



# Vady hliníkových odlitků

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství

*Autor práce:* **Petr Knittel**  
*Vedoucí práce:* Ing. Iva Nováková, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Knittel**  
Osobní číslo: **S16000412**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Vady hliníkových odlitků**  
Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

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

1. Prostudujte metalurgii slitin hliníku.
2. Seznamte se s technologiemi odlévání slitin hliníku a prostudujte typy vad, které se u odlitků ze slitin hliníku mohou vyskytovat.
3. Ve spolupráci s firmou Beneš a Lát a.s., u vybraných odlitků, zdokumentujte vady a pokuste se charakterizovat příčinu jejich vzniku.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky a zformulujte dílčí závěry.

Rozsah grafických prací: **tabulky, grafy**  
Rozsah pracovní zprávy: **cca 30 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

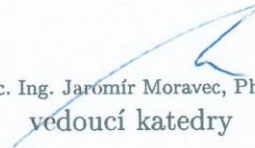
- [1] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných kovů* [skripta]. Akademické nakladatelství Cerm, Brno, 2004. ISBN 80-214-2790-6.  
[2] MICHNA, Š. et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd., Prešov: Adin s.r.o., 2005. ISBN 80-89041-88-4.  
[3] ČSN 42 1240. *Vady odlitků. Názvosloví a třídění vad*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1965. 41 s. Třídící znak 421240.  
[4] Časopisy: Slévárenství, Giesserei, atd.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iva Nováková, Ph.D.**  
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. listopadu 2016**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. dubna 2018**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji prof. Ing. Ivě Novákové, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za odborné vedení, poskytnutí cenných rad a věcných připomínek. Poděkování patří též společnosti BENEŠ a LÁT a.s. v zastoupení Ing. Milana Luňáka a Ing. Simony Šromové za poskytnutí informací a materiálů, za odborný dohled a členům N-Týmu za věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se věnuje vadám odlitků ze slitin hliníku. V teoretické části jsou popsány vlastnosti hliníku a jeho slitin používaných ve slévárenství, metalurgické úpravy těchto slitin a metody jejich odlévání. Hlavní pozornost je věnována vadám odlitků. Podrobně jsou popsány vady odlitků třídy 400 – dutiny. Je zde uveden jejich popis, příčiny jejich vzniku a možné způsoby jejich zjišťování. Experimentální část práce vznikla ve spolupráci s firmou BENEŠ a LÁT a. s. Na základě vad, které se vyskytly u konkrétních odlitků, byly vypracovány katalogové listy. V nich jsou uvedeny možnosti identifikace dané vady, příčiny jejich vzniku, jak jejich vzniku předcházet a také možnosti opravy odlitků s těmito vadami.

### **Klíčová slova:**

Hliník, slitina hliníku, vada odlitku třídy 400, dutiny, bubliny, odvařeniny, staženiny, katalogový list.

## **Abstract**

Bachelor thesis deals with the casting defects of aluminum alloy. In the theoretical part are described the properties of aluminum, the properties of aluminum casting alloys, casting method and metallurgical treatments of aluminum alloys. Main attention deals with casting defects. The thesis main part is focused on the casting defects batch 400 - cavity. It is focused on the basic defects description, reasons of defects rise and defects identification. The experimental part was developed in cooperation with the company BENEŠ and LÁT Ltd. On the base of rise defects on specific castings have been set data sheets, where we find the defects identification, causes of its rise, corrective measures and also how to prevent their rising.

### **Keywords:**

Aluminum, aluminium alloys, casting defect batch 400, cavity, bubbles, off boiled parts, shrinkage cavity, datasheet.

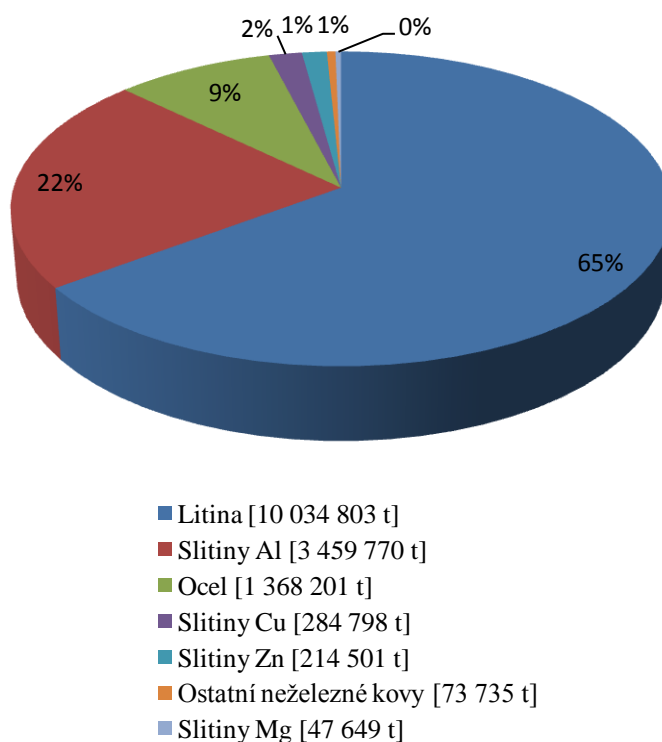
# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická část</b> .....	<b>9</b>
2.1	Čistý hliník a jeho vlastnosti.....	9
2.2	Slitiny hliníku .....	10
2.2.1	Rozdělení slitin hliníku .....	10
2.2.2	Slévárenské slitiny hliníku.....	11
2.2.3	Vlastnosti slitin .....	13
2.3	Metody odlévání slitin hliníku .....	14
2.4	Metalurgie slitin hliníku .....	16
2.4.1	Tavení.....	16
2.4.2	Rafinace a odplyňování .....	16
2.4.3	Modifikace a očkování .....	17
2.5	Vady odlitků .....	18
2.5.1	Vady 410 – Bubliny .....	21
2.5.2	Vady 430 – Odvařeniny .....	24
2.5.3	Vada 440 – Staženiny.....	27
<b>3</b>	<b>Experimentální část</b> .....	<b>33</b>
3.1	Bubliny způsobené vodíkem – 412 .....	33
3.2	Zahlcený plyn – 414.....	35
3.3	Odvařeniny od formy, kovového jádra – 431 .....	36
3.4	Odvařeniny od formy, pískového jádra – 431 .....	37
3.5	Odvařeniny od zalévaných předmětů – 432 .....	38
3.6	Otevřené staženiny – 441 .....	39
3.7	Vnitřní uzavřené staženiny – 442.....	40
3.8	Řediny – 443.....	42
3.9	Staženiny od jader nebo ostrých hran formy – 444.....	43
3.10	Povrchové propadliny – 445.....	44
<b>4</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>46</b>

# 1 Úvod

Slévárství patří bezesporu mezi nosná odvětví průmyslu. Podílí se na výrobě dílů pro automobilový, letecký, lodní průmysl, energetický a strojírenský průmysl. Odlitky nachází své uplatnění také v optickém, elektrotechnickém, chemickém a potravinářském průmyslu.

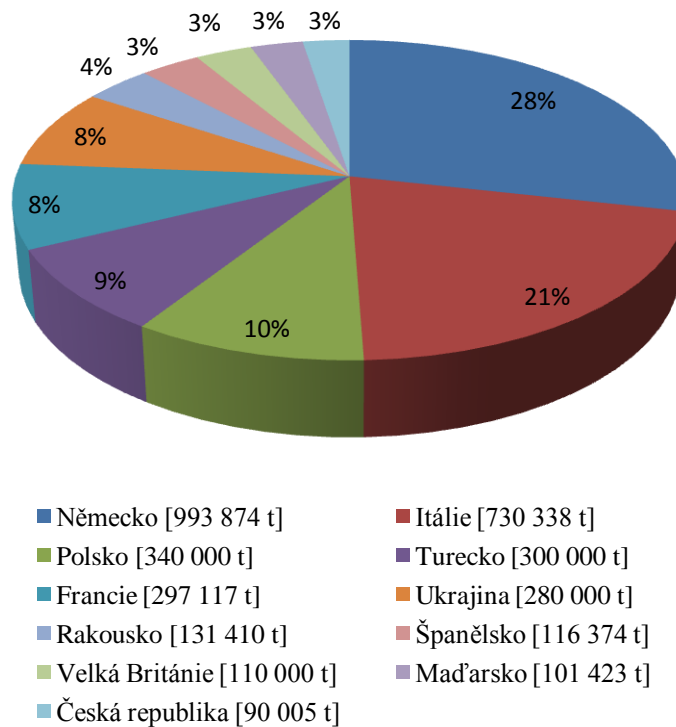
Ve slévárství došlo v roce 2014 k ročnímu nárůstu výroby o 2,3 % v porovnání s rokem 2013. Evropské prvenství v celkové produkci odlitků si drželo Německo s celkovou výrobou přes 5 mil. tun odlitků ročně. S velkým odstupem následovala Itálie, Francie, Ukrajina, Španělsko, Polsko a Velká Británie. Česká republika byla se svojí roční výrobou odlitků cca 416 tisíci tunami na 8. místě. Na obr. 1 je uveden roční přehled výroby odlitků z různých materiálů včetně procentuálního vyjádření [1].



**Obr. 1:** Schéma procentuálního zastoupení výroby odlitků z různých materiálů v Evropě [1]

Světová roční výroba odlitků ze slitin hliníku v roce 2014 narostla o 6,3 % v porovnání s předcházejícím rokem. Roční objem výroby odlitků ze slitin hliníku největších evropských producentů je uveden na obr. 2 [1].





**Obr. 2:** Přehled ročního objemu výroby odlitků ze slitin hliníku [1]

Při výrobě odlitků vzniká celá řada slévárenských vad. Neustále zvyšující se požadavky na kvalitu odlitků vedou ke snaze vady důsledněji sledovat, dokumentovat je a stanovovat příčiny jejich vzniku. V současné době firmy zabývající se výrobou odlitků ze slitin hliníku ve spolupráci s vysokými školami sestavují katalog vad, který by v praxi měl sloužit při práci jak odborníkům ve výrobě, při kontrole, tak i pracovníkům v oddělení prodeje. Jednou z těchto firem je firma BENEŠ a LÁT a.s. K její stěžejní produkci patří právě odlitky ze slitin hliníku při využití technologie gravitačního, nízkotlakého a vysokotlakého lití [2].

Problematikou vad odlitků se zabývá i tato bakalářská práce na téma „Vady hliníkových odlitků“. Cílem práce je rozbor problematiky vzniku vad typu dutiny v odlitcích ze slitin hliníku vyrobených technologií nízkotlakého nebo gravitačního lití do kovových forem a vypracování katalogových listů těchto vad.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Čistý hliník a jeho vlastnosti

Hliník (latinský název Aluminium, chemická značka Al) je v přírodě jedním z nejrozšířenějších neželezných kovů. Byl objeven v roce 1825 Dánem – Hansem Christianem Oerstedem.

V přírodě se hliník v ryzí formě obvykle nevyskytuje. V zemské kůře je 8 % hliníku obsaženo v minerálech, např.: v bauxitu, kryolitu, korundu, spinelech, v kaolinu atd. Základní surovinou pro výrobu hliníku je však bauxit. Světová těžba bauxitu v roce 2012 dosáhla 263 mil. tun [3].

Výroba hliníku z primárních surovin je energicky velmi náročná. Provádí se elektrolytickým rozkladem roztoku oxidu hlinitého v roztavených fluoridech. K výrobě jedné tuny hliníku se spotřebují asi 4 t bauxitu, cca 20 GJ tepelné energie a cca 14 MWh elektrické energie. Získaný hliník se pro potřeby laboratoří a pro speciální účely rafinuje až na čistotu 99,9 % [4].

Hliník je tvrdý, lesklý, stříbřitošedý, neželezný, velice lehký kov. Jeho chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1 [3, 5, 6].

**Tab. 1:** Chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti čistého hliníku [3, 5, 6]

Vlastnost	Jednotky	Hodnota	Poznámka
Atomové číslo		13	
Relativní atomová hmotnost		26,981539	
Perioda		3	
Skupina		III. A	
Skupenství		pevné	
Elektronová konfigurace		[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>	
Mřížka	Kubická plošně centrovaná		Dobrý kujný kov k tváření za tepla i za studena
Mřížková konstanta	m	4,05.10 <sup>-10</sup>	
Slučovací teplo	kJ.mol <sup>-1</sup>	10,79	
Skupenské teplo tání	kJ.mol <sup>-1</sup>	293	Z důvodu vysoké hodnoty, je energeticky náročné roztavení hliníkových slitin
Měrná tepelná kapacita	J.g <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,9	
Hustota	g.cm <sup>-3</sup>	2,702	
Hustota při teplotě tání	g.cm <sup>-3</sup>	2,375	
Teplota tání	K	933,47	
Teplota vypařování	K	2 792	

Tepelná vodivost	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	237	Významná vlastnost
Elektrická vodivost	$S \cdot m^{-1}$	$37,7 \cdot 10^6$	Významná vlastnost, hliník je elektropozitivní
Měrný elektrický odpor	$10^{-6} \Omega \cdot m$	0,0267	
Bod supervodivosti	K	1,175	
Součinitel tepelné roztažnosti	$K^{-1}$	$23 \cdot 10^{-6}$	
Tvrдость podle Mohse		2,75	Mohsova stupnice tvrdosti
Tvrдость podle Brinella (HB)		15–23	
Mez pevnosti v tahu	MPa	40–50	
Modul pružnosti ve smyku	GPa	26	
Modul pružnosti v tahu	GPa	70	

Velkou výhodou hliníku je, že odolává korozi. Tvoří s kyslíkem velmi stabilní oxid  $Al_2O_3$ . Na povrchu součástí se za normální teploty vytváří přilnavá oxidická vrstva o tloušťce do 10 nm, která se v případě poškození sama obnoví. Tato vrstva brání hloubkové oxidaci, zajišťuje velmi dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům. Nejlepší chemická odolnost hliníku ve vodných roztocích je v rozmezí pH 4,5–8,5. V zásaditém prostředí je jen omezená.

Hliník se při nízkých teplotách nestává křehkým, naopak jeho pevnost se zvyšuje. Při vysokých teplotách se pevnost hliníku snižuje.

Vzhledem k nízkým mechanickým vlastnostem (pevnosti v tahu, tažnosti, tvrdosti), ke špatným slévárenským vlastnostem a špatné obrobitelnosti je čistý hliník ve slévárenské praxi prakticky nepoužitelný, používá se pouze ve zvláštních případech [4, 7].

## 2.2 Slitiny hliníku

### 2.2.1 Rozdělení slitin hliníku

Jak již bylo uvedeno, čistý hliník je pro konstrukční účely nevyhovující. Z toho důvodu se používají výhradně slitiny hliníku, kdy přísadové prvky zvyšují jeho mechanické vlastnosti a zlepšují technologické vlastnosti [8].

Slitiny lze dělit podle několika kritérií. Podle způsobu zpracování je lze rozdělit na slitiny pro tváření (registrováno 18 slitin) a na slévárenské slitiny (registrováno 16 slitin).

Tyto obě skupiny slitin se podle možnosti jejich dalšího tepelného zpracování dále dělí na:

- slitiny vytvrditelné: a) slitiny s nízkou pevností a s dobrou odolností proti korozi,  
b) slitiny s vyšší a vysokou pevností a s nízkou odolností proti korozi,
- slitiny nevytvrditelné.

### 2.2.2 Slévárenské slitiny hliníku

Slévárenské slitiny hliníku jsou určeny k výrobě tvarových odlitek gravitačním litím do pískových, sádrových, skořepinových či kovových forem, k nízkotlakému a vysokotlakému lití.

Slitiny hliníku kromě základního prvku (hliníku) obsahují hlavní přísadové prvky, vedlejší přísadové prvky, doprovodné prvky a ostatní prvky.

Hlavní přísadové prvky jsou pro určení vlastností slitin rozhodující. Spolu se základním prvkem vymezují typ slitiny. Jejich obsah bývá po základním prvkem druhý nejvyšší. Nejčastěji jsou jimi – křemík, měď a hořčík, výjimečně zinek. Základní typy slévárenských slitin hliníku jsou uvedeny v tab. 2 [9, 10, 11].

Vedlejší přísadové prvky příznivě ovlivňující mechanické vlastnosti slitiny, zlepšují obrobitelnost, ovlivňují strukturu kovu, vyrovnávají nepříznivé účinky některých doprovodných prvků. Vedlejších prvků může být najednou i několik.

Doprovodné prvky se do slitin nedávají záměrně. Jde o prvky ze vsázkových surovin, o prvky z vyzdívek, z tavicích přípravků či z nářadí. Jejich obsah bývá limitován. Při překročení koncentrace doprovodných prvků obvykle dochází ke zhoršení mechanických, chemických nebo technologických vlastností slitiny. Doprovodné prvky nad limit (tzv. nečistoty) jsou potřeba odstranit nebo jejich obsah ve slitině snížit.

Podle počtu přísadových prvků se slitiny rozdělují na slitiny:

- binární - obsahují pouze základní a hlavní přísadový prvek,
- ternární - obsahují prvek základní, hlavní a jeden vedlejší přísadový prvek,
- vícesložkové - obsahují prvek základní, hlavní a několik vedlejších přísadových prvků [4].

**Tab. 2:** Přehled slévárenských slitin hliníku [4, 12]

Název slitiny	Fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti
<p style="text-align: center;"><b>Al - Si</b> siluminy</p>	<p><b>Siluminy</b> jsou nejvýznamnějšími slitinami pro výrobu odlitků. Křemík zvyšuje pevnost, hustotu odlitků, zlepšuje slévárenské vlastnosti – zabíhavost, snižuje objem staženin. Slitiny dobře odolávají vzniku trhlin za tepla, korozi, ale špatně se obrábějí, mažou se.</p> <p><b>Podle obsahu Si se siluminy dělí na siluminy:</b></p> <p>a) <i>podeutektické</i> (4,5–10 % Si)  Podeutektické siluminy mají dobré mechanické vlastnosti (tažnost) a slévárenské vlastnosti (zabíhavost). Odolnost proti korozi je průměrná. Výrobky lze brousit a leštit, kvalita povrchů však není příliš dobrá.</p> <p>b) <i>eutektické</i> (10–13 % Si)  Nejlepší slévárenské vlastnosti (zabíhavost) mají eutektické siluminy s úzkým intervalem tuhnutí. Slitiny dobře vyplňují dutinu formy. K charakteristickým vlastnostem patří malá smrštitelnost, náchylnost k tvorbě trhlin za tepla, nízká pevnost a tažnost (pevnost a zároveň tvárnost lze zvýšit zjemněním krystalů křemíku v eutektiku). Odolnost proti korozi je dobrá.</p> <p>c) <i>nadeutektické</i> (nad 13 % Si)  Tyto slitiny mají vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Součinitel tepelné roztažnosti je oproti součiniteli podeutektických slitin menší. Mají vcelku dobré mechanické vlastnosti (kromě houževnatosti - ta je malá) a dobré slévárenské vlastnosti (dobrá zabíhavost). Malá tepelná roztažnost umožňuje využití této slitiny u výrobků určených do vyšších teplot.</p> <p>Přísady umožňují vytvrzovat odlitky, a tím zvyšovat mez pevnosti a tvrdost. Pro zlepšení vlastností se do siluminů přidávají přísady <b>Cu</b> a <b>Mg</b>. U slitin typu Al-Si-Mg hořčík zlepšuje mechanické vlastnosti (tažnost), umožňuje vytvrzování za tepla (zvýšení pevnosti). Siluminy s přísadou hořčíku mají dobrou svařitelnost.</p> <p>Přidáním mědi vznikne slitina typu Al-Si-Cu. Měď snižuje odolnost proti korozi, způsobuje menší stahování kovu při tuhnutí a zlepšuje nepropustnost odlitků. Dále zvyšuje pevnost a tvrdost slitiny v litém stavu, ale snižuje plastické vlastnosti. Zlepšuje také obrobiteľnosť.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Al - Cu</b> duralaluminium</p>	<p>Slitiny tohoto typu dosahují značné pevnosti po vytvrzení za tepla i za studena. Jedná se o vysokopevnostní slitinu hliníku (až nad 400 MPa). Příznivými vlastnostmi je dobrá odolnost proti opotřebení i za vysokých teplot, dvojnásobná tažnost a lomová houževnatost oproti Al-Si, pevnost i vynikající obrobiteľnosť. Z důvodu širokého intervalu tuhnutí mají nepříznivé slévárenské vlastnosti (menší zabíhavost, sklon k tvorbě pórovitosti, trhlin a jsou obtížně nálitkovatelné). K nepříznivým vlastnostem patří také podmíněná svařitelnost. Slitiny nejsou vhodné pro rozměrné odlitky ale pro jednoduché odlitky určené do 300 °C.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Al - Mg</b> hydronalium</p>	<p>Jedná se o nízkopevnostní slitinu. Pevnost s vyšším obsahem hořčíku roste. Čím vyšší je však obsah hořčíku ve slitině, tím horší jsou její slévárenské vlastnosti (široké pásmo tuhnutí). Má nejvyšší měrnou pevnost a rázovou houževnatost. Je odolná proti korozi (neobsahuje měď). Slitiny s obsahem hořčíku větším než 6 % mají sklon ke korozi po</p>

	hranicích. Nelze ji tepelným zpracováním zpevnit (vytvdřit), lze však využít deformačního zpevnění. Má nepříznivé slévárenské vlastnosti - špatnou zabíhavost (zlepšuje se přísadou berylia), sklon ke vzniku rozptýlených staženin, trhlin, sklon k naplynění a větší pórovitost. Odlitky mají výbornou obrobiteľnosť, leštiteľnosť, dajú sa eloxovať.
<b>Al - Zn</b>	Z technologických vlastností je dôležitá vysoká rozměrová stabilita, dobrá odolnosť proti korozi a dobrá obrobiteľnosť. Odlitky majú po obrobení a po eloxovaní vynikajúcu kvalitu povrchu. Nevýhodou slitin je náchylnosť ke korozi pod napätím. Tieto slitiny majú veľký sklon ke vzniku staženin a sklon k praskaniu za tepla.

### 2.2.3 Vlastnosti slitin

Při rozhodování ve výběru složení slitin je vždy třeba vycházet z komplexního posouzení nároků na užité vlastnosti odlitků a ze způsobu jejich výroby. Slévárenské slitiny jsou ve srovnání se slitinami určenými pro tváření méně tvárné, ale vyznačují se dobrou zabíhavostí ve formě, malým sklonem ke vzniku trhlin za tepla a malým sklonem k tvorbě staženin. Při výběru vhodné slévárenské slitiny se především sledují její technologické a mechanické vlastnosti a možnosti jejího tepelného zpracování.

Technologické vlastnosti souvisí se způsobem výroby odlitků. Obrobiteľnosť, odolnosť proti korozi, svařitelnosť, těsnosť, speciální vlastnosti jako je leštiteľnosť, nepropustnosť, možnosť povrchové úpravy apod. spolu se slévárenskými vlastnostmi patří k nejdůležitějším technologickým vlastnostem.

Slévárenské vlastnosti, jako je např.: zabíhavosť slitiny, sklon k naplynění taveniny a ke vzniku plynových dutin v odlitcích, sklon ke vzniku soustředěných staženin nebo ředin a sklon ke vzniku trhlin a prasklin, úzce souvisí se šířkou intervalu tuhnutí dané slitiny. Nejlepší slévárenské vlastnosti mají slitiny s úzkým intervalem tuhnutí – tzn. slitiny, které mají chemické složení blízké se složení čistého kovu nebo slitiny s eutektickým složením. Špatné slévárenské vlastnosti mají slitiny se širokým intervalem tuhnutí. Mají totiž horší zabíhavosť a vyšší sklon ke vzniku rozptýlených staženin a mikrostaženin. Jejich nálitkování je málo účinné, nálitky mají krátkou dosazovací vzdálenosť. Z toho důvodu pak odlitky netěsní [4, 12].

Mechanické vlastnosti odlitků ze slitin hliníku jsou závislé na struktuře materiálu, které jsou ovlivněny rychlostí tuhnutí odlitku ve slévárenské formě. Mezi základní sledované mechanické vlastnosti lze zařadit pevnosť v tahu, v tlaku, tažnosť, tvrdosť a pružnosť. Tyto vlastnosti jsou nejčastějším kritériem při rozhodování o vhodnosti materiálu a jeho předpokládaném použití [12].

## 2.3 Metody odlévání slitin hliníku

Ve slévárenské praxi se slitiny hliníku nejčastěji odlévají metodami, které jsou uvedeny v tab. 3.

**Tab. 3:** Přehled technologií výroby odlitků ze slitin hliníku

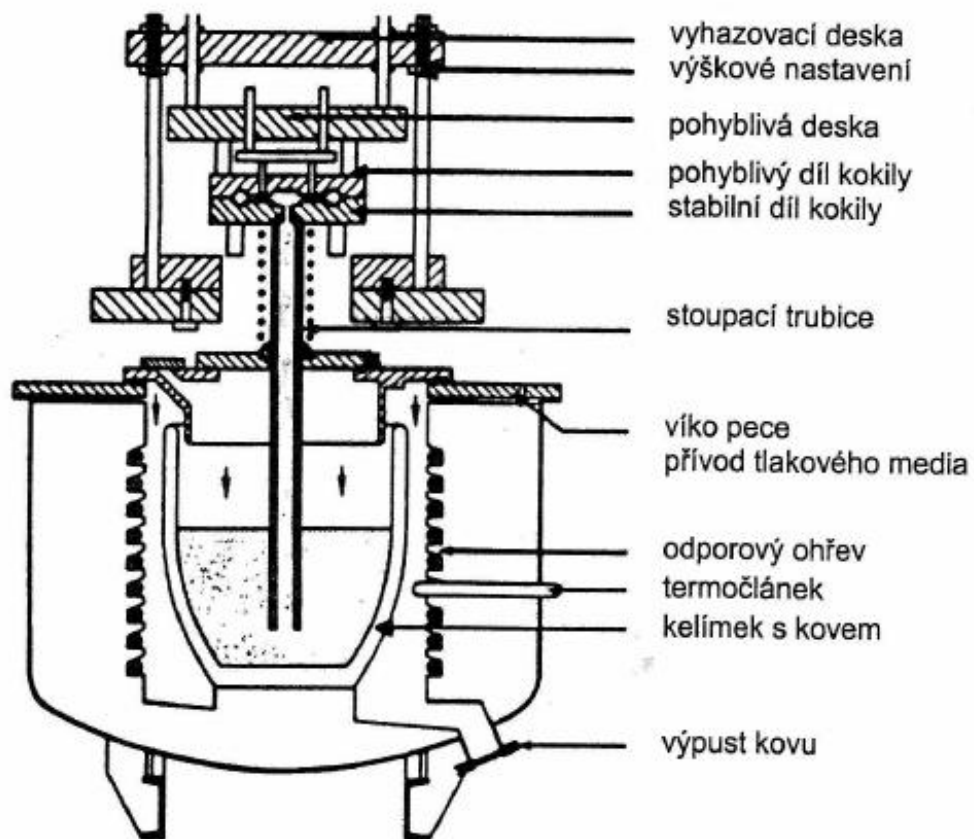
Technologie lití slitin hliníku		
Gravitační lití	Nízkotlaké lití	Vysokotlaké lití
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Pískové formy</i></li><li>• <i>Kovové formy</i></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Pískové formy</i></li><li>• <i>Kovové formy</i></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Kovové formy na strojích se studenou lící komorou:</i><ul style="list-style-type: none"><li>- <i>vertikální lící komora</i></li><li>- <i>horizontální lící komora</i></li></ul></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Keramické formy</i></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Keramické formy</i></li></ul>	

V této kapitole jsou popsány metody výroby odlitků v kovových formách, a to gravitační a nízkotlakou technologií, které při výrobě odlitků ze slitin hliníku využívá firma BENEŠ a LÁT a.s.

**Gravitační lití** do kovové formy se využívá pro odlévání vysoce namáhaných součástek. Metoda spočívá v plnění formy vlivem tíhy roztaveného kovu. Slitina hliníku se lije do kovové formy, která je předehřátá na pracovní teplotu cca 200–300 °C. Líc formy je ošetřen nátěrem nebo nástřikem. K tuhnutí odlitku dochází odzdoła směrem nahoru. Jde o opačný směr tuhnutí než je tomu při nízkotlakém lití.

Pro gravitační lití se využívají eutektické a podeutektické slitiny. Touto metodou je možné lití odlitků jakýchkoliv rozměrů o hmotnosti od několika g do cca 20–30 kg s tloušťkou stěn minimálně 4–5 mm. U odlitků lze předlévat hlubší otvory od průměru nad 10 mm s úkosy 2–3° [12].

**U nízkotlakého lití** je tavenina vytlačována z udržovací pece keramickou trubicí vzhůru do dutiny samotné lící formy, která je předehřátá na pracovní teplotu cca 200 až 400 °C. Na hladinu taveniny působí přetlak okolo 0,03 až 0,05 MPa, tím je tavenina plynule natlačována do formy. Tuhnutí je ukončeno v ústí plnicí trubice. Do formy se lije čistý kov bez vměstků, protože je ústí stoupací trubice ponořeno pod vrstvu oxidů a nečistot na hladině pece, tavenina se tedy nedostane do styku s atmosférou. Princip je znázorněn na obr. 3.



**Obr. 3:** Schéma stroje pro nízkotlaké lití [4]

Tato technologie je použitelná pro různorodé hmotnostní kategorie odlitků (do 20 kg) nejčastěji symetrických kolem osy rotace s možností vkládání mosazných nebo ocelových zálitků (matic, pouzder, čepů atd.). Jde o automatizovanou metodu lití vhodnou pro malé až střední zakázky. Vyrábí se plošně větší, tenkostěnné i silnostěnné odlitky o tloušťce stěny od 8 do 30 mm. Vyznačují se vysokou kvalitou, vysokou přesností, sníženou tolerancí rozměrů, jemnou a těsnou strukturou (struktura je ovlivněna sníženým výskytem mikroředin, pórů). Najdeme v nich minimálně mikroředin, ředin, vměstků, plynových dutin. Mají tedy vynikající těsnost, kvalitní povrch a dobré mechanické vlastnosti. Při nízkotlakém lití se využívá přes 90 % tekutého kovu, minimalizuje se tím vratný materiál.

Kvalita odlitků vyráběna oběma metodami je srovnatelná. Jejich jakost je velmi závislá na konstrukci formy a na technologických parametrech.

**Kovové formy** (tzv. kokily) bývají nejčastěji vyrobeny z oceli, ze šedé litiny nebo hliníkové slitiny. Využívají se při sériové výrobě odlitků menších až středních rozměrů. Kokily mají dobrou tepelnou vodivost, tavenina v nich rychle chladne. Odlitky tak mají ve srovnání s odlitky vyrobenými v pískových formách jemnější a těsnou strukturu, a tedy i



lepší mechanické vlastnosti. Odlitky z těchto forem jsou tvarově a rozměrově přesné. Tento druh forem má malou prodyšnost, proto je kladen důraz na odvodu vzdušnosti. Pro delší trvanlivost formy a pro zlepšení vzhledu a struktury odlitku se formy ošetřují. Líc formy se ošetřuje nátěrem (nástříkem), který zároveň slouží i jako tepelná izolace. Slévárenská forma se před samotným litím musí předeheat na správnou pracovní teplotu v rozmezí 200 až 400 °C. Tuto teplotu je třeba po celou dobu pracovního cyklu udržovat - temperovat. Děje se tak vyhříváním, nebo naopak ochlazením celé formy nebo její části [12, 14, 15, 16].

## 2.4 Metalurgie slitin hliníku

### 2.4.1 Tavení

Tavicí proces hliníkových slitin probíhá v pecích s plamenným nebo elektrickým vytápěním. Mezi používané druhy pecí patří: pec kelímková, šachtová a vanová.

Slitiny hliníku jsou dodávány do sléváren v houskách o příslušném chemickém složení. Housky slitin dodávané z hutí jsou nejkvalitnějším vsázkovým materiálem. Vsázka je tvořena houskami a vlastním vratným materiálem (vtokové soustavy, nálitky, vadné odlitky, rozstříky) v poměru cca 60 : 40. Přidávaný vratný materiál je nejméně kvalitní vsázkovou surovinou, měl by být čistý a suchý. V některých případech se do vlastní taveniny dále přidávají předslitiny (měď, nikl, magnesium) nebo soli, které se používají na dodatečné legování.

Při tavení hliníku je třeba dodržovat základní tavicí a metalurgická pravidla. Mezi obecné zásady patří: zajištění malé oxidace a naplynění kovu, oddělení tekutého kovu od pevné vsázky a zamezení místního přehřívání taveniny [4, 12].

### 2.4.2 Rafinace a odplynování

Hliník má vysokou afinitu (schopnost slučovat se s jinou látkou) ke kyslíku a sklon k naplynění vodíkem, je tedy třeba hliníkové slitiny rafinovat a odplynovat.

**Rafinace** je čištění taveniny. Je to proces, při kterém se v tavenině snižuje množství vměstků (nečistot). Vměstky jsou kovové nebo nekovové částice, které se vyskytují v tavenině. Jsou do taveniny vnášeny buď zvenčí tzv. exogenní vměstky (částice z keramických vyzdívek, z výdusek tavicích pecí, z kelímků, z pánví, z postříků náradí a forem; anebo vznikají oxidací hliníku a dalších prvků), nebo vznikají v samotné tavenině vzájemnými chemickými reakcemi mezi jednotlivými prvky tzv. endogenní vměstky.

Za exogenní kovové vměstky se považují nedokonale rozpuštěné legující prvky, předslitiny. Mezi exogenní nekovové vměstky patří nitridy, karbidy či boridy. Endogenním (vnitřním) typem vměstků jsou hlavně oxidy (např.:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ) ale i soli.

Vměstky jsou nukleačními zárodky pro vznik bublin, které jsou příčinou snížení těsnosti odlitků a zhoršení slévárenských vlastností, zejména zhoršení zabíhavosti taveniny. Zhoršují také kvalitu povrchových vrstev odlitků. Na vměstky se vážou hlinitanové komplexy obsahující vodík, který se pak též podílí na tvorbě bublin.

Rafinace se provádí odstátím taveniny (v praxi málo účinné), vynášením vměstků plynovými bublinami, chemickou vazbou vměstků pomocí krycích a rafinačních solí nebo mechanickým zachycováním vměstků při filtraci taveniny. Snižování množství vměstků v tavenině je především úkolem správného vedení tavby [4, 12].

**Odplyňování** je metalurgická operace, jejímž úkolem je snížit obsah vodíku na takovou úroveň, při které nedojde k vyloučení bublin. Vodík je hlavní příčinou naplynění roztavené slitiny. Pro zamezení vzniku bublin je třeba obsah vodíku v tavenině snížit pod kritickou hodnotu 0,2 až 0,1  $\text{cm}^3/100 \text{ g Al}$ . Jejich vznik je ovlivněn rychlostí tuhnutí slitiny, čím pomalejší je tuhnutí, tím dokonalejší musí být odplynění. U silnostěnných odlitků je třeba zvýšit nároky na odplynění. Je zapotřebí však dát pozor, aby nedošlo k výraznému snížení obsahu plynu. Takovéto snížení by se projevilo ve zvýšeném výskytu staženin (vad odlitků třídy 400).

K odplyňování dochází ještě před odléváním: vakuováním taveniny, prohlubováním taveniny inertními plyny ( $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ , ponořování tablet  $\text{CO}_3^{2-}$  atd.) nebo prohlubováním taveniny reaktivními plyny na fázi chloru ( $\text{N}_2 + \text{Cl}_2$ , ponořování tablet  $\text{C}_2\text{Cl}_6$  atd.).

Účinek odplyňování se prověřuje laboratorními či provozními metodami. Nejrychlejší orientační provozní metodou je metoda optická. Sleduje se vzhled hladiny vzorku. Hladina vzorku s nízkým obsahem vodíku má propadlý tvar, hladina naplyněného vzorku je vypouklá. Měření pomocí přístrojů patří k přesnějším metodám. Jedná se o metodu první bubliny, metodu měření hustoty kovu – metodu dvojího vážení, metodu přímého měření obsahu vodíku v tavenině atd. [4, 12].

### 2.4.3 Modifikace a očkování

**Modifikace** slitin je metalurgická operace, při které dochází ke změně tvaru a rychlosti růstu krystalů eutektického křemíku po přidavku některých prvků. Modifikačními činidly jsou povrchově aktivní látky (soli:  $\text{NaCl}$ ;  $\text{KCl}$ ;  $\text{NaF}$ , stroncium, antimon), které se

před odléváním přidávají do taveniny. Prvky přednostně adsorbují na krystalografických plochách Si, které jsou pro růst krystalů výhodnější. Modifikací se dosahuje zjemnění eutektického křemíku. Dochází k převedení zrnité eutektické struktury na strukturu lamelární nebo na jemně vláknitou. Modifikovaný eutektický křemík netvoří ostré hrubozrné útvary, ale jemnou síť trubiček až vláken. Zlepšují se tím mechanické vlastnosti slitin, zvyšuje se houževnatost, pevnost v tahu a tažnost slitiny [12, 17, 18].

**Očkování** je dalším typem metalurgické úpravy tekutého kovu. Očkováním se zvyšuje počet různorodých krystalizačních zárodků v tavenině. Účelem procesu je vnést do taveniny nukleační zárodky, které zjemní krystaly primární fáze. Do taveniny se přidává malé množství vhodně zvolené látky, která ovlivňuje proces krystalizace. Očkováním se zjemňuje struktura slitiny z hrubě zrnité na jemně zrnitou. Po přidání očkovadla do taveniny je nutná určitá doba, než se získá nejjemnější zrno. Tato doba se nazývá dobou kontaktu.

Touto metodou se zvláště ošetřují podeutektické a nadeutektické siluminy. V závislosti na chemickém složení siluminů může být očkovadlem např. titan, kombinace titanu a boru nebo fosfor. Očkováním se zvýší pevnost a tažnost taveniny, sníží se sklon slitiny ke vzniku trhlin. Odlitky mají menší pórovitost, větší těsnost a jsou lépe obrobitelné [12, 17, 18].

## 2.5 Vady odlitků

Vadou odlitků se rozumí každá odchylka tvaru, rozměrů, hmotnosti, vzhledu, struktury, celistvosti, chemického složení nebo vlastností od příslušných norem, standardů či sjednaných technických podmínek. Vady mohou být *zjevné* a *skryté*.

Zjevná vada odlitku je vada zjištělná při prohlídce neobrobeného odlitku prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly. Skrytá vada odlitku je vada zjištělná až po obrobení, nebo prorýsováním odlitku (zkoušky pomocí magnetických siločar), nebo laboratorními zkouškami.

Podle rozsahu a charakteru mohou být vady *přípustné*, *nepřípustné*, *opravitelné* nebo *neopravitelné*. Nepřípustnou vadou je odchylka od příslušných norem či sjednaných technických podmínek, kterou nelze odstranit opravou anebo jejíž oprava je podle příslušných norem či sjednaných technických podmínek nepřipustná. Přípustná vada je taková vada, kterou příslušné normy nebo technické podmínky připouštějí. Jde o vadu bez požadavku na její odstranění (pokud není zvláštními podmínkami výslovně zakázána). Opravitelnou vadu lze vhodným způsobem opravit. Musí se však jednat jen o takovou vadu

(odchylku od norem), která je normami, technickými podmínkami dovolena nebo není výslovně zakázána [19].

Na základě výše uvedené definice „vady“ vznikly předpisy, klasifikační systémy vad, ale i potřebné normy vad. Podle ČSN 42 1240 se třídí vady odlitků podle vnějších znaků do sedmi tříd. V rámci těchto tříd jsou pak vady tříděny do skupin a dále podle druhu vady – příčin jejich vzniku, do podskupin. Roztřídění vad odlitků podle skupin a druhů je uvedeno v tab. 4 [19].

**Tab. 4:** Roztřídění vad odlitků do skupin dle ČSN 42 1240 [19]

Číslo skupiny vad	Název skupiny vad	Číselné označení vady	Název druhu vady
<b>1</b>	Vady tvaru, rozměrů a váhy	11	Nezaběhnutí
		12	Přesazení
		13	Zatekliny
		14	Vyboulení
		15	Zborcení
		16	Mechanické poškození
		17	Nedodržení rozměrů
		18	Nedodržení váhy
<b>2</b>	Vady povrchu	21	Přípečeniny
		22	Zavaleniny
		23	Zálupy
		24	Nárosty, strupy
		25	Výronky
		26	Výpotky
		27	Okujení, opálení
		28	Omačkání, otlučení, pohmoždění
<b>3</b>	Přerušení souvislosti	31	Trhliny
		32	Praskliny
<b>4</b>	Dutiny	41	Bubliny
		42	Bodliny
		43	Staženiny
		44	Řediny
		45	Mikrostaženiny
		46	Mikrobubliny
<b>5</b>	Vměstky	51	Struskovitost
		52	Zadrogeniny
		53	Nekovové vměstky
		54	Broky
		55	Kovové vměstky

<b>6</b>	Vady struktury	61	Odmíšení
		62	Nevyhovující lom
		63	Zatvrdlina, zákalka
		64	Obrácená zákalka
		65	Nesprávná struktura
<b>7</b>	Vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti	71	Nesprávné chemické složení
		72	Nevyhovující mechanické vlastnosti
		73	Nevyhovující fyzikální vlastnosti

V rámci experimentální části mé práce byly ve spolupráci s firmou BENEŠ a LÁT a.s. zdokumentovány vybrané vady ze třídy 400 (Dutiny) u odlitků ze slitin hliníku vyrobených technologií nízkotlakého a gravitačního lití do kovových forem. Výběr vad z této třídy vyskytujících se u těchto odlitků je zpracován do tab. 5 [19].

**Tab. 5:** Přehled vybraných vad ze třídy 400 – dutiny [19]

Třída vad		Skupina vad		Druh vad	
Pořad. číslo	Název třídy vad	Pořad. číslo	Název skupiny vad	Pořad. číslo	Název vady
400	Dutiny	410	Bubliny	412	Bubliny způsobené vodíkem
				414	Zahlcený plyn
		430	Odvařeniny	431	Odvařeniny od formy, jader
				432	Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů
		440	Staženiny	441	Otevřené staženiny
				442	Vnitřní uzavřené staženiny
				443	Řediny
				444	Staženiny od jader nebo ostrých hran formy
				445	Povrchové propadliny

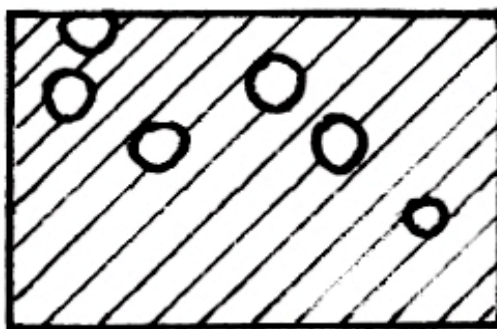
**Dutiny (třída vad 400)** - se podílejí na celkové zmetkovitosti slévárenských odlitků z jedné třetiny. Dle četnosti jejich výskytu jsou na 3. místě za vměstky a za vadami tvaru, rozměrů a hmotnosti. Odlitky s těmito vadami jsou většinou neopravitelné. Jsou způsobeny

objemovými změnami při tuhnutí kovu, přítomností vzduchu, přítomností plynů v kovech a ve formě [20].

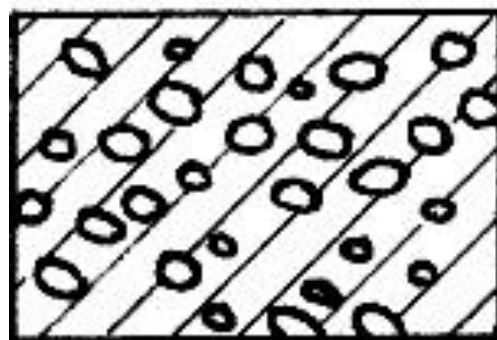
### 2.5.1 Vady 410 – Bubliny

Bublinami se rozumí dutiny v odlitku. Mohou být otevřené (povrchové) nebo jsou uzavřené ve stěně odlitku (vnitřní). Vyskytují se buď jako jednotlivé bubliny, viz obr. 4, nebo se vyskytují v rozsáhlých shlucích, viz obr. 5, anebo jsou rozloženy po celém povrchu odlitku, tj. síťové bubliny.

Bubliny uzavřené mají povrch čistý, hladký nebo oxidovaný. Otevřené bubliny jsou pokryty vrstvou oxidů, je to následkem styku slitiny s atmosférou během tuhnutí a chladnutí odlitku. Velikost a tvar bublin je rozmanitý, převládají bubliny kulového tvaru. Velikost může být od několika desetin milimetru až po desítky milimetrů [21].



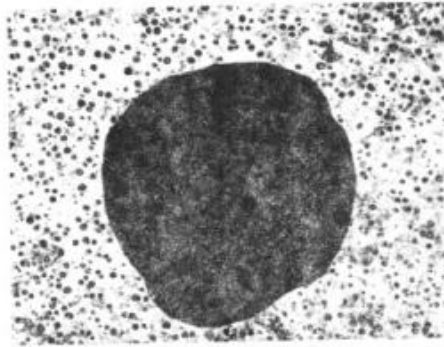
Obr. 4: Jednotlivé bubliny [21]



Obr. 5: Shluk bublin [21]

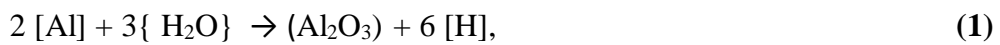
#### **Bubliny způsobené vodíkem – vada 412**

Vodíkové endogenní bubliny, viz obr. 6, vznikají při tuhnutí slitiny v odlitku následkem přesycení taveniny rozpuštěným vodíkem. Hlavním zdrojem vodíku je vlhkost v pecní atmosféře, ve vsázce, v solích, ve vyzdívkách, ve špatně vysušených kelímcích či v použitém vlhkém nářadí. Zdrojem vodíku může být i znečištěná nebo zamaštěná vsázka, popř. nevhodné mazadlo.



**Obr. 6:** Bublina způsobená plynem [20]

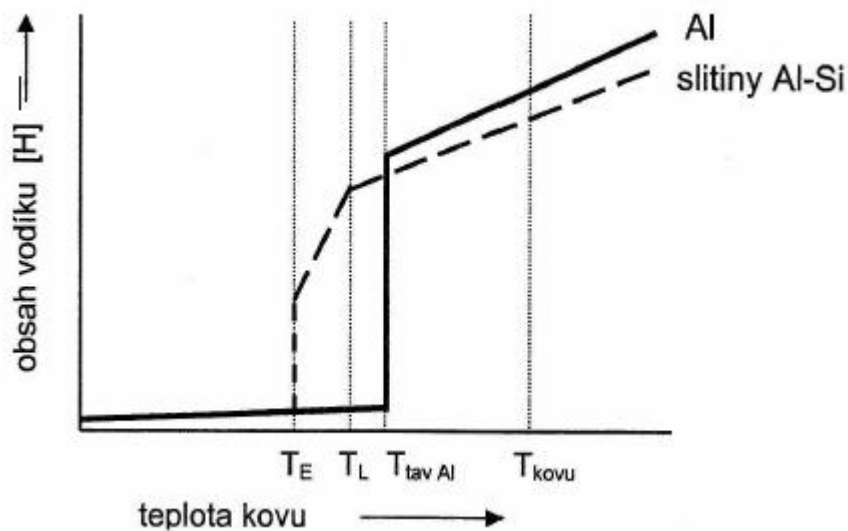
Vodní pára způsobuje vznik vodíkových bublin podle rovnice:



Vodík se uvolňuje i z hydroxidů, které se tvoří na zoxidovaném povrchu v podobě  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , ze kterých se uvolňuje dle rovnice:



Rozpustnost vodíku v tekutém hliníku proti hliníku v tuhém stavu je značná a výrazně roste s teplotou. Vliv teploty na rozpustnost vodíku v hliníku a ve slitinách Al-Si je znázorněn na obr. 7.



**Obr. 7:** Vliv teploty na rozpustnost vodíku v hliníku a ve slitinách Al-Si [4]

V roztaveném kovu může být přítomen vodík maximálně do obsahu, který odpovídá křivce jeho rozpustnosti.

Rozpustnost vodíku v tavenině je dána vztahem:

$$\log S = \frac{1}{2} \log p_{H_2} - A/T + B, \quad (3)$$

kde značí:  $S$  - rozpustnost vodíku v tavenině ( $\text{cm}^3/100 \text{ g}$ );

$p_{H_2}$  - parciální tlak vodíku v okolní atmosféře (kPa);

$T$  - teplotu kovu (K);

$A, B$  - konstanty pro daný kov.

Vodík se z taveniny v průběhu krystalizace vylučuje ve formě pórů a bublin, které značně snižují mechanické vlastnosti odlitků. Bubliny bývají pokryty vrstvou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Pro celkové množství vodíku rozpuštěného v tavenině platí Sievertsův zákon ve tvaru (4). Rozpustnost vodíku při daném tlaku závisí na parciálním tlaku vodíku v okolní atmosféře. Bubliny z plynů rozpuštěných v hliníku totiž vznikají, jestliže tlak rozpuštěných plynů převyší odpory působící proti nim. Vlivu tlaku na rozpustnost se využívá při odplynování.

$$S = k\sqrt{p_{H_2}} \quad (4)$$

kde značí:  $S$  - rozpustnost vodíku v tavenině ( $\text{cm}^3/100 \text{ g}$ );

$k$  - součinitel úměrnosti;

$p_{H_2}$  - parciální tlak vodíku v okolní atmosféře (kPa).

Slitiny hliníku bývají také znečištěny různými mechanickými částicemi – vměstky. Na vměstky se vážou hlinitanové komplexy obsahující vodík. Vytvářejí se tak podmínky pro vznik bublin na cizím zárodku. Podmínky pro vznik bubliny na cizím zárodku jsou určeny velikostí povrchového napětí mezi taveninou, cizí částicí (vměstkem) a plynem.

Vzniklé póry se nejčastěji vyskytují v místech, které jsou posledními místy odlitku, kde dochází k tuhnutí. Tvar a poloha pórů závisí na obsahu plynu a na rychlosti tuhnutí. Při pomalém tuhnutí vznikají velké bubliny, při rychlém tuhnutí vznikají mikrobubliny. Čím rychlejší je ochlazení, tím se vyloučí méně plynného vodíku, a tím je menší pórovitost.

Snížení obsahu  $\text{H}_2$  v tavenině před odléváním se provádí pomocí odplynění a rafinací, tak jak bylo popsáno v kapitole 2.4.2. Za odplyněné taveniny se považují taveniny s obsahem  $0,1 - 0,15 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g Al}$  [4, 22].

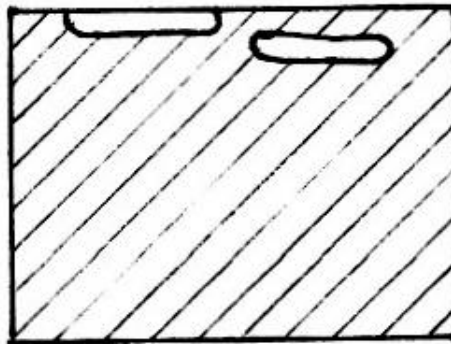
#### **Zahlcený plyn – vada 414**

U vad třídy 414 se jedná o exogenní bubliny, které vznikají při odlévání, jestliže tlak plynů v okolí odlitku převyší odpor, který mu klade tuhnoucí povrchová vrstva, a



plyny vniknou do odlitku. V praxi mohou nastat i případy, že při plnění dutiny formy taveninou nestačí všechn vzduch uniknout a zůstane zahlcený v tavenině, resp. po ztuhnutí taveniny v odlitku. Je-li rychlost plnění formy větší než rychlost plynů z ní odváděných, mohou zbylé plyny uvíznout ve špatně odvzdušněných místech formy, anebo se smísit se slitinou a vytvořit v odlitku exogenní dutinu typu „zahlcený plyn“, viz obr. 8.

Dutiny nejčastěji s hladkými zaoblenými stěnami ve tvaru zploštělých nebo protáhlých rozměrných bublin se převážně vyskytují na povrchu odlitků buď izolovaně, anebo ve shlucích. Můžou být otevřené, ale i uzavřené zalité pod tenkou vrstvou.



**Obr. 8:** Zahlcený plyn [21]

Vada bývá nejčastěji zaviněna špatným odvzdušněním formy nebo jádra, a to nesprávně provedeným a uspořádaným systémem výfuků (ke správné konstrukci lze využívat simulačních programů). Před postupující taveninou musí být z dutiny formy nejdříve vytlačen vzduch, aby nedošlo k jeho zahlcení do taveniny. Napomáhá tomu postupné, plynulé plnění dutiny formy taveninou, před kterou odchází vzduch až do míst, kde je možné provést účinné odvzdušnění.

K minimalizaci vad tohoto typu je třeba zajistit co nejlepší prodyšnost všech pórů formovacích směsí, popř. odvzdušňovacích kanálek kovových forem až ke vnějšímu povrchu forem. Také je třeba brát v úvahu plyny pronikající do dutiny formy, resp. do odlitku, z formovacího materiálu forem i jader (vzduch v pórech směsí, plyny vznikající ze všech spalitelných a vypařitelných látek, z pojiv atd.).

Vadu „zahlcený plyn“ lze zjistit vizuálně, popřípadě po obrobení tenkých povrchových vrstev. Mnohdy je i odstranitelná, pokud to dovoluji technické podmínky pro daný odlitek [20].

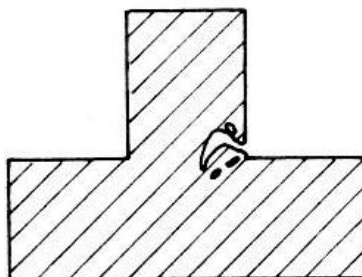
### **2.5.2 Vady 430 – Odvařeniny**

Příčinou této vady je přítomnost velkého množství plynů a par po nalití taveniny do dutiny formy.

### Odvařeniny od formy, jádra – vada 431

Po nalití taveniny do dutiny formy dochází k vývinu velkého množství plynů a par. Tlak těchto plynů působí na rozhraní odlitek – forma směrem do formy i do taveniny. V tomto okamžiku je pro směr toku plynů určujícím faktorem prodyšnost formy, odvzdušnění formy a jádra a proces krystalizace odlitku. V případě, že je prodyšnost formy, popř. odvzdušnění formy nedostatečné, narůstá parciální tlak plynů na rozhraní forma – kov, a tím vzrůstá i nebezpečí pronikání těchto plynů do krystalizujícího odlitku. Je-li tedy prodyšnost formy malá, popř. forma je nedostatečně odvzdušněná, plyny pronikají směrem do kovu a mají za následek vznik bublin nebo povrchových odvařenin, viz obr. 9.

Na vznik odvařenin má velký vliv i licí kůra odlitku, která se vytváří okamžitě po styku taveniny s licím formou. Licí kůra je neprodyšná a zabraňuje proniknutí plynů do taveniny. V časovém úseku, kdy dochází k opětovnému roztavení licí kůry, zejména v průtočných místech, která se více prohřívají, je potom k zamezení pronikání plynů do odlitku velmi důležitá prodyšnost formy, popř. odvzdušnění. Pokud je pevnost a tloušťka licí kůry malá, potom plyny licí kůru deformují a na povrchu odlitku se vyskytují povrchové odvařeniny tvaru malých důlků [20].



**Obr. 9:** Odvařenina od formy, jádra [20]

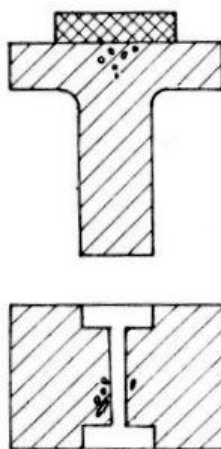
Odvařeniny od formy tvoří většinou otevřené, na povrchu odlitku hladké dutiny s často zoxidovaným povrchem. Vady se nejčastěji nacházejí v různých koutech odlitku, které jsou tvořeny vystupujícími hranami písku. Čím jsou výstupky hlubší, tím více roste nebezpečí vzniku vady. V těchto místech se slitina snadno prohřívá a krystalizace je zpomalena. Tato místa jsou méně upěchovaná s velkým objemovým vývinem plynu. Proto je třeba zajistit kvalitní zapěchování a případně nátěr formy žáruvzdorným materiálem.

Odvařenina od jádra má různý charakter a tvar. Důvodem jejího vzniku je proniknutí vznikajících plynů z jádrové směsi do taveniny v případech, kdy je znemožněn jejich odvod žádným, špatným či zalitým odvzdušněním jádra. Nedostatečná prodyšnost jádra, zlomení jádra a přerušování odvodu vznikajících plynů do okolí patří mezi nejčastější

příčiny odvařenin od jádra. Ovlivňujícími faktory je velikost a složitost jádra, druh formovacího materiálu, intenzita vývoje plynů. Odvařeniny od jádra mohou být různého rozsahu, od téměř nepozorovatelných až k úplnému vyvaření formy. Při silném odvaření od jádra může docházet až k vyhazování taveniny z formy [20].

### **Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů – vada 432**

Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů vytvářejí povrchové nebo uzavřené dutiny, viz obr. 10. Jejich příčinami jsou nevhodná vnější a vnitřní kovová chladítka, podpěrky i jiné nevhodné zalévané předměty.



**Obr. 10:** Odvařenina od chladítek a zalévaných předmětů [20]

Povrchové odvařeniny od vnějších chladítek vytvářejí na povrchu odlitku hladké dolíčky. Ty však většinou nejsou na závadu, odstraňují se opracováním. Mohou však vzniknout hlubší dolíčky, pro jejichž opracování již nepostačuje přídavek slitiny. Ty zhoršují vzhled odlitku.

Odvařeniny tohoto typu vznikají obdobně jako odvařeniny od formy. Ztuhlá povrchová kůra odlitku vznikne okamžitě, když se tekutý kov dotkne vnějšího chladítka. V případě, že chladítko v okamžiku dotyku s kovem je znečištěno oxidy železa, mastnotou nebo je-li vlhké, vytvoří se v tuhnoucí tavenině velké množství plynů a par. Plyny přes prodyšnou formu neuniknou, jelikož chladítko je neprodyšné. Tlak plynů tak překoná pevnost již vytvořené licí kůry a vytvoří dutiny. Rozsah a množství dutin závisí na množství plynů.

Odvařeniny od vnitřních chladítek jsou častější a pro vlastní odlitek nebezpečnější. I zde je vada odlitku zapříčiněna znečištěnými, rezavými, mastnými a vlhkými chladítky. Ty způsobují, že v dutině formy při vlastním lití dochází k dalšímu vývinu plynů a par, které mohou kondenzovat na chladnějším chladítku. K chemické reakci, resp. k uvolnění

plynů, dojde v okamžiku, kdy se tekutý kov dotkne nečistoty. Tyto plyny zůstávají v materiálu a vytvářejí v blízkosti kovového chladítka bubliny.

Při identifikaci vady je důležité zjistit místa proniknutí plynů do odlitku. K omezení těchto vad napomáhá dokonalé skladování, sušení, odmašťování jak chladítek, tak i zalévaných předmětů [20].

### **2.5.3 Vada 440 – Staženiny**

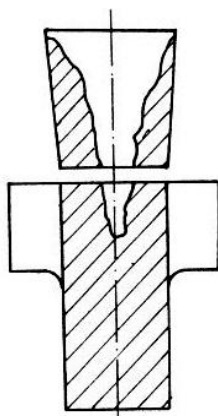
Při tuhnutí a chladnutí se mění objem i rozměry odlitku. Fyzikální jev, při kterém se zmenšuje jeho objem, zmenšují se celkové rozměry odlitku, vytvářejí se staženiny a dochází k vnitřnímu pnutí, nazýváme „smršťováním“. Při změnách objemu odlitku hovoříme o objemovém smršťování, ve slévárenství o stahování. Míra smrštění hliníkových slitin v tuhém stavu je obvykle v rozmezí 1,2–1,5 %.

Stahování vede k tvorbě soustředěných nebo rozptýlených staženin, ředin, propadlin (prohloubenin) s drsným nebo hrubě krystalickým povrchem. Tvorba těchto dutin závisí především na šířce intervalu tuhnutí slitiny a na rychlosti chladnutí. Vyšší rychlost chladnutí podporuje vznik soustředěných staženin, ale na druhou stranu omezuje vznik mikrostaženin. K jejich eliminaci pomáhá správné tzv. nálitkování odlitku. Intenzivní nálitkování vyžaduje velmi silně odplyněná tavenina, která má zvýšený sklon k tvorbě vnějších a vnitřních staženin [16, 22].

Silně odplyněná tavenina více stahuje a v některých případech je nutné taveninu tzv. řízeně naplynit. Firma BENEŠ a LÁT a.s. provádí toto naplynění pomocí tablet PROBAT – FLUSS BEGASER T 200. Snižují tak tvorbu staženin a zlepšují vnitřní kvalitu odlitku [2, 13].

### **Otevřené staženiny – vada 441**

Vnější otevřené (povrchové) staženiny s hrubě krystalickým zoxidovaným povrchem zasahují do určité hloubky v odlitku, viz obr. 11. Tyto vady se mohou nacházet pod nálitkem po jeho odstranění, kdy část staženiny ještě zasahuje i do odlitku, nebo v místě tepelného uzlu, který nebyl nálitkovan. Tento případ otevřené staženiny se však objevuje zřídka. Jelikož po naplnění formy dochází k okamžitému ztuhnutí povrchové vrstvy a staženina tak vzniká za podtlaku už jako uzavřená v tlustší stěně nebo uzlu.



**Obr. 11:** Otevřená staženina [20]

Příčinou staženiny je nedostatečné objemové doplnění taveniny v době tuhnutí. Vada je způsobena buď nenálitkováním tepelného uzlu či tlustší stěny odlitku, anebo nedostatečným objemem nálitku k objemu dosazovaného odlitku, nedolitím nálitku či opožděným dolitím. Velikost nálitků se stanovuje výpočtem. Správným stanovením velikosti nálitku se předchází k jeho poddimenzování, popř. předimenzování.

Na vznik může mít vliv i nedostatečný průřez nálitku k rozměru tepelného uzlu v odlitku, špatné umístění nálitku, nedostatečné tepelné ošetření (zasypání) hladiny kovu v nálitku i vysoká teplota taveniny, formy.

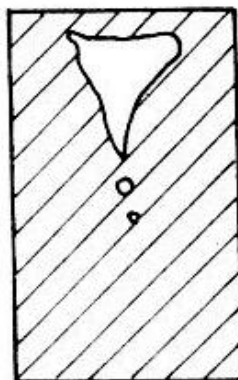
Otevřenou staženinu zjištěnou prohlídkou lze opravit zavařením [18, 20].

#### **Vnitřní uzavřené staženiny – vada 442**

Vnitřní uzavřené staženiny nepravidelného tvaru s vyloučenými dendrity rozdílných velikostí se mohou vyskytovat v místě tepelného uzlu - pod přemostěnou (ztuhlou) částí napájející stěny odlitku s přerušným dosazováním kovu do spodních částí odlitku, viz obr. 12. Nachází se vždy v horní poloze odlitku (stěny, uzlu). Mají nepravidelný tvar zapříčiněný rozdílnou intenzitou odvodu tepla od stěn a hran formy, od pravých jader a zaústěním vtokové soustavy atd. [20].

Za vnitřní staženiny lze považovat i řediny nacházející se pod hlavní soustředěnou staženinou v otevřeném nálitku, které zasahují až do odlitku. Tyto tzv. vnitřní staženiny – řediny – tuhnou totiž za podtlaku.

Největší výskyt těchto staženin je v místě zesílené tloušťky stěny, v zesílené přírubě či ve spoji stěn, tj. v místech tepelného centra odlitku, kde slitina tuhne později než v okolní oblasti. Jde o místa, která nejsou doplňována po celou dobu tuhnutí taveninou ani nejsou zajištěna zvýšeným odvodem tepla formou nebo vnitřními chladítky.



**Obr. 12:** Vnitřní uzavřená staženina [20]

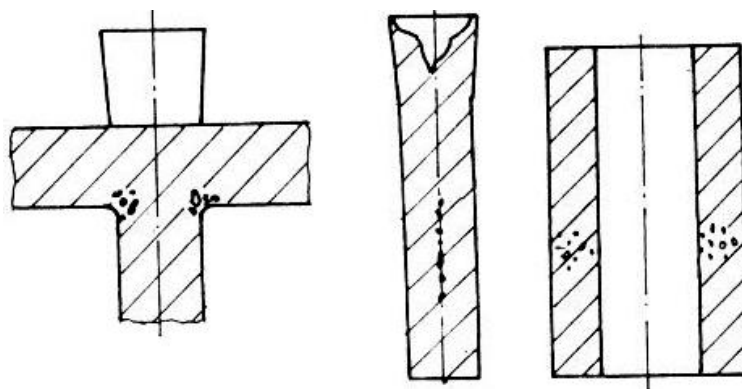
Nevhodná konstrukce odlitku může být hlavní příčinou vzniku vnitřních staženin. Za technologickou chybu se považuje nevhodná poloha odlitku ve formě, při níž je většina tepelných uzlů ve spodní části formy, nedostatečný objem a nevhodné umístění nálitků nad tepelnými uzly. Dále je to nevhodné umístění vtokové soustavy, nevyužití chladítek k odstranění odlehlého tepelného uzlu atd.

Vnitřní uzavřené staženiny je možné zjistit nedestruktivními zkouškami pomocí rentgenu, popř. ultrazvuku. Zcela průkazně lze vnitřní staženinu (místo, objem) určit rozřezáním odlitku. Této metody se využívá při rozběhu sériové výroby. Přibližně lze někdy tuto vadu určit podle propadliny na povrchu zesílené tloušťky stěny odlitku nebo nad tepelným uzlem.

Zjištěná vnitřní uzavřená staženina bez porušení odlitku se neopravuje. Je na zvážení odborníků, zda se jedná o vadu přípustnou či nepřípustnou. Objeví-li se vada při opracování odlitku, jedná se o opravitelnou vadu, ale nákladnou. Proveďte se zavaření dutiny, je-li normami a technickými podmínkami dovoleno [20, 22].

### **Řediny – vada 443**

Jedná se o místní nahromadění malých staženin projevujících se zřetelně jako řídká místa v průřezu odlitku. Řediny se vyskytují v tlustších stěnách, ve spojích, v tepelném centru odlitku (v uzlech, které nelze nálitkovat), v prostoru mezi příliš vzdálenými nálitky, pod soustředěnými staženinami v nálitku jako vedlejší staženiny. V konečné fázi tuhnutí tvoří místní shluky nebo řetězce po délce či výšce odlitku v jeho tepelné ose. V odlitku tuhoucím ve vodorovné poloze se nachází tepelná osa a tím pásmo ředin v průřezu odlitku výše než je osa geometrická, viz obr. 13.



**Obr. 13:** Ředina [20]

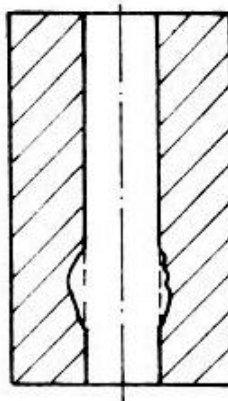
Příčinou vzniku ředin je tak jako v případě staženin objemové smrštění kovu při tuhnutí. Nepříznivě působí nedokonale řešená konstrukce odlitků či nezajištěné podmínky pro dokonale usměrněné tuhnutí. Ke vzniku vady postačí již mírně záporné rozložení teplot v průřezích, místní prohřátí formy, jádra či hrany formy. K dalším příčinám výskytu ředin patří nevhodné zaústění zářezu a rozdíl v tloušťce stěn ve směru k nálitku. Pro jejich minimalizaci je tedy zapotřebí dodržování technologických slévárenských zásad. K jejich vzniku přispívá i nevhodně zvolená slitina (nevhodné jsou podeutektické slitiny), nekvalitní tavenina s obsahem nekovových vměstků a s nadměrným obsahem plynů.

Odlitky s ředinami (řídkými místy ve stěně) se stávají porézními, a díky tomu jsou netěsné vůči kapalině, popř. plynu. Těsnost odlitků se zjišťuje tlakovou zkouškou.

Vada je zjistitelná po opracování odlitků, zvláště technologických přídavek (např. odřezáním nálitků, klínů pod nálitky, opracováním zesílených stěn pro dosazování taveniny do spodních částí odlitku atd.) či prozářením [20, 22].

#### **Staženiny od jader nebo ostrých hran formy – vada 444**

Vada 444, viz obr. 14, se vyskytuje v oblastech tepelných uzlů. Jde o dvě vady: o vnitřní uzavřené staženiny (vadu 442) a o řediny (vadu 443).



**Obr. 14:** Staženina od jádra nebo ostrých hran formy [20]

Jsou způsobeny smršťováním kovu při tuhnutí a vyvolány prohřátým centrálním jádrem nebo prohřátými ostrými hranami formy. Podmínky pro vznik staženiny od jádra nebo hrany formy jsou určeny vzájemnou výměnou tepla mezi oběma tělesy – mezi jádrem, popř. hranou formy a odlitkem.

Jádro nebo hrana formy se z důvodu silného tepelného toku z odlitku a z důvodu vlastní malé tepelné akumulární schopnosti za krátkou dobu prohřeje na vysokou teplotu, tím se naruší teplotní pole odlitku v daném místě, prodlouží se doba tuhnutí vůči ostatním částem odlitku a tepelná osa odlitku se posune blíže k jádru (k hraně formy). V posledním tuhoucím místě tak vznikne tepelný uzel se staženinou nebo ředinou (možná i kombinace obou vad). Možnost vzniku a velikost staženiny (řediny) závisí na velikosti zalitého jádra, na schopnosti jádra odvádět teplo a na stupni vlastního prohřátí.

Jádro s nižší hodnotou tepelné akumulace, jádro menších rozměrů, ostřejší hrany formy mají schopnost vytvářet rozsáhlejší vadu = staženinu (k zabránění vzniku staženiny se doporučuje do jádra umístit kovovou trubku s proudícím vzduchem). V odlitcích s větším jádrem, se zaoblenými hranami se vytvářejí vady = řediny. Dokonale vyřešená konstrukce odlitku je jednou z možností, jak předcházet této vadě.

Na vznik vady a její rozsah má vliv i hmotnost jádra a teplota odlévaného kovu. Odlitky s větším poměrem hmotnosti dané části odlitku k rozměru jádra (poměr modulů), odlitky s vyšší teplotou odlévaného kovu se s vadou potýkají častěji a ve větším rozsahu.

Vyústění této vady zpravidla bývá těsně u povrchu dutiny odlitku. U odlitku, kde dochází během tuhnutí vlivem odporu formy ke smršťovacímu napětí, může dojít v koutu odlitku (v místě staženiny) ke vzniku trhliny. V tomto místě je totiž nejslabší průřez stěny, nejvyšší teplota a tedy i nejnižší pevnost.

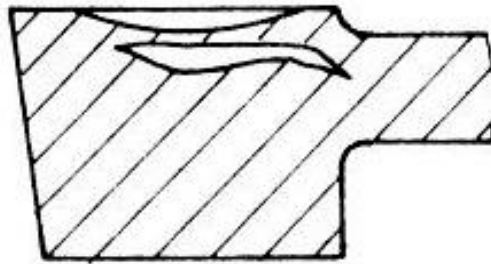
Staženina od formy nebo jádra je zjištěna již při samotné prohlídce odlitku, nebo se objeví po opracování předlitého otvoru, popř. pomocí rentgenu [20].

### **Povrchové propadliny – vada 445**

Propadlá místa, tzv. propadliny se vyskytují na povrchu odlitku, na horní ploše tepelně exponovaného místa, např. v tlusté nenálitkované části stěny nebo nad tepelným centrem uzlu několika stěn. Můžou se také vyskytovat na horní ploše otevřeného nálitku a na vrchlíku uzavřeného nálitku. Pod propadlinou bývá většinou menší či větší uzavřená staženina nebo se vyskytuje ředina, viz obr. 15.

Hloubku propadliny, existenci staženiny, řediny ovlivňuje výška (tloušťka) odlitku nebo jeho zesílené části.





**Obr. 15:** Povrchové propadliny [20]

Při lití v okamžiku naplnění dutiny formy taveninou dochází k přenosu tepla z odlitku do formy. Začíná proces tuhnutí, kdy se kolem celého povrchu odlitku vytvoří pevná vrstva kovu (licí kůra). Tepelný uzel tuhne delší dobu než ostatní části, a to je důvod pro vznik staženiny. Staženina se ještě dále zvětšuje, jelikož v době tuhnutí není napájeno toto místo taveninou. Hladina kovu v tvořící se staženině klesá a oddělí se od již ztuhlé horní vrstvy. Další její růst je přerušen. Podtlak ve staženině, který stahuje prohřátou povrchovou vrstvu dolů v době, kdy zvenčí na ztuhlou kůru působí atmosférický tlak, tak zapříčiní na vnější horní ploše odlitku vznik místní propadliny (prohlubeniny). Hloubka propadliny je závislá na velikosti staženiny a podtlaku v ní. Pod soustředěnou staženinou se někdy objevují i vedlejší malé staženiny – řediny [20].

Propadliny mohou vzniknout ojediněle i u nálitků. Je to známka toho, že náliček nefunguje správně, kov v něm tuhne za podtlaku. Příčinou vzniku propadliny je špatná tepelná izolace hladiny nálitku okamžitě po odlití. Hladina totiž ztuhla rychleji a uzavřela spojení nálitku s atmosférou.

Tato vada je zjiřitelná vizuální prohlídkou odlitku. Jedná-li se o povrchovou vadu, propadlina se zavařuje do roviny s povrchem odlitku. V případech, když se jedná o propadlinu s vnitřní staženinou, oprava této vady spočívá v otevření vnitřní staženiny (řediny), v jejím vyfrézování (vybroušení) a v následném zavaření [14, 20].

### 3 Experimentální část

Cílem experimentální části práce bylo zpracování katalogových listů vybraných vad odlitků třídy 400 – Dutiny. Tato část práce vznikla ve spolupráci s firmou BENEŠ a LÁT a.s.

Katalogové listy jsou zpracovány pro vady vyskytující se u odlitků ze slitin hliníku typu Al-Si vyrobených technologií nízkotlakého nebo gravitačního lití. Tavení slitiny bylo prováděno v tavících plynových pecích. Všechny odlitky byly odlévány do kovových forem.

Během výrobního procesu byl při kontrole u odlitků sledován výskyt vad třídy 400 – Dutiny. Byla provedena jejich důkladná analýza a na jejím základě byl pro každý druh vady sestaven katalogový list. Tyto listy obsahují základní popis vady, informace o příčinách jejího vzniku a o způsobu jejího zjišťování. Dále jsou v nich uvedeny možnosti opravy odlitků a opatření, která by měla napomoci vadám předcházet. Pro názornost jsou katalogové listy vad doplněny i fotodokumentací.

Přehled vypracovaných katalogových listů vad odlitků ze slitin hliníku vyrobených technologií gravitačního nebo nízkotlakého lití do kovové formy je uveden v tabulce 6.

**Tab. 6:** Přehled katalogových listů vad odlitků ze slitin hliníku

Katalogový list číslo	Pořad. číslo vady	Druh vady
1	412	Bubliny způsobené vodíkem
2	414	Zahlcený plyn - vzduch
3	431	Odvařeniny od formy, kovového jádra
4	431	Odvařeniny od formy, pískového jádra
5	432	Odvařeniny od zalévaných předmětů
6	441	Otevřené staženiny
7	442	Vnitřní uzavřené staženiny
8	443	Řediny
9	444	Staženiny od jader nebo ostrých hran formy
10	445	Povrchové propadliny

V následujících kapitolách je uveden podrobný popis jednotlivých typů vad a jejich analýza. Sestavené katalogové listy jsou uvedeny v příloze.

#### 3.1 Bubliny způsobené vodíkem – 412

V katalogovém listu 1 je popsána vada – bubliny způsobené vodíkem, která se vyskytla u odlitku s názvem „Hlava sondy“, viz obr. 16. Vsázkovým materiálem pro

výrobu odlitku „Hlava sondy“ byla slitina hliníku EN AC 43100 ve složení – čisté housky a vratného materiálu v poměru 60 : 40. Tento odlitek byl vyroben metodou gravitačního lití do kovové formy.

Vada byla viditelná, prostupovala na obrobenou plochu. Při analýze vady pomocí metalografického hodnocení byly zjištěny shluky hladkých bublin kulatého tvaru v celém objemu odlitku, viz obr. 17.

Jednalo se o endogenní bubliny způsobené přítomností vodíku v tavenině. Při tuhnutí taveniny totiž dochází k vylučování vodíkových bublin z důvodu překročení rozpustnosti vodíku ve slitině.



**Obr. 16:** Odlitek „Hlava sondy“



**Obr. 17:** Řez stěnou odlitku

Nejčastějšími příčinami zvýšeného obsahu vodíku v tavenině je vlhká nebo studená vsázka, vlhké metalurgické prostředky, nářadí, kelímky, vyzdívky, vlhké prostředí, nedostatečně odplyněná tavenina atd. Na vznik bublin nepříznivě působí i znečištění taveniny vměstky, které slouží jako zárodky pro vznik vodíkových bublin, a také vysoká lící teplota (přehřátá tavenina).

Zda se jedná o vadu přípustnou či nepřípustnou (vyřazení odlitků), je dáno technickou specifikací. Pokud to technická specifikace dovoluje, může být tato vada odstraněna impregnací odlitků.

V tomto případě byla vada vyhodnocena jako nepřípustná a odlitky s těmito vadami musely být vyřazeny.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

- používat čistý, suchý a předehřátý vsázkový materiál,
- používat suché metalurgické prostředky, kelímky, vyzdívky, suché nářadí atd.,
- dodržovat optimální lící teplotu (760 až 770 °C),

- zaměřit se na rafinaci a odplynění (viz kap. 2.4.2) – snížení indexu hustoty DI. Účinek odplyňování poté prověřit metodou dvojího vážení, stanovit index hustoty DI, který vyjadřuje souhrnný vliv obsahu plynů a oxidických vměstků, tedy skutečný sklon slitiny ke tvorbě bublin.

### 3.2 Zahlcený plyn - (vzduch) – 414

Tato vada byla odhalena u odlitku ze slitiny EN AC 42100 „Těleso posilovače brzd u nákladních aut“, viz obr. 18, který je odléván technologií nízkotlakého lití. Pro tuto vadu byl sestaven katalogový list 2.

Vada zahlcený vzduch bývá nejčastěji zapříčiněna nevhodnou konstrukcí forem a jader, tj. nevhodnou konstrukcí vtokové soustavy, nevhodným systémem výfuků atd.

V tomto případě se jednalo o skrytou exogenní bublinu bochníkovitého tvaru s ostrými stěnami. Vada byla zjištěna během procesu odlévání pomocí RTG. Po obrobení odlitku byla provedena vizuální kontrola a makrovýbrus, viz obr. 19. Vadu tohoto typu lze také identifikovat ultrazvukem, nebo pomocí vážení.



**Obr. 18:** Odlitek „Těleso posilovače brzd u nákladních aut“



**Obr. 19:** Identifikace vady

Prvním předpokladem vzniku vady byla nevyhovující vtoková soustava. Simulace však dokázala, že konstrukce vtokové soustavy je v pořádku, viz kap. 2.5.1.

Jako příčina vzniku vady byla odhalena netěsná (prasklá) stoupačí trubice. Došlo ke stržení vzduchu vtokovou soustavou. Pro odstranění této vady byla vyměněna stoupačí trubice.

Možnou příčinou vzniku vady tohoto druhu bývá též nedostatečné nebo nefunkční odvzdušnění formy, popř. prasklé chlazení formy.

Tato vada byla vyhodnocena jako nepřijatelná, neopravitelná a odlitky s těmito vadami musely být vyřazeny.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

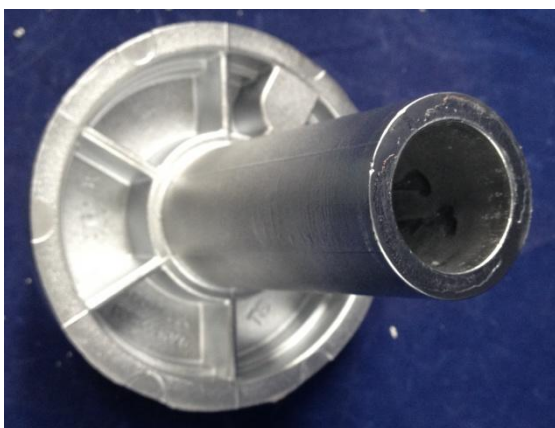
- preventivně vyměňovat stoupací trubici, tj. stanovit optimální interval výměny stoupací trubice,
- provádět vizuální kontrolu přítomnosti bubliny pod vtokem po odřezání vtokového kůlu,
- provádět kontrolu těsnosti chlazení formy,
- kontrolovat a čistit odzdušnění formy.
- upravit vtokovou soustavu (při návrhu využít simulaci).

### 3.3 Odvařeniny od formy, kovového jádra – 431

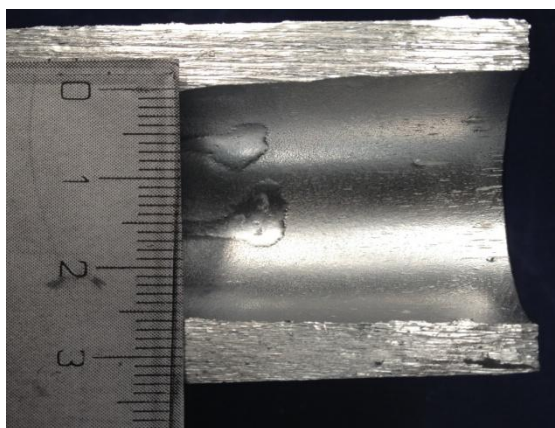
V katalogovém listu 3 je zdokumentována vada typu 431 – Odvařeniny od formy, kovového jádra. U odlitku „Píst posilovače spojky nákladního auta“ ze slitiny hliníku EN AC 42100 byla identifikována dutina na rozhraní odlitku a kovového jádra, viz obr. 20. Odlitek je vyráběn technologií nízkotlakého lití. Právě kovové jádro (jádro ze všech stran obklopené taveninou) bylo vyrobeno z nástrojové oceli třídy 19.

Odvařenina od kovového jádra vytvořila rozsáhlé povrchové, otevřené, hladké dvě dutiny o délce 2 cm. Dutiny vznikly nerovnoměrně ve vrchní stěně odlitku. Odvaření od jádra nebylo doprovázeno vyhazováním taveniny z formy.

Vada byla zjištěna při vizuální kontrole, viz obr. 21. Pro potvrzení typu vady a zjištění hloubky dutiny byla provedena RTG kontrola.



**Obr. 20:** Odlitek „Píst posilovače spojky nákladního auta“



**Obr. 21:** Identifikace vady

Odvařeniny od formy, kovového jádra lze identifikovat též ultrazvukem a na makrovýbrusu.

Příčinou vzniku takovéto vady mohou být plyny a páry vzniklé interakcí vlhkosti nebo nátěru s taveninou, příliš silná tloušťka vrstvy nástřiku, netěsnost vodního chlazení jádra nebo formy, popř. nedostatečné odvzdušnění.

U tohoto odlitku bylo příčinou vady nepostačující odvzdušnění jádra a tím nevyhovující odvod plynů směrem do vrchní části formy. Vznikající plyny a páry tedy nestačily uniknout a pronikly do kovu tuhajícího odlitku, viz kap. 2.5.2.

Tato vada byla vyhodnocena jako nepřijatelná, neopravitelná a odlitky s těmito vadami musely být vyřazeny. Obecně může být vadou přípustnou v případě, že v kritickém místě je dostatečný přídavek na obrábění.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

- Kontrola provozní teploty formy a jádra,
- Kontrola typu a tloušťky vrstvy postřiku,
- Kontrola těsnosti vodního chlazení jádra nebo formy.

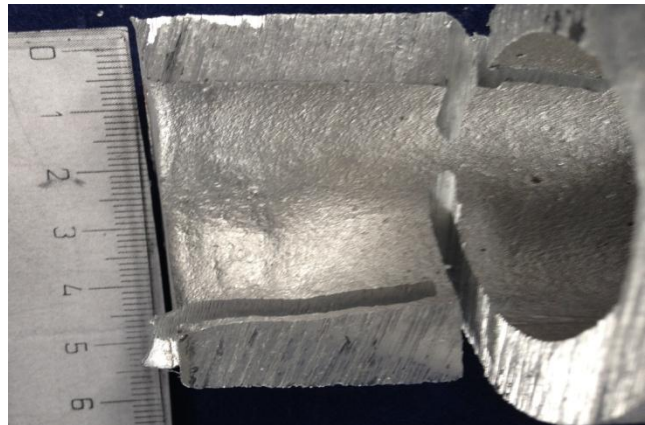
### 3.4 Odvařeniny od formy, pískového jádra – 431

U odlitku „Turbo dmychadlové skříně traktoru“ ze slitiny hliníku EN AC 45400, vyrobeného technologií nízkotlakého lití, viz obr. 22, byla detekována dutina na rozhraní jádra a formy. Pro tuto vadu byl zpracován katalogový list 4.

Odvařenina od formy a pískového jádra vytvořila nerovnoměrný povrch odlitku v místě, kde bylo pískové jádro. Vada se vyskytla v hrdle odlitku, viz obr. 23. Tato povrchová plochá dutina s hladkým povrchem široká přibližně 1,5 cm zjištěná vizuální kontrolou měla velkou členitost.



**Obr. 22:** Odlitek „Turbo dmychadlové skříně traktoru“



**Obr. 23:** Identifikace vady

Příčinou vzniku odvařeniny od jádra u analyzovaného odlitku byla nedostatečná prodyšnost pískového jádra. Vznikající plyny a páry nestačily uniknout do okolí a pronikly do krystalizujícího odlitku, viz kap. 2.5.2.

Mezi další nejčastější příčiny vzniku odvařeniny na rozhraní pískového jádra a odlitku patří: vysoká plynotvornost jádrové směsi, netěsnost vodního chlazení jádra nebo formy, vlhkost jádra nebo formy, natřené známky jádra, zalité známky jader kovem či zlomené jádro.

Tato vada byla vyhodnocena jako nepřijatelná a odlitky s těmito vadami musely být vyřazeny. Obecně může být vadou přípustnou v případě, že v kritickém místě je dostatečný přídavek na obrábění.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

- zajištění dostatečné prodyšnosti jádra,
- kontrola zda nejsou natřeny známky jader,
- kontrola těsnosti vodního chlazení jádra a formy,
- kontrola správného složení jádrové směsi (použití méně plynotvorných směsí),
- používání dostatečně vysušených jader nebo ohřev jádra či formy, vhodné skladování pískových jader,
- kontrola surového odlitku, zda nejsou zalité známky kovem či nedošlo ke zlomení jádra.

### **3.5 Odvařeniny od zalévaných předmětů – 432**

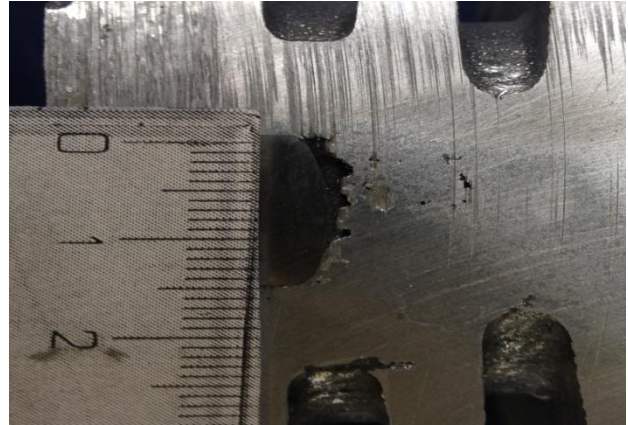
V katalogovém listu 5 je popsána odvařenina od zalévaných předmětů u odlitku „Hlava válce kompresoru“ ze slitiny hliníku EN AC 42100 odlévaného gravitačně do kovové formy. Dutiny odlitku lze specifikovat jako uzavřené, ale i povrchové, viz obr. 24.

Povrchové odvařeniny – dolíčky od zalévaného předmětu byly viditelné pouhým okem (tzn. vizuální kontrolou odlitku). Uzavřené dutiny byly zjištěné až RTG kontrolou. Při identifikaci vady je důležité zjištění místa proniknutí plynů do tuhajícího kovu.

Do odlitku byl zalit ocelový předmět, tzv. zálitek. Shluk dutin vznikl pod zalévaným předmětem v šířce 1,5 cm. Metalografický výbrus ukázal, že vada zasahuje do hloubky odlitku pod zalévaný předmět, viz obr. 25. Podle rozsahu vady je možné konstatovat, že v odlitku bylo velké množství plynu.



**Obr. 24:** Odlitek „Hlava válce kompresoru“



**Obr. 25:** Identifikace vady

Příčinou vzniku vady byl znečištěný či vlhký zálitek (nedostatečný předehřev). Na znečištěném nebo vlhkém zálitku vzniklo množství plynů a par, které neměly možnost přes zalévání předmět proniknout. Proto na rozhraní kov – zálitek vzrostl tlak plynů, který překonal pevnost vytvořené licí kůry. Plyn tedy vnikl do taveniny a vytvořil mnohé dutiny – odvařeniny, viz kap. 2.5.2.

V tomto případě byla tato vada vyhodnocena jako nepřijatelná a neopravitelná, což vedlo k vyřazení odlitků.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

- používat čisté a suché zalévané předměty,
- dodržovat dostatečnou teplotu zalévání předmětů. Teplota zálitků nesmí klesnout pod rosný bod, aby nedošlo ke kondenzaci vodní páry na předmětech, tento ocelový zálitek předehřát na teplotu 250 až 350 °C.

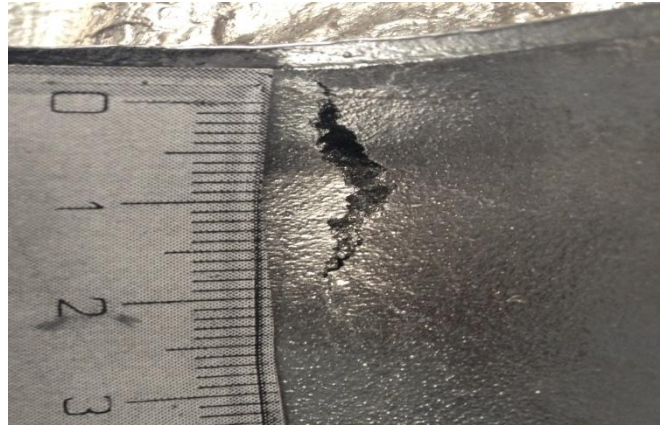
### **3.6 Otevřené staženiny – 441**

Vnější otevřená staženina se vyskytla u odlitku „Šasí k převodovce“ ze slitiny hliníku EN AC 42100, viz obr. 26, odlévaného metodou gravitačního lití a je zdokumentována v katalogovém listu 6. Jednalo se o zborcení tvaru odlitku. Šlo o dutinu v délce 2 cm s hrubě krystalickým povrchem. Otevřená staženina byla zjištěna při vizuální kontrole ve stěně odlitku, viz obr. 27. K zborcení došlo na samotné hraně odlitku, v místě kde byl odlitek zúžen. RTG kontrolou bylo potvrzeno, že staženina prostupuje do stěny odlitku.





**Obr. 26:** Odlitek „Šasí k převodovce“



**Obr. 27:** Identifikace vady

Nedostatečné objemové doplnění taveniny, nedolítí nálitku či opoždění dolítí v době tuhnutí slitiny bylo příčinou zborcení tvaru odlitku. Tavenina se při tuhnutí „stáhla“, zmenšila svůj objem. Do formy nebylo dolito dostatečné množství slitiny vzhledem k objemovému smršťování odlitku, viz kap. 2.5.3.

Otevřené staženiny vznikají i v případě, že je vysoká lící teplota materiálu, nebo že dochází k neusměrněnému tuhnutí odlitku.

Vnější otevřené staženiny se mnohdy opravují tzv. zavařením. V našem případě šlo však o nepřijatelnou - neopravitelnou vadu a odlitky s těmito vadami musely být vyřazeny.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

- přepočítat objemové plnění taveniny. Původně bylo počítáno s mírou smrštění hliníkové slitiny v rozmezí 1,2–1,5 %. Bylo zjištěno, že musí být doplněny 2–3 % objemu taveniny,
- kontrola včasnosti dolítí nálitků,
- kontrolovat správné nálitkování tepelných uzlů (velikost a umístění),
- zajistit usměrněné tuhnutí odlitku,
- snížit lící teplotu materiálu.

### **3.7 Vnitřní uzavřené staženiny – 442**

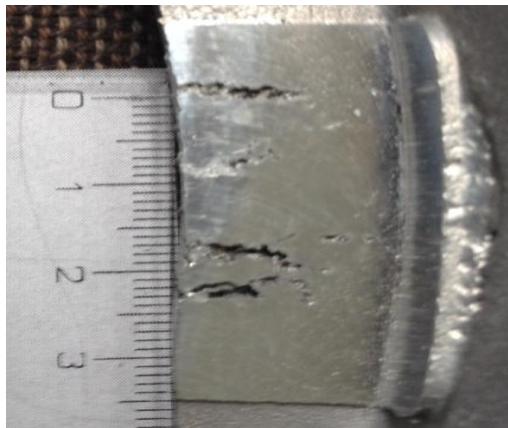
V katalogovém listu 7 je zdokumentována vnitřní uzavřená staženina vzniklá u nízkotlakého odlitku „Deska pohonu“ ze slitiny hliníku EN AC 42100, viz obr. 28. Vada byla popsána jako vnitřní dutina nepravidelného tvaru vzniklá objemovými změnami při tuhnutí odlitku.

Vnitřní uzavřené staženiny vznikly uvnitř odlitku v horní poloze zesílené stěny, v místě tepelného uzlu. Četné dutiny nepravidelného tvaru byly zjištěny RTG kontrolou a

následně potvrzeny vizuální kontrolou na obrobené ploše. Staženiny vznikly na okraji obruby odlitku v rozmezí 2,5 cm. Vnitřní uzavřené staženiny je možné identifikovat též ultrazvukem, na makrovýbrusu nebo pomocí tlakových zkoušek, viz obr. 29.



**Obr. 28:** Odlitek „Deska pohonu“



**Obr. 29:** Identifikace vady

Výskyt uzavřených staženin stejně tak jako otevřených staženin je důsledkem zmenšování objemu kovu při tuhnutí. Jejich tvorba bývá ovlivněna netechnologičností konstrukce odlitku vedoucí k neusměrněnému tuhnutí odlitku.

Neusměrněné tuhnutí odlitku, tj. rozdílná intenzita odvodu tepla od stěny a hrany formy, bylo příčinou vzniku vady i u tohoto odlitku. Slitina hliníku v inkriminovaném zesíleném místě ztuhla pomaleji než slitina v okolních oblastech. Kritické místo nebylo po celou dobu tuhnutí doplňováno taveninou, ani nebylo zajištěno zvýšeným odvodem tepla formou nebo chladítky, viz kap. 2.5.3.

Nevhodné nálitkování, chybné parametry dotlaku, vysoká lící teplota jsou další možné příčiny vzniku vnitřních uzavřených staženin.

Vada na odlitku „Deska pohonu“ byla vadou nepřijatelnou a neopravitelnou, odlitky s těmito vadami musely být vyřazeny.

Vnitřní uzavřené staženiny mohou být i opravitelné. Staženiny se nejprve vyfrézují, vybrousí až do konce staženiny a poté zavaří.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

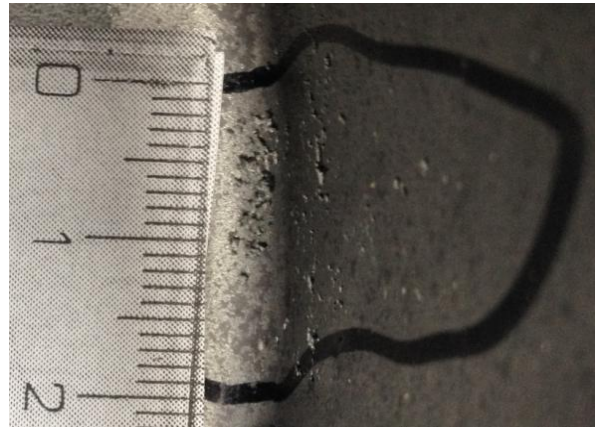
- přehodnocení technologičnosti konstrukce odlitku,
- kontrola a optimalizace parametrů lití (dotlak),
- přehodnocení umístění vtokové soustavy (simulace),
- přehodnocení velikosti nálitku,
- snížení lící teploty materiálu.

### 3.8 Řediny – 443

V katalogovém listu 8 je zpracována příbuzná vada uzavřených staženin a mikrostaženin tzv. ředina, která se vyskytla u nízkotlakého odlitku „Odpadní jímka brzd k vlakům“ litého ze slitiny hliníku EN AC 43100, viz obr. 30.



**Obr. 30:** Odlitek „Odpadní jímka brzd k vlakům“



**Obr. 31:** Identifikace vady

Jednalo se o 2 cm velký místní shluk drobných dutin nepravidelného tvaru. Shluk ředin způsobený objemovými změnami při tuhnutí odlitku se vytvořil v tlustší stěně odlitku, ve spoji. Vada byla identifikována již při vizuální kontrole. Řediny vytvořily řídká místa ve stěně odlitku, z nichž vycházely tenké kapiláry až k povrchu, viz obr. 31. Stěna odlitku se stala porézní. Ultrazvuk, makrovýbrus, kapilární zkouška po obrobení ani tlaková zkouška zde nebyla provedena. Přítomnost řediny by se u tlakové zkoušky projevila poklesem tlaku média. U odlitku byl proveden rentgen.

Možnými příčinami vzniku je neusměrněné tuhnutí odlitku při objemovém smrštění taveniny (řediny vznikají již při mírném záporném rozložení teplot), nedostatečné dosazování tekutého kovu z nálitku, nevhodná konstrukce odlitku, nevhodná (vysoká) teplota lití, vyšší obsah vměstků v tavenině nebo nedostatečné metalurgické ošetření taveniny.

Příčinou vzniku dutin u jímky brzd nebylo nedostatečné metalurgické ošetření taveniny. Slitina hliníku byla metalurgicky upravena očkováním. Očkovadlem byla předslitina AlTiBr5. Další použitou metalurgickou operací byla modifikace. Modifikačním činidlem byl AlSr10, viz kap. 2.4.3.

Proto u odlitku bylo sledováno, zda řediny nevznikly z důvodu vyššího obsahu vměstků. Kontrola obsahu vměstků laboratorními metodami z důvodu časové náročnosti

nebyla použita. Postačila technologická metoda – vizuální kontrola po opracování brusným kotoučem.

Kontrola potvrdila přítomnost vměstků. Bylo doporučeno slitinu hliníku vyčistit rafinací a odplyněním pomocí dusíku.

Zda se jedná o vadu přípustnou či nepřípustnou (vyřazení odlitků) je dáno technickou specifikací. Pokud to technická specifikace dovoluje, může být tato vada odstraněna impregnační odlitků.

Tato vada byla vyhodnocena jako nepřípustná a odlitky s těmito vadami musely být vyřazeny.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

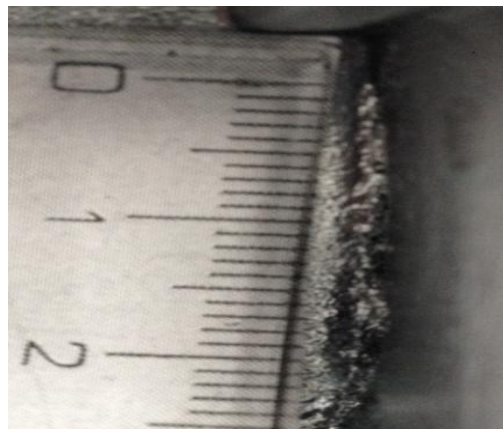
- přehodnocení technologičnosti konstrukce odlitku,
- úprava teploty lití – snížení lící teploty materiálu,
- metalurgické ošetření taveniny - rafinace, odplynění, popř. řízené naplynění, očkování.
- změna parametrů ohřevu a chlazení formy,
- vhodná volba velikosti a polohy nálitku.

### 3.9 Staženiny od jader nebo ostrých hran formy – 444

V katalogovém listu 9 je zdokumentována staženina od ostré hrany formy, která se vyskytla u nízkotlakého odlitku „Rám držáku TV antény“ ze slitiny hliníku EN AC 42100, viz obr. 32. Šlo o vnitřní uzavřenou staženinu způsobenou smršťováním kovu při tuhnutí odlitku, která vyústila až těsně k povrchu dutiny odlitku, viz obr. 33. Staženina v délce 2,7 cm a v maximální výšce 0,5 cm byla zjištěna vizuální kontrolou.



**Obr. 32:** Odlitek „Rám držáku TV antény“



**Obr. 33:** Identifikace vady

Místo vzniku vady typu 444 bývá v oblasti tepelného uzlu, kde dochází k přehřátí centrálního jádra nebo části formy, anebo kde je ostrá hrana jádra či formy. V těchto místech jsou špatné podmínky pro vzájemnou výměnu tepla mezi odlitkem a formou, popř. jádrem a dochází k lokálnímu přehřátí formy, popř. jádra.

Vada u odlitku „Rám držáku TV antény“ byla způsobena ostrou hranou formy, viz obr. 31. Hrana formy se přehřála vlivem silného tepelného toku a vlastní malou tepelnou akumulační schopností. Narušilo se teplotní pole odlitku, prodloužila se doba tuhnutí v daném místě vůči ostatním částem odlitku, tepelná osa odlitku se posunula blíže k hraně formy. Jelikož hrana odlitku byla ostrá, vznikl tam tepelný uzel, ve kterém vznikla staženina. Její velikost byla ovlivněna malou schopností odvést teplo z formy. Za méně výrazných teplotních podmínek – při zaoblenějších hranách odlitku – by vznikly řediny. Pro další lití odlitku bylo doporučeno nahradit ostré hrany formy a jader slévárenskými rádiusy, viz kap. 2.5.3.

Dle technické specifikace se jednalo o vadu nepřipustnou, která vedla k vyřazení odlitků. Pokud to specifikace dovoluje (opravitelná vada), lze vadu zavařit, popř. zatmelit.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

- dodržení vhodné technologičnosti konstrukce odlitku (již při návrhu),
- nahradit ostré hrany formy a jader slévárenskými rádiusy,
- využití lokálního chlazení jádra či části formy (voda, vzduch, chladítka).

### **3.10 Povrchové propadliny – 445**

Povrchová propadlina v blízkosti tepelného uzlu způsobená objemovými změnami při tuhnutí odlitku byla zdokumentována v katalogovém listu 10. Byla zjištěná vizuální kontrolou u nízkotlakého odlitku „Držák zvedacího zařízení na nemocniční lůžka“ ze slitiny hliníku EN AC 43100, viz obr. 34. Místní propadlina na horní ploše nad masivní částí odlitku, v lokálně zesíleném místě, tedy nad tepelným uzlem, které nebylo nálitkováno ani chlazeno, byla 1,5 cm dlouhá, viz obr. 35. Pod místní propadlinou byla uzavřená staženina.



**Obr. 34:** Odlitek „Držák zvedacího zařízení na nemocniční lůžka“



**Obr. 35:** Identifikace vady

Častým důvodem vzniku propadlin je nevhodná technologičnost konstrukce odlitku, neusměrněné tuhnutí odlitku a v některých případech příliš nízký index hustoty taveniny, viz kap. 2.5.3. Silnější stěna nebo tepelný uzel tuhne delší dobu než ostatní části odlitku. Vhodným umístěním chladítek, vhodným chlazením nebo dostatečným nálitkováním odlitku lze této vadě předejít, tj. je nutné dosáhnout usměrněného tuhnutí odlitku.

U tohoto odlitku byla zjištěna nevhodná technologičnost konstrukce, tj. nevhodná tloušťka stěny a také nevhodná konstrukce vtokové soustavy.

Povrchová propadlina u tohoto odlitku byla vadou nepřipustnou a neopravitelnou. V případě, že to zákazník dovolí, je možné povrchové propadliny opravit tmelením nebo zavařením.

Z důvodu předcházení této vadě byla navržena následující opatření:

- přehodnocení technologičnosti konstrukce odlitku (již při návrhu),
- dosažení usměrněného tuhnutí odlitku – vhodné zavtokování, dimenzování a umístění nálitků nebo použití lokálního chlazení,
- metalurgické ošetření taveniny - kontrola indexu hustoty taveniny DI, popř. řízené naplynění taveniny.

## 4 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce byl rozbor problematiky vzniku slévárenských vad typu dutiny v odlitcích ze slitin hliníku vyrobených technologií nízkotlakého nebo gravitačního lití do kovové formy a návrh opatření, jak těmto vadám předcházet či je alespoň eliminovat. Dalším cílem bylo na základě získaných poznatků vypracování katalogových listů. Katalogové listy by měly sloužit při práci, jak odborníkům ve výrobě, při kontrole, tak i pracovníkům v oddělení prodeje či jako studijní materiál.

V teoretické části práce je zpracován stručný přehled chemických, fyzikálních a mechanických vlastností čistého hliníku. Podrobněji jsou popsány slitiny hliníku, které se z důvodu lepších mechanických a technologických vlastností používají ve slévárenství. Z možných metod výroby odlitků jsou zde s ohledem na cíle práce popsány metody gravitačního a nízkotlakého lití slitin hliníku do kovových forem. V samostatné kapitole je popsána metalurgie slitin hliníku. Hlavní pozornost je věnována vadám odlitků a zejména vadám odlitků třídy 400 – Dutiny.

Experimentální část práce byla provedena ve spolupráci s firmou BENEŠ a LÁT a.s. Ve výrobním procesu byl u odlitků sledován výskyt vad typu dutiny. Na základě identifikace vady, teoretických poznatků a na základě zkušeností pracovníků slévárny byly pro tyto vady vypracovány katalogové listy, které jsou přílohou bakalářské práce.

Vytvořené katalogové listy budou součástí katalogu vad, který firmy zabývající se výrobou odlitků ze slitin hliníku ve spolupráci s vysokými školami sestavují.

Závěrem si dovoluji použít citaci, se kterou se ztotožňuji: *„Chtějí-li se jednotlivé slévárny uplatnit na trhu a trvale dosáhnout vysoké jakosti tou nejehospodárnější cestou, musí systematicky a permanentně sbírat, zpracovávat a analyzovat všechny důležité údaje z výroby, trhu, technologie a závěry těchto analýz v nejkratší době uplatňovat v řízení a politice jakosti podniku.“* [23]

## Použitá literatura

1. ZÁDĚRA, Antonín, URBÁNEK, František. Slévárenská výroba v zahraničí. *Slévárenství*, 2016, roč. 64, č. 3-4, s. 128-129.
2. Společnost BENELŠ a LÁT a.s. *O nás* [online]. BENEŠ a LÁT, [cit. 20. října 2015]. Dostupné na <<http://www.odlitky.cz/lang-cz/zakladni-informace/About-us.html>>.
3. *Periodická tabulka – hliník* [online]. [cit. 20. října 2015]. Dostupné na <<http://www.prvky.com/13.html#vlastnosti>>.
4. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
5. *Hliník a jeho slitiny* [online]. [cit. 20. října 2015]. Dostupné na <<http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/04/321211-hlinik-jeho-slitiny.html>>.
6. VELIČKOVÁ, Eva. *Stroje a zařízení – nauka o materiálu* [online]. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství. [cit. 20. října 2015]. Dostupné na <<https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/NaukaMatSkripta.pdf>>.
7. *Hliník a slitiny* [online]. Plzeň: Oddělení povrchového inženýrství Fakulty strojní Západočeské univerzity. [cit. 20. října 2015]. Dostupné na <[http://www.ateam.zcu.cz/download/Slitiny09\\_10.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/Slitiny09_10.pdf)>.
8. Společnost Sapa Profily a.s. *Hliník a jeho vlastnosti* [online]. Sapa, [cit. 20. října 2015]. Dostupné na <<http://www.sapagroup.com/sk/sapa-profily-as/o-hliniku/vlastnosti-hlinika/>>.
9. *Strojírenské materiály* [online]. Plzeň: Oddělení povrchového inženýrství Fakulty strojní Západočeské univerzity. [cit. 11. listopadu 2015]. Dostupné na <[http://www.ateam.zcu.cz/download\\_sma.html](http://www.ateam.zcu.cz/download_sma.html)>.
10. RAGAN, Emil, a kol. *Liatie kovov pod tlakom*. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, 2007. 383 s. ISBN 978-80-8073-979-9.
11. KOUTNÝ, Jiří. *Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování*. [online] SVARWEB, 2006 [cit. 11. listopadu 2015]. Dostupné na <<http://www.svarbazar.cz/phprs/storage/hlinik.pdf>>.
12. MICHNA, Štefan, a kol. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4.
13. LUŇÁK, Milan. Progresivní přístupy k odlévání Al-Si slitin gravitační a nízkotlakou metodou. In *Sborník příspěvků 6. Holečkovy konference: Metalurgie a technologie*



*slitin neželezných kovů*. Brno: Česká slévárenská společnost – člen ČSVTS Praha, 2015. s. 93-99.


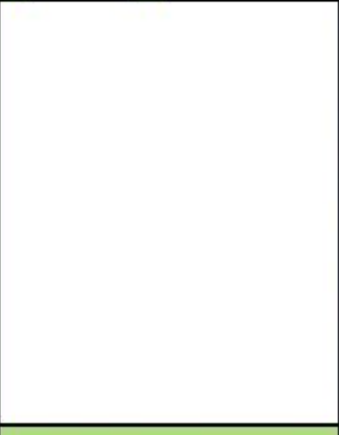


14. *Hliník a jeho slitiny*. [online]. Liberec: Katedra materiálu Fakulty strojní TU v Liberci [cit. 11. listopadu 2015]. Dostupné na [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/NOM2/NOM2.htm](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/NOM2.htm).
15. Společnost Silesia – Tech s.r.o. *Odlitky* [online]. Silesia – Tech s.r.o., [1. prosince 2015]. Dostupné na < <http://www.silesia-tech.cz/odlitky>>.
16. NOVÁ, Iva, NOVÁKOVÁ, Iva, BRADÁČ, Jiří. *Technologie I.: Slévání a svařování*. Liberec: Technická univerzita, 2006. 169 s. ISBN 80-7372-052-3.
17. KYSELKA, Štefan. *Vady odlitků: příčiny vzniku a doporučený postup k jejich odstranění*. Poříčany: BENEŠ a LÁT a.s., 2015. 55 s.
18. *Strojírenství – teorie* [online]. [cit. 1. prosince 2015]. Dostupné na [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_slevarenstvi/teorie.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_slevarenstvi/teorie.htm).
19. ČSN 42 1240. *Vady odlitku – Názvosloví a třídění vad*. Praha: Český normalizační institut, 1964.
20. ELBEL, Tomáš, a kol. *Vady odlitků ze slitin železa: klasifikace – příčiny – prevence*. Brno: MATECS, 1992. 339 s.
21. STRÁNSKÝ, Karel. *Bubliny a bodliny v odlitcích (621.746.7-11/-12)*. *Vady odlitků*, 1997/6, materiál firmy BENEŠ a LÁT a.s.
22. PTÁČEK, Luděk. *Vady odlitků ze slitin hliníku (669.715:621.746.7)*. *Vady odlitků*, 1998/9-10, materiál firmy BENEŠ a LÁT a.s.
23. ČECH, Jaroslav, FUSKOVÁ, Lidmila. *Statistické metody ve slévárenství – možnosti a úskalí (330.411:519.2)*. *Vady odlitků*, 2000/10, materiál firmy BENEŠ a LÁT a.s.

# **PŘÍLOHY**



## **Seznam příloh**

- A** Katalogový list 1: vada 412 – Bubliny způsobené vodíkem
- B** Katalogový list 2: vada 414 – Zahlcený plyn - vzduch
- C** Katalogový list 3: vada 431 – Odvařeniny od formy, kovového jádra
- D** Katalogový list 4: vada 431 – Odvařeniny od formy, pískového jádra
- E** Katalogový list 5: vada 432 – Odvařeniny od zalévaných předmětů
- F** Katalogový list 6: vada 441 – Otevřené staženiny
- G** Katalogový list 7: vada 442 – Vnitřní uzavřené staženiny
- H** Katalogový list 8: vada 443 – Řediny
- I** Katalogový list 9: vada 444 – Staženiny od jader nebo ostrých hran formy
- J** Katalogový list 10: vada 445 – Povrchové propadliny


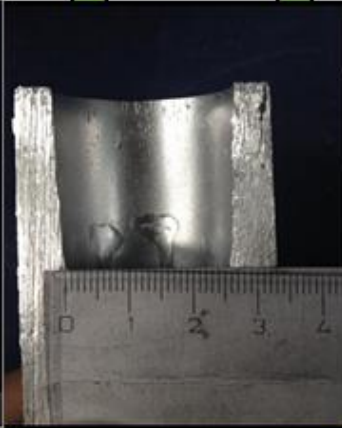
**Příloha A:** Katalogový list 1 – vada 412 – Bubliny způsobené vodíkem

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU							
TŘÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LÍTÍ S VÝSKYTEM VADY	PŘÍBUZNÉ VADY
400	Dutiny	410	Bubliny	412	Bubliny způsobené vodíkem	Gravitační lítí	Porezita
POPIS VADY ODLITKU		Kulaté dutiny ve stěně odlitku s hladkým povrchem.					
OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU							
A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		B) DETAIL VADY S MĚRITKEM		1. IDENTIFIKACE VADY			
				Vizuální kontrola dílu po obrobení, makrový brus, penetrační zkouška po obrobení.			
C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		2. NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY			
				1) Znečištěný, vlhký nebo studený (kondenzace na povrchu) vsázkový materiál. 2) Vlhké metalurgické prostředky, kelímky, nářadí, vyzdívky. 3) Nedostatečně odplyněná tavenina. 4) Přehřátá tavenina.			
3. NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ							
1) Čistý, suchý a předehřátý vsázkový materiál. 2) Suché metalurgické prostředky, kelímky, vyzdívky a nářadí. 3) Rafinace a odplynění - snižování indexu hustoty DI. 4) Dodržení optimální lící teploty.							
4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU							
1) Dle specifikace - přípustné. 2) Dle specifikace - nepřipustné - zmetkování odlitku. 3) Pokud je specifikací dovoleno - možnost impregnace.							
DALŠÍ INFO		Monitorování vlhkosti vzduchu ve slévárně.					
Poznámka		100% vizuální samokontrola.					

**Příloha B: Katalogový list 2 – vada 414 – Zahlčený vzduch**

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU							
TRÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY	PŘÍBUZNÉ VADY
400	Dutiny	410	Bublíny	414	Zahlčený vzduch	Nizkotlaké liti	Porezita
POPIS VADY ODLITKU						Uzavřené dutiny ve stěně odlitku s hladkým povrchem.	
OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU							
A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU				B) DETAIL VADY S MĚRITKEM		1. IDENTIFIKACE VADY RTG kontrola, ultrazvuk, vizuální kontrola dílu po odlití nebo obrábění, makrový brus.	
C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU				D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		2. NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY 1) Prasklá (netěsná) stoupací trubice. 2) Stržení vzduchu vtokovou soustavou. 3) Nedostatečné nebo nefunkční odvzdušnění formy. 4) Prasklé chlazení formy.	
3. NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ							
1) Preventivní výměna stoupací trubice - nutné stanovit optimální interval výměny.							
2) Úprava vtokové soustavy - při návrhu možnost využít simulaci.							
3) Kontrola a vycištění odvzdušnění formy.							
4) Kontrola těsnosti chlazení formy.							
4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU							
1) Nepřípustná vada - zmetkování odlitku.							
DALŠÍ INFO							
Poznámka						100% vizuální samokontrola.	


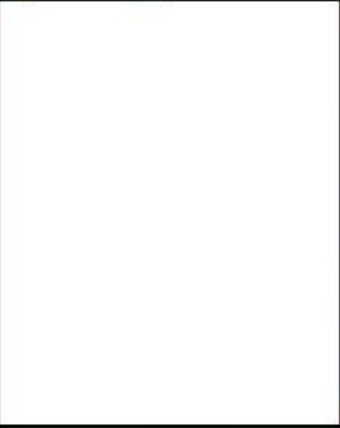


**Příloha C: Katalogový list 3 – vada 431 – Odvařeniny od formy, kovového jádra**

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU							
TRÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY	PŘÍBUZNÉ VADY
400	Dutiny	430	Odvařeniny	431	Odvařeniny od formy, jádra	Nizkotlaké lití	
POPIS VADY ODLITKU						Dutina s hladkým povrchem na rozhraní jádra nebo formy a odlitku.	
OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU							
A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		B) DETAIL VADY S MĚRITKEM				<b>1. IDENTIFIKAČNÍ VADY</b> Vizualní kontrola odlitku, RTG, ultrazvuk, makrový brus.	
C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU				<b>2. NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</b> 1) Vznik plynů a par interakcí vlhkosti nebo náteru s tekutým kovem. 2) Příliš silná tloušťka vrstvy postříku. 3) Netěsnost vodního chlazení jádra nebo formy.	
<b>3. NÁPRÁVNÁ OPATŘENÍ</b>						1) Kontrola teploty formy - provozní teplota. 2) Kontrola typu a tloušťky vrstvy postříku. 3) Kontrola těsnosti vodního chlazení jádra nebo formy.	
<b>4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU</b>						1) Nepřípustná vada - zmetkování odlitku. 2) V případě dostatečného přírůvku na obrábění je vadou přípustnou.	
DALŠÍ INFO							
Poznámka						100% vizuální samokontrola.	

**Příloha D: Katalogový list 4 – vada 431 – Odvařeniny od formy, jádra**


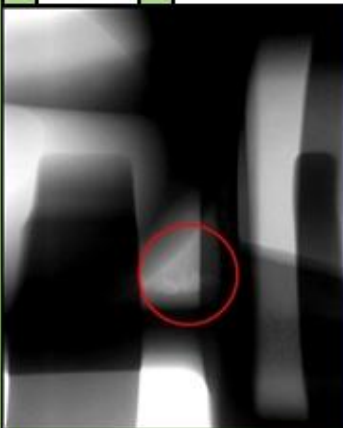

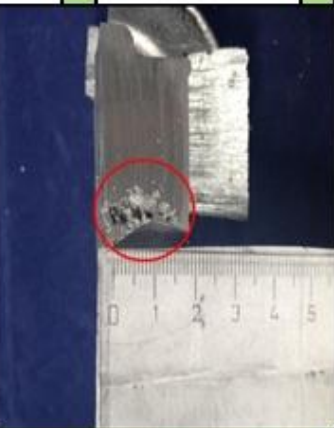

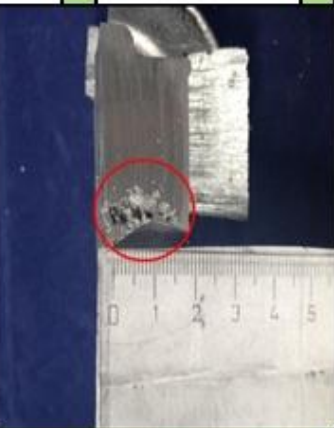
KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU							
TRÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY	PŘÍBUZNÉ VADY
400	Dutiny	430	Odvařeniny	431	Odvařeniny od formy, jádra	Nizkotlaké liti	
POPIS VADY ODLITKU						Dutina s hladkým povrchem na rozhraní pískového jádra a odlitku.	
OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU						1. IDENTIFIKAČNÍ VADY	
A) IDENTIFIKAČNÍ MÍSTO NA ODLITKU		B) IDENTIFIKAČNÍ MÍSTO NA ODLITKU		<p>Vizuální kontrola odlitku, RTG, ultrazvuk, makrový brus.</p>			
C) DETAIL VADY S MĚRITKEM		D) IDENTIFIKAČNÍ MÍSTO NA ODLITKU		<p>2. NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Netěsnost vodního chlazení jádra nebo formy.</li> <li>2) Vlhkost jádra nebo formy.</li> <li>3) Vysoká plynatvornost jádrové směsi.</li> <li>4) Špatná prodýšnost jádra nebo natřené známky jádra.</li> <li>5) Zalité známky jader kovem či zlomené jádro.</li> </ol>			
3. NÁPRÁVNÍ OPATŘENÍ							
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Kontrola těsnosti vodního chlazení jádra a formy</li> <li>2) Dostatečné vysušení nebo ohřev jádra či formy, vhodné skladování pískových jader.</li> <li>3) Použití méně plynatvorných jádrových směsí.</li> <li>4) Zajištění větší prodyšnosti jader. Kontrola, zda nejsou natřeny známky jader.</li> <li>5) Kontrola surového odlitku, zda nejsou zalité známky kovem či nedošlo ke zlomení jádra.</li> </ol>							
4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU							
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Nepřípustná vada - zmetkování odlitku.</li> <li>2) V případě dostatečného přídatku na obrábění je vadou přípustnou.</li> </ol>							
DALŠÍ INFO							
Poznámka						100% vizuální samokontrola.	

**Příloha E: Katalogový list 5 – vada 432 – Odvařeniny od zalévaných předmětů**




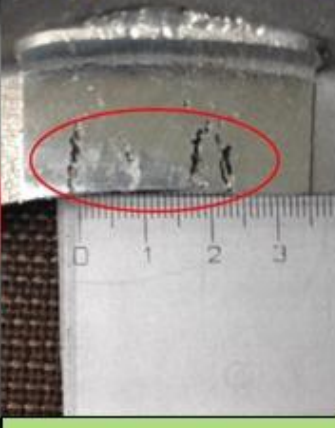
KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU						
TRÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY
400	Dutiny	430	Odvařeniny	432	Odvařeniny od zalévaných předmětů	Gravitační liti
<p><b>POPIS VADY ODLITKU</b></p> <p>Dutiny v okolí zalévaných předmětů.</p>						
<p><b>OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU</b></p>						
<p>A) IDENTIFIKACE MÍST NA ODLITKU</p> 		<p>B) SNÍMEK RTG</p> 		<p>1. IDENTIFIKACE VADY</p> <p>Vizuální kontrola odlitku, RTG kontrola, ultrazvuk, makrový brus.</p>		
<p>C) REZ ODLITKEM</p> 		<p>B) DETAIL VADY S MĚRITKEM</p> 		<p>2. NEJČA STEJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</p> <p>1) Znečištěné zalévané předměty. 2) Vlhkost zalévaných předmětů (nedostatečný předehřev).</p>		
<p>3. NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ</p> <p>1) Čistě a suché zalévané předměty. 2) Dostatečná teplota zalévaných předmětů.</p>						
<p>4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU</p> <p>1) Nepřípustná vada - zmetkování odlitku.</p>						
<p>DALEŠÍ INFO</p>						
<p>Poznámka 100% vizuální samokontrola.</p>						



**Příloha F:** Katalogový list 6 – vada 441 – Otevřené staženiny

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU							
TŘÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY	
400	Dutiny	440	Staženiny	441	Otevřené staženiny	Gravitační lití	
<p><b>POPIS VADY ODLITKU</b></p> <p>Dutiny nepravdělného tvaru s drsným nebo hrubě krystalickým povrchem vyúsťující na povrch</p> <p><b>OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU</b></p>							
A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU						<p><b>1. IDENTIFIKACE VADY</b></p> <p>Vizuální kontrola odlitku, RTG.</p>	
C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU						<p><b>2. NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</b></p> <p>1) Neusměrněné tuhnutí odlitku. 2) Nedostatečné dosazování tekutého kovu z náliťku. 3) Vysoká lící teplota.</p>	
D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU						<p><b>3. NÁPRÁVNÍ OPATŘENÍ</b></p> <p>1) Zajištění usměrněného tuhnutí odlitku. 2a) Správné objemové plnění formy - lití do úplného zaplnění náliťku. 2b) Kontrola včasnosti dolití náliťku. 2c) Správné náliťkování tepelných uzlů (velikost náliťku, umístění). 3) Snížení lící teploty materiálu.</p>	
DALŠÍ INFO						<p><b>4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU</b></p> <p>1) Nepřípustné - zmetkování odlitku.</p>	
<p>Poznámka 100% vizuální samokontrola.</p>							




**Příloha G: Katalogový list 7 – vada 442 – Vnitřní uzavřené staženiny**

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU							
TRÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LÍTÍ S VÝSKYTEM VADY	PŘÍBUZNÉ VADY
400	Dutiny	440	Staženiny	442	Vnitřní uzavřené staženiny	Nizkotlaké lití	Řediny a mikrořediny
POPIS VADY ODLITKU		Vnitřní dutina nepravdivého tvaru s drsným nebo hrubě krystalickým povrchem vzniklá objemovými změnami při tuhnutí odlitku.					
OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU							
A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU				B) RTG			
C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU				D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU			
DALŠÍ INFO		<p><b>1. IDENTIFIKACE VADY</b> Vizuální kontrola odlitku po obrobení, RTG, ultrazvuk, makrový brus.</p> <p><b>2. MEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Nevhodná konstrukce odlitku.</li> <li>2) Nevhodné zavtakování a nálitkování.</li> <li>3) Vysoká lící teplota.</li> <li>4) Chybné parametry dotlaku.</li> </ol> <p><b>3. NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Technologičnost konstrukce odlitku.</li> <li>2) Správné nálitkování tepelných uzlů (velikost nálitku, umístění).</li> <li>3) Snížení lící teploty materiálu.</li> <li>3) Optimalizace parametrů lití - dotlaku.</li> </ol> <p><b>4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Nepřípustné - zmetkování odlitku.</li> </ol>					
Poznámka		100% vizuální samokontrola.					


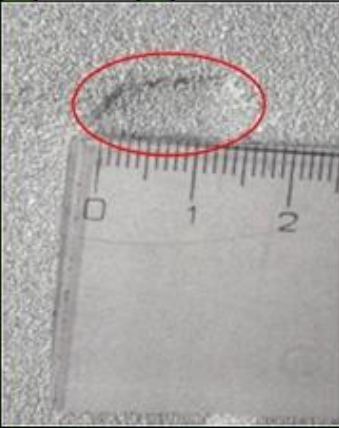


Příloha H: Katalogový list 8 – vada 443 – Řediny

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU							
TRÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY	PŘÍBUZNÉ VADY
400	Dutiny	440	Staženiny	443	Řediny	Nizkotlaké lití	Uzavřené staženiny a mikrostaženiny
POPIS VADY ODLITKU		Shluk drobných dutin nepravdělného tvaru způsobených objemovými změnami při tuhnutí odlitku.					
OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU							
A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		B) RTG		<p><b>1. IDENTIFIKACE VADY</b></p> <p>Vizuální kontrola odlitku po obrobení, RTG, ultrazvuk, kapiární zkouška po obrobení, tlaková zkouška, makrovýbrus.</p> <p><b>2. NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Vysoká lící teplota</li> <li>2) Neusměrněné tuhnutí odlitku.</li> <li>3) Nedostatečné dosazování tekutého kovu z nálitku.</li> <li>4) Nevhodná konstrukce odlitku.</li> <li>5) Nedostatečné metalurgické ošetření taveniny.</li> </ol>			
C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU		<p><b>3. NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Snížení lící teploty materiálu.</li> <li>2) Změna parametrů ohřevu a chlazení formy.</li> <li>3) Vhodná volba velikosti a polohy nálitku</li> <li>4) Úprava konstrukce odlitku.</li> <li>5) Metalurgické ošetření taveniny - řízené naplnění, očkování.</li> </ol> <p><b>4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Dle specifikace - přípustné.</li> <li>2) Dle specifikace - nepřípustné - zmetkování odlitku.</li> <li>3) Pokud je specifikací dovoleno - možnost impregnace.</li> </ol>			
DALŠÍ INFO							
Poznámka		100% vizuální samokontrola.					

**Příloha I: Katalogový list 9 – vada 444 – Staženiny od jader nebo ostrých hran formy**

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU						
TŘÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY	TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY
400	Dutiny	440	Staženiny	444	Staženiny od jader nebo ostrých hran formy	Nizkotlaké lití
<p><b>POPIS VADY ODLITKU</b></p> <p>Dutiny nepravidelného tvaru v oblasti jádra nebo ostrých hran formy.</p>						
<p><b>OBRAZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU</b></p>						
<p>A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p> 		<p>B) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p> 		<p>1. IDENTIFIKACE VADY</p> <p>Vizuální kontrola odlitku, RTG.</p>		
<p>C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p> 		<p>D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p>		<p>2. NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</p> <p>1) Ostré hrany jádra nebo formy. 2) Přehřáté jádro nebo část formy.</p>		
<p>3. NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ</p> <p>1a) Vhodná technologičnost konstrukce odlitku (již při návrhu). 1b) Ostré hrany formy a jader nahradit slévarenskými rádiusy. 2) Využití lokálního chlazení jádra či částí formy (chladička, voda, vzduch).</p>						
<p>4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU</p> <p>1) Dle specifikace - nepřipustné - zmetkování odlitku. 2) Pokud je specifikací dovoleno - zavaření, ztmelení.</p>						
<p>DA LŠÍ INFO</p> <p>Poznámka 100% vizuální samokontrola.</p>						

**Příloha J: Katalogový list 10 – vada 445 – Povrchové propadliny**

KATALOG VAD ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU					
TRÍDA	NÁZEV TŘÍDY	SKUPINA	NÁZEV SKUPINY	DRUH	NÁZEV DRUHU VADY
400	Dutiny	440	Staženiny	445	Povrchové propadliny
<p><b>TECHNOLOGIE LITÍ S VÝSKYTEM VADY</b></p> <p>Nizkotlaké liti</p> <p><b>PŘÍBUZNÉ VADY</b></p> <p>Vnitřní a vnější staženiny</p>					
<p><b>POPIS VADY ODLITKU</b></p> <p>Propadlina na povrchu odlitku v blízkosti tepelného uzlu způsobená objemovými změnami při tuhnutí odlitku.</p>					
<p><b>OBRÁZOVÁ A TEXTOVÁ DOKUMENTACE DRUHU VAD ODLITKU</b></p>					
<p>A) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p> 		<p>B) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p> 		<p>1. IDENTIFIKACE VADY</p> <p>Vizuální kontrola odlitku, makrový brus.</p>	
<p>C) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p> 		<p>D) IDENTIFIKACE MÍSTA NA ODLITKU</p> 		<p>2. MEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY VZNIKU VADY</p> <p>1) Nevhodná technologičnost konstrukce odlitku.                  2) Neusměrněné tuhnutí odlitku,                  3) Příliš nízký Dichte index taveniny.</p>	
<p>3. NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ</p> <p>1) Vhodná technologičnost konstrukce odlitku (již při návrhu).                  2) U směrně tuhnutí odlitku - vhodné zavtokování, dimenzování a umístění náliťků nebo použití lokálního chlazení).                  3) Metalurgické ošetření taveniny - kontrola Dichte indexu, popř. řízené naplynění taveniny.</p>					
<p>4. MOŽNOSTI OPRAVY ODLITKU</p> <p>1) Dle specifikace - nepřipustné - zmetkování odlitku.                  2) Pokud je specifikací dovoleno - zavaření, ztmelení.</p>					
<p><b>DALŠÍ INFO</b></p> <p>Poznámka 100% vizuální samokontrola.</p>					