

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem řízeného naplynění hliníkových slitin na strukturu a vlastnosti odlitků. Odlitky a zkoušky byly zhotoveny gravitačním litím do kovových forem. Cílem práce je srovnání vlastností odlitků bez použití a s použitím přípravku Probat-Fluss Mikro 100.

Klíčová slova

Slitiny hliníku, Tatur test, mechanické vlastnosti. Poróznost, Probat-Fluss Mikro 100

ABSTRACT

This thesis examines the influence of directed gassing of aluminium alloys on structure and properties of castings. Cast and tests were made of gravity castings in metal molds. The aim is to compare the properties of castings and without the use of Probat-Fluss Mikro 100.

Key words

Aluminium alloys, Tatur test, mechanical properties, porosity, Probat-Fluss Mikro 100.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOTAŘ, J. *Vliv řízeného naplynění hliníkových slitin na strukturu a vlastnosti odlitků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv řízeného naplynění hliníkových slitin na strukturu a vlastnosti odlitků vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 25. 5. 2012

.....
Jan Hotař

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jaromírovi Roučkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Speciální poděkování patří společnosti Aluminium Group, a.s., za poskytnuté strojního vybavení, bez kterého by tato práce nemohla vzniknout. Nemalé poděkování patří také panu ing. Pavlovi Hlaváčkovi.

OBSAH

Abstrakt	1
Prohlášení	2
Poděkování	3
Úvod	5
1 Plyny ve slitinách hliníku	6
1.1 Zdroje vodíku	6
1.2 Rozpustnost vodíku v hliníkových slitinách	7
1.3 Vznik plynových bublin v odlitcích	9
1.4 Vliv rychlost ochlazování na vznik bublin	11
1.5 Morfologie pórů	12
2 Slévárenské slitiny Hliníku	14
2.1 Charakteristika přísadových prvků a nečistot ve slitinách Al-Si	15
2.2 Sledované slitiny odlitku v této práci	18
2.2.1 Slitiny Al-Si-Mg	18
2.2.2 Slitiny Al-Si-Cu	18
3 Eliminace staženin	20
3.1 Problematika vzniku staženin	20
3.2 Eliminace staženin pomocí přípravku Probat Fluss Mikro 100	22
3.3 Způsob aplikace do kovu	23
4 Ověření účinku PROBAT-Fluss Mikro 100 V technické praxi	24
4.1 Představení slévárny	24
4.2 Ověření vlivu přípravku Mikro 100 na pórovitost, stahování a mechanické vlastnosti	25
4.1 Charakteristika slitin EN AC-ALSi10Mg a EN AC-ALSi8Cu3	26
4.2 Provedené měření	29
4.2.1 Určení chemického složení materiálu	29
4.2.2 Měření naplynění taveniny	30
4.2.3 Tatur test	35
4.2.4 Tahová zkouška	39
4.2.5 Předpokládané výsledky zkoušek	45
4.3 Vyhodnocení zkoušek	46
4.3.1 Měření naplynění	46
4.3.2 Tatur test - Zjištění hodnoty hustoty	47
4.3.3 Tatur test – zjištění objemu staženiny	48
4.3.4 Zjištění mechanických vlastností	49
5 Metalografické hodnocení struktry	52
5.1 Příprava vzorků	52
5.2 Metalografické výbrusy Tatur testu	55
5.3 Metalografické výbrusy odlitků 1-3	58
6 Použití Probat-fluss Mikro 100 na problematickém odlitku	61
6.1 Vyhodnocení DI a objemu staženiny	62
6.2 Vyhodnocení metalografické struktury ze vzorků použitých ke zjištění DI	63
6.3 Hodnocení makro a mikro struktury	65
6.3.1 Hodnocení makro struktury	66
6.3.2 Hodnocení mikro struktury	69
6.4 Vyhodnocení rentgenových snímků a struktur kontrolního odlitku 4.	72
7 Závěr	73
Seznam použitých zdrojů a literatury	74
Seznam použitých zkratk a symbolů	75

ÚVOD

Slévárenské slitiny hliníku jsou jedním ze základních materiálů používaných ve strojírenství, které se vyznačují dobrými mechanickými vlastnostmi. Dále se tyto materiály vyznačují dobrými technologickými vlastnostmi, jako jsou například: dobrá zabíhavost a nízká teplota tavení. Tyto slitiny vynikají dobrou korozí odolností, obrobitelností, svařitelností.

Během tuhnutí hliníkových slitin dochází nejen k metalurgickým pochodům, ale i k úbytku objemů kovu. Tento úbytek kovu během tuhnutí musí být dosazován z nálitku.

U komplikovaných odlitků, kde je nepříznivá tloušťka stěn nebo kde jsou velké teplotní uzly, které nelze nalitkovat, vznikají staženiny, které mají především vliv na pevnost a propustnost odlitku při působení tlaků. Kromě toho se staženiny většinou objeví na obrobené ploše. [1]

Cílem každé slévárny je tuto vadu co nejvíce eliminovat na co nejmenší množství a velikost. Jedním z účinných způsobů jak tuto vadu odstranit je taveninu řízeně naplynit. Poté se v odlitku staženina změní v porezitu. Toto napomáhá vyřešit přípravek Probat Fluss Mikro 100.

Cíl diplomové práce

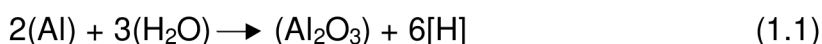
Cíle této diplomové práce je ověření účinku přípravku Probat-Fluss Mikro 100 na strukturní a mechanické vlastnosti. Experiment bude probíhat ve slévárně hliníkových odlitků Aluminium Group a.s. se sídlem ve Sloupě.

1 PLYNY VE SLITINÁCH HLINÍKU

Kapalné kovy vstřebávají za určitých podmínek značné množství plynu. Jediným plynem, jehož rozpustnost v tekutém hliníku je technicky významná, je vodík. [2]

1.1 Zdroje vodíku

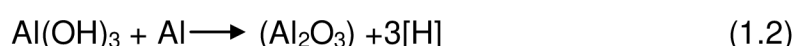
Během tavení je kov obklopený atmosférou s určitou vzdušnou vlhkostí. Hlavním zdrojem vodíku je tedy vlhkost v pecní atmosféře. Při styku vodní páry s tekutým kovem dochází k disociaci vody. A následně spolu začne reagovat kyslík a hliník za vzniku oxidu hlinitého (Al_2O_3), vodík se začne v kovu rozpouštět dle rovnice. [2]



Nositelem vlhkosti jsou také krycí a modifikační soli, proto je nutné tyto soli skladovat v suchém prostředí v uzavřených obalech. Ideální je tyto soli před použitím dobře vysušit při teplotách kolem 200°C . [2]

Nové tavicí kelímky a vyzdívky musí být před prvním použitím dokonale vysušeny a přehřátý do červeného žáru. Kovové nářadí používané zejména k manipulaci s tekutým kovem musí být opatřeno ochranným nátěrem a také vysušeno. [2]

Významným nositelem vlhkosti a zdrojem vodíku je vsázka. Hlavně ta, která se přidává již do roztaveného kovu. Proto je nutné tuto vsázku přehřívát, běžné sušení nestačí, protože je zapotřebí odstranit vodu, která je vázaná v pórech a na povrchu vsázkových surovin a v hydroxidech. Ty se tvoří na zoxidovaném povrchu v podobě $\text{Al}(\text{OH})_3$. Z nich se vodík uvolňuje podle níže uvedené rovnice. [2]



Před výrazným naplyněním chrání taveninu vrstva oxidu, plovoucích na hladině kovu, za předpokladu, že teplota nepřesáhne teplotu 900°C . Je-li ve

slitině obsaženo více jak 0.4 hmotnostního procenta hořčíku, zhoršuje se ochranoschopnost Al_2O_3 vrstvy na hladině taveniny. [2,3]

1.2 Rozpustnost vodíku v hliníkových slitinách

Rozpustnost vodíku v hliníkových slitinách je proměnná a závislá na teplotě slitiny, chemickém složení a parciálním tlaku vodíku v okolní atmosféře. Tato závislost může být vyjádřena Sievertsovým zákonem. [2]

$$s = K \times \sqrt{p_{\text{H}_2}} \quad (1.3)$$

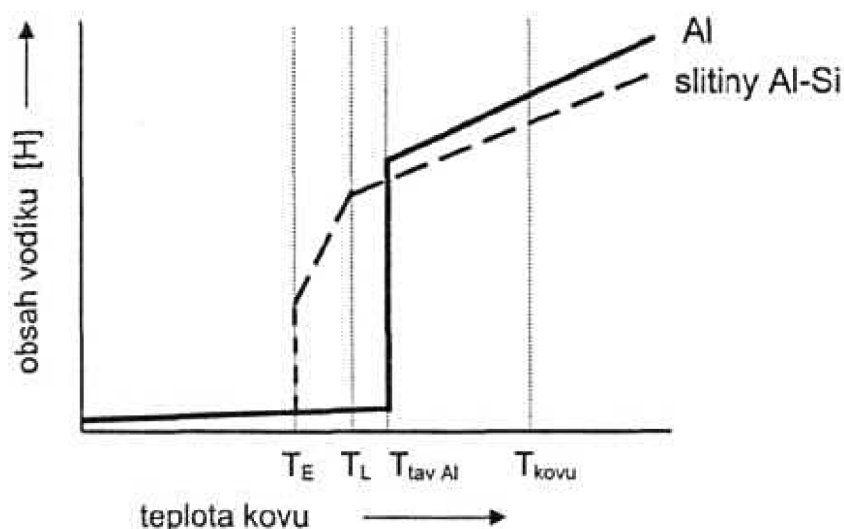
kde: s rozpustnost vodíku [$\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot (100 \text{ g Al})^{-1}$]

K konstanta pro daný kov [$\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot (100 \text{ g Al})^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1/2}$]

p_{H_2} parciální tlak plynu v okolní atmosféře [Pa]

Množství rozpuštěného vodíku se určuje v jednotkách cm^3 na 100g kovu. Tato hodnota 1cm^3 na 100g kovu odpovídá koncentraci 0.9 ppm.

Hliníkové slitiny vykazují značný rozdíl mezi rozpustnostmi vodíku v tuhém a v kapalném stavu. Jak je uvedeno v [2]. *V tuhém stavu při teplotě 660°C je rozpustnost vodíku v Al pouze $0,036 \text{ cm}^3/100\text{g}$. V roztaveném kovu při stejné teplotě je ale rozpustnost $0.77 \text{ cm}^3/100\text{g}$, to je asi 20 x vyšší.*



Obr.: 1.1 Změna rozpustnosti H v tavenině [2]

Množství rozpuštěného vodíku ve slitinách hliníku ovlivňují také přísadové prvky. Prvky zvyšující rozpustnost jsou Cr, Ti, Fe, Mg, Na, naopak prvky rozpustnost snižující jsou Si, Mn a Cu. [3]

Tab.: 1.1 Závislosti rozpustnosti vodíku na teplotě [3]

Teplota (°C)	Rozpustnost (cm ³ /100 g kovu)
0	1. 10 ⁻⁷
300	0,001
400	0,005
500	0,0125
600	0,026
660	0,036 - 0,69
700	0,92
800	1,67
) 850	2,15

Při zpracování tekutého kovu, hlavně při jeho odlévání, se musí zabránit zbytečnému přehřátí kovů. S rostoucí teplotou se rapidně zvětšuje rozpustnost vodíku v hliníkových slitinách, s každým přehřátím taveniny o 110 K se zvyšuje rozpustnost vodíku na dvojnásobek. Rozpustnost vodíku v hliníkových slitinách úzce souvisí se vznikem pórovitosti. Pokud obsah vodíku při rovnovážných podmínkách přesáhne hodnotu maximálního obsahu vodíku, vyloučí se přebytečný vodík ve formě bublin. [2]

1.3 Vznik plynových bublin v odlitcích

Termínem bubliny nebo póry se označují drobné dutiny, které se vyskytují v odlitcích. Bubliny a póry jsou příčinou slévárenské vady, která je označovaná jako porezita nebo bublinatost. Hlavní příčinou těchto vad je změna rozpustnosti vodíku v průběhu tuhnutí (vznikají tedy v průběhu tuhnutí).

Vznik bublin v odlitcích se může uskutečňovat dvěma mechanizmy:

Homogenní nukleace

Heterogenní nukleace

Důležitou podmínkou pro vznik bubliny podle homogenní nukleace v roztaveném kovu je stav, kdy tlak v bublině p_{H_2} je větší, než součet tlaků metalostatického p_{met} , atmosférického p_{atm} a tlaku, vyvolaného povrchovým napětím p_{σ} . Jak je uvedeno v rovnici 1.4. [2]

$$p_{H_2} > p_{atm} + p_{met} + p_{\sigma} \quad [Pa] \quad (1.4)$$

Z těchto členů je zvláště významný tlak vyvolaný povrchovým napětím p_{σ} – pro bublinu kulovitého tvaru platí vztah

$$p_{\sigma} = 2 \sigma / r \quad [Pa] \quad (1.5)$$

kde: σ – povrchové napětí na rozhraní tavenina a bublina [$N \cdot m^{-1}$]

r – poloměr bubliny [m]

Z výše uvedeného vztahu je patrné, že tlak při vzniku bubliny p_{σ} se blíží ∞ , jelikož $r \rightarrow 0$. Hodnota tlaku, nutného pro inicializaci bubliny podle homogenní nukleace, je řádově v jednotkách tisíc MPa (cca 3000 – 5000 MPa). Z tohoto důvodu je vznik bubliny mechanismem homogenní nukleace velice nepravděpodobný. V reálných případech tedy dochází k inicializaci bubliny výhradně mechanismem heterogenní nukleace. [2]

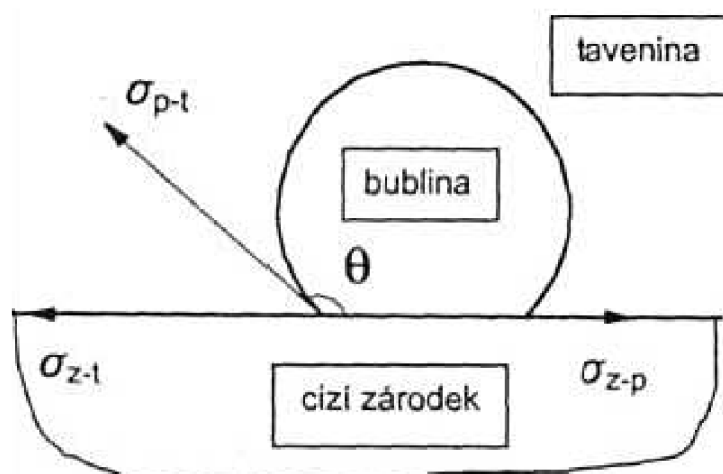
Pro inicializaci bubliny podle heterogenní nukleace slouží jako krystalizační zárodek cizí tuhá částice v tavenině. Tato tuhá částice může

být krystal tuhé fáze nebo také různý oxid. Energetická bilance pro tvorbu bubliny na cizím zárodku je určena velikostí povrchového napětí mezi taveninou, cizí částicí a plynem. O vhodných podmínkách pro vznik bubliny rozhoduje tzv. kontaktní úhel sočivosti, který je určen z poměru jednotlivých povrchových napětí. [2]

$$\cos \theta = (\sigma_{z-t} - \sigma_{z-p}) / \sigma_{p-t} \quad (1.6)$$

kde: σ_{z-t} - povrchové napětí mezi zárodkem a taveninou [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]
 σ_{z-p} - povrchové napětí mezi zárodkem a plynem [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]
 σ_{p-t} - povrchové napětí mezi plynem a taveninou [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]

Vhodné nukleační zárodky pro bubliny jsou takové, které nejsou taveninou smáčivé, tzn., že hodnota σ_{z-t} je malá a úhel $\theta > 90^\circ$ (Obr.). Typickými představiteli zárodků splňující tuto podmínku jsou oxidy, méně účinné jsou nitridy, boridy a karbidy, mezi nejméně účinné zárodky patří očkovací prostředky. Platí, že se zvyšujícím se počtem zárodků roste bublinatost. [2]



Obr.: 1.2 Vznik bubliny na cizím zárodku [2]

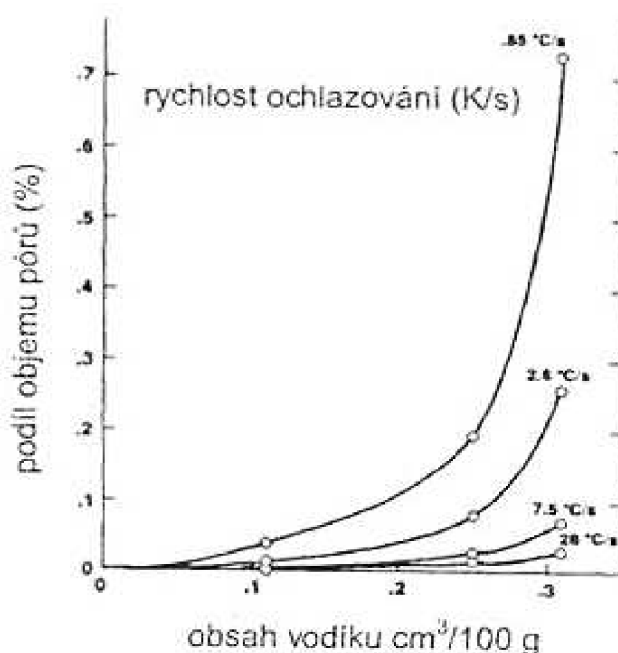
1.4 Vliv rychlost ochlazování na vznik bublin

Pomalé ochlazování

Dochází-li k pomalému ochlazování, difunduje vodík do bublin na poměrně dlouhé vzdálenosti a tím dochází k tvorbě velkých bublin (nemají žádnou vazbu na krystalickou vazbu kovu) a k jejich vyplouvání na povrch. Během tuhnutí se vytvoří na celém povrchu odlitku tzv. licí kůra a ta brání úniku vodíku a vlivem vyplouvání dojde k nahromadění velkých bublin pod povrchem odlitku. Tento jev je charakteristický pro silnostěnné odlitky lité do písku. [2]

Rychlé ochlazování

Rychlým ochlazováním se dosáhne vytvoření přesyceného tuhého roztoku a do taveniny se začne vylučovat menší množství vodíku z tuhé fáze. Vodík v tavenině proniká na mnohem menší vzdálenosti a dochází k tvorbě menších bublin. Pokud je bublina vodíku zcela obklopena pevnou fází, dojde ke vzniku mikrostaženiny (Obr.). Tento způsob ochlazování je typický pro lití tenkostěnných odlitků do kovových forem. Skutečnost vlivu rychlosti ochlazování na pórovitost je vidět v následujícím obrázku. [2]



Obr.: 1.3 Vliv obsahu vodíku a rychlosti ochlazování na objem pórů [2]

1.5 Morfologie pórů

Mechanické vlastnosti dané slitiny neovlivňuje jen počet a velikost pórů, ale i jejich tvar. Tvar póru lze popsat dvěma faktory, přičemž první je převrácenou hodnotou toho druhého. Hodnoty obou faktorů jsou zjišťovány z metalografických výbrusů. [5,6]

Faktor kulatosti

Velikost faktoru kulatosti s udává, jak je porezita tvarově rozmanitá. Pro ideálně kulovitý tvar póru, nabývá hodnoty 1. Každý jiný složitější pór má hodnotu vyšší jak 1. [5]



Obr.: 1.4 Orientační hodnoty faktoru kulatosti [5]

Vztah pro výpočet tvarového faktoru kulatosti

$$s = U^2 / 4\pi A_p \quad (1.7)$$

kde: U obvod plochy póru zjištěný na metalografickém výbrusu [m]

A_p obsah plochy póru [m²]

s faktor kulatosti [-]

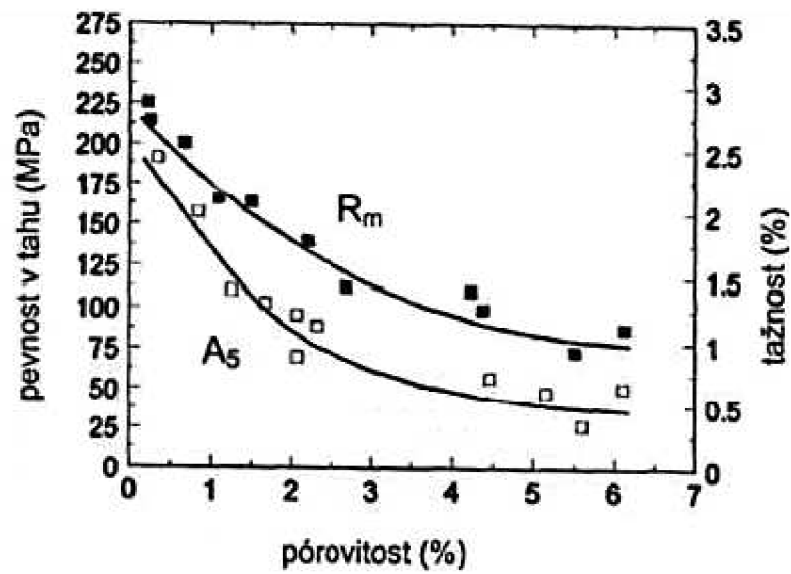
Tvarový faktor

Tento faktor se taktéž používá pro vyhodnocení pórů ve struktuře odlitku. Hodnotu tvarového faktoru „ f “ vypočteme dle vztahu: [5]

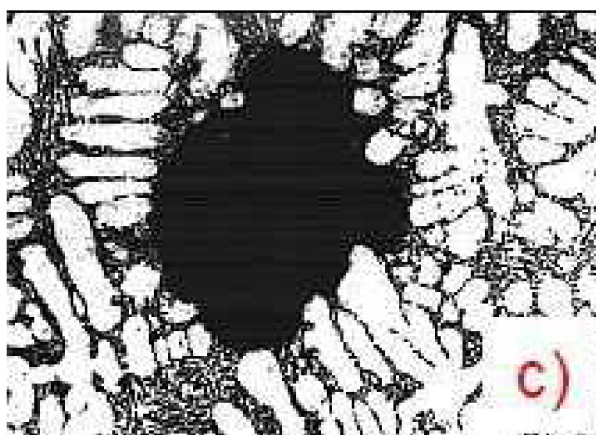
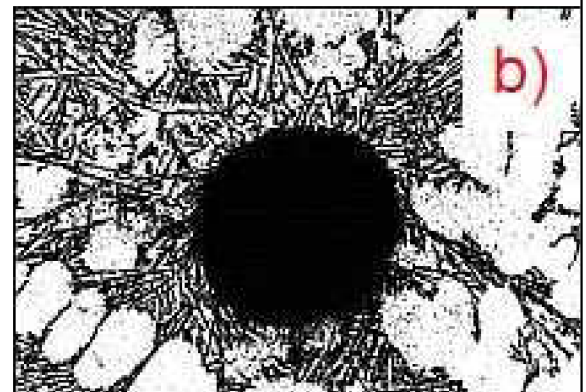
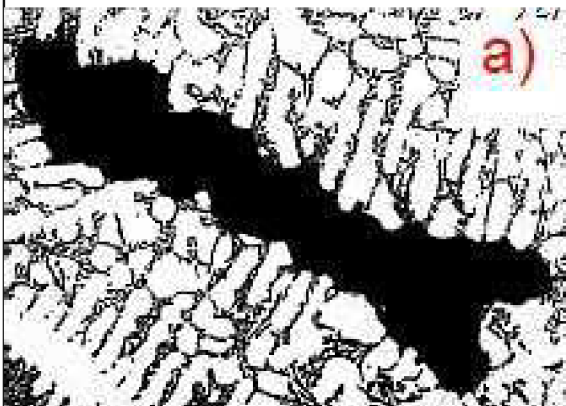
$$f = 1/s$$

kde: f tvarový faktor [-]

s faktor kulatosti [-]



Obr. 1.5 Závislost tažnosti a meze pevnosti na pórovitosti [2]



Obr.: 1.6 Tvar bublin ve slitinách Al [2]

a – mikrostaženina

b – plynová bublina

c – porózita (plyn a mikrostaženina)

2 SLÉVÁRENSKÉ SLITINY HLINÍKU

Vlastnosti čistého hliníku jsou pro konstrukční účely zcela nevyhovující, a proto se pro výrobu odlitků zásadně používají jen slitiny hliníku. Přísadové prvky zvyšují mechanické a zlepšují technologické vlastnosti. Výsledné vlastnosti slitin jsou dány množstvím a vzájemnou kombinací přísadových prvků. [2]

Slévárenské slitiny obsahují: [2]

- Základní prvek
- Hlavní legující prvek
- Vedlejší legující prvek
- Doprovodné prvky

Slitiny hliníku lze rozdělit do několika kategorií. Nejběžnější je dělení dle chemického složení. Druh slitiny vždy určuje základní prvek, který je v tomto případě vždy hliník. Důležitou skupinou prvků jsou hlavní přísadové prvky, podle nichž je možné dále tyto slitiny dělit na: [2]

- Siluminy - Slitiny Al - Si
- Hydronálieum - Slitiny Al - Mg
- Duralaluminium - Slitiny Al – Mg

Další důležitou skupinou jsou vedlejší legující prvky. Tyto prvky příznivě ovlivňují některé vlastnosti daného typu slitiny nebo mohou eliminovat nepříznivé vlastnosti některých doprovodných prvků. Obsahy vedlejších prvků bývají nižší než koncentrace hlavních legujících prvků a ve slitině jich může být i více. Jako doprovodné prvky jsou označovány takové, které nebyly na slitiny přidány záměrně. Tyto prvky přesáhnou-li určitou koncentraci, obvykle zhoršují technologické i mechanické vlastnosti slitiny. Zdrojem těchto nečistot nejčastěji bývají vsázkové suroviny, nebo se do taveniny dostávají ze žáruvzdorných materiálů a z používaného nářadí. Některé z těchto nečistot lze z taveniny odstranit, ale některé jsou v běžných podmínkách sléváren neodstranitelné. [2]

2.1 Charakteristika přísadových prvků a nečistot ve slitinách Al-Si

Křemík

Ve slitinách Al-Si je křemík základní přísadový prvek. Se zvyšujícím obsahem Si se zužuje interval tuhnutí a zlepšují se všechny slévárenské vlastnosti. Slitiny s nižším obsahem Si je vhodné očkovat, s vyšším obsahem modifikovat (obě metody lze kombinovat). [2]

Rostoucí obsah křemíku má vliv na tyto vlastnosti:

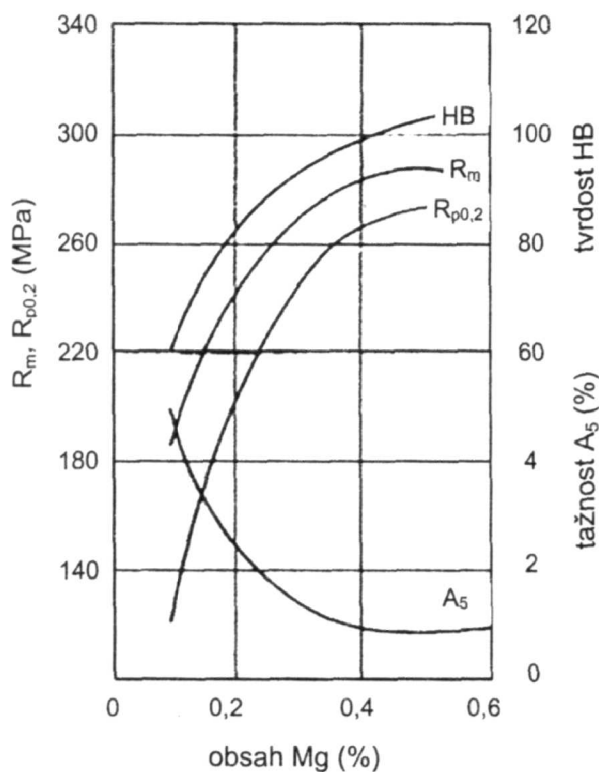
- Zvyšuje zabíhavost
- Zmenšuje tepelnou roztažnost
- Zvyšuje korozní odolnost
- Zlepšuje kluzné vlastnosti a odolnost proti otěru
- Zmenšuje součinitel stahování

Měď

Měď je ve slitinách Al-Si nositelem tvrdosti a pevnosti, snižuje tažnost a zhoršuje korozní odolnost. U odlitků používaných v potravinářském průmyslu je požadován obsah Cu maximálně 0,05%. Měď významně zlepšuje obrobitelnost. Obsah mědi se pohybuje do 5%. S rostoucím obsahem se rozšiřuje interval tuhnutí. [2]

Hořčík

Hořčík je ve slitinách velmi důležitý prvek který umožňuje provádět vytvrzování za tepla, přidává se v množství 0,3-0,7%. V litém stavu má Mg jen malý vliv na pevnost, ale snižuje tažnost. Vliv Mg na slévárenské vlastnosti v tomto obsahu je nevýznamný. Po vytvrzení platí, čím vyšší obsah Mg – tím vyšších pevnosti lze dosáhnout. [2]



Obr.: 2.1 Vliv Mg na mech. vlastnosti slitiny AlSi9 [2]

Železo

Obvykle se považuje za nečistotu. Jeho vliv je spojen s poklesem mechanických vlastností. V tuhém hliníku má železo téměř nulovou rozpustnost.

Železo se ve slitinách hliníku vyskytuje ve dvou fázích: [2]

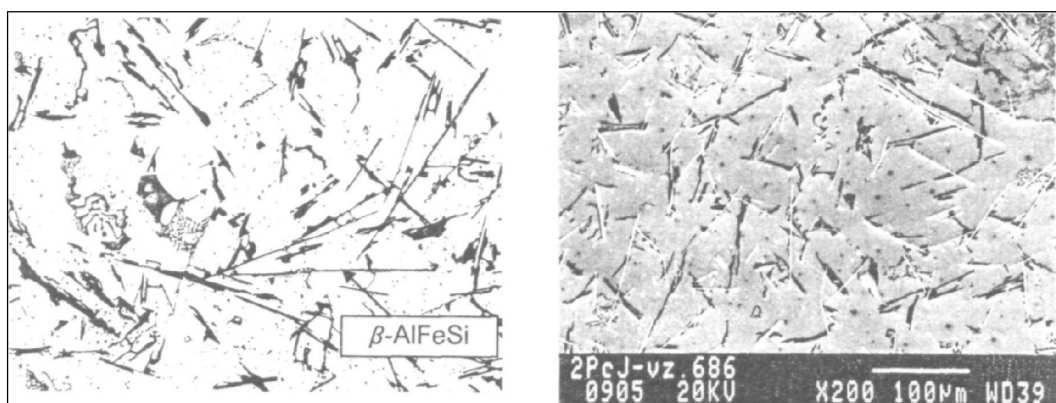
- β - AlFeSi vzniká při teplotě kolem 580°C – před vyloučením lamel křemíku. Tato fáze má monoklinickou mřížku a tvoří deskové útvary, které porušují strukturu siluminu a výrazně zhoršují jeho vlastnosti.
- α -AlFeMnSi vzniká za přítomnosti manganu, který částečně nahrazuje atomy železa, při teplotě kole 590°C.

Tato fáze se nazývá podle tvaru jako čínské písmo nebo také rybí kost. U běžných odlitků se připouští obsah Fe do 0,6%, u pevnostních odlitků do 0,15%.

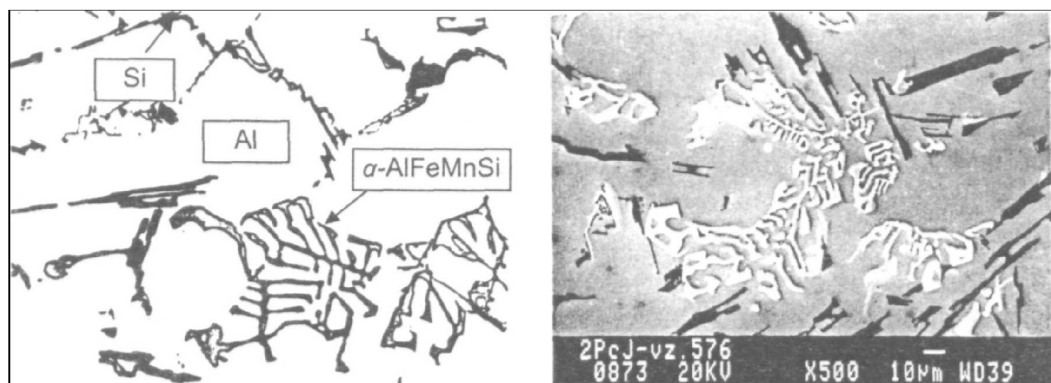
Slitiny určené pro tlakové lití obsahují až 1% Fe, železo snižuje lepení kovů na kovovou formu, což usnadňuje vyjímání odlitku z formy a prodlužuje tím životnost formy.

Mangan

Hlavní úlohou manganu je kompenzace negativního vlivu železa, který se doporučuje přidávat, je-li obsah Fe větší jak 0,4%. Obsah manganu by měl být roven asi ½ obsahu Fe. [2]



Obr.: 2.2 Jehlicová fáze železa [2]



Obr.: 2.3 Fáze typu čínské písmo [2]

2.2 Sledované slitiny odlitku v této práci

V této diplomové práci byla použita slitina typu Al-Si (silumin); jedna s vedlejším legujícím prvkem Cu a druhá s Mg.

2.2.1 Slitiny Al-Si-Mg

Přítomnost hořčíku umožňuje provádění vytvrzování za tepla, obsah tohoto prvku bývá v rozmezí 0,25 – 0,45 % Mg (někdy až 0,7%). Hořčík se při běžné rychlosti ochlazování vylučuje jako Mg₂Si. Vliv hořčíku na mechanické vlastnosti slitiny AlSi9 lité do písku a již ve vytvrzeném stavu je vidět na obr. [2]

Vlastnosti těchto slitin v litém stavu jsou průměrné, až po vytvrzení získávají teprve vynikající mechanické vlastnosti. Vytvrzením se zvyšuje R_m, R_{p0,2}, HB a obrobiteľnosť, ale zároveň se snižuje tažnosť. Lepší slévárenské vlastnosti a svařitelnost jsou u slitin, které obsahují vyšší obsah přítomného křemíku. [2]

Slitiny Al–Si–Mg se nejčastěji odlévají gravitačně do pískových nebo kovových forem, lze odlévat i pod tlakem. [2]

Použití těchto slitin je vhodné pro vysoce namáhané součásti. Nejčastěji v leteckém a v automobilovém průmyslu. [2]

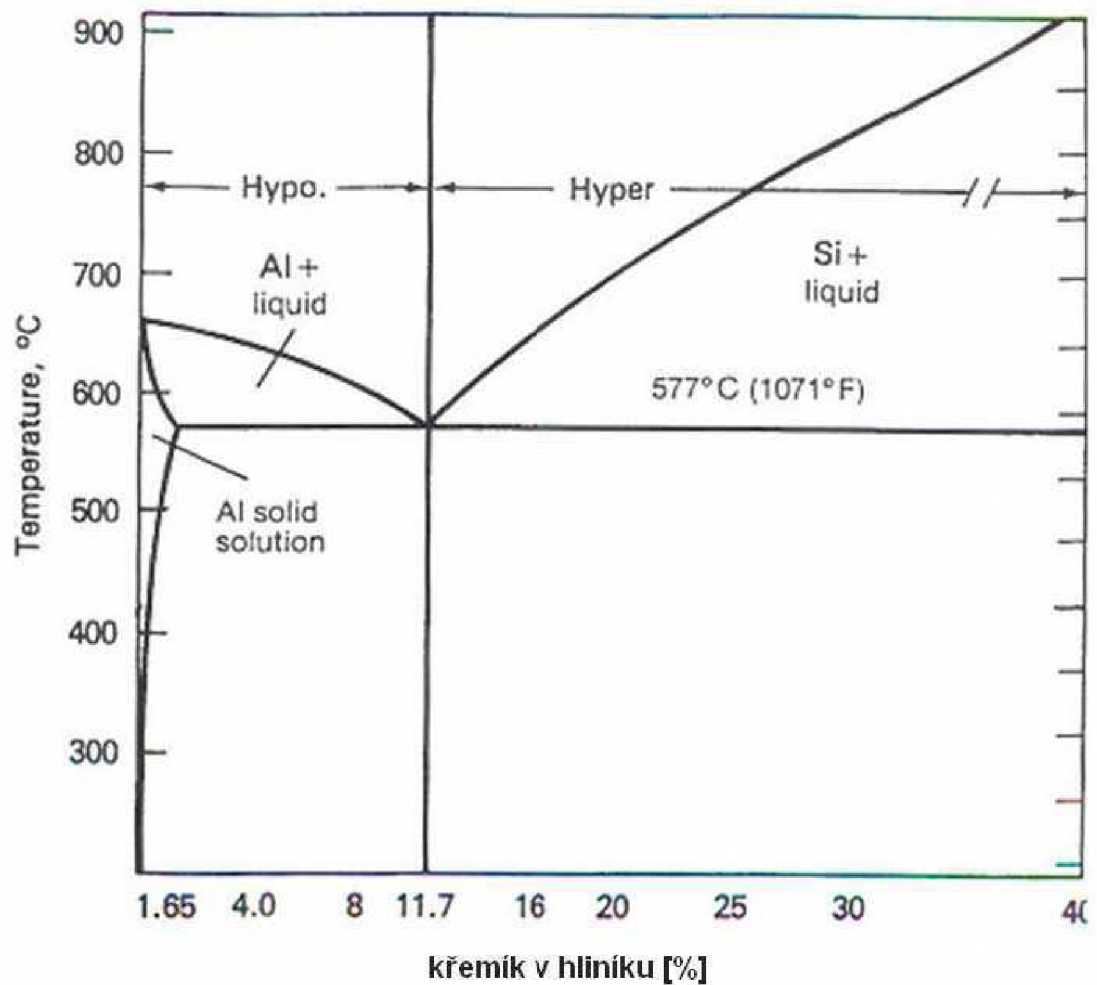
2.2.2 Slitiny Al–Si–Cu

Tato skupina je nejvíce používaným typem slitin hliníku. Přítomnost Cu v této slitině umožňuje určitý stupeň samovolného vytvrzení, obsah Cu bývá v rozmezí 1- 5%. Samovolné vytvrzování probíhá při teplotě 20 °C po několik dnů. [2]

Tato slitina má dobré mechanické vlastnosti a výbornou obrobiteľnosť, ale měď snižuje korozivzdornost. Slitiny se vyznačují i malým sklonem ke vzniku trhlin a staženin.

Slitiny Al-Si-Cu se nejčastěji odlévají gravitačně do kovových forem a zejména jsou vhodné pro tlakové lití. [2]

Nejčastější využití této slitiny i přesto, že má nižší odolnost vůči korozi, je v automobilovém průmyslu. [2]



Obr.: 2.4 Diagram Al-Si [4]

3 ELIMINACE STAŽENIN

Vnitřní vady typu staženiny jsou hlavními faktory ovlivňující kvalitu odlitku. Požadavky na kvalitu odlitku se neustále zvyšují, a proto je cílem tuto vadu eliminovat na co nejmenší množství a velikost. Z tohoto důvodu jsou současné slévárny nucené zaručit co největší možnou kvalitu odlitků. [1]

Staženiny v hliníkových slitinách vznikají převážně u odlitků s nepříznivou tloušťkou stěny nebo v místech tepelných uzlů, které nelze nálitkovat například z důvodu nevhodné konstrukce odlitku. [1]

Staženiny mají negativní dopad především na mechanické vlastnosti a tlakotěsnost vyráběných odlitků.

K zvýšení kvality odlitků napomáhá přípravek Probat Fluss Mikro 100 od výrobce Schafer – chemische Fabrik.

3.1 *Problematika vzniku staženin*

U všech kovových materiálů dochází během tuhnutí a ochlazení k objemovým změnám. Objemové změny u slitin hliníků jsou záporné. Je-li ve formě 100% taveniny o teplotě 720°C, tak po ztuhnutí a ochlazení na 20°C v závislosti na obsahu křemíku bude ve formě úbytek objemu 7%. Nachází-li se na odlitku nebezpečné místo, například určitý teplotní uzel, a tento uzel není dostatečně nebo vůbec nálitkovan, dochází k deficitu tekutého kovu a k tvorbě otevřených nebo uzavřených staženin. Takto vzniklá staženina má silný vrubový účinek a to má za následek snižování mechanických i únavových vlastností materiálu. [1,8]

Abychom takto vzniklou staženinu eliminovali, můžeme slitiny řízeně naplyňovat vodíkem. Jak již bylo dříve řečeno, dochází při tuhnutí taveniny ke změně rozpustnosti vodíku. Vyloučení plynu ve formě bublin nastává v místě, kde dojde k dosažení přesyceného stavu. Pokud se atomy vodíku již nevejdou mezi atomy hliníku, začnou vytvářet vlastní útvary, tedy bubliny. Počet a velikost takto vzniklých

bublin je závislý na množství rozpuštěného vodíku a množství vhodných heterogenních zárodků, které se vyskytují v tavenině. Je-li v tavenině obsaženo velké množství vodíku a malé množství vhodných zárodků, na kterých by mohla začít inicializace bubliny, vytvoří se ve výsledné struktuře malé množství velkých bublin. S takhle vzniklými bublinami se setkáváme, použijeme-li ke zvýšení obsahu vodíku v tavenině naplyňovacích tablet a tyto tablety zvyšují pouze obsah vodíku a ne i počet vhodných zárodků, na kterých by mohla začít inicializace bubliny. Pokud se zachová v tavenině stejné množství vodíku a zvýší se počet vhodných heterogenních zárodků, získá se v takto vzniklé struktuře větší množství bublin, jejichž velikost bude menší. Princip zvýšení krystalizačních zárodků je podobný principu očkování hliníkových slitin. Bude-li slitina obsahovat větší množství zárodků, podaří se využít i více vodíku k tvorbě bublin a konečná změna nebude vykazovat objemový deficit. Z uvedených souvislostí vyplývá, že pokud tavenině dáme k dispozici větší množství heterogenních zárodků, tak již při malém množství vodíku obdržíme v konečné struktuře větší počet malých bublin. Ve struktuře proto eliminujeme nedostatek tekutého kovu dosazovaného do teplotního uzlu během tuhnutí pomocí tvorby bublin, které však nejsou vidět na rentgenu, dokonce nejsou ani patrné po jemném obrobení. Součet objemu bublin eliminuje stahování, ke kterému by během tuhnutí docházelo. [1,7]

3.2 *Eliminace staženin pomocí přípravku Probat Fluss Mikro 100*



Firma Schafer-chemische Fabrik se několik let snažila najít vhodný zárodek, který by již při malém obsahu vodíku dodal velké množství bublin, které nebudou patrné ani při několikanásobném zvětšení. Firmě se podařilo vyvinout právě takovou předslitinu, která při rozpouštění v tavenině uvolňuje vhodné heterogenní zárodky bublin v řádu mikrometrů. Tato předslitina se na trhu prodává pod obchodním názvem **Probat-Fluss Mikro 100** ve formě drátu v délce 1 metr. [1,7]



Obr.: 3.1 Probat-Fluss Mikro 100 [7]

Taveninu ošetřenou touto předslitinou můžeme zpracovávat až 4 hodiny, aniž by se obsah musel navyšovat. Pokud je v tavenině velké množství zárodků, dochází k tvorbě bublin v celém objemu odlitků. Dříve než bublina naroste do nepřípustné velikosti, je již vodík v okolí zárodku vyčerpán, a tedy dojde k zastavení růstu bubliny. Množství bublin lze regulovat dávkováním Mikro 100. Doporučené dávkování výrobcem je od 0,1- 0,4% hmotnosti taveniny. Pro správnou funkci je zapotřebí, aby počáteční stav naplynění nebyl nižší než $DI=1$, optimální je $DI= 4$. Množství předslitiny se odvíjí také od hmotnosti odlitků, tloušťce stěny a přípustné pórovitosti. Mikro 100 lze použít i na

tlakostěné odlitky, protože bubliny jsou velice malé a vzájemně nepropojené.

Přednosti PRFOBAT-FLUSS MIKRO 100 - shrnuto: [8]

- Přeměna staženin na mikroporezitu
- Žádná ztráta pevnosti
- Okamžitý nástup účinku
- Nezávislý na druhu slitiny
- Nemění chemické složení
- Okamžité rozpuštění beze zbytku v tavenině
- Zajišťuje tlakotěsný odlitek
- Zvyšuje index hustoty
-

Výroba Probat-Fluss Mikro 100

Kapalným hliníkem je rozstříkáván do proudu vzduchu. Během letu skrz vzduch kapky hliníku tuhnou a vytváří se na jejich povrchu tenká vrstva oxidu, silná jen několik jednotek nanometru. Posléze je tento oxidický prach utužen deformačním procesem do tyčového tvaru. [7]

Oblasti použití: [8]

- V kokilovém, pískovém a nízkotlakém lití ke kompenzaci smrštění materiálu.
- Pro odlitky s vysokým nárokem na bezpečnost (automobilový průmysl).

3.3 Způsob aplikace do kovu

Nejpoužívanější způsob aplikace je přidání předslitiny přímo do tavicího nebo udržovacího kelímku, Mikro 100 může být dáváno i na žlab. Teplota kovu při dávkování nesmí poklesnout pod teplotu 700 °C. Při nedodržení této podmínky by nedošlo k ideálnímu rozpuštění přípravku ve slitině. [7]

Mikro 100 se rozpouští v tavenině ihned a beze zbytků a to vede ke krátké reakční době. Po rozpuštění Mikra 100 se na hladině kovů vytvoří oxidický šum, který je nutné vmíchat do taveniny. Tavenina je po 5 - 10 minutách připravena k odlévání.

4 OVĚŘENÍ ÚČINKU PROBAT-FLUSS MIKRO 100 V TECHNICKÉ PRAXI

Ověření účinku přípravku Probat-Fluss Mikro 100 probíhalo ve společnosti Aluminium Group,a.s. ve Sloupě.

4.1 Představení slévárny

Aluminium Group, a.s. je slévárna s osmdesátiletou tradicí výroby odlitků z Al slitin.

Zaměřují se především na potřeby strojírenských firem, automobilového, potravinářského, elektrotechnického průmyslu a na dodávky odlitků pro výrobu a instalaci letištních a pouličních osvětlovacích systémů. Produkce má odběratele jak v tuzemsku, tak i na zahraničních trzích, zejména v Německu a Rakousku. V současné době dodávají odlitky i kompletně opracované výrobky na CNC strojích v sériové, malosériové nebo kusové výrobě. Podle požadavků zákazníků dodávají odlitky včetně povrchové úpravy nebo tepelně zpracované. Díky nově vytvořenému pracovišti na výrobu pískových jader formou COLD BOX, se stala tato slévárna ve všech směrech soběstačná. [9]

Výroba probíhá ve vlastních prostorách, kde je dostatek místa pro další výstavbu a rozšiřování slévárny nebo další výroby. [9]

Slévárna používá 3 technologie odlévání: [9]

- lití do kokil
- nízkotlaké lití
- lití do písku formou strojního i ručního formování

Součástí firmy je obrobna, vybavená CNC stroji.

4.2 Ověření vlivu přípravku Mikro 100 na pórovitost, stahování a mechanické vlastnosti.

Ověření účinku bylo provedeno na těchto zkouškách:

1. Určení chemického složení slitiny na zařízení Spekromax
2. Měření naplynění taveniny - určení Dichte indexu
3. Zkouška stahování – Tatur test (určení hustoty a objemu staženiny)
4. Tahová zkouška – určení pevnosti a tažnosti
5. Metalografický výbrus kontrolního odlitku

Pro ověření účinku přípravku Mikro 100 byly použity dvě hliníkové slitiny. V obou případech se jednalo o slitiny typu Al-Si (silumin) s podeutektickým složením, jedna s vedlejším legujícím prvkem Cu druhá s Mg.

Chemické označení použitých slitin:

EN AC-AISi8Cu3 (označení vzorku čísly 1 a 3)

EN AC-AISi10Mg (označení vzorku číslem 2)

Tavení a zpracování slitin

Tavení obou použitých slitin proběhlo v plynových pecích z materiálu dodaných z hutí ve formě housek a z vratného materiálu. U obou slitin se v průběhu tavení neprováděl žádný metalurgický zásah. Po natavení byl kov přelit do tří elektrických odporových udržovacích pecí. První udržovací pec byla o kapacitě 300 kg označena jako pec LAC. Zbývající dvě byly o kapacitě 500 kg označeny jako pec 1 a pec 2. Po přenesení kovu do udržovacích pecí následovalo stažení nečistot z povrchu hladiny kovu.

Tab.: 4.1 Zkoumané slitiny

Chemické označení slitiny	Označení	Typ	Teplota kovů	Kapacita pece
	pecí	pece	[°C]	[kg]
EN AC-AISi8Cu3	LAC	EOP	701	300
EN AC-AISi10Mg	Pec 1	EOP	706	500
EN AC-AISi8Cu3	Pec 2	EOP	733	500

EOP- Elektrická odporová pec

4.1 Charakteristika slitin EN AC-AISi10Mg a EN AC-ALSi8Cu3

Tab.: 4.2 Vlastností slitin

Chemické označení slitiny			
Charakteristika	Odlévání	Tepelné zpracování	Použití
AISi10Mg			
mírně podeutektické slitiny s nízkým obsahem doprovodných prvků a nečistot, s výbornými slévárenskými a technologickými vlastnostmi, velmi dobrá obrobiteľnosť a odolnosť proti korozi	všechny technologie odlévání, netvoří vnitřní staženiny	vytvzování – T6, rozpouštěcí žhání 510-525°C – 3-6 hod./ ochlazení ve vodě/precipitační žhání 150-175°C – 5-15 hod.	tenkostěnné tvarově složité odlitky, vysoce namáhané strojní součásti, díly motorů, klikové skříně, brzdové čelisti, rychloběžné součástky, např. pro ventilátory
AISi8Cu3			
univerzální slitina s velmi dobrými slévárenskými vlastnostmi, velmi malý sklon k vnitřním a vnějším staženinám, velmi dobrá obrobiteľnosť	všechny technologie odlévání	obvykle se nevytvzují za tepla (dochází k samovolnému vytvrzení)	složité strojní součásti, odlitky pro automobilní průmysl klikové skříně, součástky pro elektrotechniku, ložiskové skříně, víka a kryty

Výroba zkušebních vzorků

Nejprve probíhalo odlévání zkušebních vzorků z pece LAC, která obsahovala slitinu AISi8Cu3 bez obsahu přípravku Mikro 100. Pro správnou funkci přípravku Probat-Fluss Mikro 100 nesmí být tavenina ideálně odplyněna a musí mít hodnotu Dichte indexu větší jak 1; ideální je Dichte index roven 4 (DI=4). První úkon, který proběhl, bylo měření teploty zařízením od firmy AHLBORN s typovým označením ALMENO 2020 – 1 s použitým termočlánkem Ni-Cr-Ni. Dále souběžně probíhalo lití vzorku k určení hodnoty naplynění slitiny (DI), chemického složení, Tatur testu, tahové zkoušky a jako poslední proběhlo odlití kontrolního odlitku. Po odlití těchto zkoušek se přidalo do taveniny Mikro 100 ve formě drátu, nechalo se rozpustit v tavenině a po rozpuštění se na hladině vytvořil šum, který bylo nutné zpracovat do taveniny, poté se nechal kov 10- 20 minut odstát a proběhlo odlití všech zkušebních vzorků a kontrolního odlitku. Pro tuto slitinu byly použity dvě koncentrace přípravku viz. tab. 4.3.

Tab.: 4.3 Použití Mikra 100 u slitiny AISi8Cu3

Označení materiálu	Číslo měření	Čas min	Koncentrace Mikro 100 %	Teplota kovu °C
EN AC AISi8Cu3	1-1	0	0	701
		5	přidáno Mikro 100	
	1-2	20	0.15	
	1-3	40	0.15	
		45	přidáno Mikro 100	
	1-4	70	0,3	
	1-5	100	0,3	

Po odlití všech zkušebních vzorků z pece LAC následovalo odlití vzorků z pece 1 a pece 2.

Tab.: 4.4 Použití Mikra 100 u slitin AlSi10Mg a AlSi8Cu3

Označení materiálu	Označení pece	Číslo měření	Čas	Koncentrace Mikro 100	Teplota kovu
			min	%	°C
EN AC AlSi10Mg	Pec 1	2-1	0	0	706
			5	přidáno Mikro 100	
		2-2	30	0,2	
		2-3	60	0,2	
			65	přidáno Mikro 100	
		2-4	80	0,35	
		2-5	110	0,35	
EN AC AlSi8Cu3	Pec 2	3-1	0	0	733
			5	přidáno Mikro 100	
		3-2	20	0.25	
		3-3	60	0.25	

4.2 Provedené měření

4.2.1 Určení chemického složení materiálu

Kontrola chemického složení je ve společnosti prováděná pomocí spectrálního analyzátoru SPECTROMAX F.



Obr.: 4.1 Spectrální analyzátor Spectromax F

Určování chemického složení probíhalo na odděleně litém zkušebním vzorku, který tuhl v kovové formě. Po ztuhnutí a vyjmutí vzorku bylo nutné testovaný povrch obrousit na pásové brusce.



Obr.:4.2 Odlitý vzorek k určení chemického složení [10]

4.2.2 Měření naplynění taveniny

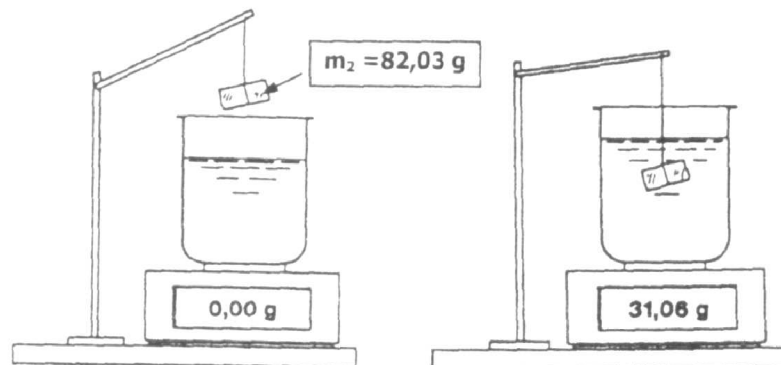
Nejrozšířenější metoda k měření naplynění slitiny je metoda dvojího vážení vzorku. Základní princip metody spočívá v porovnání hustot dvou zkušebních vzorků, z nichž jeden ztuhl při atmosférickém tlaku a druhý tuhl za sníženého tlaku. U vzorku tuhnoucího za podtlaku je nižší rozpustnost vodíku, a proto se během tuhnutí vyloučí více vodíkových bublin než u vzorku, který tuhl za atmosférického tlaku. Bublin, které zůstaly v kovu uzavřeny, snižují jeho hustotu. [2]



Obr.: 4.3 Vzorky pro měření naplynění, vpravo je vidět vzorek ztuhlý za atmosférického tlaku, vlevo za podtlaku.

Metodika měření:

Tavenina hodnocené slitiny se odebere z pece a nalije do dvou zkušebních kelímků (kovových, keramických nebo z pískových směsí) s objemem asi 40- 80 ml. Jeden vzorek tuhne při atmosférickém tlaku a druhý za definovaného podtlaku ve vakuové komoře. Hustota vzorku, který ztuhl při atmosférickém tlaku $\rho_{vz\ at}$ a vzorku ztuhlého ve vakuu $\rho_{vz\ vak}$, se zjistí zvážením na vzduchu a po ponoření do kádinky s vodou s využitím principu Archimédova zákona. Při vážení ve vodě je vzorek zavěšen na stojanu, takže váhy zaznamenají pouze přírůstek hmotnosti vody vytlačené objemem ponořeného vzorku.



Obr.: 4.4 Metoda dvojího vážení [2]

Výpočet hustoty se provádí podle následujícího postupu:

1. Zjištění objemu vzorku

$$V_{vz} = m_{vz\ H_2O} / \rho_{H_2O} \quad [ml]$$

2. Hustota vzorku se vypočte podle následujícího vztahu:

$$\rho_{vz} = m_{vz\ at} / V_{vz} \quad [g/cm^3]$$

$m_{vz\ at}$	- hmotnost na vzduchu	[g]
$m_{vz\ H_2O}$	- hmotnost vzorku ponořeného ve vodě	[g]
ρ_{H_2O}	- hustota vody	[g/cm ³]
ρ_{vz}	- hustota kovu ve vzorku	[g/cm ³]

Obsah vyloučeného plynu je roven rozdílu měrných objemů vzorku

$$V_{H_2} = (1/\rho_{vz\ vak}) - (1/\rho_{vz\ at}) \quad [ml]$$

Z obou zjištěných hodnot hustot lze určit tzv. **index hustoty**, nebo-li **Dichte Index (DI)**

$$DI = \frac{(\rho_{vz\ atm} - \rho_{vz\ vak})}{\rho_{vz\ atm}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Obr.: 4.5 Vzorec vypočtu DI [2]

Hodnota indexu hustoty se pohybuje při běžném lití obvykle v řádu jednotek procent. Moderní přístroje, pro určování DI indexu, jsou již automatizovány a vyžadují pouze zvážení vzorku ve vodě a na vzduchu. Výpočet hustoty je proveden automaticky. [2]

Potřebné zařízení:

- Vakuová komora s možností nastavení přesného tlaku. Běžně se používá tlak 8 kPa.
- Přesné váhy (přesnost 0,01 g) s možností nulování
- Nádoba s vodou
- Závěsné zařízení

1.1.1.1. Zjištění DI indexu

Pro každý typ slitiny s různým obsahem Mikro 100 byl stanoven DI index. Bylo použito automatické zařízení MK2200, na kterém lze přímo odečítat hodnotu DI indexu.

Postup:

Tavenina hodnocené slitiny byla odebrána z tavicí pece a nalitá do dvou zkušebních kovových kelímků. Jeden vzorek tuhnul za atmosférického tlaku a druhý byl vložen do vakuové komory, kde vzorek tuhnul.



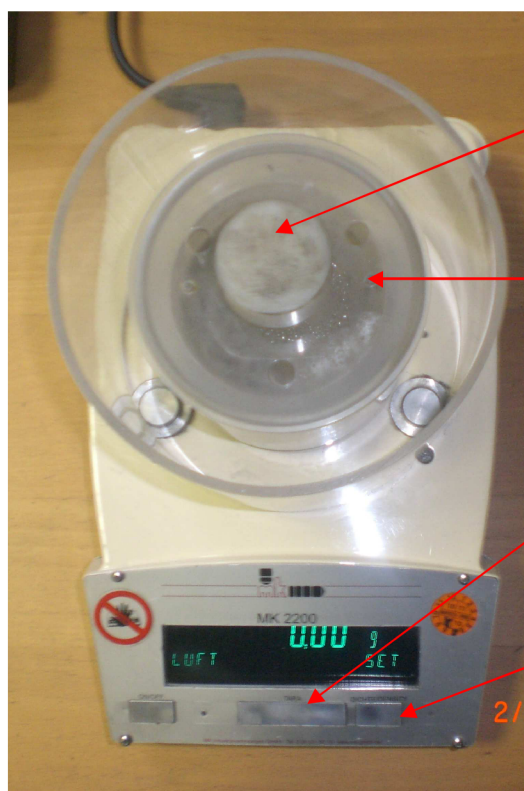
Obr.: 4.6 Vakuové zařízení

Po vychladnutí vzorku byla hodnota DI indexu zjištěna na zařízení MK 2200.

Vyhodnocování indexu naplynění taveniny DI na zařízení MK2200

Postup:

1. Zapnutí váhy- vyčkání až se na displeji objeví hodnota 0,00 g
2. Zkušební těleso se umístilo na podstavec víka nádoby s vodou- na displeji je zobrazeno LUFT (vzduch).
3. Po ustálení hodnoty se zobrazí na displeji symbol g. Poté se zadala hodnota stisknutím tlačítka (DICHTE/DENSITY).
4. Zkušební těleso se vložilo do drátěného závěsu a ponořilo do kapaliny. Na displeji vlevo dole je zobrazeno FLUESSIG (kapalina).
5. Po ustálení hodnoty se zobrazí na displeji symbol g. Poté se zadala hodnota stisknutím tlačítka (DICHTE/DENSITY).
6. Na displeji se zobrazila hodnota hustoty vzorku (g/cm³).
7. Stisknutí tlačítka TARA
8. Opakování stejného postupu s druhým vzorkem.
9. Na závěr se na displeji objeví hodnota indexu naplynění taveniny DI (%), vlevo dole na displeji je zobrazeno INDEX.



Podstavec

Nádoba s vodou
a drátěným závěsem

TARA

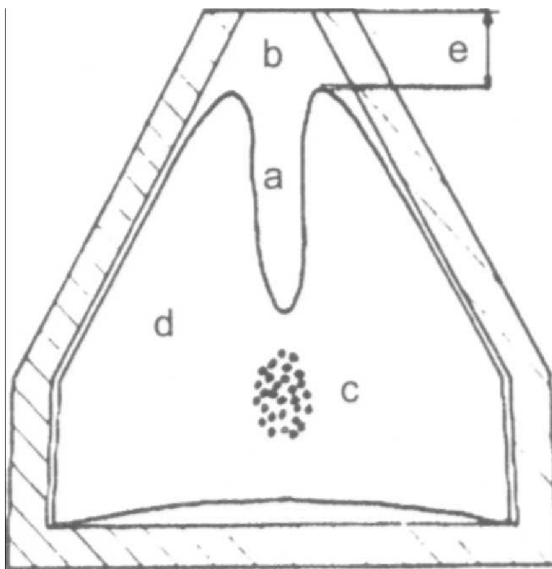
DICHTE/
DENSITY

Obr.: 4.7 Zařízení MK2200

4.2.3 Tatur test

Podle výše uvedeného principu byla u vzorku litých do kokily tatur testu stanovena hustota.

Tatur test je zkouška sloužící ke zjištění sklonu slitiny k tvorbě soustředných staženin a mikrostaženin. Jak je patrné z obr.: 4.8 jedná se o těleso kuželovitého tvaru odlité do kovové kokily Obr.: 4.9

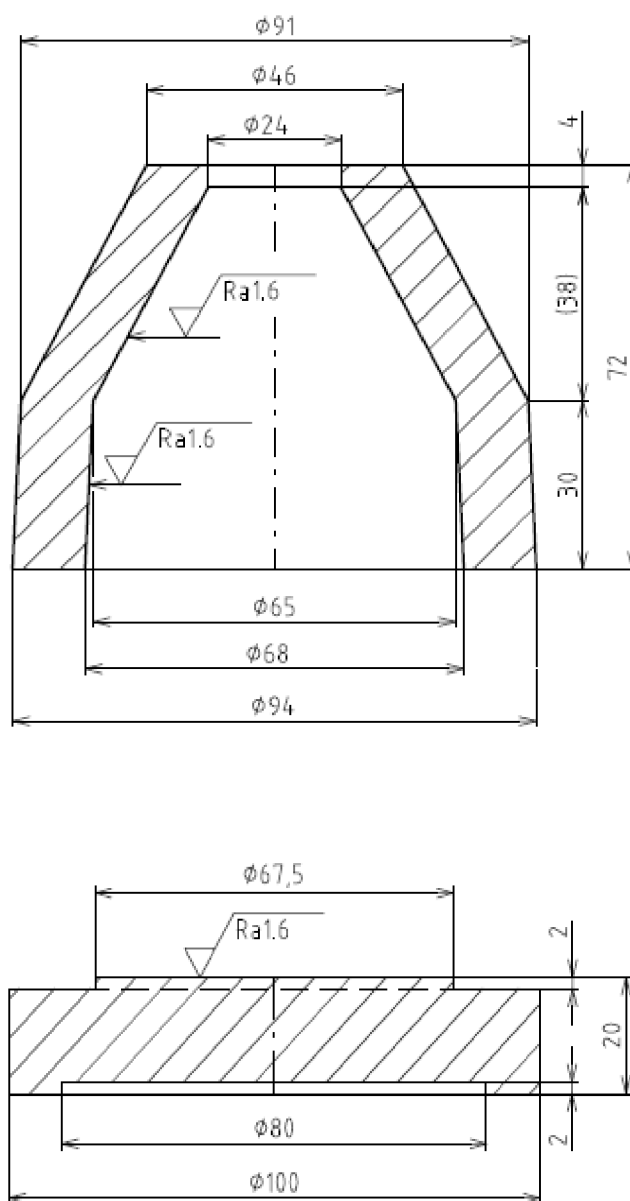


- a - objem makrostaženiny
- b - celkový objem staženiny
- c - objem mikrostaženin
- d - objem odlitku
- e - hloubka staženiny

Obr.: 4.8 Taturova zkouška stahování [2]



Obr.: 4.9 Kokila a vzorek Tatur testu



Ob.: 4.10 Kokila pro Tatur testu

1.1.1.2. Zjištění hodnoty hustoty ze vzorku tatur testu

Hustota vzorku byla určována dvojitým vážením:

1. Určení hmotnosti Tatur testu m_{tt}
2. Zjištění objemu Tatur testu V_{tt} , (vzorek je celý ponořen ve vodě a zavěšen na stojanu - váhy zaznamenají pouze přírůstek změny objemu vody)
3. Výpočet hustoty tatur testu dle vzorce

$$\rho_{tt} = m_{tt} / V_{tt}$$

Použité zařízení: digitální váhy s přesností 0.01g
závěsné zařízení
nádoba s vodou



Obr.: 4.11 Zjištění hustoty

1.1.1.3. Zjištění objemu soustředné atmosférické staženiny

Objem soustředné staženiny byl zjišťován suchým křemičitým ostřivem z lokality Šajdíkovy Humence se středním průměrem zrna $d_{50} = 0,22 \text{ mm}$ o hustotě $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$.

Postup:

1. Nasypání ostřiva do staženiny a odstranění přebytky - oříznutí ocelovým pravítkem.
2. Poté byl vzorek umístěn na digitální váhy a vynulován displej.
3. Vysypání ostřiva, zvážení vzorku a zaznamenání rozdílu hmotnosti.
4. Výpočet objemu staženiny dle vzorce

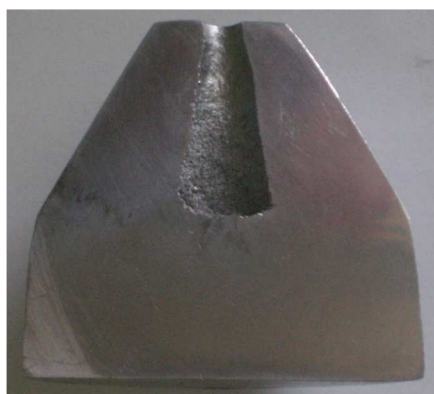
$$V_{st} = \Delta m_{písku} / \rho_{písku}$$

$\Delta m_{písku}$ – rozdíl hmotnosti ostřiva

$\rho_{písku}$ – hustota ostřiva



Obr.: 4.12 Zjišťování objemu staženiny



Obr.: 4.13 Řez Tatur testu

4.2.4 Tahová zkouška

Tahová zkouška patří mezi obvyklé metody zjišťování mechanických vlastností materiálu. Tato zkouška se provádí většinou za normálních teplot, spíše výjimečně za zvýšených teplot na odděleně litých zkušebních tyčkách. Zkušební tyčky se vyrábějí za takových podmínek, které odpovídají tuhnutí konkrétnímu odlitku. Pro lití do písku se rovněž zkušební tyčka odlévá do pískové formy, při lití do kovové formy se zkušební vzorky odlévají do kovové formy. V této diplomové práci byly použity pouze neobráběné tyčky odlité do kokily.



Obr.: 4.14 Trhací zařízení od firmy WPM [9]

Zkušební tyčky odlité do kovových forem

Pro výrobu zkušebních vzorků byla použita ocelová kovová forma, předehřátá na teplotu 190 °C a opatřena ochranným nátěrem.

Postup výroby zkušební tyčky:

1. Nalítí kovů do kokily



2. Rozevření kokily, vyjmutí a označení zkušebního tělesa



3. Odstranění nálitku a zčištění tyčky



4. Vytvoření rysek pro určení tažnosti



Popis a vyhodnocení tahové zkoušky

Tahová zkouška probíhala na zařízení od firmy WPM na pracovišti firmy Aluminium Group. Na tomto stroji bylo přetrženo 33 zkušebních tyček (viz tabulky)

Podmínky zkoušky:

Rychlost příčnicku: 7 mm/min

Zkouška probíhala za pokojové teploty

Na přetržených zkušebních tyčích se hodnotila:

- pevnost (R_m) – stanoveno výpočtem ze zátěžné síly a průřezu
- Tažnost (A) – stanoveno výpočtem jako poměr prodloužení k původní délce

Postup:

Před přetržením byl změřen průměr tyčky digitálním posuvným měřítkem ve dvou na sebe kolmých směrech (Φ_1, Φ_2) a z obou hodnot vypočítán aritmetický průměr ($\Phi_{stř.}$). Poté následovalo změření vzdálenosti obou rysek k určení tažnosti. Po přetržení následovalo odečtení velikosti síly, která byla zapotřebí k přetržení zkušebního vzorku, hodnota se odečítala přímo na zkušebním stroji. K určení tažnosti bylo zapotřebí ještě určit prodloužení vzorku vlivem zátěžné síly. Hodnota prodloužení se zjistila tak, že se obě části zkušebního vzorku k sobě přiložily a byla změřená vzdálenost obou rysek. Zjištěné hodnoty byly zaznamenány do tabulky.

Kontrolní odlitek 1



Obr.: 4.15 Kontrolního odlitku 1

Tab.: 4.5 Základní popis kontrolního odlitku 3

Materiál odlitků	EN AC-AISi8Cu3
Teplota kovů [°C]	701
Teplota kokily [°C]	300-340
Způsob lití	Ruční kokilové lití

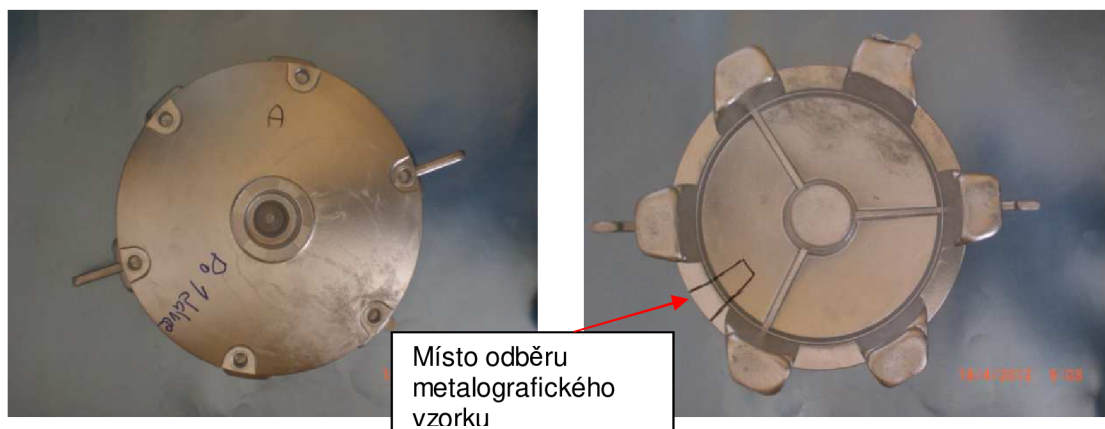
Tab.:4.6 Chemické složení materiálu odlitku – určené na spektromaxu F

Chemické složení materiálu EN AC-AISi8Cu3								
Prvek	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
%	8,82	0,66	2,45	0,0244	0,377	0,026	0,082	1,06
Prvek	Ti	Ag	B	Be	Bi	Ca	Cd	Co
%	0,032	0,002	0,0012	<0,0001	0,0041	0,0015	0,0004	<0,001
Prvek	Li	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr
%	<0,0002	0,0002	0,0013	0,073	0,114	<0,0001	0,0062	0,046
Prvek	Al							
%	86,0							

Obr.: 4.16 Elektrická odporová udržovací pec LAC



Kontrolní odlitek 2



Obr.: 4.17 Kontrolního odlitku 2

Tab.: 4.7 Základní popis kontrolního odlitku 2

Materiál odlitků	EN AC-AISi8Cu3
Teplota kovů [°C]	706
Teplota kokily [°C]	300-340
Způsob lití	Ruční kokilové lití

Tab.: 4.8 Chemické složení materiálu odlitků – určené na spektromaxu F

Chemické složení materiálu EN AC-AISi10Mg								
Prvek	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
%	9,9	0,291	0,066	0,059	0,233	0,0049	0,0015	0,051
Prvek	Ti	Ag	B	Be	Bi	Ca	Cd	Co
%	0,049	<0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0010	0,0014	<0,0001	<0,001
Prvek	Li	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr
%	<0,0002	0,0002	<0,001	0,0038	0,006	0,0056	0,0054	0,0014
Prvek	Al							
%	89,3							

Obr.: 4.18 Elektrická odporová udržovací pec 1



Kontrolní odlitek 3



Místo odběru
metalografického
vzorku

Obr.: 4.19 Kontrolního odlitku 3

Tab.: 4.9 Základní popis kontrolního odlitku 3

Materiál odlitků	EN AC-AISI8Cu3
Teplota kovů [°C]	733
Teplota kokily [°C]	300-340
Způsob lití	Ruční kokilové lití

Tab.: 4.10 Chemické složení materiálu odlitků – určené na Spektromaxu F

Chemické složení materiálu EN AC-AISI8Cu3								
Prvek	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
%	9,29	0,66	2,34	0,251	0,331	0,027	0,079	1,03
Prvek	Ti	Ag	B	Be	Bi	Ca	Cd	Co
%	0,033	0,0018	0,0013	<0,0001	0,0042	0,0008	0,0002	<0,001
Prvek	Li	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr
%	<0,0002	0,0006	<0,001	0,069	0,094	<0,0001	0,0061	0,046
Prvek	Al							
%	85,8							

Obr.: 4.20 Elektrická odporová
udržovací pec 2

4.2.5 Předpokládané výsledky zkoušek

Měření naplynění

S rostoucím obsahem Probat Fluss Mikro 100 se bude zvyšovat naplynění taveniny, poroste hodnota DI. Po překročení určité doby začne hodnota DI opět klesat.

Hustota

S rostoucím obsahem Probat-Fluss Mikro 100 se bude hodnota hustoty snižovat (v kovu se budou vyskytovat bubliny).

Velikost soustředné staženiny

S rostoucím obsahem Probat Fluss-Mikro 100 se bude zvyšovat obsah rozpuštěného vodíku v tavenině vodíku. V průběhu tuhnutí se bude hodnota rozpustnosti vodíku v tavenině snižovat, vodík se začne vylučovat ve formě bublin, které budou částečně kompenzovat stahování kovů. Velikost soustředné staženiny se bude zmenšovat.

Mechanické vlastnosti

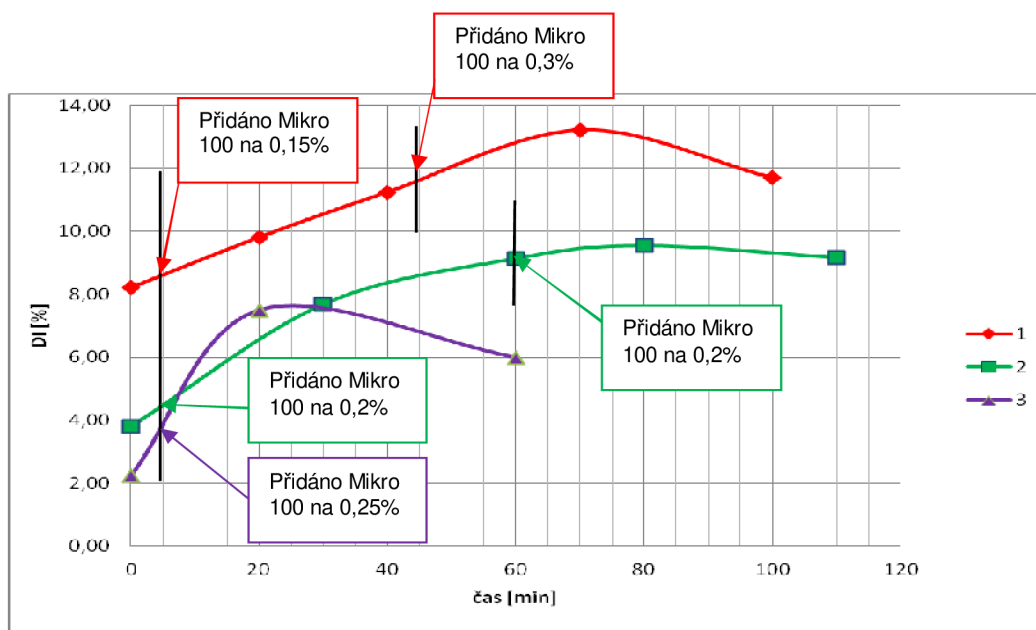
S rostoucím obsahem přípravku Probat-Fluss Mikro 100 se hodnoty pevnosti budou zvyšovat, ve vzorku se nebudou vyskytovat vady typu staženin, které mají větší vrubový účinek než bubliny. U hodnot tažnosti se nepředpokládá změna.

4.3 Vyhodnocení zkoušek

4.3.1 Měření naplynění

Tab.: 4.11 Hodnoty naplynění

Označení materiálu	Číslo měření	Čas	Koncentrace Mikro 100	DI	Teplota kovu
		min	%	%	°C
EN AC AlSi8Cu3	1-1	0	0	8,21	701
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,2 %		
	1-2	20	0,15	9,81	
	1-3	40	0,15	11,24	
		45	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,3 %		
	1-4	70	0,3	13,21	
	1-5	100	0,3	11,70	
EN AC AlSi10Mg	2-1	0	0	3,80	706
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,2%		
	2-2	30	0,2	7,68	
	2-3	60	0,2	9,13	
		65	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,35%		
	2-4	80	0,35	9,54	
	2-5	110	0,35	9,16	
EN AC AlSi8Cu3	3-1	0	0	2,23	733
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,25%		
	3-2	20	0,25	7,49	
	3-3	60	0,25	5,99	

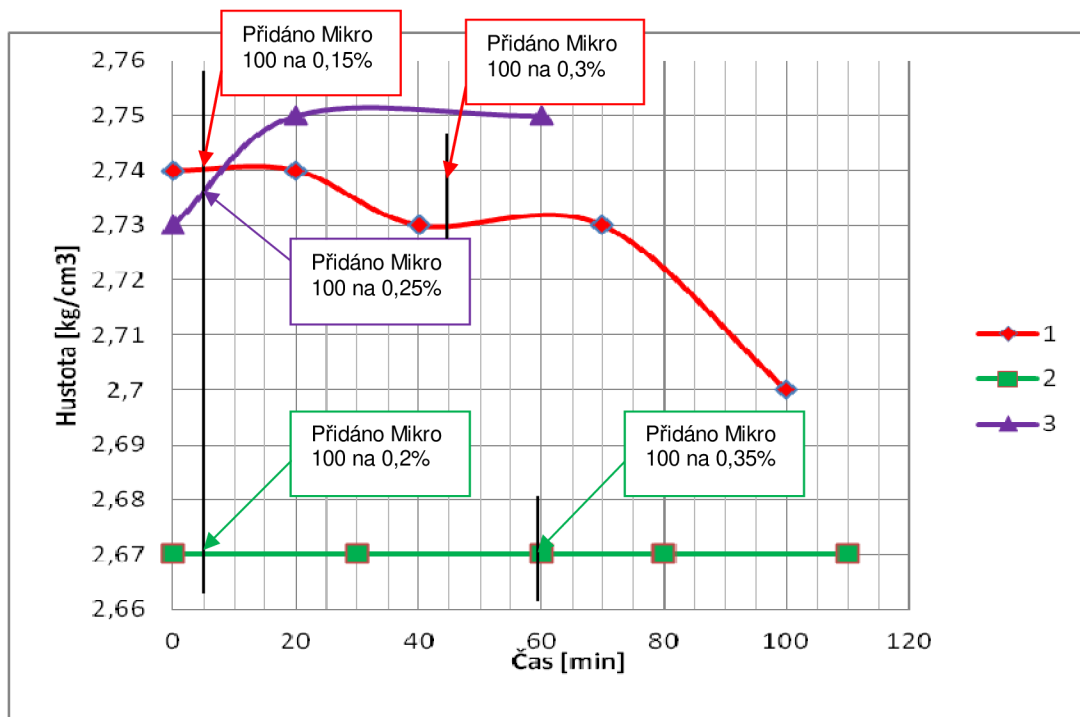


Obr.: 4.21 Změna DI

4.3.2 Tatur test - Zjištění hodnoty hustoty

Tab.: 4.12 Hodnoty hustoty

Chemické složení	Číslo měření	Čas	Koncentrace Mikro 100	m_{tt}	V_{tt}	Hustota	Teplota kovu °C	Teplota kokily °C
		min	%	g	g	g/cm^3		
EN AC AlSi8Cu3	1-1	0	0	407,73	148,91	2,74	701	190
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,2%					
	1-2	20	0,2	406,63	148,65	2,74		
	1-3	40	0,2	400,5	146,7	2,73		
		45	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,35%					
	1-4	70	0,35	405,62	148,79	2,73		
	1-5	100	0,35	395,95	146,43	2,7		
EN AC AlSi10Mg	2-1	0	0	387,25	144,99	2,67	706	190
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,2%					
	2-2	30	0,2	390,91	146,31	2,67		
	2-3	60	0,2	393,13	147,03	2,67		
		65	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,35%					
	2-4	80	0,35	395,92	148,47	2,67		
	2-5	110	0,35	401,2	150,18	2,67		
EN AC AlSi8Cu3	3-1	0	0	397,63	145,78	2,73	733	190
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,25%					
	3-2	20	0,25	398,95	145,33	2,75		
	3-3	60	0,25	404,1	147,1	2,75		

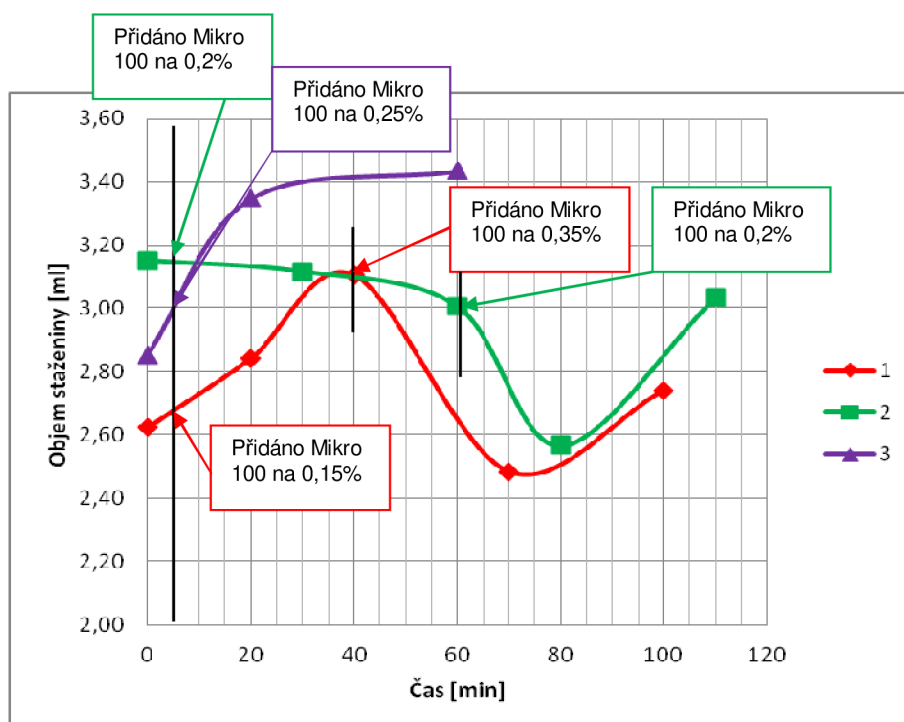


Obr.:4:22 Změna hustoty

4.3.3 Tatur test – zjištění objemu staženiny

Tab.: 4.13 hodnoty objemu staženiny

Chemické složení	Číslo Měření	Čas	Koncentrace Mikro 100	$m_{\text{písku}}$	$\rho_{\text{písku}}$	V	Teplota kovu °C	Teplota kokily °C	
		min	%	g	g/cm ³	ml			
EN AC AlSi8Cu3	1-1	0	0	6,95	2,65	2,62	701	190	
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,2%						
	1-2	20	0,2	7,53	2,65	2,84			
	1-3	40	0,2	8,23		3,11			
		45	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,35%						
	1-4	70	0,35	6,58	2,65	2,48			
	1-5	100	0,35	7,26		2,74			
EN AC AlSi10Mg	2-1	0	0	8,35		3,15	706	190	
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,2 %						
	2-2	30	0,2	8,26	2,65	3,12			
	2-3	60	0,2	7,97		3,01			
		65	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,35 %						
	2-4	80	0,35	6,80	2,65	2,57			
	2-5	110	0,35	8,04		3,03			
EN AC AlSi8Cu3	3-1	0	0	7,56		2,85	733	190	
		5	přidáno Mikro 100 na koncentraci 0,25 %						
	3-2	20	0,25	8,87	2,65	3,35			
	3-3	60	0,25	9,10		3,43			



Obr.: 4.23 Změna objemu staženiny

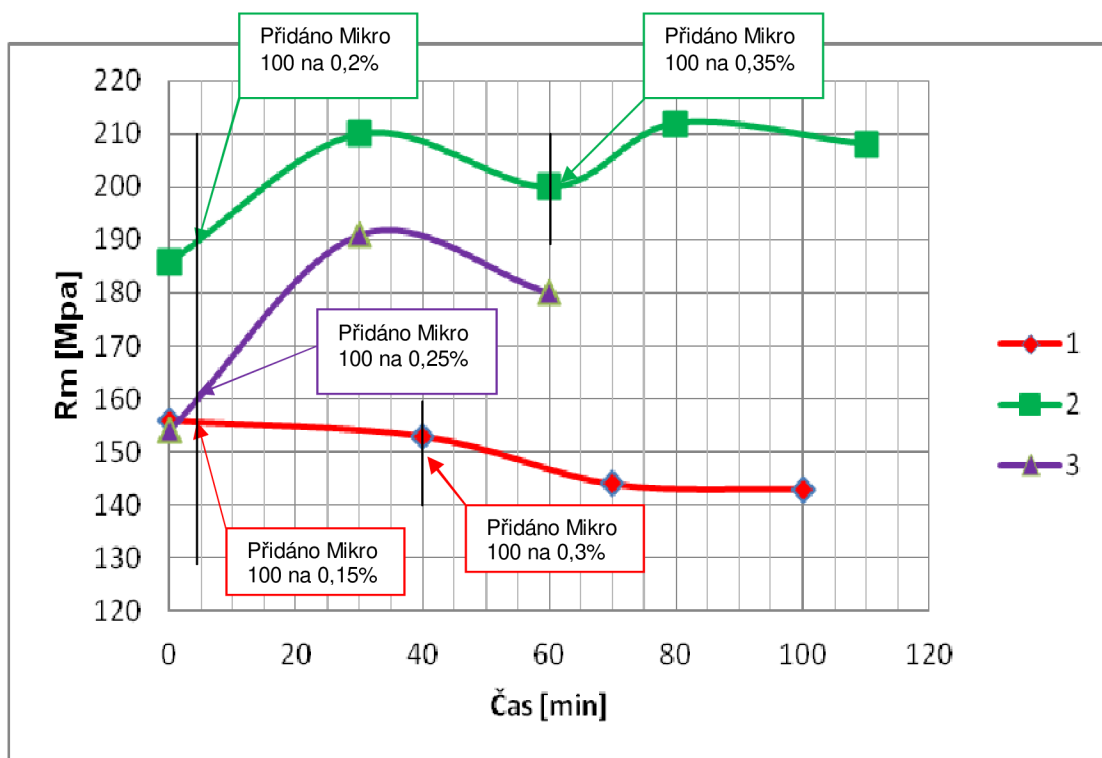
4.3.4 Zjištění mechanických vlastností

Tab.: 4.14 Zkoušek mechanických vlastností na trhacím zařízení WPM

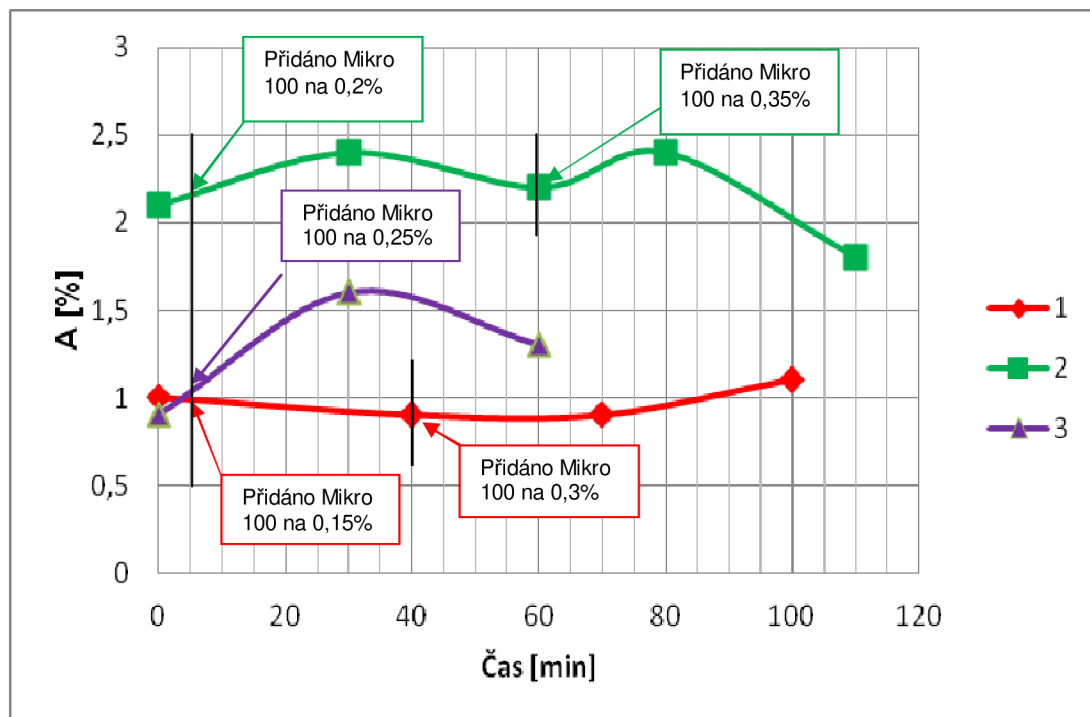
Číslo Měření	Φ_1	Φ_2	$\Phi_{\text{stř.}}$	L_0	L_1	F
	mm	mm	mm	mm	mm	N
1-1/1	11,87	11,97	11,92	46,87	47,24	15700
1-1/2	11,70	11,99	11,85	47,16	47,40	17400
1-1/3	12,03	11,99	12,01	46,95	47,75	19200
1-3/1	12,00	11,97	11,99	46,70	47,20	20900
1-3/2	12,68	12,50	12,59	47,10	47,55	16000
1-3/3	11,95	12,00	11,98	47,10	47,40	16200
1-4/1	12,00	12,03	12,02	46,90	47,55	19400
1-4/2	12,24	12,30	12,27	46,90	47,20	16900
1-4/3	12,16	12,00	12,08	46,32	46,70	13400
1-5/1	12,15	12,16	12,16	47,07	47,60	17100
1-5/2	12,41	11,90	12,16	46,50	47,14	16800
1-5/3	12,20	11,90	12,05	47,00	47,33	15700
2-1/1	12,15	11,95	12,05	47,45	48,25	24000
2-1/2	12,04	13,17	12,61	46,15	47,20	21100
2-1/3	12,40	12,22	12,31	47,12	48,24	21100
2-2/1	11,98	12,06	12,02	46,79	47,59	21700
2-2/2	12,03	12,13	12,08	47,00	48,05	23800
2-2/3	12,25	12,00	12,13	46,60	48,18	26600
2-3/1	12,30	12,20	12,25	47,10	48,43	23000
2-3/2	12,36	12,30	12,33	47,20	48,50	23700
2-3/3	12,05	12,22	12,14	47,65	48,19	24000
2-3/1	12,14	12,24	12,19	46,68	47,73	25600
2-3/2	11,91	12,05	11,98	46,85	48,02	23100
2-3/3	11,90	12,00	11,95	46,90		
2-4/1	12,70	12,65	12,68	46,08	46,85	27100
2-4/2	12,20	12,00	12,10	47,10	48,07	21700
2-4/3	12,08	12,00	12,04	46,70	47,44	25200
3-1/1	11,80	12,35	12,08	46,80	47,44	20400
3-1/2	11,55	12,00	11,78	47,10	47,34	14300
3-1/3	12,10	12,60	12,35	47,10	47,52	18400
3-2/1	12,43	12,14	12,29	46,60	47,00	22000
3-2/2	12,20	12,30	12,25	46,94	47,86	23100
3-2/3	11,80	11,93	11,87	46,72	47,58	21100
3-3/1	11,96	12,37	12,17	46,86	47,49	22200
3-3/2	12,14	12,13	12,14	47,11	47,60	21400
3-3/3	11,96	12,02	11,99	46,80	47,49	18400

Tab.: 4.15 Vypočtené hodnoty z tab.: 4.14

Číslo měření	čas	Koncentrace Mikro 100	Rm	Rm _{pr.}	s	A	A _{pr.}	s
	min	%	MPa	MPa		%	%	
1-1/1	0	0	140,76	156	12	0,79	1,0	0,51
1-1/2			157,98			0,51		
1-1/3			169,57			1,70		
1-3/1	40	0,15	185,35	153	24	1,07	0,9	0,18
1-3/2			128,59			0,96		
1-3/3			143,91			0,64		
1-4/1	70	0,3	171,19	144	22	1,39	0,9	0,32
1-4/2			143,00			0,64		
1-4/3			116,98			0,82		
1-5/1	100	0,3	147,44	143	4	1,13	1,1	0,28
1-5/2			144,85			1,38		
1-5/3			137,74			0,70		
2-1/1	0	0	210,56	186	18	1,69	2,1	0,30
2-1/2			169,17			2,28		
2-1/3			177,38			2,38		
2-2/1	30	0,2	191,33	210	16	1,71	2,4	0,70
2-2/2			207,77			2,23		
2-2/3			230,49			3,39		
2-3/1	60	0,2	195,25	200	5	2,82	2,2	0,78
2-3/2			198,59			2,75		
2-3/3			207,62			1,13		
2-4/1	80	0,35	219,46	212	7	2,25	2,4	0,12
2-4/2			205,04			2,50		
2-4/3			0,00					
2-5/1	110	0,35	214,88	208	14	1,67	1,8	0,21
2-5/2			188,81			2,06		
2-5/3			221,45			1,58		
3-1/1	0	0	178,23	154	19	1,37	0,9	0,35
3-1/2			131,38			0,51		
3-1/3			153,68			0,89		
3-2/1	30	0,25	185,70	191	4	0,86	1,6	0,49
3-2/2			196,10			1,96		
3-2/3			190,93			1,84		
3-3/1	60	0,25	191,10	180	12	1,34	1,3	0,18
3-3/2			185,12			1,04		
3-3/3			163,05			1,47		



Obr.: 4.24 Změna pevnosti



Obr.: 4.25 Změna tažnosti

5 METALOGRAFICKÉ HODNOCENÍ STRUKTRY

5.1 Příprava vzorků

Pro hodnocení tvaru a velikosti bublin a staženin bylo nutné zhotovit metalografické výbrusy. Řezání a příprava metalografických vzorku byla prováděna na pracovišti Ústavu Slevárenské technologie –VUT FSI v Brně. Vyhodnocování probíhalo na vzorcích Tatur testu a zkušebních odlitcích. Vybraná místa z odlitku jsou znázorněná na obrázcích červenou šipkou. Značení vzorku je totožné se značením předcházejícím.

Pro vyhodnocení pod mikroskopem bylo nutné vzorky ještě upravit. Příprava vzorku nejprve probíhala broušením vzorku na přístroji KOMPACT 1001. Broušení probíhalo na brusném plátnu o drstnosti 400 při otáčkách 200 ot./min po dobu 3 minut. Přítlačná síla byla stanovena na 2 - 3 čárky, které jsou zobrazeny na ukazateli zatížení. Po celý průběh leštění byla přivedena voda, která odplavovala nečistoty z brusného papíru. Po skončení broušení byla provedena vizuální kontrola broušené plochy. V případě výskytu povrcových vrypů na broušené ploše byl celý proces opakován.

Po úpravě vzorku na zařízení KOMPACT 1001 byl vzorek zbaven nečistot na broušené ploše pod proudem tekoucí vody a poté usušen pod proudem teplého vzduchu.



Obr.: 5.1 Brousicí zařízení Kompact 1001

Dále následovalo broušení vzorku na automatickém leštícím přístroji **Struers LaboPol-5**. Podmínky broušení:

- otáčky kotouče 250 ot/min
- po dobu 3 minut

Nejprve probíhalo broušení na brusném kotouči o drsnosti 800 pod proudem tekoucí vody. Po skončení následovalo dokonalé opláchnutí pod proudem vody a usušení. Po vybroušení všech vzorku následovala výměna brusného plátka. Po té byly k leštění použity diamantové pasty s lubrikační složkou DiaDuo se zrnitostí 9 μm , 3 μm a 1 μm . Jedná se o roztok diamantové suspenze a mazadla v jednom. Leštění začínalo s pastou o zrnitosti 9 μm , po vyleštění všech vzorků byl stejný proces proveden s pastou o zrnitosti 3 μm a na konec byla použita diamantová pasta o zrnitosti 1 μm . Ke každé diamantové pastě přísluší předem daný leštící kotouč. Při leštění byla aktivovaná funkce automatického dávkování leštící pasty, před vlastním broušením byla nanesena na plátno slabá vrstva leštící emulze a během broušení byl přívod emulze nastaven na 8 kapek za minutu. Mezi každou výměnou brusné pasty a brusného plátka bylo nutné provést očištění vzorku lihem a osušení fénem.



Obr.: 5.2 Leštící přístroj Struers LaboPol-5



Obr.:5.3 Leštící diamantové emulze

Jako poslední krok přípravy metalografických výbrusu následovalo očištění vzorku v ultrazvukové pračce TESSON 1. Čištění probíhalo v destilované vodě o teplotě okolí po dobu 2 minut.



Obr.: 5.4 Ultrazvuková pračka

Takto připravené vzorky byly foceny na mikroskopu 2303 Intraco micro



Obr.: 5.5 Mikroskop 2303 Intraco micro

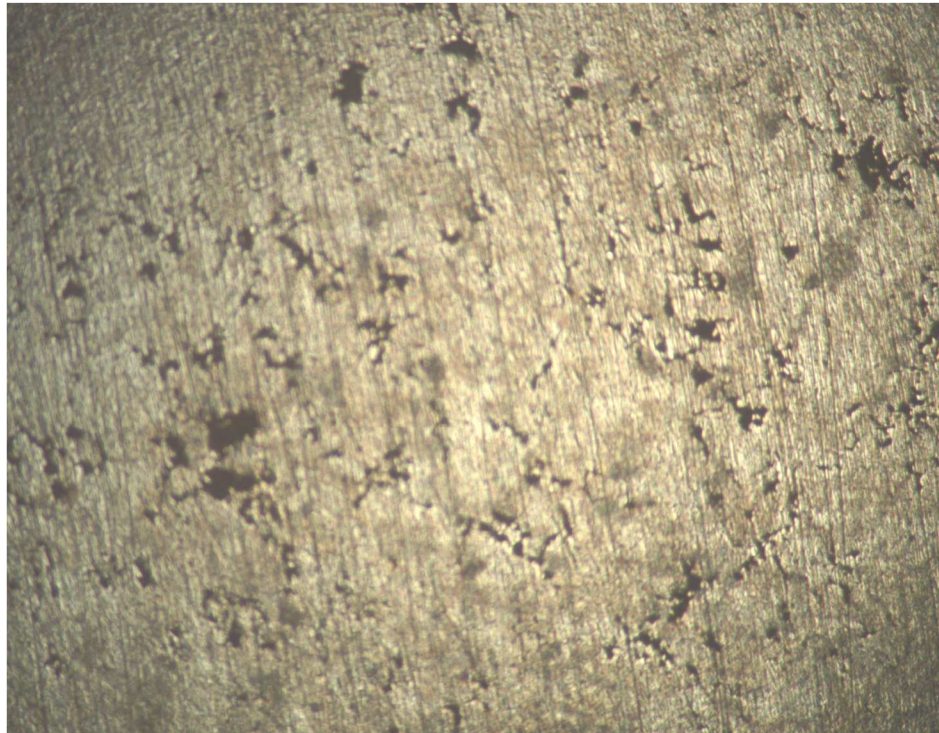
5.2 Metalografické výbrusy Tatur testu

K vyhodnocení metalografických výbrusů byly vybrány čtyři vzorky Tatur testu, od každého materiálu byly vybrány dva testy vždy s nulovým obsahem a nejvyšším obsahem Mikra 100.

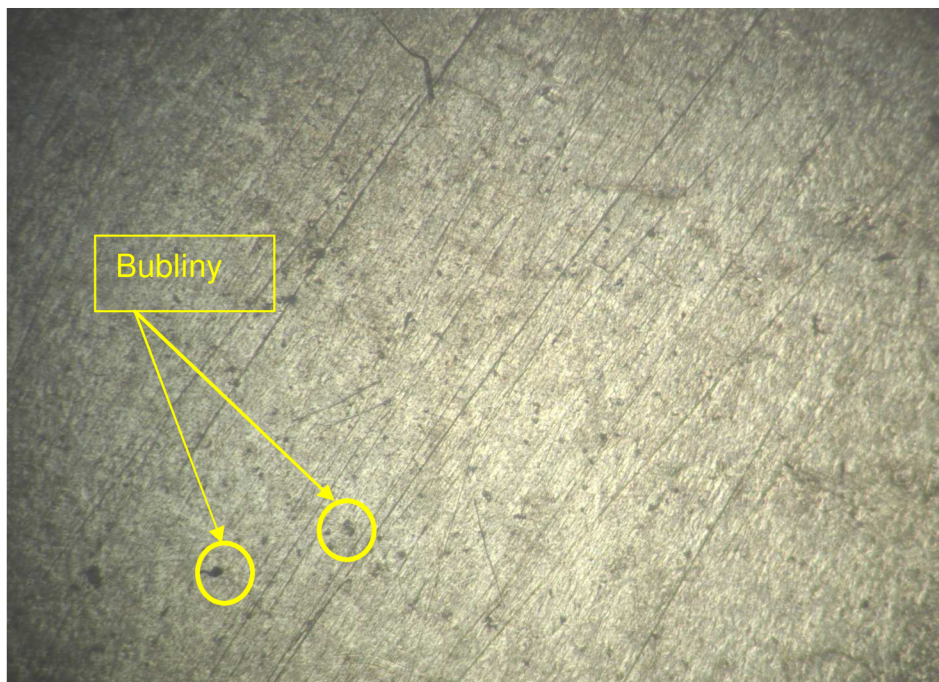


Vyhodnocová
ná oblast

Obr.: 5.6 Řez Tatur testu

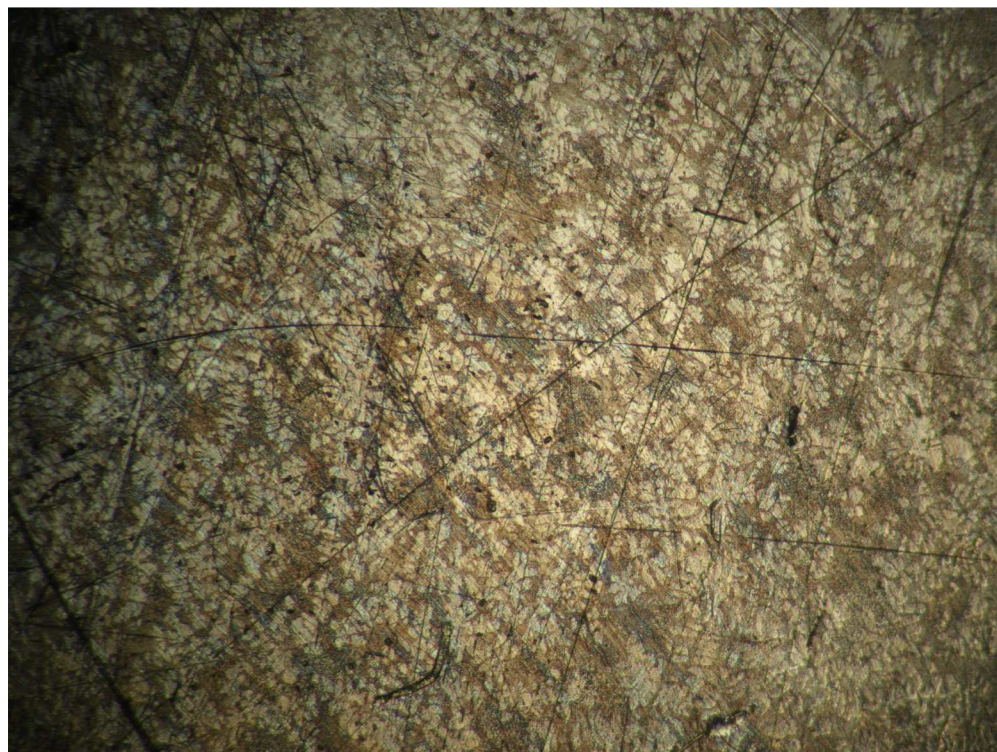


Obr.: 5.7 Struktura Tatur testu materiálu č. 3 (AlSi8Cu3) s 0% Mikro100 (zv. 40x)



Obr.:5.8 Struktura Tatur testu materiálu č. 3 (AlSi8Cu3) s 0,25% Mikro100

Na obr.: 5.7 je výrazná porezita (kombinace plynové dutiny a staženin), na obr.:5.8 je slitina s přidáním Probat-Fluss Mikro 100, tento přípravek způsobil vznik jemných bublin.

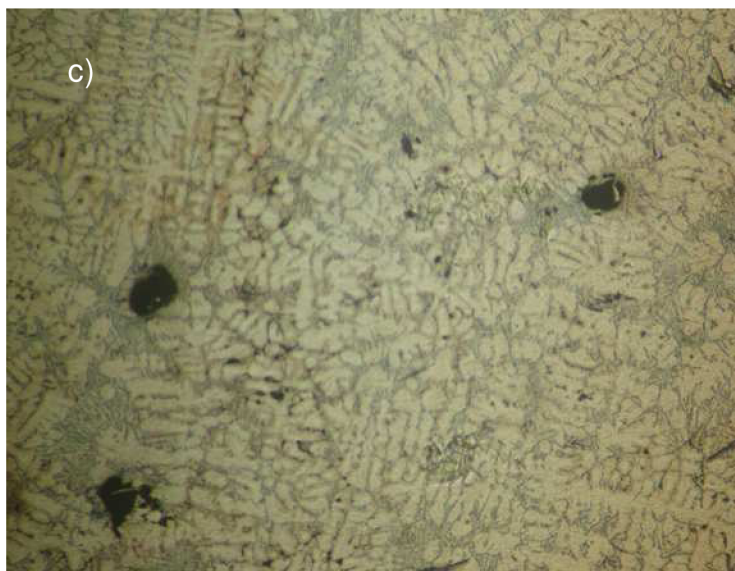
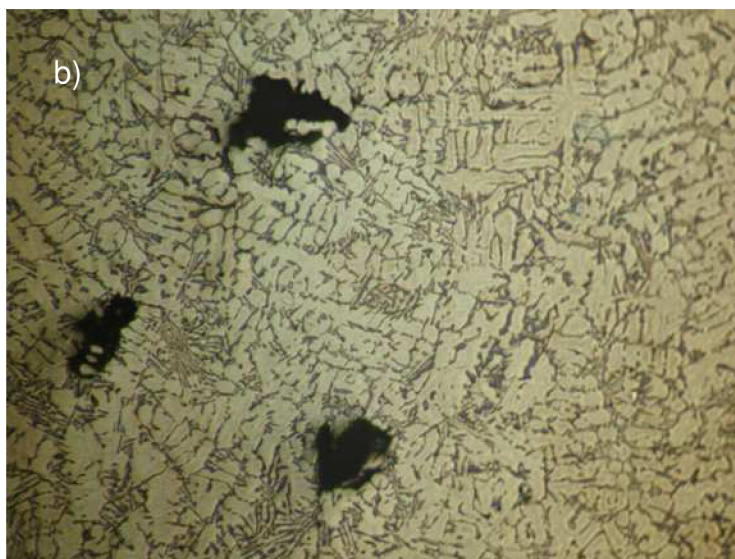
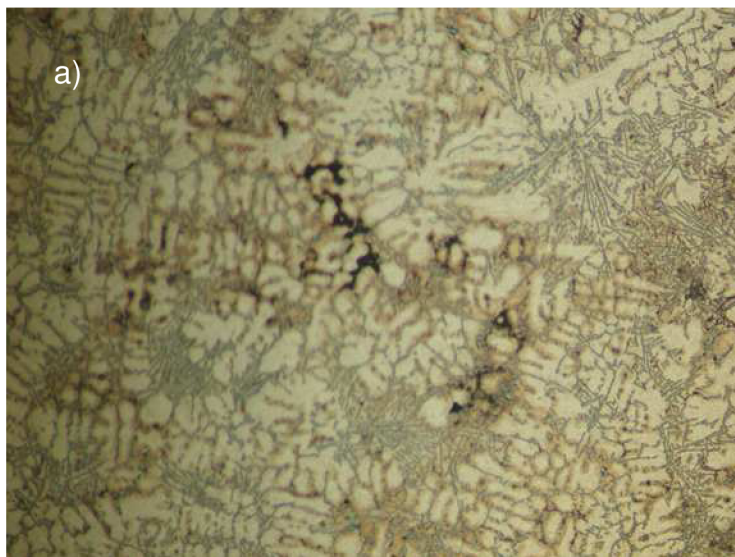


Obr.: 5.9 Struktura Tatur testu materiálu č. 2 (AISI10Mg)

U této slitiny nebyla pozorovaná žádná změna před přidání a po přidání Probat-Fluss Mikro100.

5.3 Metalografické výbrusy odlitků 1-3

Odlitek č. 1



Obr.: 5.10 Struktura kontrolního odlitku 1

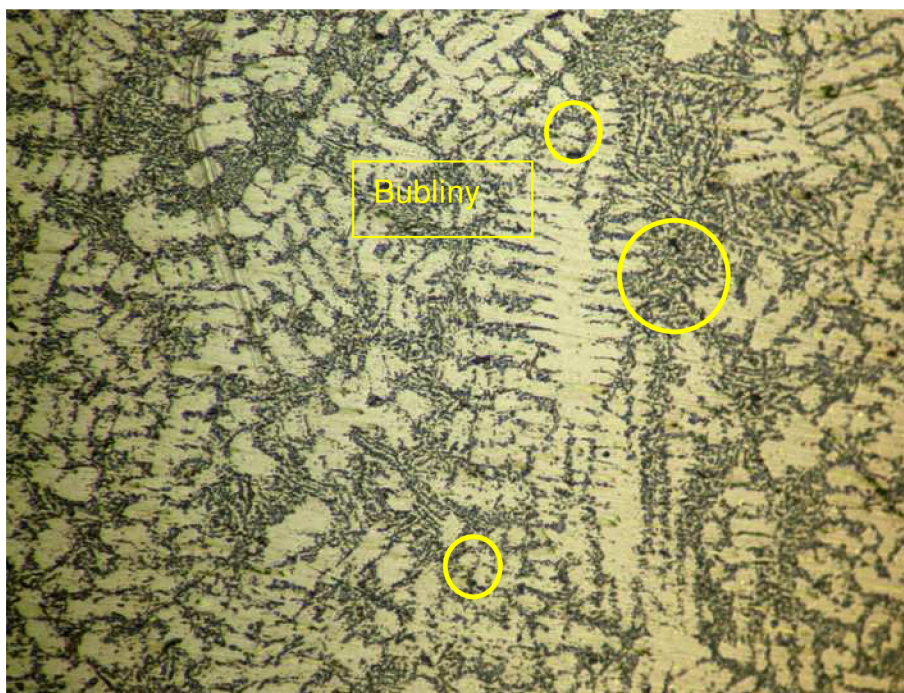
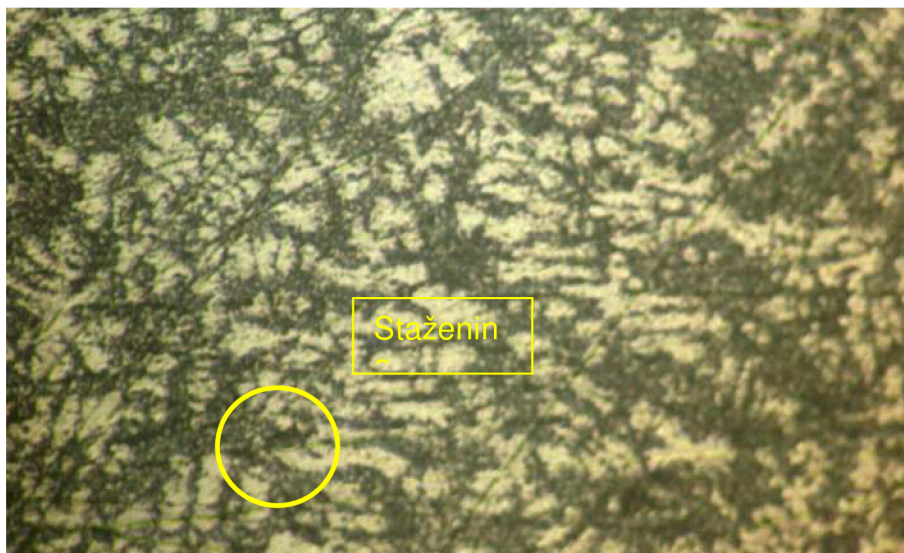
a) bez přidání Mikro 100

b) s 0,15%

c) s 0,3%

Na obr.: 5.10a lze pozorovat rozptýlené mikrostaženiny nepravidelných tvarů vzájemně propojených, s rostoucím obsahem Mikro 100 se tyto staženiny přetvářejí v bubliny.

Kontrolní odlitek 2



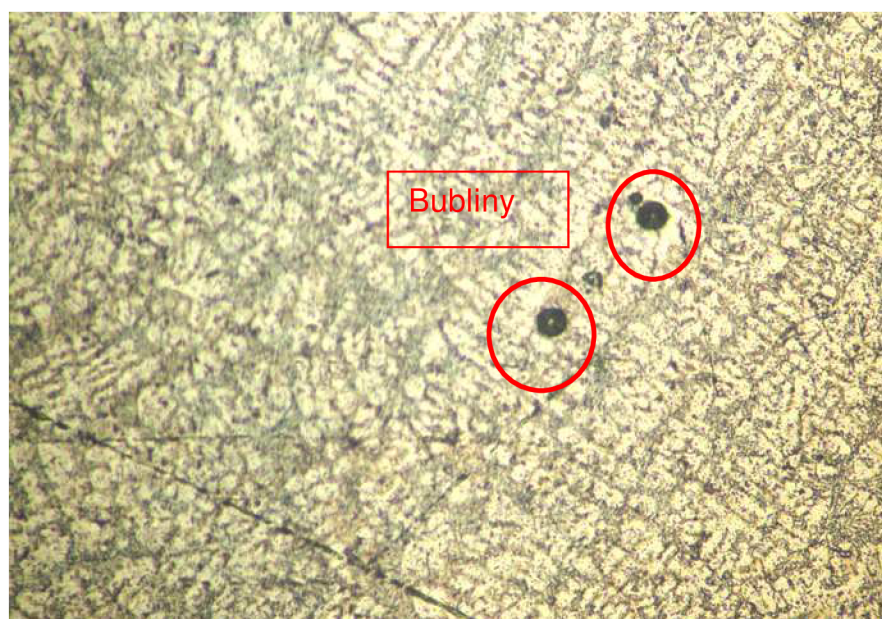
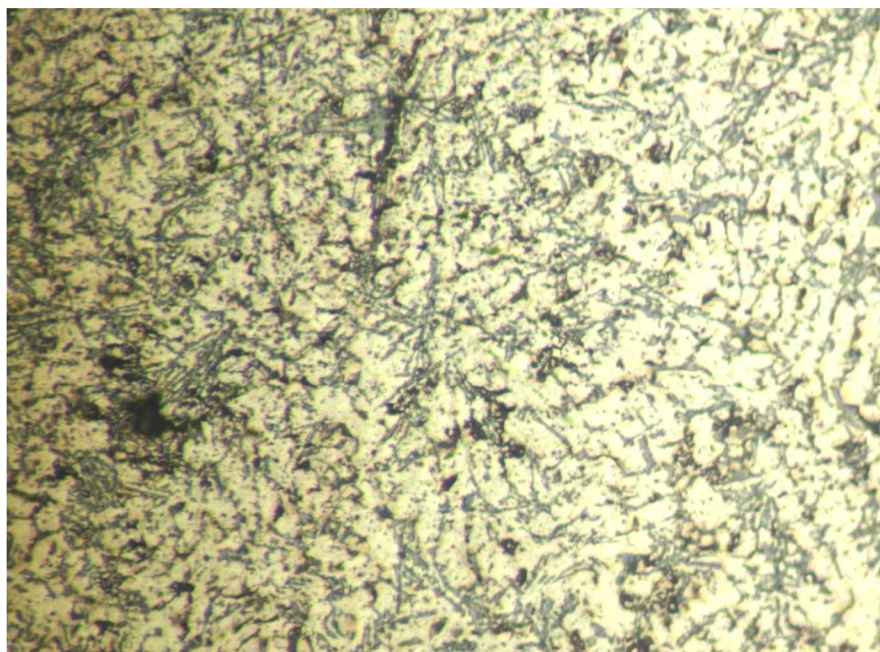
Obr.: 5.11 Struktura kontrolního odlitku 2

a) s 0% Mikro 100 (zv. 40x)

b) s 0,35% Mikro 100(zv. 40x)

Na obr.: 5.11a lze pozorovat staženiny, vlivem Mikra 100 (obr. 5.11b) dojde k naplynění slitiny a k tvorbě malých bublin rozptýlených po větší části objemu.

Kontrolní odlitek 3

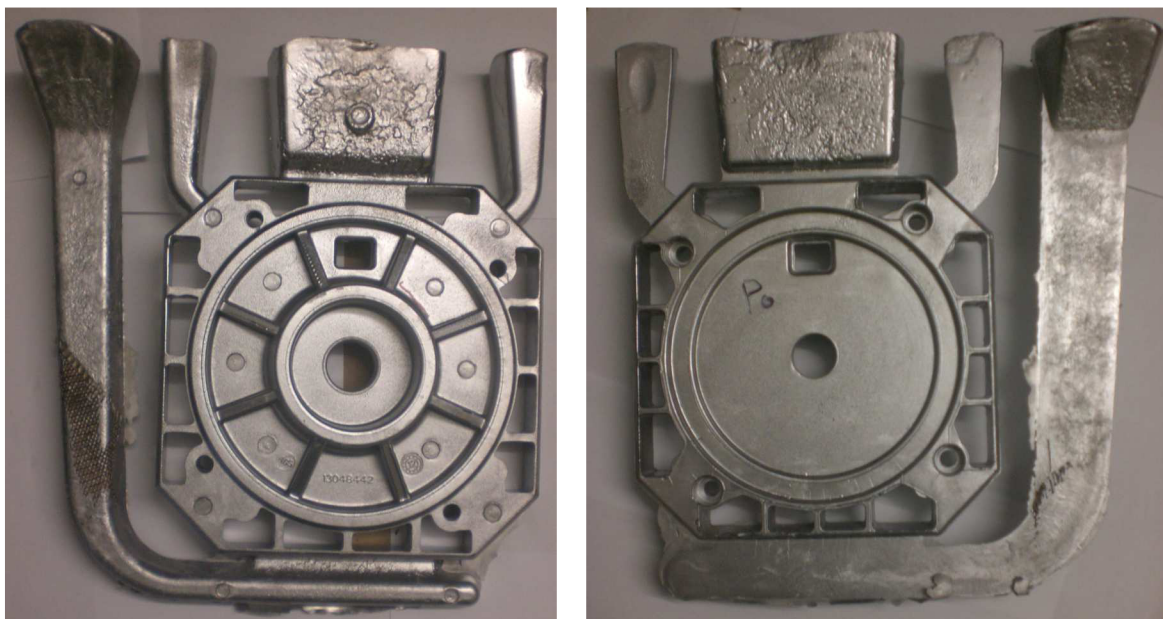


Obr.: 5.12 Struktura kontrolního odlitku 3 a) s 0% Mikro 100

b) s 0,25% Mikro 100

Na obr.: 5.12a je vidět shluk staženin, které se po přidání Mikro 100 (obr.: 5.12b) zcela odstranily a změnily v bubliny.

6 POUŽITÍ PROBAT-FLUSS MIKRO 100 NA PROBLEMATICKÉM ODLITKU



Obr.: 6.1 Kontrolní odlitek 4

Tab.: 6.1 Základní popis kontrolního odlitku 4

Materiál odlitků	EN AC-AISi8Cu3
Teplota kovů [°C]	740
Teplota kokily [°C]	300-340
Způsob lití	Ruční kokilové lití

Tab.: 6.2. Chemické složení materiálu odlitků – určeno na Spektromax F

Chemické složení materiálu EN AC-AISi8Cu3								
Prvek	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
%	8,95	0,65	2,24	0,265	0,248	0,038	0,091	0,99
Prvek	Ti	Ag	B	Be	Bi	Ca	Cd	Co
%	0,045	0,0009	0,0016	<0,0001	0,0037	0,0016	0,0006	<0,001
Prvek	Li	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr
%	<0,0002	0,0005	0,0027	0,064	0,03	<0,0001	0,0053	0,0045
Prvek	Al							
%	86,4							

Postup získání a vyhodnocování zkušebních vzorků a kontrolního odlitku je totožný s postupy v předcházející kapitole.

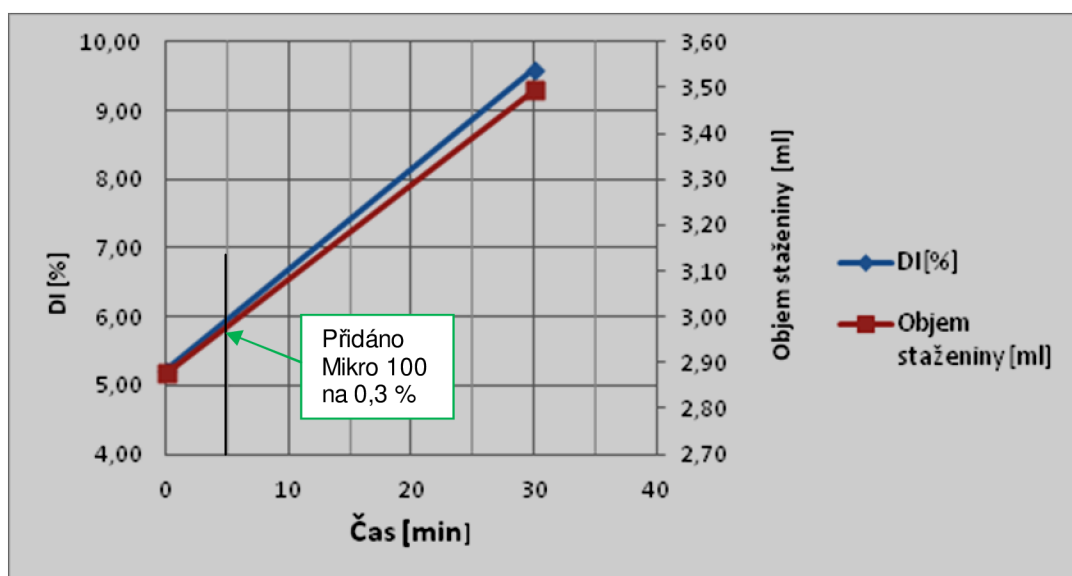
6.1 Vyhodnocení DI a objemu staženiny

Tab.: 6.3 Vyhodnocení DI

Označení materiálu	Číslo měření	Čas	Koncentrace Mikro 100	DI	Teplota kovu	Teplota kokily
		min	%	%	°C	°C
EN AC AlSi8Cu3	1-1	0	0	5,22	740	190
		5	přidáno Mikro 100 na 0,3%			
	1-2	30	0,3	9,60		

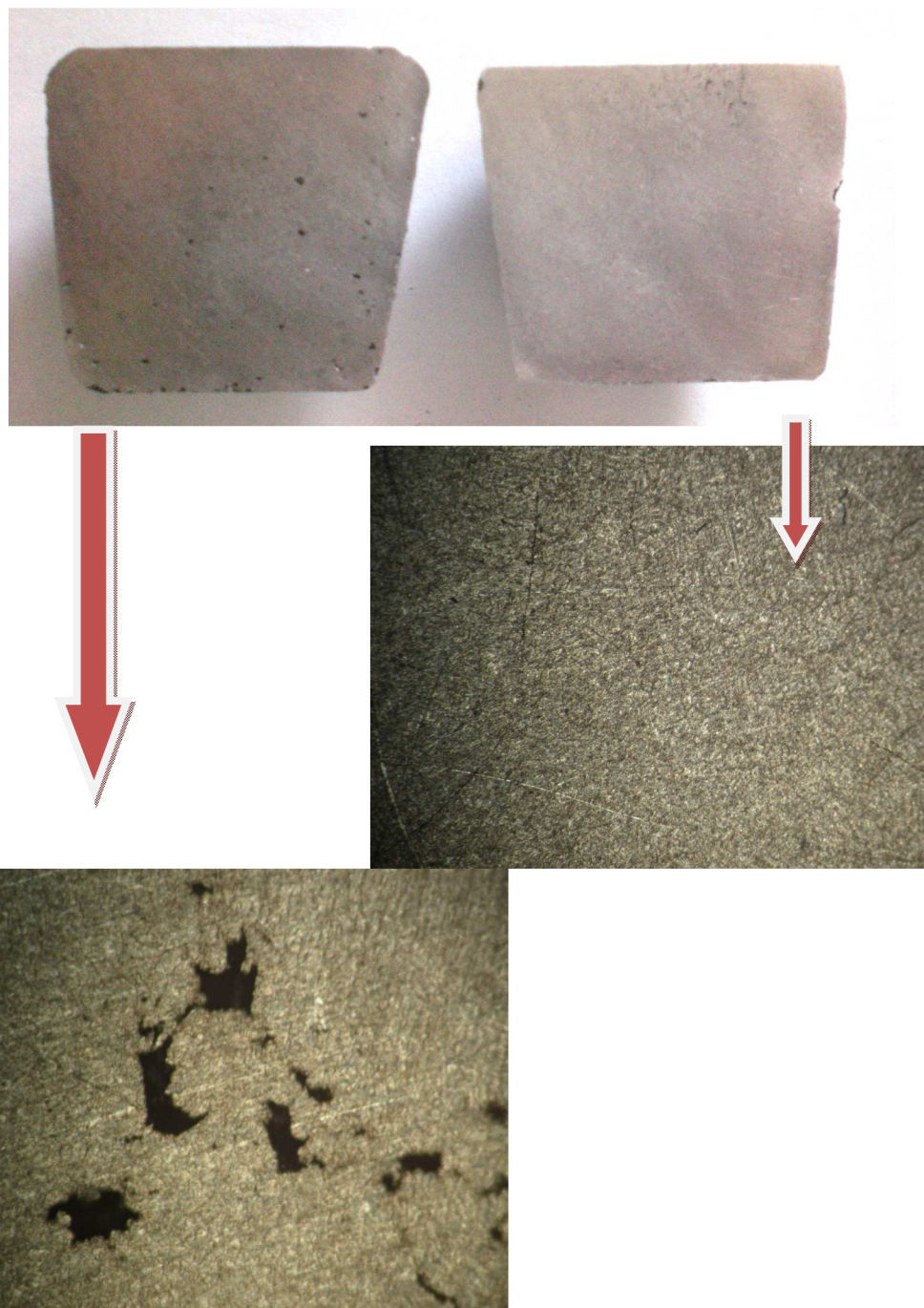
Tab.: 6.4 Objem staženiny

Chemické složení	Číslo měření	Čas	Koncentrace Mikro 100	$m_{\text{písku}}$	$\rho_{\text{písku}}$	V
		min	%	g	g/cm ³	ml
EN AC AlSi8Cu3	1-1	0	0	7,62	2,65	2,88
		5	přidáno Mikro 100 na 0,3%			
	1-2	30	0,3	9,26		3,49

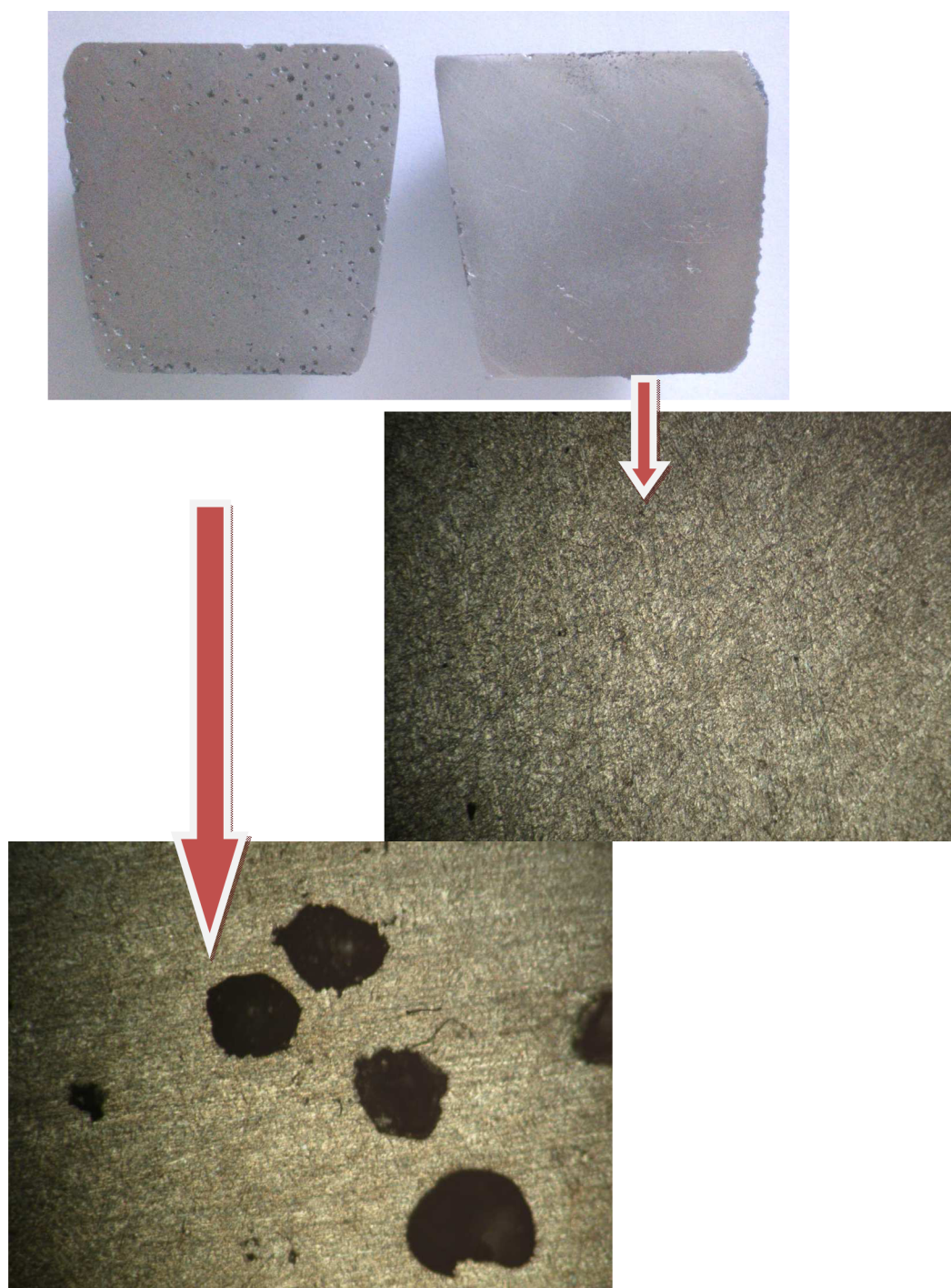


Obr.: 6.2 Změna DI a objemu staženiny

6.2 Vyhodnocení metalografické struktury ze vzorků použitých ke zjištění DI



Obr.: 6.3 Struktury Dichte indexu s obsahem 0 % Mikro 100



Obr.: 6.4 Struktury Dichte indexu s obsahem 0,3% Mikro 100

Na Obr.: 6.3 je patrná tvarově rozmanitá porezita s velkým faktorem kulatosti ($s = 3-4$), po přidání Mikro 100 obr.: 6.4, proběhne změna rozmanité porezity na téměř ideální kulovitý tvar s faktorem kulatosti $s = 1$.

6.3 Hodnocení makro a mikro struktury

Odlití kontrolního odlitku

Pro ověření účinku Probat-Fluss Mikro 100 byly odlity tři kontrolní odlitky. Tavenina pro tyto odlitky byla připravena stejným způsobem jako u kontrolních odlitků 1, 2 a 3. První kontrolní odlitek byl odlit z taveniny s hodnotou Dichte indexu $DI=0,74\%$; tento odlitek byl označen 4-0. Po odlití prvního odlitku byl v tavenině navýšen Dichte index přilítím taveniny s vyšším naplyněním a tím se zvýšil Dichte index na $DI= 7,62\%$ a poté byl odlit další kontrolní odlitek označen 4-1. Po odlití druhého odlitku bylo do taveniny přidáno Mikro 100. Mikro 100 bylo přidáno na koncentraci 0,3%, po jeho roztavení a zpracování do taveniny se nechala tavenina 20 minut odstát a proběhlo odlití třetího kontrolního odlitku označeného jako 4-2.

Po odlití kontrolních odlitku proběhla rentgenová kontrola na zařízení Philips (Obr.:). Na tomto zařízení byla nalezena problematická místa odlitku. Po zjištění místa byl odebrán metalografický vzorek.



Obr.: 6.5 Rentgenové zařízení Philips

6.3.1 Hodnocení makro struktury

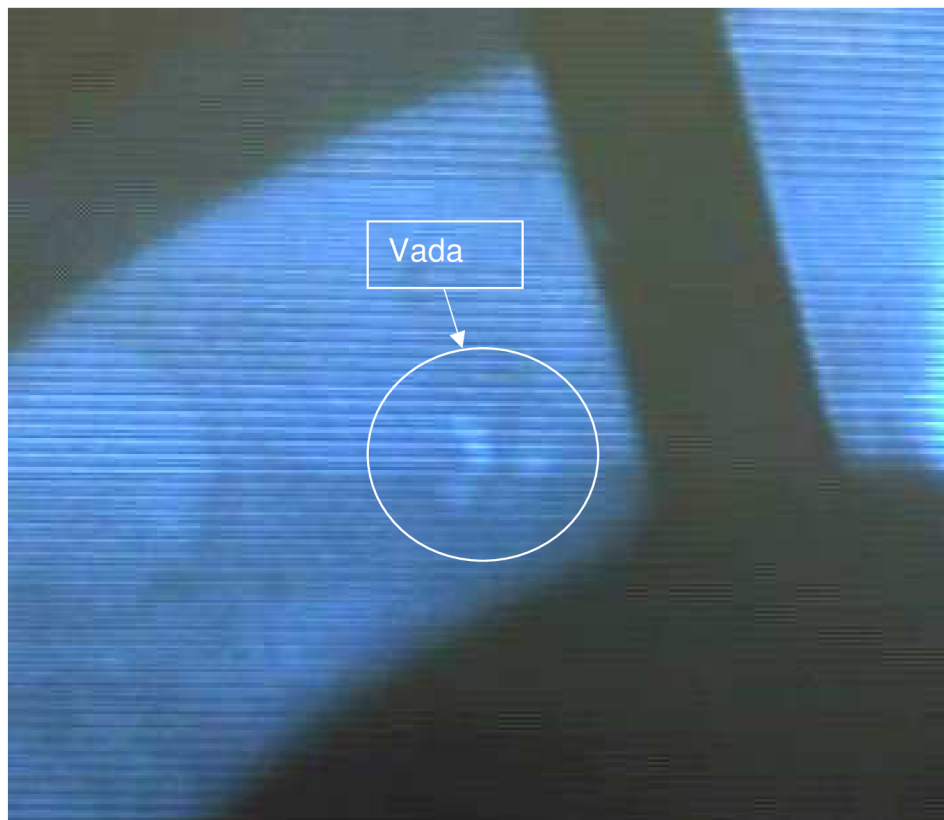
Rentgenový snímek kontrolního odlitku 4-0



Obr.: 6.6 Rentgenový snímek odlitku 4-0



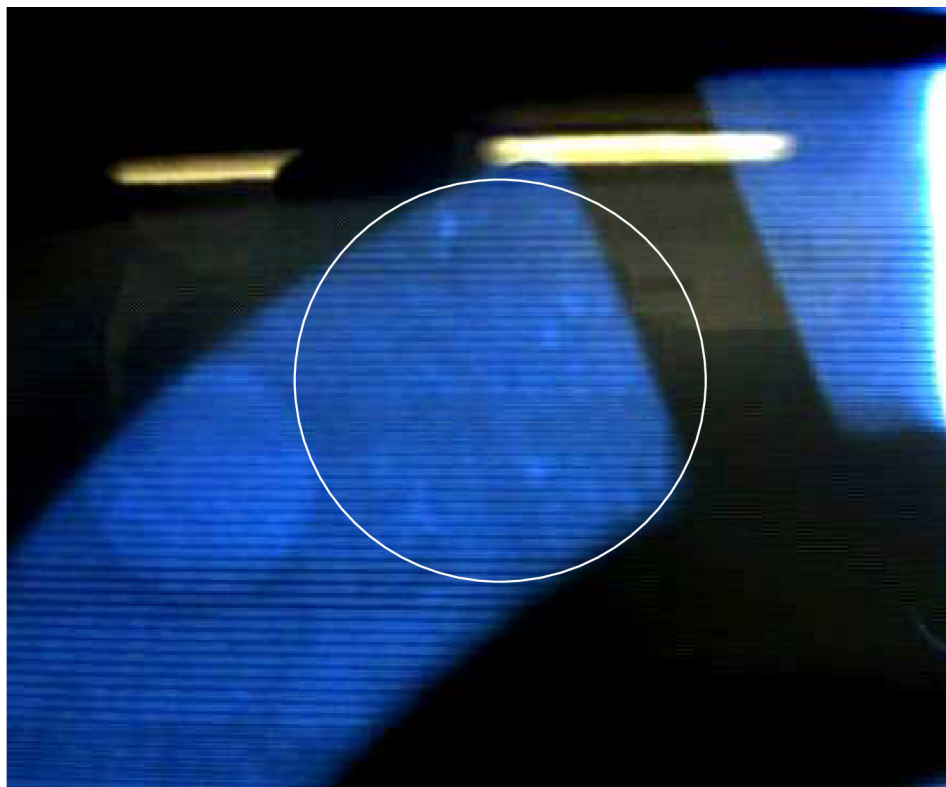
Obr.:6.7 Makrostruktura odlitku 4-2, s výraznou perezitou

Rentgenový snímek kontrolního odlitku 4-1

Obr.: 6.8 Rentgenový snímek odlitku 4-1



Obr.:6.9 Makrostruktura odlitku 4-1, s porezitou

Rentgenový snímek kontrolního odlitku 4-2

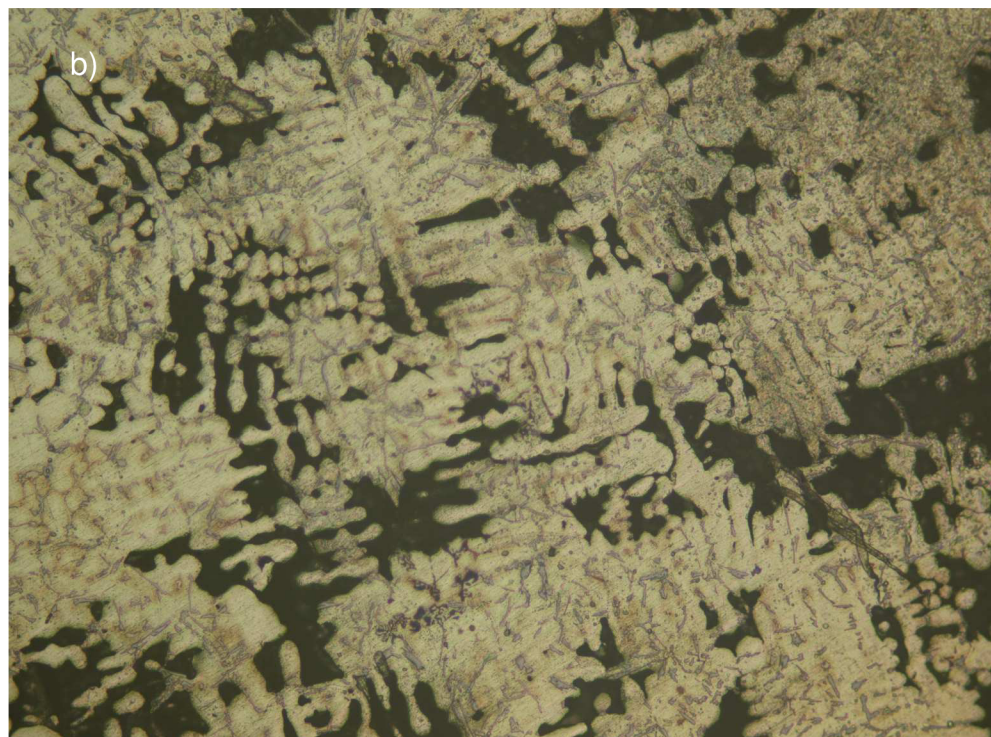
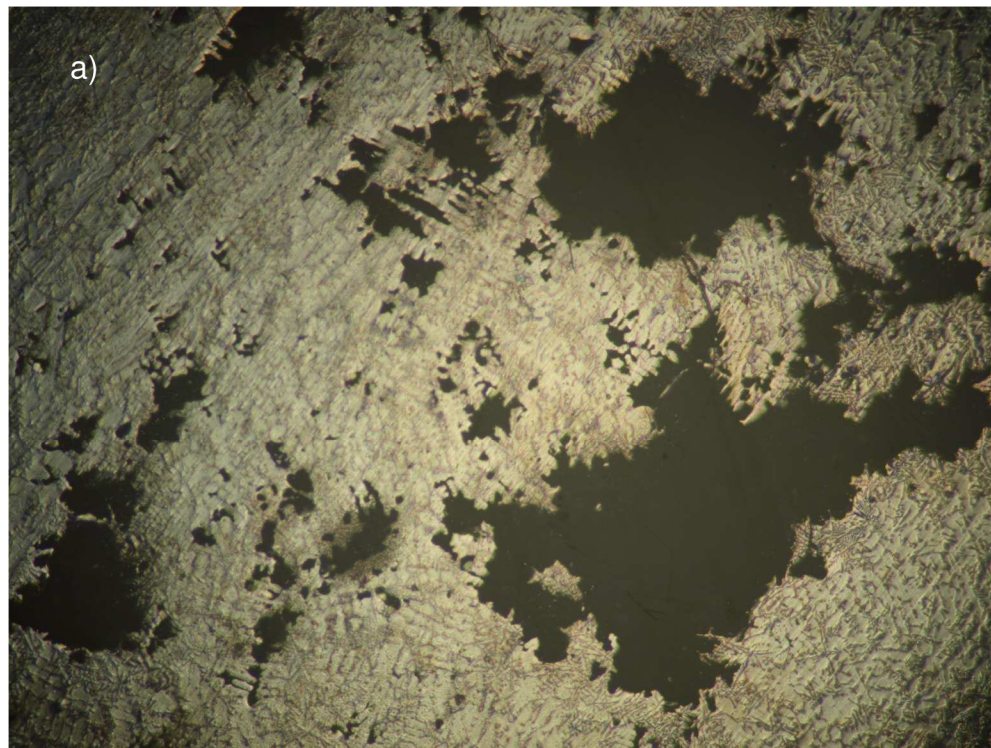
Obr.: 6.10 Rentgenový snímek odlitku 4-2



Obr.:6.11 Makrostruktura odlitku 4-2, bez porezity

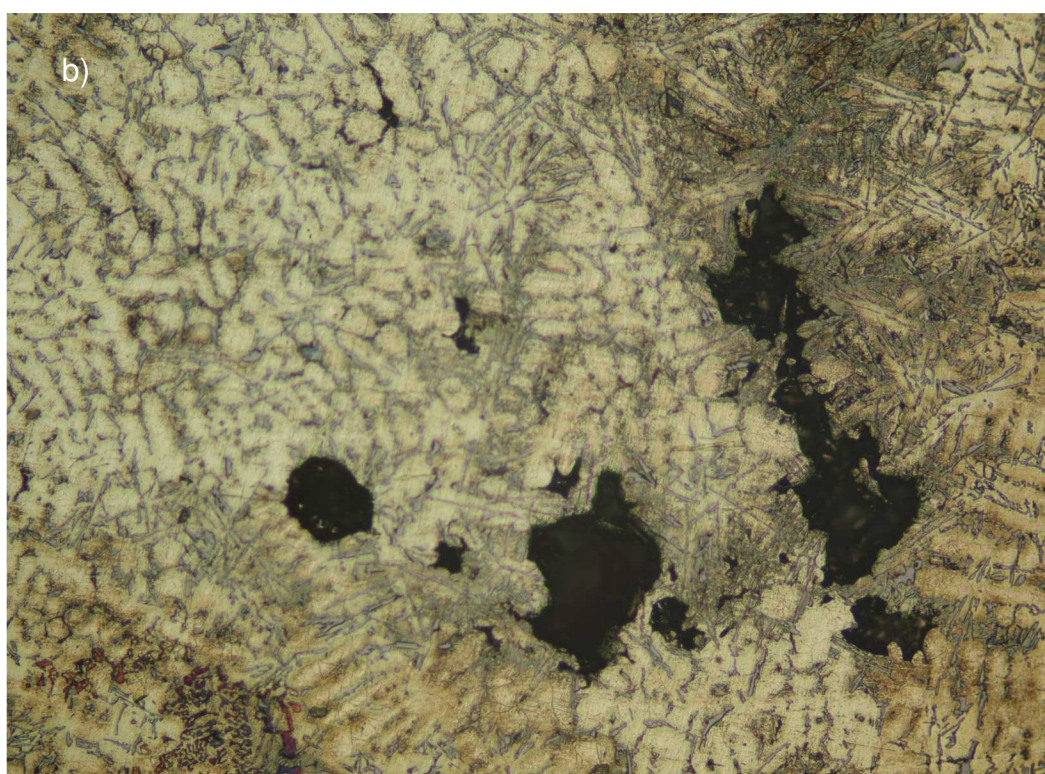
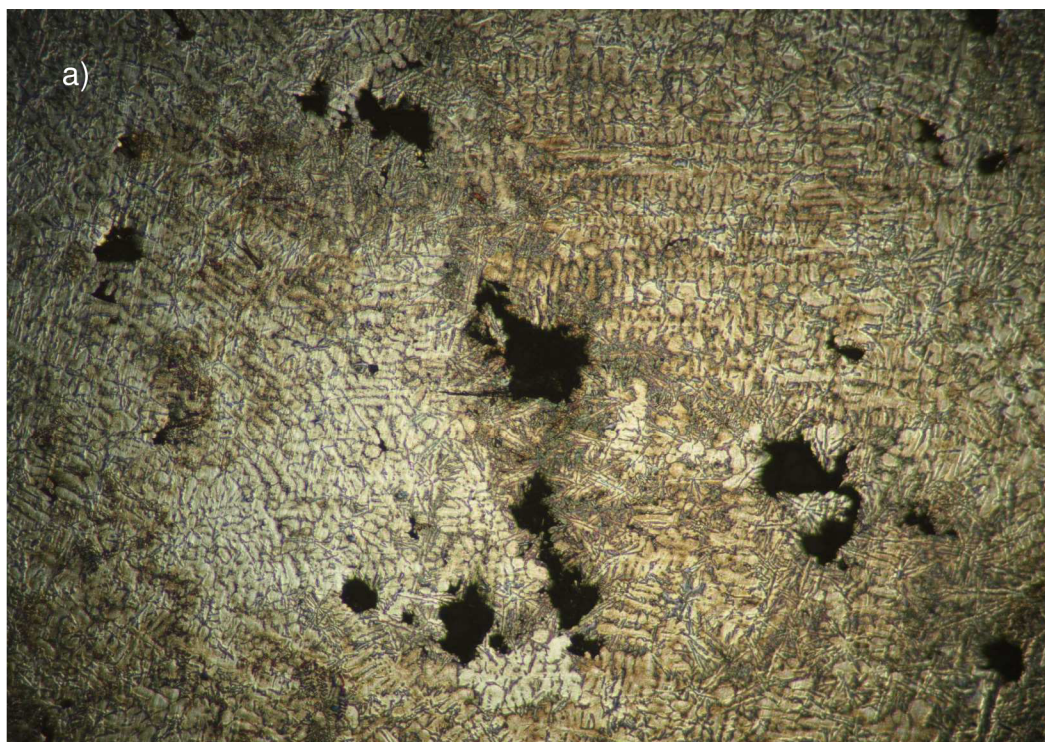
6.3.2 Hodnocení mikro struktury

Struktura kontrolního odlitku 4-0

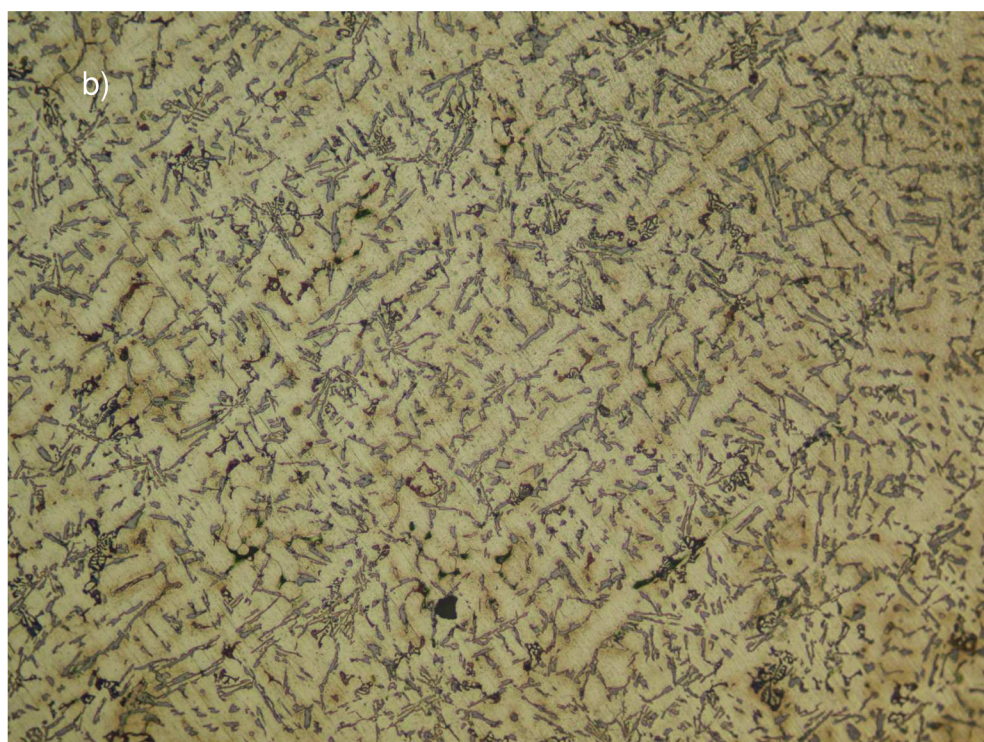


Obr.: 6.12 Struktura odlitku 4-0 a) zvětšeno 40x

b)zvětšeno 100x

Struktura kontrolního odlitku 4-1

Obr.: 6.13 Struktura odlitku 4-1 a) zvětšeno 40x
b) zvětšeno 100x

Struktura kontrolního odlitku 4-2

Obr.: 6.14 Struktura odlitku 4-2 a) zvětšeno 40x

b) zvětšeno 100x

6.4 Vyhodnocení rentgenových snímků a struktur kontrolního odlitku 4.

Na rentgenovém snímku obr.: 6.6 lze pozorovat výskyt vady typu staženin, která se vyskytuje v místě přechodu dvou stěn. Po zvýšení hodnoty Dichte indexu z hodnoty $DI=0,74\%$ na $DI=5,22\%$, na rentgenovém snímku obr.: 6.8 lze pozorovat zmenšení velikosti této vady. S použitím Mikro 100 se tato vada rozptýlila po větší části odlitku, jak je znázorněno na obr.: 6.10.

Na mikrostruktuře kontrolního odlitku 4-0 lze pozorovat výraznou porezitu (s výskytem staženin a mikrostaženin) s vysokým faktorem kulatosti. Po zvýšení hodnoty Dichte indexu se tyto výrazné vady zmenšily a jejich tvar se začal blížit tvaru bubliny. Na struktuře kontrolního odlitku 4-2 (s obsahem 0,3 % přípravku Mikro 100) je výskyt jemných bublin s faktorem kulatosti $s=1$. Malé bubliny se u odlitku 4-2 vyskytovaly po větší ploše, jak je vidět na rentgenovém snímku obr.:

7 ZÁVĚR

Použití představeného přípravku PROBAT-FLUSS MIKRO 100 umožňuje změny dutin způsobených stahováním kovu. Slitina bez obsahu tohoto přípravku má sklon tvořit velké staženiny a necelistvosti. Slitina ošetřena tímto přípravkem vytváří místo těchto staženin velice jemné kulovité bubliny, rozptýlené po větším objemu. Použití PROBAT-FLUSS MIKRO 100 je velice účinné u typu odlitků, které nelze dostatečně nálitkovat.

Přidání Přípravku PROBAT-FLUSS MIKRO 100 nemá žádný negativní dopad na mechanické vlastnosti.

Nejlepší účinky vykazoval tento přípravek u slitiny AISI8Cu3, což může být způsobeno tím, že tato slitina, má o 2 % nižší obsah Si, než druhá použitá slitina AISi10Mg. AISi10Mg má lepší slévárenské vlastnosti a menší sklon k tvorbě staženin, než AISI8Cu3, což může být způsobeno užším intervalem tuhnutí (zvýšením obsahu Si o 1% se teplotní interval tuhnutí sníží o 7°C).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

- [1] HORKÝ, K., VRTÍLEK, J., *Eliminace staženin pomocí přípravku Probat Fluss MIKRO 100*. Slévárenství. 2008. 7-8, s. 357-358.
- [2] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [3] BOLIBRUCHOVÁ, Dana, TILLOVÁ, Eva.: *Zlívarenské zliatiny Al-Si*. Ťilina: Ťilinská univerzita v Ťilině, 2005. 180 s. ISBN 80-8070-485-6.
- [4] ZALENSAS, DL. *Aluminium Casting technology*. 2nd ed. Des Plaines, Illinois: AFS, 1993. 423 p. ISBN 0-87433-157-9.
- [5] LEFNER, J. *Hodnocení mechanických a strukturních vlastností nového bloku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 115 s. Diplomové práce.
- [6] TALANDA, I. *Studium hlavních faktorů, které ovlivňují jakost u technologických procesů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 39s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Jaroslav Čech, CSc.
- [7] VOGEL, W., et. al. Vermeidung von schwindungsbedingten Gussfehlern durch nanostrukturierte Oxide. *Giesserei*. 2/2011, s. 52-63.
- [8] Interní materiály firmy Šebesta- služby slévárnám, s.r.o., Brno.
- [9] Propagační materiály firmy Aluminium Group, s.r.o., dostupné na ww.aluminiumgroup.cz [cit. 2012-05-02].
- [10] NOVÁKOVÁ, L. *Snížení nákladů na výrobu odlitků ze slitin hliníku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 93 s, 5 příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/ Symbo	Jednotka	Popis
$\Delta m_{\text{písku}}$	[g]	rozdíl hmotnosti ostřiva
A	[%]	tažnost
A_p	[m ²]	obsah póru
A_{pr}	[%]	tažnost průměrná hodnota
F	[-]	tvárový faktor
K	[cm ³ H ₂ ·(100 g Al) ⁻¹ ·Pa ^{-1/2}]	konstanta pro daný kov
m_{tt}	[g]	hmotnost Tatur testu
$m_{vz\ at}$	[g]	hmotnost na vzduchu
$m_{vz\ H_2O}$	[g]	hmotnost vzorku ponořeného ve vodě
p_{atm}	[Pa]	tlak atmosferický
p_{H_2}	[Pa]	parciální tlak plynu v okolní atmosféře
p_{met}	[Pa]	tlak metalostatický
p_{σ}	[Pa]	tlak vyvolaný povrchovým napětím
R	[m]	poloměr bubliny
R _m	[MPa]	pevnost v tahu
R _{m_{pr}}	[MPa]	průměrná pevnost v tahu
S	[cm ³ H ₂ ·(100 g Al) ⁻¹]	rozpuštěnost vodíku
S	[-]	faktor kulatosti
U	[m]	obvod plochy
V _{H₂}	[ml]	objem vyloučeného plynu
V _{st}	[ml]	objem stažení
V _{tt}	[ml]	objem Tatur testu
V _{vz}	[ml]	objem vzorku
ρ_{H_2O}	[g/cm ³]	hustota vody
ρ_{tt}	[g/cm ³]	hustota tatur testu
$\rho_{vz\ at}$	[g/cm ³]	hustota vzorku ztuhlého při atm. Tlaku
$\rho_{vz\ vak}$	[g/cm ³]	hustota vzorku ztuhlého ve vaaku
$\rho_{\text{písku}}$	[g/cm ³]	hustota písku
ρ_{vz}	[g/cm ³]	hustota kovu ve vzorku
Σ	[N·m ⁻¹]	povrchové napětí na rozhraní tavenina a bublina
σ_{p-t}	[N·m ⁻¹]	povrchové napětí mezi plynem a taveninou
σ_{z-p}	[N·m ⁻¹]	povrchové napětí mezi zárodkem a plynem
σ_{z-t}	[N·m ⁻¹]	povrchové napětí mezi zárodkem a taveninou
Φ_1	[mm]	průměr v jednom směru
Φ_2	[mm]	průměr ve druhém směru
$\Phi_{stř.}$	[mm]	průměr střední