty o 100 °C, zdvojnásobí předchozí obsah vodíku v tavenině. Na základě tohoto poznatku existují přepočtové tabulky pro diagram závislosti pro vznik poréznosti. Za účelem snížení obsahu vodíku v tavenině jsou používána odplyňovací zařízení.



Obr. 27 Odplyňovací zařízení FDU

(www.subtech.com)

V konkrétním měření bylo použito rotorové odplyňovací zařízení FDU. Principem tohoto zařízení je difúze vodíku do bublin inertního plynu. Odplyňující médiem bývá používán dusík nebo argon. Argon má vyšší odplyňovací účinek, jeho použití je však dražší než u dusíku. Při experimentu bylo použito odplyňování dusíkem. Vznikají velmi drobné bublinky plynu a současně je zajištěno míchání taveniny. Prostřednictvím tohoto rotačního systému je taktéž možno přivádět očkovací a rafinační prostředky přímo do taveniny. Velké množství malých bublinek zajišťuje zvýšení účinnosti procesu odplynění. Hodnotícím kritériem dobře zvládnutého odplynění a rafinace kovu je index hustoty označovaný jako DI, který je udáván v procentech. Doporučená hodnota indexu hustoty je menší než 4 %. Čím menší je index hustoty, tím čistější je hliníková tavenina. Index hustoty DI se stanovuje z poměrových hustot dvou vzorků, z nichž jeden tuhne za atmosférického tlaku a druhý tuhne ve vakuu. K odplynění samotnému slouží odplyňovací trubice vyrobené z keramiky nebo grafitu zakončené porézní zátkou. Další konstrukční možností je použití porézních tvárnic zabudovaných do dna pánve, které mají stejný účinek jako odplyňovací trubice. *(Silbernagel, A. a kol. 2011)*

Spektrografie

Spektrografická metoda je velmi důležitou součástí při výrobě tlakových odlitků. Tato metoda vyhodnocuje, zda tavenina nebo dodaný kov obsahuje požadované zastoupení jednotlivých prvků. Principem je vyhodnocení pomocí optického spektra vzniklého při elektrickém výboji, jehož vyhodnocení probíhá na spektrálním analyzáru. Metoda se používá ve dvou případech. V první se zkoumá dodaný materiál ve formě housek, ze kterých se odebere vzorek a podrobí se analýze. Je to kvůli prvotní kontrole, zda byl dodán správný materiál ještě před vlastní tavbou. V případě nevyhovujících prvků je materiál reklamován nebo vrácen dodavateli. Vzorek odebírá a analyzuje metalurg a na každou dávku připadá jeden vzorek. V druhém případě se jedná o vzorek, který pochází z tavící pece. Zde nastává možnost změny materiálního složení v rámci tavby, ale hlavně při přidávání vratného materiálu. Tím může dojít ke změně obsahu některých prvků a následnému ovlivnění navazující výroby. Opět je odebrán z tavící pece jeden vzorek na každou dávku. Při nevyhovujících hodnotách se přistupuje k úpravě chemického složení taveniny dolegováním a ředěním. Opětovně se provádí spektrální analýza a to až do doby, než hodnoty splňují nastavené limity složení.

Přesnost se kontroluje třikrát za směnu na předepsaných etalonech. Kalibrace přístroje je prováděna kalibračními vzorky. Jednou za týden je provedena recalibrace a jednou za měsíc přesná kalibrace celého zařízení.

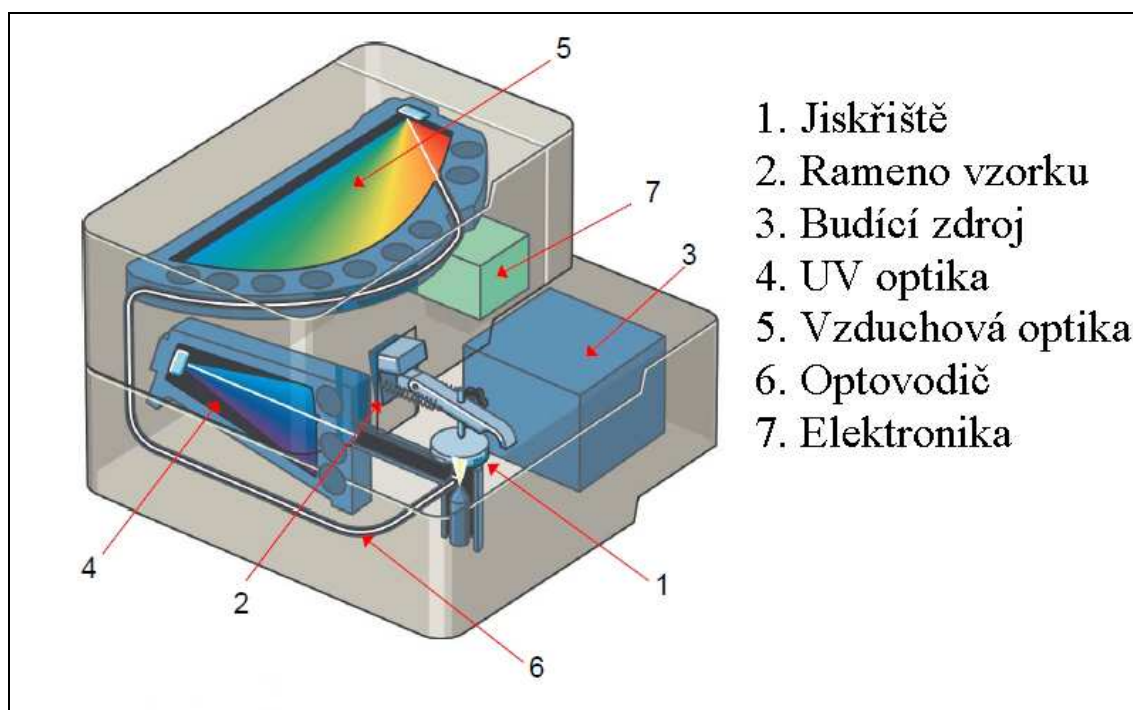
Měření:

Proběhlo na přístroji:

Optický emisní spektrometr kovů SPECTROMAXx LMX06



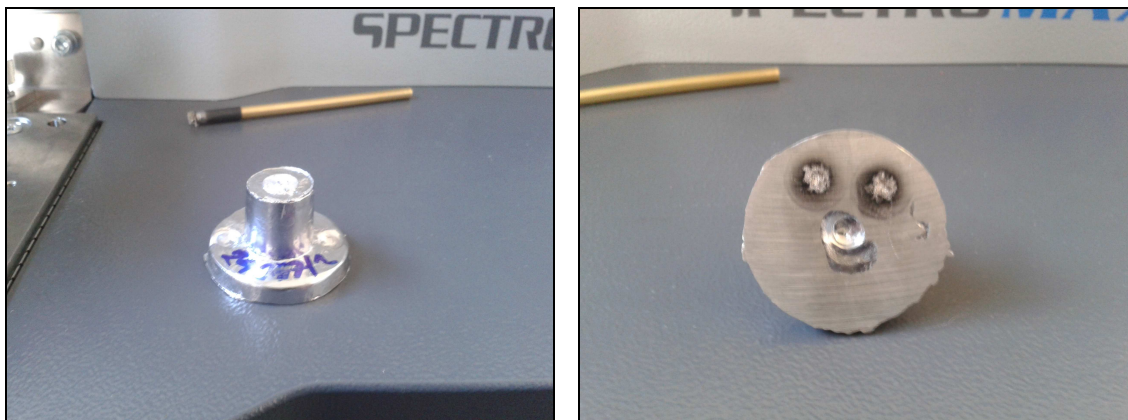
Obr. 28 Pracoviště spektrální analýzy



Obr. 29 Schéma analyzáru SPECTROMAXx LMX06

(www.spectro.cz)

Výroba měřících vzorků proběhla z připravené taveniny. Do připravené formy byly odlity kontrolní vzorky. Povrch každého kontrolního vzorku byl upraven broušením. V této podobě se vzorky vyhodnotily.



Obr. 30 Vzorek materiálu po analýze

Vyhodnocení naměřených dat a porovnání:

Přístroj pro měření automaticky po provedené analýze vytvoří protokol ke zkoumané tavenině a také pro účely elektronické archivace. Vyhodnotí předepsané složení měřeného vzorku a popřípadě označí hodnoty přítomných problematických a nežádoucích prvků.

Rozsahy hodnoty porovnávaných prvků jsou nastaveny podle požadavků na minimální a maximální rozmezí. V případě výskytu specifických prvků je zobrazena pouze hodnota maxima, nebo bez určení.

Na jednom vzorku se provádí dvě až čtyři měření a průměr hodnot se porovná s referenčním rozmezím.

Spektrografické vyhodnocení kontrolních vzorků taveniny prokázalo, že zastoupení jednotlivých prvků ve slitině nevykazuje žádné překročení nastavených parametrů. Je možné konstatovat, že slitina byla řádně připravena a mohlo se přistoupit k přepravě k licímu stroji.

Analýza vzorku chemického složení taveniny AlSi10Mg(Fe)

Tab. 3 Spektrografické vyhodnocení

Meas.	Si	Cu	Mn	Zn	Mg	Fe	Cr
	%	%	%	%	%	%	%
1	9.73	0.0328	0.318	0.0148	0.354	0.645	0.0042
2	9.54	0.0341	0.421	0.0152	0.378	0.829	0.0049
3	9.68	0.0338	0.385	0.0152	0.367	0.760	0.0043
4	9.43	0.0335	0.443	0.0150	0.356	0.851	0.0050
Min	9.00		0.250		0.300	0.700	
<x>	9.60	0.0336	0.392	0.0150	0.364	0.771	0.0046
Max	11.00	0.0500	0.400	0.150	0.400	0.950	0.0500
Meas.	Ni	Ti	B	Be	Bi	Ca	Cd
	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0059	0.0194	0.00097	<0.00005	<0.00100	0.0010	<0.00010
2	0.0061	0.0188	0.00084	<0.00005	<0.00100	0.0012	<0.00010
3	0.0061	0.0187	0.00081	<0.00005	<0.00100	0.0011	<0.00010
4	0.0060	0.0186	0.00082	<0.00005	<0.00100	0.0010	<0.00010
<x>	0.0060	0.0189	0.00086	<0.00005	<0.00100	0.0011	<0.00010
Max	0.150	0.150					
Meas.	Co	Ga	Li	Na	P	Pb	Sb
	%	%	%	%	%	%	%
1	<0.00050	0.0107	<0.00010	0.00013	<0.00100	0.0060	<0.0030
2	<0.00050	0.0110	<0.00010	<0.00010	<0.00100	0.0062	<0.0030
3	<0.00050	0.0108	<0.00010	<0.00010	<0.00100	0.0062	<0.0030
4	<0.00050	0.0106	<0.00010	0.00013	<0.00100	0.0062	<0.0030
<x>	<0.00050	0.0108	<0.00010	0.00012	<0.00100	0.0061	<0.0030
Max						0.150	
Meas.	Sn	Sr	V	Zr	Al	Ostatn	
	%	%	%	%	%	%	
1	<0.00100	<0.00010	0.0076	0.0020	88.8	0.0042	
2	<0.00100	<0.00010	0.0082	0.0022	88.7	0.0049	
3	<0.00100	<0.00010	0.0078	0.0020	88.6	0.0043	
4	<0.00100	<0.00010	0.0084	0.0021	88.8	0.0050	
<x>	<0.00100	<0.00010	0.0080	0.0021	88.7	0.0046	
Max	0.0500					0.150	

7.5.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti připravené taveniny byly zkoušeny na tahovou zkoušku. Vzorky byly připraveny odlitím příslušné taveniny do připravené formy splňující požadavky dle normy určené pro zkušební vzorky tohoto typu.

Řídící dokument : ISQ 8.2.4-1 , DIN 50 125

Zkušební zařízení : Stroj ZD 40

Typ zkušební tyče : tyčka dle DIN 50125 - A12x60

Předpis : Materiál AlSi10Mg (EN AC 43000)

Dle zákaznické specifikace je nutno dodržet tyto základní parametry:

Tab. 4 Zákaznická specifikace

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Pevnost v tahu	Rm	min. 180	[MPa]
Mez kluzu	R _{P0,2}	min. 90	[MPa]
Tažnost	A5	min. 2,5	[%]



Obr. 31 Zařízení pro trhací zkoušky ZD 40



Obr. 32 Zkušební vzorek

Tab. 5 Naměřené a dopočítané hodnoty tahové zkoušky

číslo vzorku	d_0	F_0	l_0	l	$P_{0,2}$	P	$R_{P0,2}$	R_m	A_5
	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[N]	[N]	[MPa]	[MPa]	[%]
1	12,05	114,04	59,98	61,98	10800	21600	95	189	3,3
2	11,98	112,72	60,02	61,94	10800	21400	96	190	3,2

Z vyhodnocovací tabulky je patrné, že materiál splňuje podmínky nastavené podle požadavků zákazníka. Ostatní mechanické vlastnosti se vyhodnocují jen pro obecnou kontrolu a nejsou požadovány od zákazníka, tudíž zde nebyly hodnoceny.

7.5.3 Kontrola po odlití

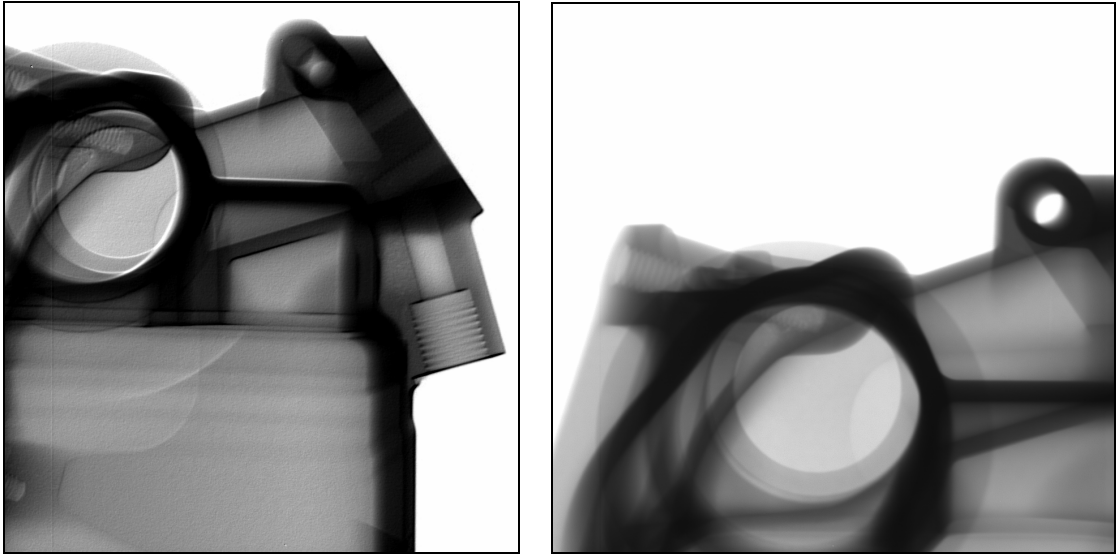
Vzorky pro experimentální část práce byly získány ze sériové výroby zkoumaného odlitku. Byly zkontrolovány základní parametry licího procesu, především však teplota a složení tekutého kovu, parametry licího stroje a koncentrace postřikovacího média na ošetření formy. Při zahájení výroby série bylo vyrobeno deset rozjezdových kusů, na kterých byla provedena rentgenová zkouška na přítomnost porezity a dále bylo provedeno kontrolní obrábění včetně tlakové zkoušky. Současně je provedena vizuální kontrola celistvosti odlitku po ostřížení vtokové a výfukové soustavy. Vzorky byly označeny číslem jedna až deset a v tomto pořadí proběhly výše jmenované zkoušky.

Tab. 6 Vyhodnocení rozjezdových kusů

Číslo vzorku	RTG	3D	Obrábění	Těsnost
1	5-nevyhovuje	dobré	1-nevyhovuje	1-nevyhovuje
2	4-nevyhovuje	dobré	dobré	dobré
3	dobré	dobré	dobré	dobré
4	dobré	dobré	dobré	dobré
5	dobré	dobré	dobré	dobré
6	dobré	dobré	dobré	dobré
7	dobré	dobré	dobré	dobré
8	dobré	dobré	dobré	dobré
9	dobré	dobré	dobré	dobré
10	dobré	dobré	dobré	dobré

U vzorku číslo jedna byla na RTG vyhodnocena vada číslo pět, porezita v části odlitku, ve které je vyžadována těsnost. Tato vada se potvrdila při obrábění, kde na

obráběné ploše čela byla zaznamenána perezita. Tlaková zkouška odlitku na těsnost byla nevyhovující. U vzorku číslo dva byla na RTG zaznamenána vada číslo čtyři, možná perezita. Tento druh vady je identifikován v místě odlitku, které je na RTG nejasně zobrazováno vzhledem k tvaru a nachází se v části odlitku, ve které není požadována těsnost na tlakovou zkoušku. Jedná se tedy z největší pravděpodobností o nejasné zobrazení. Ostatní vzorky byly testovány a vyhodnoceny jako dobré. Výroba série byla uvolněna a je průběžně vyhodnocována dle kontrolního plánu.



Obr. 33 Rentgenová zkouška

Další kontrolní operaci po odlití a ostřížení je povrchová úprava odlitku, při které dochází k ručnímu dočištění odlitků například pilováním nebo broušením. Zde jsou odstraněny zbývající drobné povrchové nerovnosti, vyskytující se v místech ostřížení vtokové i výfukové soustavy a také v místech technologicky nutných nálitků či přídavek. Jsou také odstraněny nálitky z předlitých otvorů.

Rozměrová stabilita procesu vyráběných odlitků je testována dle kontrolního plánu na 3D měřicím přístroji. Pro měření experimentu byl použit třísouřadnicový měřicí přístroj Zeiss UMM850. Tento měřicí přístroj umožňuje svým programovým vybavením uložení měřicích bodů jednotlivých odlitků, které pak provádí automaticky v bezobslužném provozu. Měřicí protokol zobrazuje hodnoty všech měřených bodů a v případě překročení tolerancí signalizuje neshodnost v elektronické i papírové podobě. V případě nálezu neshodné výroby jsou provedena měření dalších dvou vzorků a v případě potvrzení neshodnosti je výroba vedoucím kontroly zastavena. Všechna kontrolní měření jsou v elektronické podobě archivována. Rozměrové parametry

rozjezdových kusů i průběžně vyhodnocovaných vzorků neprokázaly odchylky mimo povolené tolerance. Tato vada se vyskytuje v rámci výroby minimálně.



Obr. 34 Pracoviště 3D měření

7.5.4 Obrábění CNC

Obrábění zvoleného dílu pro experiment je prováděno na obráběcím centru Chiron DZ15W Magnum high speed. Zde dochází k obrábění ploch a otvorů frézováním, vrtáním, závitováním, vystružováním a tvářecím frézováním závitů. Jedná se o čtyřosý obráběcí stroj s vloženou pátou osou. Celé zařízení je dvouřetenové s rotačním dvoupolohovým stolem. Kontrolní operace prováděné při obrábění odlitku lze rozdělit do dvou úrovní.

První úroveň:

Na obráběcím stroji jsou automaticky kontrolovány polohy upnutí jednotlivých dílů senzorickými snímači zabudovanými přímo v upínačích jednotlivých obráběných odlitků. Pokud je odlitek chybně založen do upínače, nedojde k otočení pracovního stolu do prostoru obráběcí části stroje a tím je zamezeno chybnému opracování dílu. Hlavním přínosem však je, že nedochází ke zničení břitových destiček obráběcích nástrojů.

Druhá úroveň:

Kontrola je prováděna po obrábění mimo obráběcí centrum, kde dochází k vizuální kontrole ploch a otvorů obsluhou pracoviště a to především na porezitu obroběných částí, povrchové vady při výjezdu nástrojů a kontrolu na přítomnost třísek v otvorech se závitů. Dle plánu kontroly a řízení jsou v předepsaných intervalech provedena

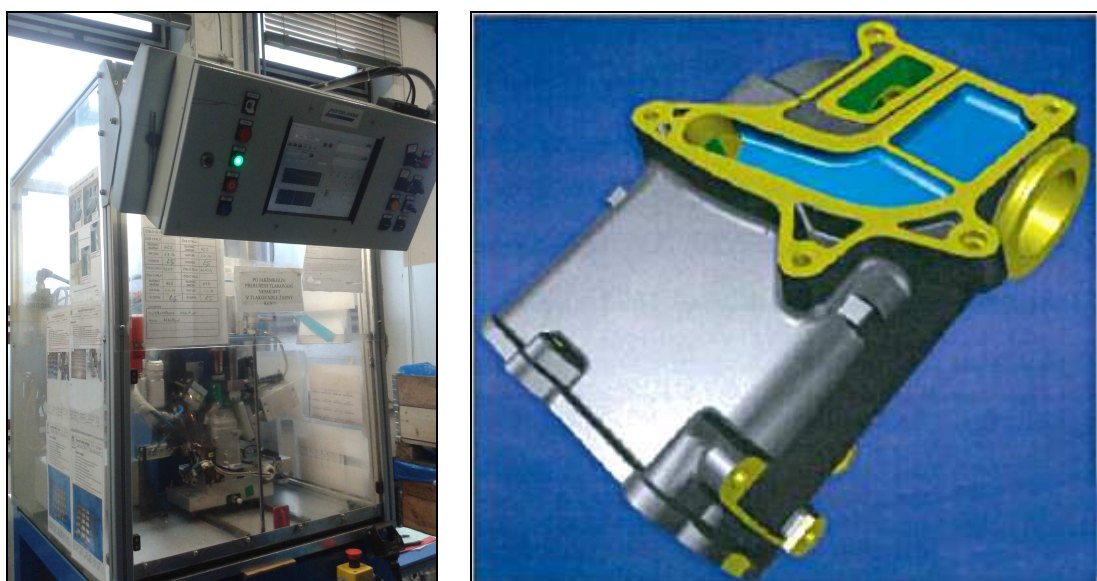
rozměrová měření na 3D souřadnicovém přístroji. Proměření probíhá automaticky dle vypracovaného programu pro každý obráběný díl.



Obr. 35 Obráběcí centrum a detail upnutí odlitků

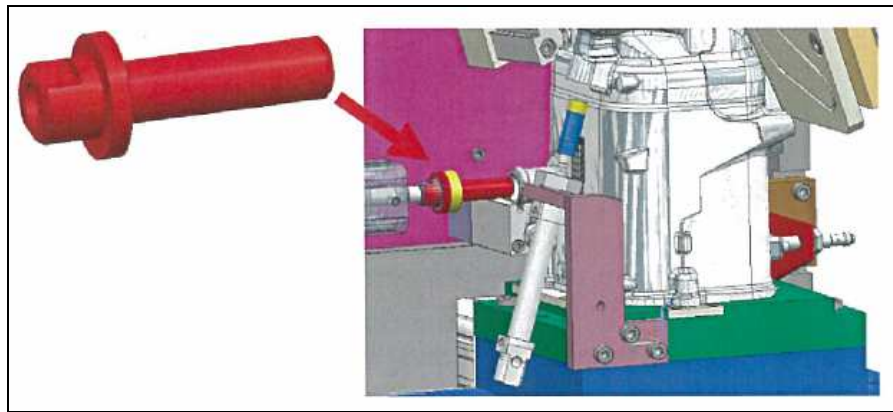
7.5.5 Tlakové zkoušky po obrábění

Nejdůležitější kontrolou experimentálního dílu je tlaková zkouška vyrobeného odlitku na těsnost. Ta rozhodne, zda je vyrobený odlitek dobrý nebo špatný. Netěsnost je způsobena porézitou, která vznikla při samotném odlití odlitku na licím pracovišti. Podmínkou testování odlitků na tlakové zkoušce je řádně připravený odlitek, který je ohraněný, otryskaný, apretovaný, obrobený a opraný. U odlitku je samostatně testován vodní okruh, plynový okruh a dále pak těsnost obrobených ploch. Testování vodního a plynového okruhu, včetně obrobených ploch, je prováděno tlakovým vzduchem při měřícím tlaku 0,3 MPa. Samotné tlakovací zařízení je vyrobeno jako jednoúčelový stroj firmou Motor Jikov s označením 900-7-3360.



Obr. 36 Pracoviště tlakové zkoušky a 3D model pro testování

Na obrázku 36 je vyobrazen odlitek v částečném řezu, aby byly názorně zobrazeny testované části. Vodní okruh je zakreslen v 3D zobrazení modrou barvou. Okruh plynu zelenou a obráběné plochy jsou zobrazeny žlutou barvou. Pohyblivé části s těsníci prvky dosedají na stavitelné dorazy, umožňující řízenou konstantní deformaci těsnících elementů a zajišťující objemovou stabilitu odlitku. Zařízení je dále vybaveno teplotním senzorem pro měření teploty odlitku, senzorem pro kontrolu správného založení odlitku a senzorem pro odlišení etalonů dobrých výrobků, kterými je toto zařízení kalibrováno. Na odlitku se v této fázi výroby vyskytují obráběné a neobráběné otvory. Před zkouškou těsnosti pak musí být provedena kontrola prohranění neobráběných otvorů. Pokud nelze použít optický nebo jiný senzor, je kontrola prováděna pomocí trnu na těsnící koncovce. Je-li otvor zalit ořepem, těsnící koncovka otvor neutěsní a zařízení hlásí chybu.



Obr. 37 Těsnící trn

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)

7.6 Vyskytující se vady a jejich popis

Vady odlitků ze slitin hliníku jsou charakterizovány jakoukoliv odchylkou předepsaných rozměrů, vzhledu, požadované hmotnosti, vlastností a mikrostruktury odlitků, které jsou identifikovány příslušnými zkouškami, lišící se od předepsaných norem nebo technických přejímacích podmínek sjednaných se zákazníky. Tuto problematiku vad řeší norma ČSN 42 1240.

Rozdělení vad odlitků dle prvotní zjistitelnosti

Zjevné vady – Tyto vady lze identifikovat pohledově, tedy prohlídkou kontrolovaného odlitku zrakem nebo za použití velmi jednoduchých měřidel.

Skryté vady – Jedná se o vady, které nelze běžnou prohlídkou zjistit a projeví se následně po obrobení odlitku nebo jejich přítomnost lze identifikovat pomocí měřících přístrojů při laboratorních zkouškách.

Výskyt slévárenských vad odlitků ze slitin hliníku má přímou souvislost s vlastností použité slitiny a liší se dle slitiny k náchylností tvorbě staženin, trhlin, prasklin, zabíhavostí slitiny ve formě při odlévání a mírou smrštivosti.

Existuje klasifikace vad odlitků rozdělená do tříd 100 až 700.

Specifickou vadou odlitků ze slitin hliníku jsou vady mikrostruktury, tedy vady zařazené do třídy 600. Jedná se o skupinu vad 610 – mikroskopické dutiny, 620 – vměstky, 630 – nesprávná velikost zrna, 640 – nesprávný obsah strukturních složek. Ostatní vady uváděné dle normy ve třídě 600 se u odlitků vyrobených ze slitin hliníku nevyskytují.

U odlitku vybraného pro experimentální část je vypracován katalog konkrétních vad rozdělený na vady interní vzniklé a zjištěné v průběhu výroby a vady externí, které jsou identifikovány až u odběratele, například po obrobení.

(Interní dokumentace KOVOLIT a.s.)

Katalog vad experimentu:

Je to souhrn vad objevujících se u experimentálního odlitku v průběhu celé výroby. Vady jsou zjišťovány podle kontrolního plánu na jednotlivých pracovištích výroby.

Identifikované vady:

- **Namačkané z ostříhu**

Tento druh vady se vyskytuje na odlitcích v důsledku nesprávného založení do řezu ostříhovacího nástroje. Tvarový upínač vytváří na odlitku stopu v místě nesprávného upnutí. Viz příloha obr. V1

- **Neprohraněné**

Tato vada vzniká při hranění, kdy prohraňovací trn vynechá pracovní cyklus a nedojde k vyražení tenké pleny z prostoru otvoru. Viz příloha obr. V2

- **Prasklé**

Tenké trhliny na odlitku AlSi slitin je zapříčiněn zvýšeným obsahem železa, jedná-li se pak o praskliny nebo trhliny většího rozsahu, bývá toto způsobeno mechanicky při zakládání robotem do nástroje ostříhovacího lisu. Trhliny a deformace mohou být také způsobeny vlivem smrštvění odlitku. Viz příloha obr. V3

- **Povrchově poškozené**

Povrchové poškození odlitku vzniká v důsledku manipulace s odlitkem po odlití například na dopravním skluzu. Ze snímku je patrné, že k poškození došlo před operací tryskání, jelikož poškozené místo je také otryskáno. Viz příloha obr. V4

- **Staženiny**

Jsou charakterizovány vznikem lokálních propadlých míst na povrchu odlitku. Za nejčastější příčinu jejich vzniku je výrazné přehřátí odlévané taveniny, vysoká pracovní teplota formy a také nevhodně vedená poloha zářezů ve formě. Viz příloha obr. V5

- **Neopilované**

Jedná se o vadu, která je způsobena lidským faktorem, to znamená, že nebyla provedena požadovaná operace technologického postupu. Opakem této vady jsou zapilované kusy. Viz příloha obr. V6

- **Zahraněné**

Vada zahranění vzniká při oddělování technologických nálitků a přesahů v důsledku chybně založeného odlitku do ostříhovacího nástroje, vadou ostříhovacího nástroje, rozměrovou chybou odlitku, nečistotou v ostříhovacím nástroji nebo na odlitku. Viz příloha obr. V7

- **Vytržené**

Tyto kusy vznikají při nedokonalém oddělení taveniny od formy a následném přehřátí v určitém místě. Poté co je odlitek po konci licího cyklu pomocí vyhazovačů vysunut, tak se část materiálu vytrhla. Viz příloha obr. V8

- **Vady nového a starého upínače**

Provedení nového upínače nebylo správně seřízeno a na místě uchycení vznikaly nežádoucí stopy čelistí. Viz příloha obr. V9

- **Zadření**

Zadřená místa na povrchu odlitku vznikají v důsledku nalepování slitiny na dutinu formy. Příčinnou může být malý úkos stěn odlitku, nevhodný vtok formy nebo použití nevhodného mazadla. Viz příloha obr. V10

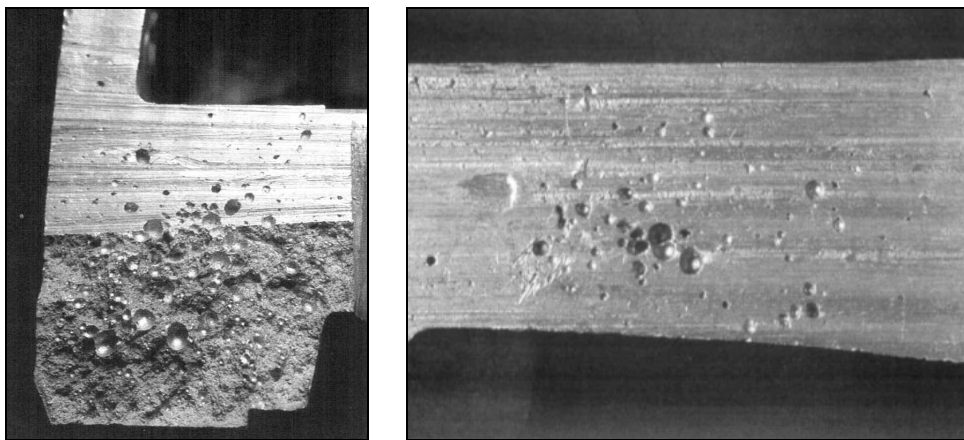
- **Porezita**

Porezita je způsobena přítomností velkého množství plynů v tavenině. Plynové póry v odlitku jsou okrouhlé a leží blíže povrchu odlitku. Objevuje se jak ve struktuře v určitých kritických částech odlitků nebo je identifikována po obrábění. Výskyt porezity způsobuje netěsnost výrobků. Viz příloha obr. V11

7.7 Porezita

Porezita je největším problémem odlitků vytvářených metodou tlakového lití. Jedná se o jednu ze zásadních nevýhod této metody. Je to porucha struktury, která se objevuje nejen uvnitř výrobku, ale i na jeho povrchu. Materiál bude porézní vždy. Je ale důležité co nejvíce zmírnit četnost výskytu a velikost porezity. Tato vada vzniká na začátku procesu. Prvním místem, kde se dá vznik vady eliminovat, je proces přípravy taveniny a rozbor obsahu jednotlivých prvků. Velký vliv má také správná, předepsaná teplota jak při tavení, odplyňování, tak i ve stádiu udržování v peci u lícího stroje. Velmi důležitým prvkem při dopravě kovu do udržovací pece a následně do lící komory stroje je několikanásobná filtrace tekutého kovu. Hlavní vliv na vznik nežádoucí porezity má vlastní proces tlakového lití včetně řízeného následného tuhnutí odlitku ve formě. Zde se objevuje nejvíce faktorů, které ovlivňují strukturu odlitku a porezitu. Každý typ vyráběného odlitku vždy vykazuje specifické odlišnosti, tudíž lze jen velmi složitě zavádět jeden prozkoumaný univerzální postup ke zmírnění výskytu porezity.

(Silbernagel, A. a kol. 2011)



Obr. 38 Porezita v části odlitku

7.8 Vyhodnocení porezity

Hlavním cílem, na který se orientuje experimentální část práce, je vyhodnocení vad a identifikace porezity při konkrétní výrobě a nalezení řešení její eliminace na přijatelnou ekonomicky únosnou hodnotu.

Stěžejním bodem experimentální části je vyhodnocení a následné snížení samotné porezity. S tímto vyhodnocením na porezitu budou vždy vyhodnoceny i další vady, které se u konkrétního výrobku objevily. Přehled všech vad je vyhodnocován z důvodu

sledování vlivu přijatého opatření experimentu, pro možnou návaznost na ostatní vyskytující se vady. Vyhodnocení porezity je nejvíce spojováno s konkrétním místem výskytu. Místem výskytu se stala část 15, kde se projevila vada netěsnosti při testování. Proto bylo toto místo zvoleno jako referenční a nejvíce problematické. V tomto referenčním místě bude provedeno měření pomocí výbrusů z odebraných vzorků a vyhodnoceno. Vyhodnocení vad je zobrazeno pomocí Paretových diagramů, tak aby byl souhrnný přehled vad v jednom celku.

Jedná se o vady skryté, neopravitelné. K jejich zjištění dochází až na konci výrobního procesu. Při sériové výrobě tohoto typu odlitku vzniká poměrně značný časový odstup mezi odléváním a finální kontrolou těsnosti. Tento časový odstup způsobuje pomalou zpětnou reakci a informaci k operaci, kde vada vzniká. Proto jsou prováděny průběžné zkoušky.

Výbrusy byly provedeny u odlitku číslo 1515:



Obr. 39 Popis jednotlivých míst odlitku

Materiál odlitku: **AlSi10Mg(Fe)**

Odpovídá chemickému složení ze spektrografické zkoušky.

Použité zařízení:

- | | |
|--------------|---|
| STANDARD 30 | – přístroj na zalisování vzorků |
| KOMPAKT 1031 | – přístroj na broušení a leštění vzorků |
| APX 010 | – automatický nástavec pro přípravu metalografických vzorků |
| NEOPHOT 32 | – mikroskop |



Obr. 40 Zařízení pro přípravu vzorků



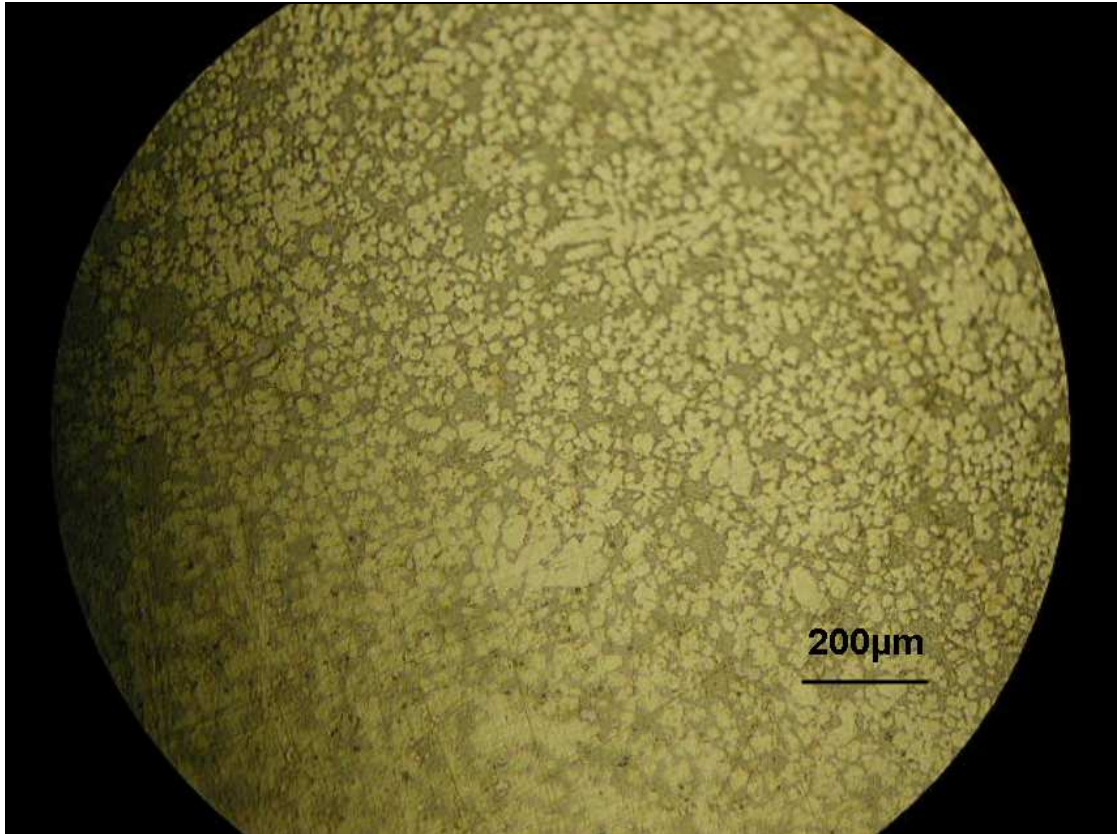
Obr. 41 Mikroskop Neophot 32

Postup zkoumání vzorků:

Vzorky byly zalisovány do dentackrylu a broušeny za mokra na metalografických papírech o zrnitosti 120, 600, 800 a 1200 mm a leštěny diamantovou pastou DSM (1 μ m). Jako smáčedlo pro leštění se použil líh. Obraz byl pořízen pomocí mikroskopu

NEOPHOT 32 (zvětšení 250x). Postup byl proveden stejně u všech následujících výbrusů za účelem shodných podmínek následných kroků experimentu snížení porezity.

Zobrazení struktury bez porezity a vad:



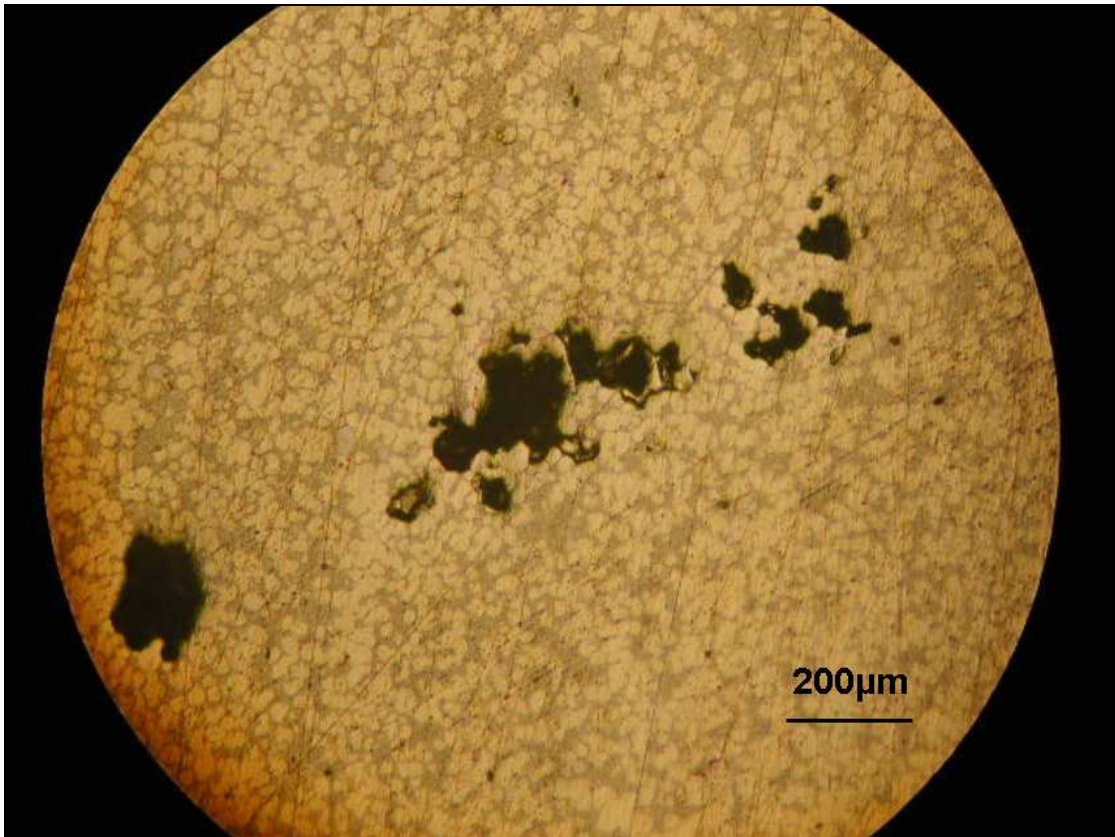
Obr. 42 Mikrostruktura ze vzorku odlitku

Vytvořené zobrazení struktury se vyhodnotilo pomocí: Atlas of microstructures of industrial alloys.

Popis mikrostruktury:

Hliník vyloučený v základní fázi α je vyobrazen na obrázku jako světlá žlutá místa. Tmavší žlutá místa ve struktuře, rovnoměrně rozprostřená, zobrazují eutektický křemík. Mikrostruktura na obrázku číslo 42 zobrazuje strukturu referenčního vzorku sledovaného místa experimentu, tedy etalonu. Na zkoumaném vzorku není identifikován výskyt porezity.

Porezita výbrusy



Obr. 43 Identifikovaný výskyt porezity

Popis mikrostruktury:

Ve struktuře zkoumaného vzorku byl identifikován značný výskyt porezity. Ta se projevuje ve výbrusu vzorku pořízeného z referenčního místa číslo 15 na odlitku, jako tmavá místa ve struktuře. Tato místa se vyznačují výrazně lesklým dnem.

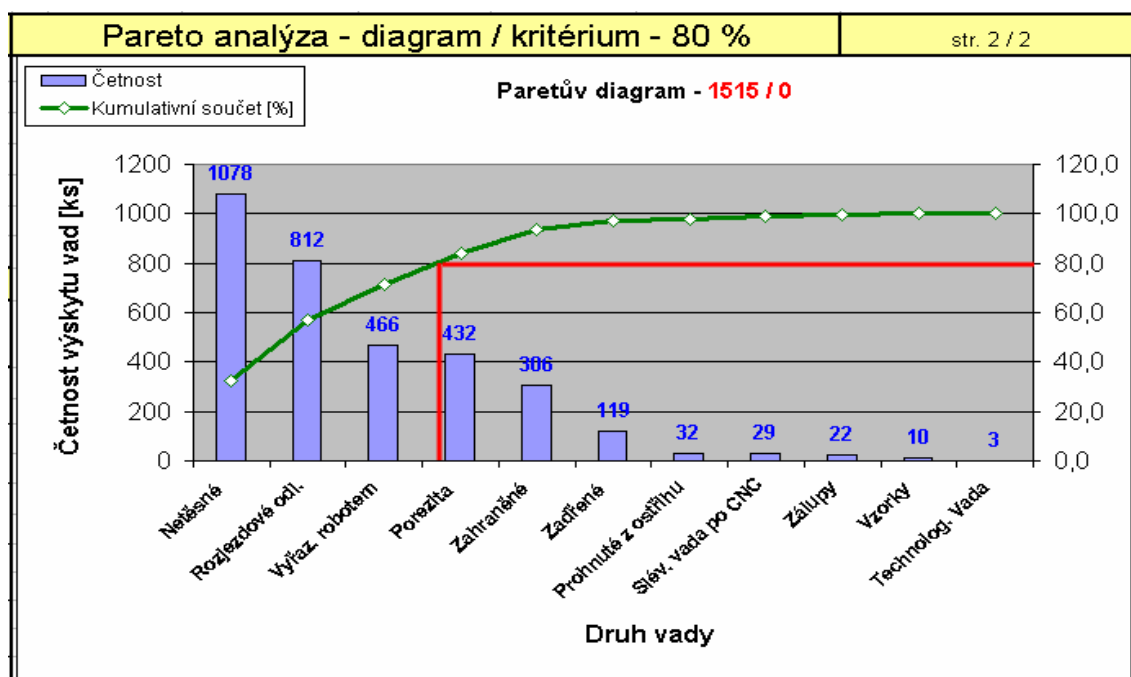
Prostorové rozmístění vady se nachází v celém řezu měřeného místa. Takto je identifikována vada způsobená plynovou porezitou.

Jedná se o charakteristickou vadu způsobenou při procesu tlakového odlévání odlitků.

Tab. 7 Tabulka vyhodnocení původního stavu

Vyhodnocení zmetkovosti				str. 1 / 2
č. odlitku:	1515 / 0			Celkem kontrolováno [ks]: 14141
Zákazník:	Experiment 0			Zmetků celkem [ks]: 3309
Licí stroj:	B - 840			Zmetkovost celkem [%]: 23,4
Dílenská obj.:	150100			Zmetkovost za období: 01 / 2015
Druh vyhodnocení:	Zkušební série			
Hodnocení výskytu vad:				
Druh vady	Četnost výskytu [ks]	Zastoupení vady v [%]	Zmetkovost vady [%]	Místo výskytu
Netěsné	1078	32,6	7,6	Místo č. 15.
Rozjezdové odlitky	812	24,5	5,7	
Výřazeno robotem	466	14,1	3,3	
Porezita komplet	432	13,1	3,1	Místa s největším výskytem - 11, 3, 2.
Zahraněné	306	9,2	2,2	
Zařfené	119	3,6	0,8	
Prohnuté z ostříhu	32	1,0	0,2	
Slév. vada po CNC (S0)	29	0,9	0,2	
Zálupy	22	0,7	0,2	
Vzorky, zkušební kusy	10	0,3	0,1	
Technologická vada	3	0,1	0,0	
			0,0	

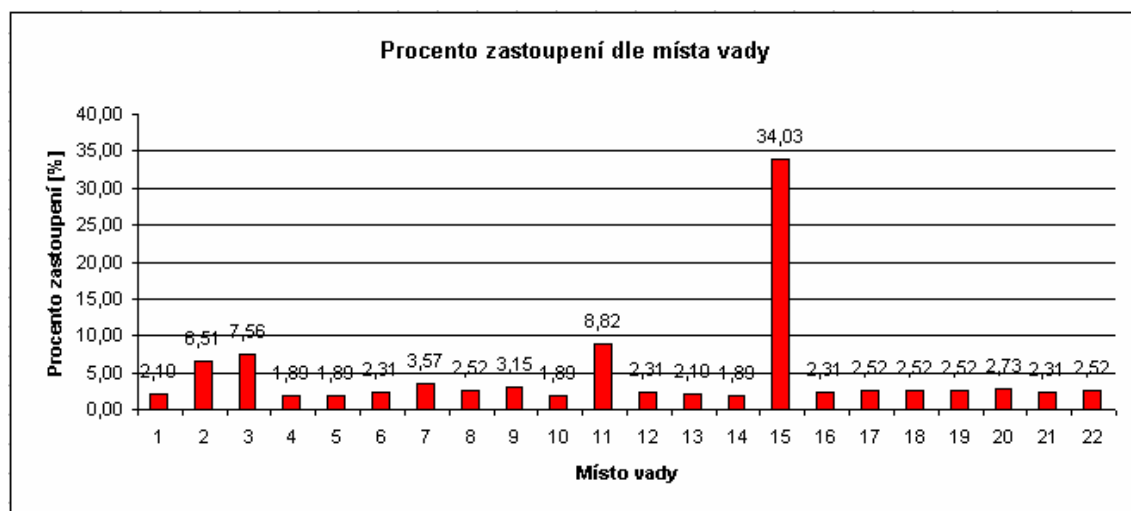
Graf 1 Vyhodnocení původního stavu



Tab. 8 Výskyty vad dle místa

Odlitek 1515																											
číslo vzorku																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Místo	Počet vad																							Celkem	% zast.	%ZM	
1	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	2,10	0,48
2	1	2	0	1	2	3	1	1	0	1	1	1	2	2	2	0	1	2	2	2	0	2	2	31	6,51	1,50	
3	1	2	2	2	1	0	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	3	36	7,56	1,74	
4	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	9	1,89	0,43	
5	0	0	1	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	9	1,89	0,43	
6	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	11	2,31	0,53	
7	1	2	0	2	3	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	0	17	3,57	0,82	
8	1	0	1	0	1	0	1	0	2	1	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12	2,52	0,58	
9	0	1	1	1	1	2	2	0	0	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15	3,15	0,72	
10	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	9	1,89	0,43	
11	3	2	2	2	1	3	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	3	42	8,82	2,03	
12	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	11	2,31	0,53	
13	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	10	2,10	0,48	
14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	2	0	0	9	1,89	0,43	
15	7	7	7	6	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	6	8	8	7	6	6	7	6	7	162	34,03	7,83	
16	0	1	0	0	1	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	11	2,31	0,53	
17	0	1	2	3	1	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	2,52	0,58	
18	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	12	2,52	0,58	
19	0	1	0	1	1	1	2	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	12	2,52	0,58	
20	0	1	2	2	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	13	2,73	0,63	
21	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	11	2,31	0,53	
22	1	1	0	2	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	12	2,52	0,58	
OK	66	64	63	67	66	60	68	69	73	72	70	71	67	68	72	74	70	72	76	72	72	71	71	1594	77,00		
	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	CELK. ZMET. [%]		
% zmet.	26,7	26,9	30,0	25,6	26,7	33,3	24,4	23,3	18,9	20,0	22,2	21,1	23,6	24,4	20,0	17,8	22,2	20,0	15,6	20,0	20,0	21,1	21,1	23,0			

Graf 2 Procento zastoupení dle místa vady




Vyhodnocení

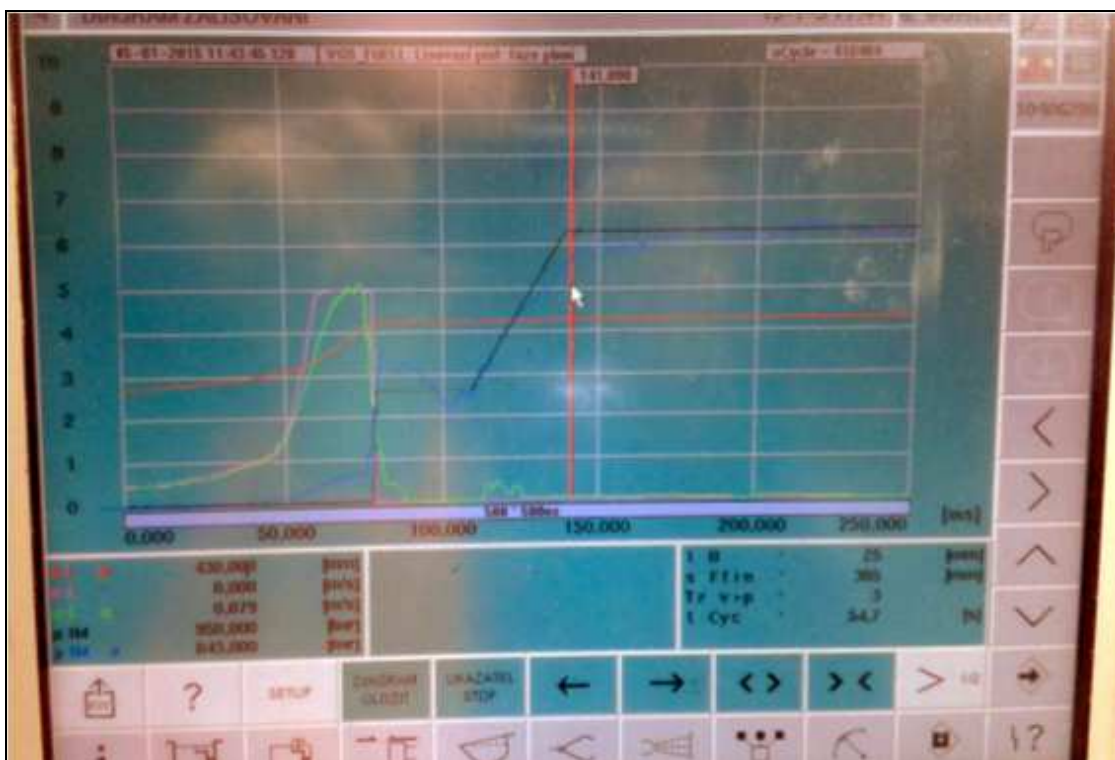
Při výrobě první série výrobků dle technologického nastavení lícího stroje a dodržení předepsané výroby tekutého kovu byly vyhodnoceny všechny projevující se vady. Nejvyšší výskyt vad je identifikován na netěsnost vyráběného odlitku, při tlakové zkoušce prováděné po poslední operaci obrábění. Tato netěsnost je způsobena porezitou v referenčním místě vady číslo 15. Další největší výskyt vad je v místě 3, 11, 2.

7.8.1 Nápravná opatření dotlaku

Opatření bylo provedeno vzhledem k problematickému místu a to změnou parametrů v nastavení samotného licího cyklu stroje. Toto opatření nejvíce ovlivňující porezitu je změna parametru dotlaku. Dotlak se změnil z 85 MPa (850 Bar) na 95 MPa (950 Bar). Ostatní parametry licího stroje byly zachovány v původních hodnotách z důvodu objektivního posouzení vlivu změny dotlaku na počet vad vyskytující se porezity v referenčním místě. Parametry nastavení licího stroje jsou následující:

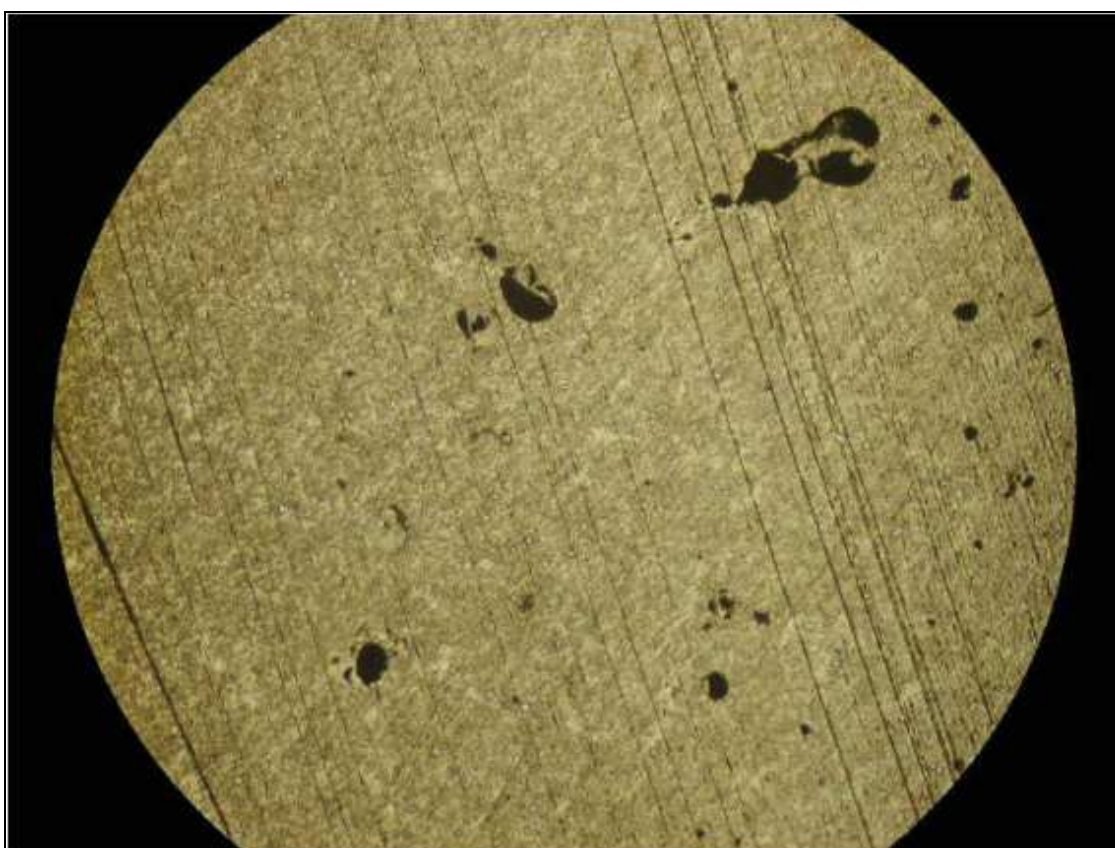
Tab. 9 Přestavená tabulka nastavení licího stroje

TECHNOLOGICKÁ KARTA ODLITKU							C. odlitku _ provedení / index obnovy 58_1515 / 0	
RTG Ano Dle platného PK	Chem. slož. Ano Dle platného PK	Zákazník Experiment	Název odlitku 1515		Číslo výkresu odlitku / index změny: 58 1515 / a			
		Stroj / pozice B – 840 / 12	Ø plnicí komory/poloha/č. komory 87 (max. 92) / -250 / 136 113 temperovaná olejem		Ks ve formě 1	Material AISI10Mg - 239T		
Informativní náčrt 		Náhradní stroj/ pozice B – 1050 / 7	Ø plnicí komory/poloha/č. komory Ø90 / – 250 / 136 129		Nastavení teploty oleje při výrobě (temperovací jednotka)			
		Dávka (Krown) 2,77 s (3,05 kg) Čas doběhu = 1,5 ± 0,2s	Výška tablety 25 ± 5 [mm]	Vyhazovače + 0,3	--	Teplota oleje		
		Parametry stroje			Pevná pol. #	210 ± 10 (zpět: 170 ± 10) Licí komora: 150 ± 10 (zpět: 145 ± 10) [°C]		
		Aktivní délka komory 460 ± 2 [mm]	Délka nástavce táhla lisování 140 ± 1 [mm]	Zátlak --	Pohybl. pol. # olej vodní ohřev	210 ± 10 (zpět: 175 ± 10) 120 ± 10 (zpět: 120 ± 10) [°C]		
Provedení odlitku	H	Plocha odlevu v dělicí rovině 497 [cm²]	Plocha nařiznutí 677 [mm²]		Hmotnost formy -- [kg]	Teplota taveniny 690 ± 10 [°C]		
Průměrná hmotnost odlitku	1 087 [g]	Doba tuhnutí + dotlak 8 ± 1 [sec]	Cyklus pracovní operace 52 ± 2 [sec]		Vyhazovače vpřed 0 [sec]	Vyhazovače vzad 1,0 ± 0,2 [sec]		
Dle CSN 42 14 31 Dle	Hmotnost odlitku od nařiznutí 1 331 [g]	Pohyb lis. pístu	[mm]	[m/s]	Bar	[s]	Mazadlo – komora Láník KP-G/F Petrofer- Piston gr. Dávka: 1,3 ± 0,2s	
	Surová hmotnost odlitku 2 630 [g]	1. rychlost	120 ± 10	0,3 ± 0,1	--	--	Mazadlo – forma Metal Cast DL 410 Poměr: 1,5% ± 0,2 Chemtrend SL 1697S Poměr: 0,9% ± 0,1 Grafitová pasta Antiletovací pasta	
Norma ks/ 7,5h Norma ks/ 11h	461 676	2. rychlost	280 ± 10 310 ± 10	0,5 ± 0,1 1,2 ± 0,2	--	--	Lisovací tlak (dotlak) / multiplikační stupeň	
Nm / 100 ks	97,55	3. rychlost	340 ± 10	5,0 ± 0,2	Tlak přepnutí dotlaku 320 ± 10	--	-- / -- [MPa]	
--	--	Brzda	450 ± 10	0,8 ± 0,2				
		Max. tlak kovu ve formě [bar]			950 ± 30	0,06 ± 0,01		



Obr. 44 Náhled obrazovky řídicího panelu licího stroje

Porezita výbrusy



Obr. 45 Výbrus vzorku s přiblížením 65x

Popis mikrostruktury:

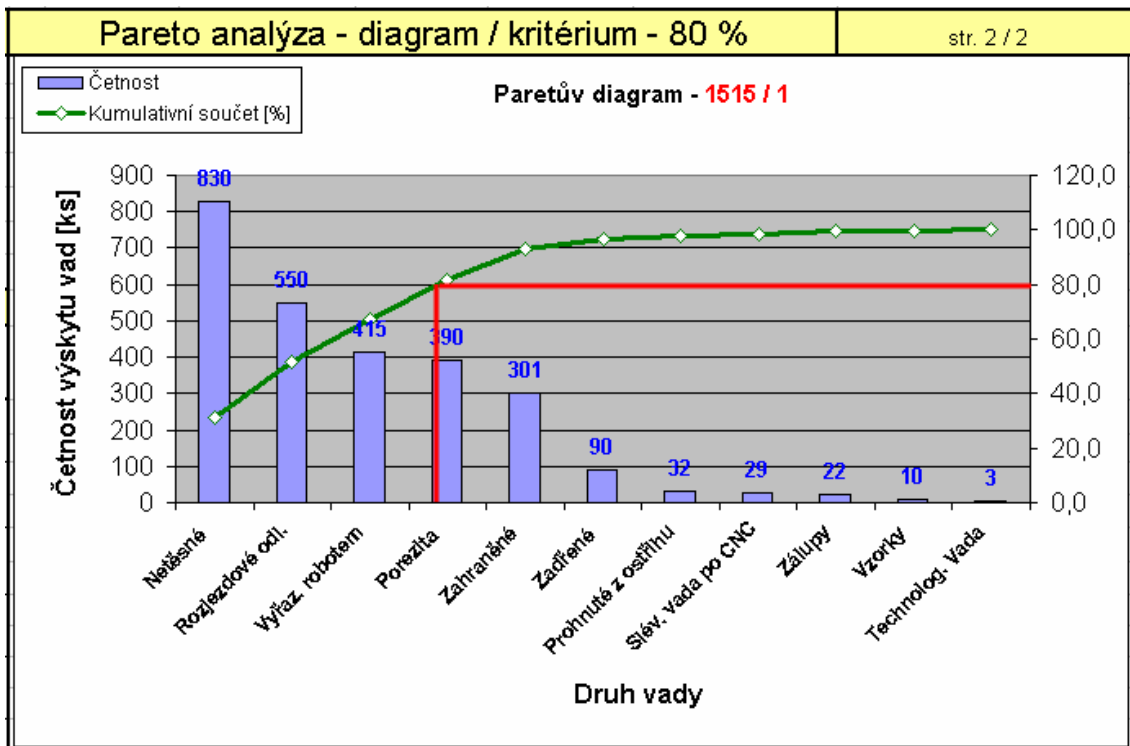
Výbrus byl u zkoumaných vzorků zvětšen pouze 65x z důvodu většího znázornění vad spojených s porezitou. Místa výskytu jsou sice méně shlukována, ale porezita je stále velmi výrazná.

Pozitivním zjištěním bylo, že při porovnání vzorků bylo možno identifikovat výskyt porezity v přibližně stejných místech vzorků s přibližnou tvarovou shodností. To svědčí o úspěšnosti provedeného opatření a přiměřené stabilitě procesu.

Tab. 10 Tabulka vyhodnocení po první úpravě

Vyhodnocení zmetkovitosti					str. 1 / 2
č. odlitku:	1515 / 1			Celkem kontrolováno [ks]:	14145
Zákazník:	Experiment 1			Zmetků celkem [ks]:	2672
Licí stroj:	B - 840			Zmetkovitost celkem [%]:	18,9
Dílenská obj.:	150101			Zmetkovitost za období:	02 / 2015
Druh vyhodnocení:	Zkušební série				
Hodnocení výskytu vad:					
Druh vady	Četnost výskytu [ks]	Zastoupení vady v [%]	Zmetkovitost vady [%]	Místo výskytu	
Netěsné	830	31,1	5,9	Místo č. 15	
Rozjezdové odlitky	550	20,6	3,9		
Vyřazeno robotem	415	15,5	2,9		
Porezita komplet	390	14,6	2,8	Místa s největším výskytem - 11, 3, 2.	
Zahraněné	301	11,3	2,1		
Zadřené	90	3,4	0,6		
Prohnuté z ostříhu	32	1,2	0,2		
Slév. vada po CNC (S0)	29	1,1	0,2		
Zálupy	22	0,8	0,2		
Vzorky, zkušební kusy	10	0,4	0,1		
Technologická vada	3	0,1	0,0		
			0,0		

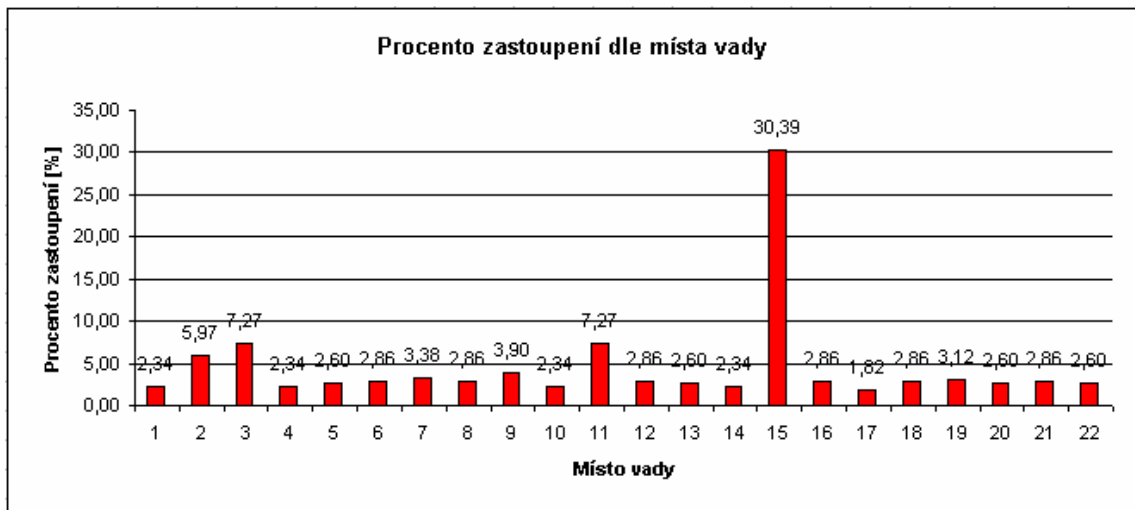
Graf 3 Vyhodnocení po první úpravě



Tab. 11 Výskyty vad dle místa

Odlitek 1515 opatření 1																											
číslo vzorku																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Místo	Počet vad																							Celkem	% zast.	%ZM	
1	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	9	2,34	0,43
2	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	2	1	0	2	2	2	23	5,97	1,11
3	1	1	2	1	1	0	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	28	7,27	1,35
4	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	9	2,34	0,43
5	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	10	2,60	0,48
6	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	11	2,86	0,44
7	0	1	0	2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	0	0	13	3,38	0,63
8	1	0	1	0	1	0	1	0	2	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11	2,86	0,53
9	0	1	1	1	1	2	2	0	0	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	15	3,90	0,72
10	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	9	2,34	0,43
11	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	28	7,27	1,35
12	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	11	2,86	0,53
13	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	10	2,60	0,48
14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	9	2,34	0,43
15	5	6	5	4	5	6	5	5	6	6	5	4	5	5	5	4	5	6	5	5	4	6	5	5	117	30,39	5,65
16	0	1	0	0	1	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	11	2,86	0,53
17	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1,82	0,34
18	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	11	2,86	0,53
19	0	1	0	1	1	1	2	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	12	3,12	0,58
20	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	10	2,60	0,48
21	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	11	2,86	0,53
22	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	10	2,60	0,48
OK	73	70	69	75	70	66	70	73	75	73	74	77	73	72	75	78	75	76	76	72	76	70	77	1695	81,40		
	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	CELK. ZMET. [%]		
% zmet.	18,9	22,2	23,3	16,7	22,2	26,7	22,2	18,9	16,7	18,9	17,8	14,4	18,9	20,0	16,7	13,3	16,7	15,6	15,6	20,0	15,6	22,2	14,4	18,6			

Graf 4 Procento zastoupení dle místa vady



Vyhodnocení úpravy

Zvýšením dotlaku licího stroje ve třetí fázi licího cyklu bylo dosaženo snížení výskytu vad na netěsnost odlitků, které jsou zapříčiněny vlivem porezity v referenčním místě, na hodnotu 5,9 %. Dosažený výsledek znamená snížení o 1,7 % oproti počátečnímu vyhodnocení, které činilo 7,6 %. Tento výsledek vyhodnocení celé série byl predikován z hodnocení vzorkování, kde odchylka činí 0,25 %. Záměr realizovaného opatření byl naplněn.

7.8.2 Nápravná opatření tvaru jádra

Pro realizaci tohoto nápravného opatření byly využity naměřené hodnoty a výsledky z předchozí provedené úpravy. Tato zjištění potvrdila nutnost nadále se zaměřovat na problematiku vzniku vad ve sledovaném místě číslo 15, s ohledem na stále největší výskyt.

Za tímto účelem byla provedena simulace plnění dutiny formy při procesu odlévání za pomoci programu QuickCAST. Na základě rozboru této simulace bylo doporučeno změnit tvar odlitku v tomto problematickém místě. Tato tvarová změna by měla v tomto místě přispět ke snížení turbulence tekutého kovu ve fázi plnění.

Návrh změny tvaru odlitku byl projednán s konečným odběratelem a došlo k jeho schválení. Schválené úpravy byly provedeny v tvarových vložkách licí formy, včetně přizpůsobení tvaru jádra. Původní tvar je zobrazen na obrázku číslo 46 a provedená změna na obrázku číslo 47. Zobrazení úpravy je v řezu místa číslo 15.

Řezy odlitků v místě číslo 15 v rámci nápravného opatření

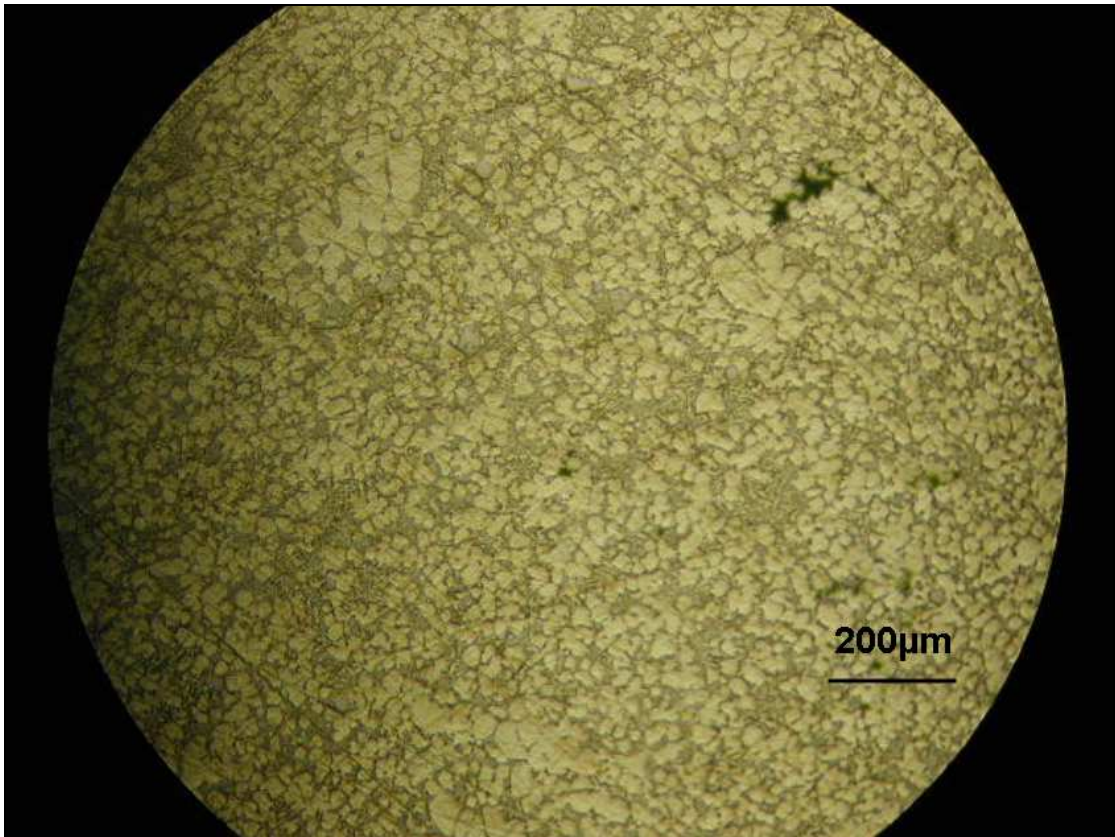


Obr. 46 Původní tvar vnitřní části ovlivňující porezitu



Obr. 47 Upravený tvar vnitřní části ovlivňující porezitu

Porezita výbrusy



Obr. 48 Identifikace snížené porezity

Popis mikrostruktury:

V rámci kontrolované oblasti, ve které byla provedena změna tvaru odlitku v nejvíce problematickém místě, se na základě provedených zkoušek, velmi výrazným způsobem snížil výskyt porezity.

Stále jsou sice patrné části ovlivněné porezitou, ale vzhledem k předcházejícím vzorkům, je rozdíl snížení velmi markantní. Prostorové umístění výskytu porezity, pokud bylo vůbec identifikováno, na jednotlivých měřených vzorcích bylo téměř totožné.

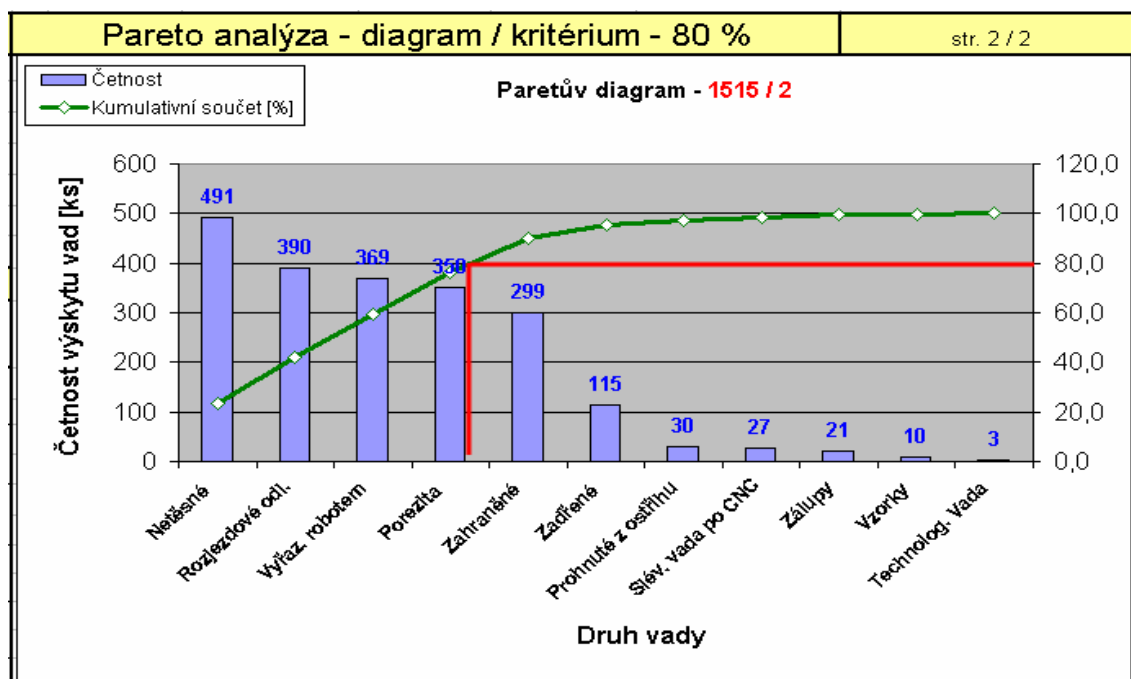
Toto zjištění vypovídá o stabilitě parametrů výrobního procesu při operaci tlakového odlévání posuzovaného odlitku.

U většiny kontrolovaných vzorků byly velmi podobné tvarové parametry struktury vyskytující se porezity.

Tab. 12 Tabulka vyhodnocení po druhé úpravě

Vyhodnocení zmetkovitosti				str. 1 / 2
č. odlitku:	1515 / 2			Celkem kontrolováno [ks]: 14150
Zákazník:	Experiment 2			Zmetků celkem [ks]: 1685
Licí stroj:	B - 840			Zmetkovitost celkem [%]: 11,9
Dílenská obj.:	150102			Zmetkovitost za období: 03 / 2015
Druh vyhodnocení:	Zkušební série			
Hodnocení výskytu vad:				
Druh vady	Četnost výskytu [ks]	Zastoupení vady v [%]	Zmetkovitost vady [%]	Místo výskytu
Netěsné	491	23,3	3,5	Místo č. 15
Rozjezdové odlitky	390	18,5	2,8	
Výřazeno robotem	369	17,5	2,6	
Porezita komplet	350	16,6	2,5	Místa s největším výskytem - 11, 3, 2.
Zahraněné	299	14,2	2,1	
Zadřené	115	5,5	0,8	
Prohnuté z ostříhu	30	1,4	0,2	
Slév. vada po CNC (S0)	27	1,3	0,2	
Zálupy	21	1,0	0,1	
Vzorky, zkušební kusy	10	0,5	0,1	
Technologická vada	3	0,1	0,0	
			0,0	

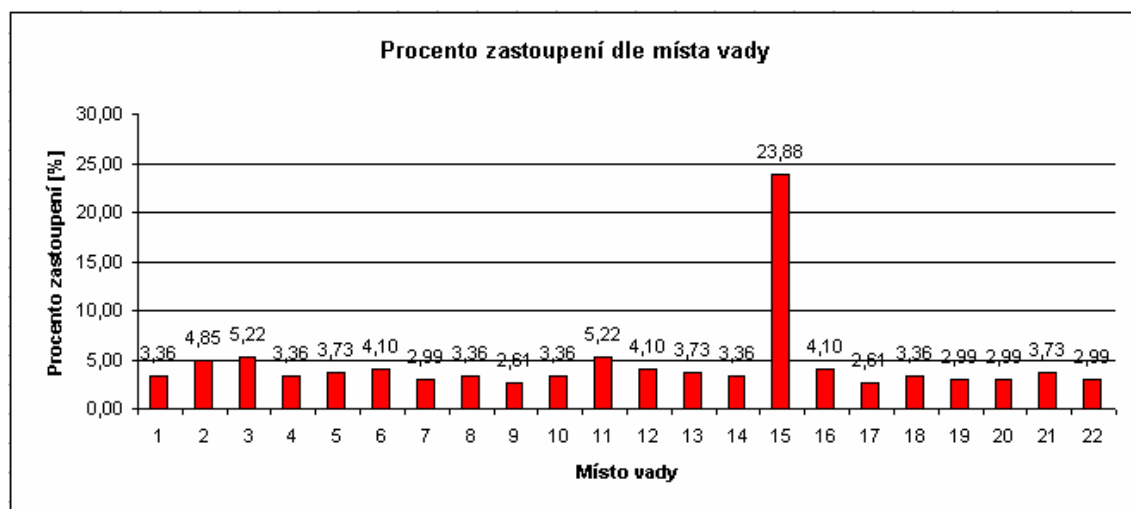
Graf 5 Vyhodnocení po druhé úpravě



Tab. 13 Výskyty vad dle místa

Odlitek 1515 opatření 2																											
číslo vzorku																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Místo	Počet vad																						Celkem	% zast.	%ZM		
1	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	9	3,36	0,43
2	0	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	13	4,85	0,63
3	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	14	5,22	0,68	
4	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	9	3,36	0,43	
5	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	10	3,73	0,48	
6	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	11	4,10	0,53	
7	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	8	2,99	0,39	
8	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9	3,36	0,43	
9	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	2,61	0,34	
10	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	9	3,36	0,43	
11	1	0	1	1	0	0	0	1	1	2	1	0	2	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	14	5,22	0,68	
12	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	11	4,10	0,53	
13	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	10	3,73	0,48	
14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	2	0	0	9	3,36	0,43	
15	3	3	2	3	3	2	2	4	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	64	23,88	3,09	
16	0	1	0	0	1	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	11	4,10	0,53	
17	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2,61	0,34	
18	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	9	3,36	0,43	
19	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	8	2,99	0,39	
20	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	8	2,99	0,39	
21	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	10	3,73	0,48	
22	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	8	2,99	0,39	
OK	75	77	75	79	77	74	78	75	81	78	78	83	78	77	78	83	79	79	82	76	80	77	83	1826	88,21		
	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	CELK. ZMET. [%]		
% zmet.	16,7	14,4	16,7	12,2	14,4	17,8	13,3	16,7	10,0	13,3	13,3	7,8	13,3	14,4	13,3	7,8	12,2	12,2	8,9	15,6	11,1	14,4	7,8	11,8			

Graf 6 Procento zastoupení dle místa vady



Vyhodnocení úpravy

V této části vyhodnocení bylo ve výrobním postupu aplikováno navržené opatření v nastavení licího stroje a zvýšení jeho dotlaku ve fázi tuhnutí odlitku v licí formě. Současně byla provedena změna tvaru vložky licí formy. Tím došlo k tvarové změně odlitku, která byla schválena odběratelem. Tato provedená změna zlepšila zabíhavost a uklidnění proudu tekutého kovu ve formě, což bylo nejprve vyzkoušeno na simulačním programu. Funkce a požadované parametry odlitku nebyly změněny. Tlakové zkoušky na těsnost po obrábění potvrdily výrazné snížení výskytu této vady. Kontrolním řezem dobrých odlitků v referenčním místě a jejich výbrusem byla vhodnost těchto provedených opatření potvrzena. Velmi důležité je konstatování z grafu druhů vad, že opatření v oblasti parametrů licího stroje, konkrétně zvýšení dotlaku a tvarová změna odlitku neměly vliv na výskyt ostatních druhů vad. Snížení netěsnosti při tlakové zkoušce vlivem porezity bylo tedy eliminováno na přijatelnou hodnotu odpovídající technologii tlakového lití. Konečná hodnota se ustálila na 3,5 % netěsných odlitků.

8 DISKUZE

Diplomová práce se zabývá sériovou výrobou odlitků ze slitin hliníku se zaměřením na metodu tlakového lití a její moderní dostupné alternativy. Experimentální část je zaměřena na rozbor vad tlakových odlitků při sériové výrobě, především pak na výrobu dílu s pracovním označením 1515. Největším problémem při výrobě byla produkce netěsných kusů, které byly zjištěny až na konci výrobního procesu. Jedná se o klasifikaci vady neopravitelné a z finančního hlediska nutno konstatovat, že na výrobku jsou prakticky provedeny veškeré operace a kvůli této vadě nemůže být prodán. Na začátku výroby tohoto náročného odlitku byla převzata parametrické nastavení odběratele. Samotná výroba představuje série přibližně 15 tisíc kusů za měsíc. Velmi důležitou skutečností výroby takto velké série je poměrně dlouhá časová prodleva mezi konečnou operací tlakové zkoušky a vyhodnocením kvality odlitku na těsnost, oproti samotné době skutečného odlití na licím stroji. Proto, aby byla tato doba eliminována a výroba neshodných kusů včas odhalena, je v průběhu celé série prováděna kontrola vybraných referenčních vzorků. Vyhodnocení těchto vzorků a identifikace vad by měla odpovídat procentu vad při konečném vyhodnocení celé série. Je nutno se smířit se skutečností, že výroba tlakových odlitků je provázena vždy zmetkovitostí. Snahou všech přijatých opatření je snížit hodnotu zmetkovitosti v prvním kroku na ekonomicky

přijatelnou hodnotu a v dalších krocích tuto hodnotu dále snižovat. Prvotní vyhodnocení vad prováděného experimentu při původním nastavení parametrů výrobního procesu bylo v hodnotě 23,4 %. Netěsné kusy tvořily 7,6 %. Tak jak bylo předpokládáno, největší zastoupení vad bylo z důvodu netěsnosti při tlakové zkoušce. Provedenými rozbory na kontrolních vzorcích experimentu se jednalo o netěsnost v důsledku porezity projevující se v referenčním místě 15.

S ohledem na nutnost dodávky další série bylo experimentálně přistoupeno k prvnímu nápravnému opatření a to zvýšení dotlaku licího stroje po třetí rychlosti procesu odlévání. S touto úpravou byla vyráběna další série opět ve stejném počtu kusů. Průběžné vyhodnocení experimentálních vzorků na výskyt vad vykazovalo snížení celkové zmetkovitosti na 18,6 %, z toho způsobené vlivem netěsnosti bylo 5,7 %. Skutečné hodnoty celé ukončené výrobní série byly pak u zmetkovitosti 18,9 % a u netěsnosti 5,9 %.

Vzhledem k tomu, že byly vyčerpány technické možnosti v úpravě parametrů nastavení licího stroje Bühler B 84, který pracuje v automatickém režimu celého licího pracoviště s maximální efektivitou výroby, byl předložen odběrateli návrh na konstrukční úpravu tvaru odlitku ve sledovaném místě vzniku porezity číslo 15. Tato navržená konstrukční změna byla odběratelem akceptována a následně realizována ve výrobě. Změna tvaru umožnila dokonalejší proudění a zatečení tekutého kovu v licí formě, čímž bylo dosaženo homogennější struktury v problematickém místě.

Vyhodnocení vzorků a následné vyhodnocení celé vyrobené série potvrdilo snížení celkové zmetkovitosti na hodnotu 11,9 %. Netěsné kusy tvořily hodnotu 3,5%. Lze tedy konstatovat výrazné snížení výskytu vad způsobených porezitou. Ostatní vady měly taktéž klesající tendenci, ale úplná eliminace vad při použité technologii tlakového lití není možná.

Dle procesní dokumentace firmy bylo zásadním cílem dosažení hodnoty zmetkovitosti v důsledku netěsnosti pod 5 %. Ukazatel byl stanoven útvarem kvality a odpovídá finančnímu záměru pro realizaci této výroby. Splnění ukazatele bylo přijatými opatřeními dosaženo.

Další možnou úpravou procesu odlévání tohoto odlitku, která se pravděpodobně bude realizovat, bude změna způsobu chlazení trvalého jádra formy, které je velmi tepelně namáháno. teplotou

9 ZÁVĚR

Diplomová práce řeší sériovou výrobu odlitků ze slitin hliníku s hlavní orientací na metodu tlakového lití. Teoretická část je věnována vývoji odvětví a uplatnění nových metod v tomto oboru. Dále práce popisuje konkrétní licí pracoviště s jeho periferními zařízeními a návaznost mezi nimi. V práci je popsána následnost jednotlivých kroků a operací při výrobě. Důraz je kladen na kontrolní postupy a mechanismy při jednotlivých operacích s ohledem na možnou eliminaci vzniku vad tlakových odlitků.

Experimentální část práce je zaměřena na výrobu konkrétního odlitku pro automobilový průmysl, kterým je komponent spalovacího motoru zajišťující snížení emisí dle normy EU6. Je součástí systému EGR, nebo-li recirkulace výfukových plynů. Experiment řeší vyhodnocování vad tlakových odlitků s hlavním zaměřením na skryté vnitřní vady, které ve svém důsledku způsobují netěsnost vyráběného dílu.

Netěsnost je dle výsledků měření a vyhodnocení skutečné zmetkovitosti celé série zapříčiněna porezitou vyráběného dílu. Na základě vzorků a identifikace nejvíce problémového místa první vyráběné série bylo pro výrobu druhé série přijato nápravné opatření v oblasti nastavení parametrů licího stroje. Správnost přijatého opatření licích parametrů stroje bylo potvrzeno dosaženými výsledky snížení zmetkovitosti výroby. Druhým nápravným opatřením bylo pozměnění tvaru vyráběného dílu v místě s největším výskytem porezity, které bylo opět potvrzeno výsledky z měření. Toto druhé nápravné opatření bylo mnohem výraznější a efektivnější v oblasti snížení produkce netěsných dílů.

Výskyt vad a především pak skrytých vad, způsobených v důsledku vzniklé porezity, je u tlakově litých odlitků jedním z největších problémů. Potýkají se s ním i ty nejvyspělejší světové slévárny a řeší ho s různou mírou úspěšnosti.

Přes výskyt vad, mají odlitky ze slitin hliníku bezesporu mnoho, zásadním způsobem převažujících klíčových výhod a vlastností, které zaručují budoucí rozvoj této technologie odlévání a uplatnění výrobků v mnoha odvětvích.

Nové poznatky a výsledky výzkumu, umožňují a zajišťují výrobu stále dokonalejších výrobních zařízení, vývoj nových postupů včetně materiálů a tím i neustálý dynamický rozvoj v tomto oboru.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- DILLINGER, J., A KOLEKTIV, 2007, *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Nakladatelství Europa Sobotáles, Praha, 612 stran. ISBN 978-80-86706-19-1
- MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OTČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPALA, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A., A KOLEKTIV, 2005, *Encyklopedie hliníku*. Nakladatelství Adin, Prešov, 700 stran. ISBN 80-89041-88-4
- ŘASA, J., ŠVERCL, J., 2007, *Strojnické tabulky: pro školu a praxi. Materiály, polotovary, technologie, upínání, měření*. 2. 1. vyd., Nakladatelství Scientia, Praha, 586 stran. ISBN 80-86960-20-3
- ROUČKA, J., 2004, *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd., Nakladatelství CERM, Brno, 148 stran. ISBN 80-214-2790-6
- GSCHEIDLE, R., A KOLEKTIV, 2005, *Příručka pro automechanika*. 2. vyd., Nakladatelství Sobotáles, Praha, 652 stran. ISBN 80-85920-83-2
- BAUER, F., A KOLEKTIV, 2013, *Traktory a jejich využití*. 2. vyd., Nakladatelství Profi Press s.r.o., Praha, 220 stran. ISBN 978-80-86726-52-6
- MICHNA, Š., NOVÁ, I., 2008, *Technologie a zpracování kovových materiálů*. 1. Vyd., Nakladatelství Adin s.r.o., Prešov., 326 stran, ISBN 978-80-8924-438-6
- RAGAN, E. A KOL., 2007, *Liatie kovov pod tlakom*. Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, Prešov, 383 stran., ISBN 978-80-8073-979-9
- SILBERNAGEL, A. A KOL., 2011, *Struktura, vlastnosti, zkoušení a použití kovů*. Vyd. 1., Nakladatelství, Kovosil, Ostrava, 284 stran. ISBN 978-80-903694-6-7

- ČADA R., 2010, *Technologie tváření a slévání. Zápustkové kování, slévání : návody do cvičení*, 1.Vyd., VŠB - Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 126 stran. ISBN 978-80-248-2274-7
- VALECKÝ, J., A KOLEKTIV, 1963, *Lití kovu pod tlakem*. Nakladatelství ČNTL, Praha, 450 stran.
- BRYKSÍ STUNOVÁ, B., 2013, *Ústav strojírenské technologie (Publikované přednášky a cvičení)*., Fakulta strojní., ČVUT v Praze
- *Svaz sléváren České republiky*, 2015, online [cit. 2015-11-03].
Dostupné z: <http://www.svazslevaren.cz/>
- *Interní dokumentace firmy KOVOLIT, a.s.*, 2015 Nádražní 344, CZ - 664 42 Modřice, www.kovolit.cz

Aktivní zdroj

- *KOVALIT, a.s.*, Nádražní 344, CZ - 664 42 Modřice, www.kovolit.cz,
Ing. Vlček Michal – Vedoucí útvaru jakosti
Ing. Doležel Emil – Vedoucí technického útvaru
Ing. Krňávek Štěpán – Technolog

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka tlakového odlitku tělesa olejového čerpadla (www.kovolit.cz).....	13
Obr. 2 Řez kovovou formou pro odlévání automobilových kol (www.alcoa.com).....	14
Obr. 3 Způsoby odstředivého lítí do kokilové formy (www.vuhz.cz).....	15
Obr. 4 Squeeze casting přímá metoda (<i>Roučka J. 2004</i>).....	16
Obr. 5 Zobrazení tuhnutí hliníkového bloku motoru v programu MAGMASoft (www.magma-soft.com).....	17
Obr. 6 Příklad využití hliníkových odlitků z 18 % v konstrukci karoserie (www.aa-academy.com).....	20
Obr. 7 Hliníkové odlitky na zemědělské technice	21
Obr. 8 Schématické chlazení zpětně vedených spalin (www.ms-motorservice.com) ..	22
Obr. 9 Schéma zařízení s teplou komorou (www.custompartnet.com).....	23
Obr. 10 Schéma zařízení se studenou komorou (www.custompartnet.com)	24
Obr. 11 Řez plynovou pecí Striko Westofen (www.strikowestofen.com).....	26
Obr. 12 Tlakový licí stroj Bühler Evolution B 84D (www.buhlergroup.com)	27
Obr. 13 Kloubový mechanismus (www.fs.cvut.cz)	28
Obr. 14 Prostorové zobrazení kloubového mechanismu (www.sdbmc.com).....	29
Obr. 15 Sloupy s uzamykacími maticemi (www.italpresse.it)	30
Obr. 16 Pohled na konkrétní licí pracoviště	31
Obr. 17 Mechanismus uzavírání (<i>Interní dokumentace KOVOLIT a.s.</i>)	32
Obr. 18 Pohled do licí formy odlitku	35
Obr. 19 Udržovací a dávkovací pec KROWNOMATIC	36
Obr. 20 Vyjímací robot Kawasaki	37
Obr. 21 Ostříhovací lis - detail vnitřního prostoru.....	38
Obr. 22 Ošetřovací robot s postřikovým modulem.....	39
Obr. 23 Temperovací a chladicí zařízení Regloplas	40
Obr. 24 Vakuovací zařízení VDS Provac PLC 250-03	41
Obr. 25 Odsávání a filtrace pomocí Ultravent KMA.....	41
Obr. 26 Experimentální odlitek	42
Obr. 27 Odplyňovací zařízení FDU (www.subtech.com)	46
Obr. 28 Pracoviště spektrální analýzy	48
Obr. 29 Schéma analyzátoru SPECTROMAXx LMX06 (www.spectro.cz)	48
Obr. 30 Vzorek materiálu po analýze	49

Obr. 31 Zařízení pro trhací zkoušky ZD 40.....	51
Obr. 32 Zkušební vzorek	51
Obr. 33 Rentgenová zkouška	53
Obr. 34 Pracoviště 3D měření.....	54
Obr. 35 Obráběcí centrum a detail upnutí odlitků	55
Obr. 36 Pracoviště tlakové zkoušky a 3D model pro testování	55
Obr. 37 Těsnící trn (<i>Interní dokumentace KOVOLIT a.s.</i>)	56
Obr. 38 Porezita v části odlitku	59
Obr. 39 Popis jednotlivých míst odlitku	60
Obr. 40 Zařízení pro přípravu vzorků.....	61
Obr. 41 Mikroskop Neophot 32.....	61
Obr. 42 Mikrostruktura ze vzorku odlitku	62
Obr. 43 Identifikovaný výskyt porezity	63
Obr. 44 Náhled obrazovky řídicího panelu licího stroje.....	67
Obr. 45 Výbrus vzorku s přiblížením 65x	67
Obr. 46 Původní tvar vnitřní části ovlivňující porezitu	71
Obr. 47 Upravený tvar vnitřní části ovlivňující porezitu.....	71
Obr. 48 Identifikace snížené porezity	72

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení licích strojů podle velikosti uzavírací síly (<i>Michna Š. a kol. 2005</i>) ...	28
Tab. 2 Operace technologického postupu s vlivem na porezitu	44
Tab. 3 Spektrografické vyhodnocení	50
Tab. 4 Zákaznická specifikace.....	51
Tab. 5 Naměřené a dopočítané hodnoty tahové zkoušky	52
Tab. 6 Vyhodnocení rozjezdových kusů.....	52
Tab. 7 Tabulka vyhodnocení původního stavu	64
Tab. 8 Výskyty vad dle místa	65
Tab. 9 Přestavená tabulka nastavení licího stroje	66
Tab. 10 Tabulka vyhodnocení po první úpravě	68
Tab. 11 Výskyty vad dle místa	69
Tab. 12 Tabulka vyhodnocení po druhé úpravě	73
Tab. 13 Výskyty vad dle místa	74

13 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Vyhodnocení původního stavu	64
Graf 2 Procento zastoupení dle místa vady	65
Graf 3 Vyhodnocení po první úpravě	69
Graf 4 Procento zastoupení dle místa vady	70
Graf 5 Vyhodnocení po druhé úpravě.....	73
Graf 6 Procento zastoupení dle místa vady	74

14 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1	83
PŘÍLOHA 2	89

PŘÍLOHA 1

Katalog vad zkoumaného odlitku:



Obr. V1 Místo namačkané z ostříhu



Obr. V2 Neprohraněný otvor



Obr. V3 Prasklina na těle odlitku



Obr. V4 Povrchová vada



Obr. V5 Staženina



Obr. V6 Neopilovaná část odlitku



Obr. V7 Zahraněná oblast



Obr. V8 Vytržený materiál



Obr. V9 Vada způsobená starým upínačem



Obr. V10 Vada způsobená zadřením



Obr. V11 Porezita odhalená po obrábění

PŘÍLOHA 2

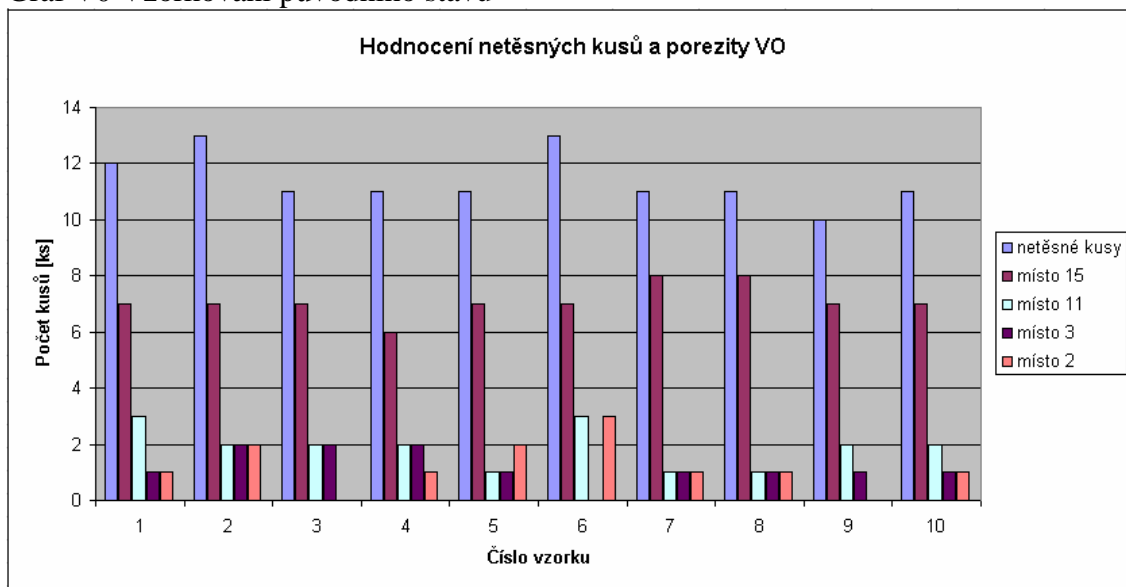
Tabulky a grafy vzorkování a hodnocení jednotlivých opatření v experimentální části

Část vyhodnocení u původního stavu výroby:

Tab.V0 Vzorkování původního stavu

VO	paleta 1	paleta 10	paleta 20	paleta 30	paleta 60	paleta 80	paleta 100	paleta 120	paleta 140	paleta 150
číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
celkem kusy	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
porezita kusy	11	13	11	10	11	12	11	10	10	11
netěsné kusy	12	13	11	11	11	13	11	11	10	11
místo 15	7	7	7	6	7	7	8	8	7	7
místo 11	3	2	2	2	1	3	1	1	2	2
místo 3	1	2	2	2	1	0	1	1	1	1
místo 2	1	2	0	1	2	3	1	1	0	1
porezita %	12,2%	14,4%	12,2%	11,1%	12,2%	13,3%	12,2%	11,1%	11,1%	12,2%
netěsné %	13,3%	14,4%	12,2%	12,2%	12,2%	14,4%	12,2%	12,2%	11,1%	12,2%

Graf V0 Vzorkování původního stavu

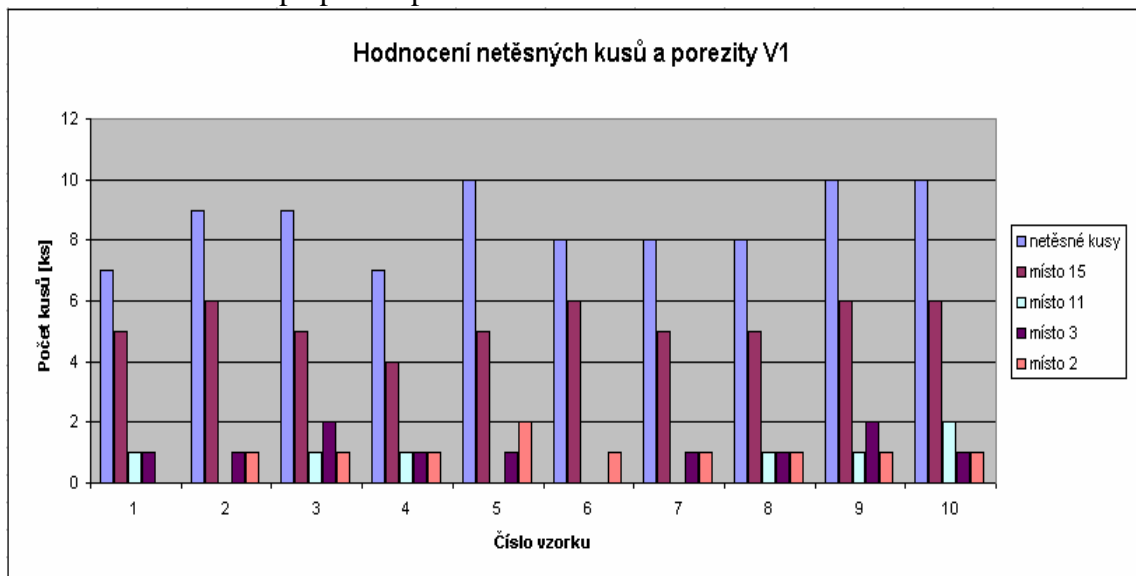


Část vyhodnocení u prvního opatření výroby:

Tab.V1 Vzorkování po první úpravě

V1	paleta 1	paleta 10	paleta 20	paleta 30	paleta 60	paleta 80	paleta 100	paleta 120	paleta 140	paleta 150
číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
celkem kusy	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
porezita kusy	7	9	9	6	10	7	8	8	10	9
netěsné kusy	7	9	9	7	10	8	8	8	10	10
místo 15	5	6	5	4	5	6	5	5	6	6
místo 11	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
místo 3	1	1	2	1	1	0	1	1	2	1
místo 2	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1
porezita %	7,8%	10,0%	10,0%	6,7%	11,1%	7,8%	8,9%	8,9%	11,1%	10,0%
netěsné %	7,8%	10,0%	10,0%	7,8%	11,1%	8,9%	8,9%	8,9%	11,1%	11,1%

Graf V1 Vzorkování po první úpravě



Část vyhodnocení u druhého opatření výroby:

Tab.V2 Vzorkování po druhé úpravě

V2	paleta 1	paleta 10	paleta 20	paleta 30	paleta 60	paleta 80	paleta 100	paleta 120	paleta 140	paleta 150
číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
celkem kusy	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
porezita kusy	5	3	4	5	4	2	4	6	6	5
netěsné kusy	5	3	4	6	4	2	4	6	6	5
místo 15	3	3	2	3	3	2	2	4	3	3
místo 11	1	0	1	1	0	0	0	1	1	2
místo 3	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0
místo 2	0	0	0	2	1	0	1	0	1	0
porezita %	5,6%	3,3%	4,4%	5,6%	4,4%	2,2%	4,4%	6,7%	6,7%	5,6%
netěsné %	5,6%	3,3%	4,4%	6,7%	4,4%	2,2%	4,4%	6,7%	6,7%	5,6%

Graf V2 Vzorkování po druhé úpravě

