

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2017

**EDUARD
DVOŘÁK**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořák** Jméno: **Eduard** Osobní číslo: **408871**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv metalurgických procesů na kvalitu Al-Si slitin

Název bakalářské práce anglicky:

The Influence of metallurgy on quality of Al -Si alloys

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod
2. Typy slévárenských slitin Al-Si
3. Metody hodnocení kvality Al-Si slitin
4. Analýza tavicího procesu
5. Návrh změn a zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

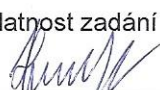
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. Aleš Herman Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

10.5.2017
Datum převzetí zadání

Dvořák
Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího této práce Ing. Aleše Hermana, Ph.D., jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Dne

.....

Podpis

ABSTRAKT:

Tato diplomová práce se v úvodní části zabývá obecným přehledem nejčastěji používaných slévárenských slitin Al-Si. V další kapitole se věnuje popisu metod hodnocení kvality slitiny. V praktické části se zabývá vlivem metalurgických procesů na kvalitu slitiny Al-Si. V praktické části jsem provedl měření indexu hustoty a teploty. Práce obsahuje i snímky makrostruktury hodnocených vzorků.

KLÍČOVÁ SLOVA: siluminy, slitiny Al-Si, index hustoty

ABSTRACT:

This diploma thesis deals with the general overview of the Al-Si foundry alloys. The next chapter deals with description of alloy quality evaluation methods. The practical part deals with the influence of metallurgical processes on Al-Si alloy quality. In the practical part I carried out the density index and temperature. The work also includes pictures of the macrostructure of the analyzed samples.

KEYWORDS: silumins, Al-Si alloy, density index

PODĚKOVÁNÍ

V úvodu práce bych rád poděkoval vedoucímu své práce panu Ing. Aleši Hermanovi, Ph.D., za cenné rady a veškeré praktické připomínky poskytnuté při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jaroslavu Doležalovi z firmy METAL TRADE COMAX, a. s., Velvary, za poskytnuté informace a podklady k této práci.

Obsah

1	Úvod	1
2	Typy slévárenských slitin Al-Si	2
2.1	Výroba a historie používání hliníku a jeho slitin	2
2.2	Slévárenské slitiny hliníku	4
2.3	Chemické složení slitin hliníku	5
2.4	Charakteristika přísadových prvků a nečistot ve slitinách Al-Si	6
2.5	Slitiny typu Al-Si	10
2.6	Slitiny typu Al-Si-Cu	11
2.7	Slitiny typu Al-Si-Mg	12
2.8	Označování slévárenských slitin hliníku	13
2.9	Číselné značení slitin dle ČSN EN 1706	13
2.10	Značení slitin chemickými značkami dle ČSN EN 1706	14
3	Metody hodnocení kvality Al-Si slitin	15
3.1	Kontrola chemického složení	15
3.2	Měření teploty	16
3.3	Kontrola obsahu oxidů a nekovových prvků	18
3.4	Měření naplynění taveniny	19
3.5	Metalografie	22
4	Analýza tavicího procesu	24
4.1	Určení chemického složení slitiny	25
4.2	Měření naplynění taveniny	28
4.3	Spotřeba dusíku	32
4.4	Metalografické hodnocení struktury	37
5	Návrh změn a zhodnocení	46
5.1	Zhodnocení měření	46
5.2	Návrh změn	47
6	Závěr	48
7	Použitá literatura:	50
8	Seznam obrázků	52
10.1	Příloha 1	55
10.2	Příloha 2	55

10.3	Příloha 3	55
10.4	Příloha 4	55
10.5	Příloha 5	55

1 Úvod

Tato práce se v rešeršní části zabývá popisem slévárenských slitin Al-Si. V první části jsou popsány slévárenské vlastnosti hliníku, chemické složení slitin hliníku a vliv přísadových prvků. Dále jsou popsány základní slévárenské slitiny a jejich značení. Další částí práce je popis metod hodnocení kvality slitin Al-Si.

V praktické části se zaměřuji na analýzu tavicího procesu. Tato část práce byla prováděna ve společnosti METAL TRADE COMAX, a. s., Velvary. Společnost se věnuje výrobě slitin a předslitin neželezných kovů. Při výrobě slitin Al-Si v různých tavných se nestejnoměrně využívá odplynění taveniny dusíkem.

Cíle práce

Hlavním cílem práce bylo zjistit, jaký má při výrobě ingotů vliv na kvalitu slitiny počet odplynění a s tím spojená spotřeba dusíku. Dalším cílem bylo zjistit, jaké faktory mohou ovlivňovat kvalitu slitiny a navrhnout změny, které by vedly ke zlepšení výroby slitiny.

2 Typy slévárenských slitin Al-Si

2.1 Výroba a historie používání hliníku a jeho slitin

Hliník je jedním z nejrozšířenějších kovů vyskytujících se v přípustné části zemské kůry. Vyskytuje se zde v množství, které činí asi 8 %. Zaujímá tak třetí místo za kyslíkem a křemíkem. Hliník je vázán ve sloučeninách, jako jsou bauxit, kryolit, korund, spinely, kaolin a další. Jako základní surovina pro výrobu hliníku se používá bauxit (podle svého naleziště, města Les Baux ve Francii). Bauxit je hydratovaný oxid hlinitý s obsahem oxidů železa, křemíku a titanu. Obsah Al_2O_3 v bauxitu bývá kolem 50 %. Odtud se hliník získává elektrolýzou roztoku hlinitého v roztavených fluoridech. [2]

Celý výrobní proces je velmi složitý a skládá se ze dvou zásadních etap:

- Výroba oxidu hlinitého z hlinitanových rud. Proces se skládá z mletí, chemického zpracování hlinitanových rud loužením a následného žhání na 1200–1300 °C.
- Redukce oxidů na kovový hliník elektrolytickým způsobem z elektrolytu, kterým je roztavený kryolit (Na_3AlF_6) a v něm rozpuštěný oxid hlinitý (Al_2O_3) při teplotě 950-970 °C.

Výroba hliníku z primárních surovin je energeticky velice náročná. Pro představu, k výrobě 1 tuny hliníku jsou zapotřebí asi 4 tuny bauxitu, zhruba 20 GJ tepelné energie a 14 MWh elektrické energie. Takto získaný hliník dosahuje čistoty až 99,9 %. [1]

Z hlediska historického je používání hliníku, oproti jiným kovům, velmi krátké:

- Poprvé byl hliník laboratorně získán chemickou redukcí draslíku roku 1825 dánským fyzikem a chemikem Hansem Christianem Oerstedem.
- Roku 1854 Francouz Henri Saint-Claire Deville vyrábí za finanční podpory císaře Napoleona III. již technicky významnější množství (tyč hmotnosti 1 kg). Tento výrobek představuje veřejnosti o rok později na světové výstavě. Cena se pohybovala okolo 2000 franků.

- Výrobu hliníku elektrolýzou bauxitu v roztaveném kryolitu nezávisle na sobě patentují roku 1886 Francouz Paul T. Héroult a Američan Charles M. Hall. Této metody se používá k výrobě hliníku dodnes.
- První hutě byly postaveny v letech 1887-8, které znamenají prudký rozvoj průmyslové výroby hliníku. Roku 1887 byl použit hliníkový plech na stavbu vzducholodí.
- Od roku 1903 začínají pokusy s využitím hliníku v konstrukci motorů, zejména pak pro výrobu pístů.
- Snahy o výrobu slitin se zvýšenými pevnostními vlastnostmi pomocí tepelného zpracování se datují do roku 1906, kdy bylo objeveno tzv. vytvrzování, kterým se u slitiny AlCu4Mg podařilo dosáhnout tvrdosti až 110 HB.
- 1921 objevuje Pacz metodu zjemnění eutektika slitin Al-Si modifikací sodíkem, která má za následek výrazné zlepšení pevnosti, tvrdosti a tažnosti.
- K velkému rozvoji výroby hliníkových slitin dochází v důsledcích obou světových válek, kdy dochází k masivní výrobě letadel.
- Ve 20. a 30. letech minulého století se začíná věnovat pozornost recyklaci hliníkových slitin. V této souvislosti se vyvíjejí slitiny typu AlSiCu, později označované jako slitiny druhého tavení. [1,2]

Po 2. světové válce dochází k prudkému nárůstu výroby hliníkových odlitků díky rozšíření technologie lití do kovových forem, převážně tlakovým litím. Touto metodou se v současné době vyrábí přibližně 50 % z celkového množství hliníkových odlitků. Přibližně druhou polovinu z celkové produkce tvoří odlitky vyráběné gravitačním a nízkotlakým litím. Podíl odlitků litých do pískových forem je poměrně malý (asi 5 %). Největším odběratelem odlitků z hliníku je automobilový průmysl, kde hliník v automobilech tvoří asi 10 % z celkové hmotnosti. Dalším odběratelem hliníku a jeho slitin je průmysl elektrotechnický a spotřební. [1]

S další zvyšující se výrobou a klesající cenou hliníku se postupně rozšiřovalo i jeho použití. Vzhledem ke svým vlastnostem hliník a jeho slitiny našly uplatnění ve všech oblastech lidské činnosti. Prakticky není oblast průmyslu a

každodenního života, kde bychom se neseťkali s výrobky z hliníku a jeho slitin. Největší nárůst a použití hliníku a jejich slitin však nastal v dopravním sektoru.

Hlavní oblasti použití hliníku v současnosti:

- doprava,
- stavebnictví,
- strojírenský a hutnický průmysl,
- energetika a elektrochemický průmysl,
- potravinářský průmysl,
- chemický průmysl (potrubí, výměníky),
- rekreační průmysl a sport,
- jiné oblasti používání (klenotnictví). [2]

2.2 Slévárenské slitiny hliníku

Vlastnosti čistého hliníku jsou pro konstrukční účely zcela nevhodné. Proto se ve slévárenství pro výrobu odlitků používají převážně slitiny hliníku. Hliník a všechny jeho slitiny krystalizují v kubické, plošně centrované soustavě. U slitin hliníku je v oblasti tuhého roztoku nahrazen jeden nebo více atomů hliníku atomem přísadového kovu – vznikají substituční tuhé roztoky. Přítomnost těchto cizích atomů způsobuje deformaci základní mřížky. Deformaci mřížky je omezován deformační mechanismus (kluzy, průchod mřížkových poruch), a proto vzrůstají pevnostní vlastnosti. Naproti tomu houževnatost se zhoršuje. Výsledné vlastnosti slitin jsou dány množstvím a vzájemnou kombinací přísadových prvků. [4]

Slévárenské slitiny hliníku obsahují pro zlepšení technologických vlastností, jako je slévateľnost, obrobiteľnost apod., velké množství legur. Množství legur dosahuje až 25 %. To má za následek překročení oblasti tuhého roztoku a ve struktuře se objevují útvary tvrdých intermediárních fází, které svojí přítomností zvyšují tvrdost.

Vlastnosti hliníkových slitin lze ovlivnit zjemněním struktury. Čím je struktura jemnější, tím lepší jsou i výsledné mechanické vlastnosti. Jedním z činitelů, které ovlivňují tuto skutečnost, je rychlost ochlazování během procesu tuhnutí.

V tomto případě značně pomáhají přísady kovů, které působí dalším zjemňujícím účinkem, a to buď zjemněním základního zrna, nebo zjemněním některých druhů strukturních složek. K zjemnění základního zrna se používají přísady kovů s vysokým bodem tání (např. titan, chrom, vanad apod.). Zjemnění některých druhů strukturních složek se docílí přidáním např. sodíku nebo fosforu, které modifikují krystalizaci eutektika slitin Al-Si, případně zjemňují krystalizaci nadeutektického křemíku. [1]

Dalším způsobem, jak zvyšovat pevnostní vlastnosti hliníkových slitin, je možnost tepelného zpracování – vytvrzování. Vytvrditelné jsou pouze ty slitiny, které vykazují s teplotou omezenou rozpustnost přísadového prvku v oblasti tuhého roztoku. Jestliže slitinu s patřičným obsahem přísady rychle ochladíme, docílíme toho, že přísada zůstane přechlazena v tuhém roztoku. Tato skutečnost se projeví deformací mřížky. Po určité době, a to buď za normální teploty, nebo za teploty zvýšené, která celý pochod urychlí, dojde v důsledku difúze k precipitaci intermediárních fází, které brzdí pohyb dislokací, a tím zvyšují pevnost a tvrdost. Legury umožňující vytvrzování hliníkových slitin jsou hlavně Cu, Ni, Mg, Zn a Si. [1,5]

2.3 Chemické složení slitin hliníku

Slitiny hliníku lze rozdělit do několika kategorií. Nejběžnější je dělení dle chemického složení. Druhy slitin vždy určuje základní prvek, kterým je v tomto případě vždy hliník. Důležitou skupinou prvku jsou hlavní přísadové prvky.

Každá slitina obsahuje následující prvky:

Základní prvek

Prvkem, jenž určuje druh slitiny, je v tomto případě hliník.

Hlavní přísadové prvky

Prvky klíčové pro určení vlastností slitiny. Spolu se základním prvkem definují typ slitiny. Obsah těchto prvků ve slitině je obvykle druhý nejvyšší po základním prvkem. Mezi hlavní přísadové prvky ve slitinách hliníku patří křemík, měď a hořčík. Podle těchto prvků se slitiny hliníku dělí na tři základní skupiny:

Siluminy	-	slitiny Al – Si
Hydronálieum	-	slitiny Al – Mg
Duralaluminium	-	slitiny Al – Cu

Vedlejší přísadové prvky

Tyto prvky jsou další důležitou skupinou. 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. Prvek, který nejvýznamněji ovlivňuje slitiny určitého typu, rozděluje slitiny do skupin. Např. u siluminů to mohou být skupiny Al-Si-Cu, Al-Si-Mg apod. [1,4]

Doprovodné prvky

Jako doprovodné prvky jsou označovány takové, které nebyly do slitiny přidány záměrně. Tyto prvky jsou označovány jako nečistoty. Tyto prvky, přesáhnou-li určitou koncentraci, obvykle zhoršují technologické i mechanické vlastnosti slitiny. Zdrojem těchto nečistot bývají nejčastěji vsázkové suroviny nebo se nečistoty dostávají do taveniny ze žáruvzdorných materiálů a z používaného nářadí či okolní atmosféry. Některé z těchto nečistot lze z taveniny odstranit, ale některé jsou v běžných podmínkách sléváren neodstranitelné. [1]

Podle počtu přísadových prvků se slitiny dělí na:

Binární – obsahují pouze základní a hlavní přísadový prvek

Ternární – kromě základního a hlavního prvku obsahují i jeden vedlejší prvek

Vícesložkové – obsahují několik vedlejších přísadových prvků

2.4 Charakteristika přísadových prvků a nečistot ve slitinách Al-Si

Hliníkové slitiny se liší od ostatních slitin tím, že je v nich přítomno velké množství intermetalických prvků. Tyto prvky negativně ovlivňují vlastnosti slitin. Úlohou legujících přísad je odstranění účinku škodlivých prvků nebo vytvoření dobrých intermetalických fází, které pozitivně ovlivňují vlastnosti a umožňují zvýšit pevnost materiálu. [4]

2.4.1 Křemík

Ve slitinách Al-Si je křemík základní přísadový prvek. Se zvyšujícím se obsahem křemíku se interval tuhnutí zužuje a zlepšují se všechny slévárenské vlastnosti.

Slitiny s nižším obsahem křemíku je vhodné očkovat, s vyšším obsahem modifikovat. [10]

Rostoucí obsah křemíku:

- zvyšuje zabíhavost,
- zmenšuje tepelnou roztažnost,
- zvyšuje korozní odolnost,
- zlepšuje kluzné vlastnosti a odolnost proti otěru,
- zmenšuje součinitel stahování.

Nevýhodou slitin s vysokým obsahem křemíku je jejich vysoká cena. Používaný obsah křemíku je 5 až 25 %. [1]

2.4.2 Měď

Její přítomnost zvyšuje pevnost a tvrdost, ale snižuje houževnatost. S rostoucím obsahem mědi se zhoršuje korozní odolnost a většinou i slévárenské vlastnosti. Slitiny jsou náchylné ke vzniku trhlin a prasklin, vad typu dutin (staženiny, řediny). Obsahy tohoto prvku běžně používané se pohybují v rozmezí 0,5 až 10 %. K vytvrzování se používají slitiny s obsahem mědi obvykle kolem 4 %. [1,4]

2.4.3 Hořčík

Slitiny typu AlMg jsou aplikovány při požadavcích na vysokou korozní odolnost a dekorativní vzhled povrchu. Vzhled povrchu je možno upravovat různými způsoby, z nichž převládá anodická oxidace (eloxování), kdy je možné barvit povrch na libovolný odstín včetně velmi světlých barev. S rostoucím obsahem hořčíku se zvyšuje pevnost a houževnatost. Tepelné zpracování se provádí u slitin s obsahem hořčíku nad 7 % z důvodu docílení požadovaných mechanických vlastností a pro zaručení dostatečné rozměrové stability. Určitou výjimku tvoří slitiny pro tlakové lití, které z důvodu nebezpečí vzniku defektů tepelně zpracovávat nelze. Nepříznivou vlastností hořčíku je jeho vysoká afinita ke kyslíku, která vzrůstá s rostoucí teplotou. Tento jev se zmírňuje malými přísadami beryllia nebo vápníku. Pro slitiny typu AlSi a AlZn a jejich možnost tepelného zpracování se nejčastěji používá množství přísady hořčíku od 0,3 % až do 0,7 %. Přibližně ve stejném množství se příznivě projevuje přítomnost hořčíku i u slitin typu AlCu, tedy slitiny typu AlCuMg. [1,10]

2.4.4 Zinek

Binární slitiny s tímto prvkem se všeobecně nepoužívají, neboť přítomnost zinku ve slitině ovlivňuje mechanické vlastnosti jen ve velmi omezené míře. V zahraničí se používá např. slitina AlZnMg (5 až 8 % Zn a 0,5 až 2 % Mg). Spolu s hořčíkem vytváří intermetalickou fázi MgZn₂. [1]

2.4.5 Nikl

Používá se v množství 1 až 2 %, a to v kombinaci s mědí. Tyto slitiny jsou pak určeny pro provoz za zvýšených teplot, neboť přítomnost niklu a mědi příznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti. Dále jeho přítomnost v menší míře snižuje součinitel teplotní roztažnosti. [1]

2.4.6 Kobalt

Jeho účinky jsou obdobné jako u niklu. Současně do určité míry příznivě působí na krystalizaci intermediárních fází typu AlFe. [1]

2.4.7 Stříbro

Běžně používané množství se pohybuje kolem 0,5 až 1 % u slitin typu AlCuMg. Příznivě ovlivňuje vytvrzovací pochody a umožňuje dosažení maximálních hodnot pevnostních vlastností. [10]

2.4.8 Cín

Je doprovodným prvkem většiny běžně používaných slitin. Používá se jako základní legura u slitin určených pro kluzná ložiska. V některých případech bylo zjištěno, že nízké obsahy cínu příznivě ovlivňují vytvrzovací pochody. [1]

2.4.9 Lithium

Není příliš běžnou přísadou u slévárenských slitin. U slitin určených k tváření se jeho použití začíná rozvíjet. Přítomnost lithia ve slitinách zvyšuje efekt vytvrzení a hodnoty modulu pružnosti a snižuje měrnou hmotnost slitiny. Tyto výhody jsou důležité především pro letectví a kosmonautiku. [1]

2.4.10 Beryllium

Nízké přísady beryllia příznivě působí na potlačení nepříznivého vlivu železa a snižují náchylnost k oxidaci. Vzhledem k obávané toxicitě jsou jeho aplikační možnosti omezeny pouze na případy, kdy odlitky nepřicházejí do styku s potravinami. [1,4]

2.4.11 Mangan

Hlavní úlohou je kompenzace nepříznivého vlivu železa potlačením jeho vyloučení v destičkovitém tvaru a vytvoření intermetalické fáze (Fe, Mn) Al₆. Jeho přítomností ve slitině dochází ke zvýšení pevnostních vlastností, zvýšení teploty rekrytalizace, zjemnění zrna nebo blokování růstu zrn v případě jeho vyloučení ve formě disperzních precipitátů. [1]

2.4.12 Železo

Běžně se považuje za doprovodný prvek. Výjimečně se lze setkat s jeho záměrnými přísadami, a to v množství 1 až 2 %. Zde se používá pro slitiny, které pracují za zvýšených teplot pro příznivé ovlivnění pevnostních vlastností a odolnosti vůči tečení. [1]

2.4.13 Titan, Vanad, Chrom, Bór, Zirkonium

Tyto kovy s vysokým bodem tání se používají u slévárenských slitin hliníku pro zjemnění zrna. V některých případech se jich také využívá ke stabilizaci precipitátů vzniklých při vytvrzování vůči zvýšené teplotě. [1]

2.4.14 Antimon

Používá se k modifikaci eutektika u slitin AlSi. I když je považován za doprovodný prvek, byl prokázán jeho příznivý vliv na stabilizaci důsledku vytvrzovacích pochodů. Z tohoto důvodu je přidáván i do slitin pracujících při zvýšené teplotě. Ve výjimečných případech se aplikuje spolu s cínem, olovem a kadmiem za účelem zlepšení třískové obrobitelnosti u tzv. slévárenských automatových slitin. Dále zvyšuje odolnost proti korozi v mořské vodě a snižuje náchylnost slitin AlMg ke vzniku trhlin za tepla. [1,10]

2.4.15 Olovo, kadmium, vizmut

Jsou považovány za doprovodné prvky se silně nepříznivým vlivem na houževnatost odlitku. Mohou se použít pro zvýšení třískové obrobitelnosti. V případě kadmia byl prokázán příznivý vliv na vytvrzovací efekt u slitin typu AlCu.[10]

2.4.16 Sodík, stroncium, vápník a fosfor

Sodík, stroncium a vápník se používají jako základní modifikátory eutektika AlSi. Fosfor je používán jako základní zjemňující činidlo primárního křemíku u

nadeutektických slitin tohoto typu. U slitin typu AlMg se používá vápník ke snížení sklonu k oxidaci. [1,4]

2.5 Slitiny typu AL-Si

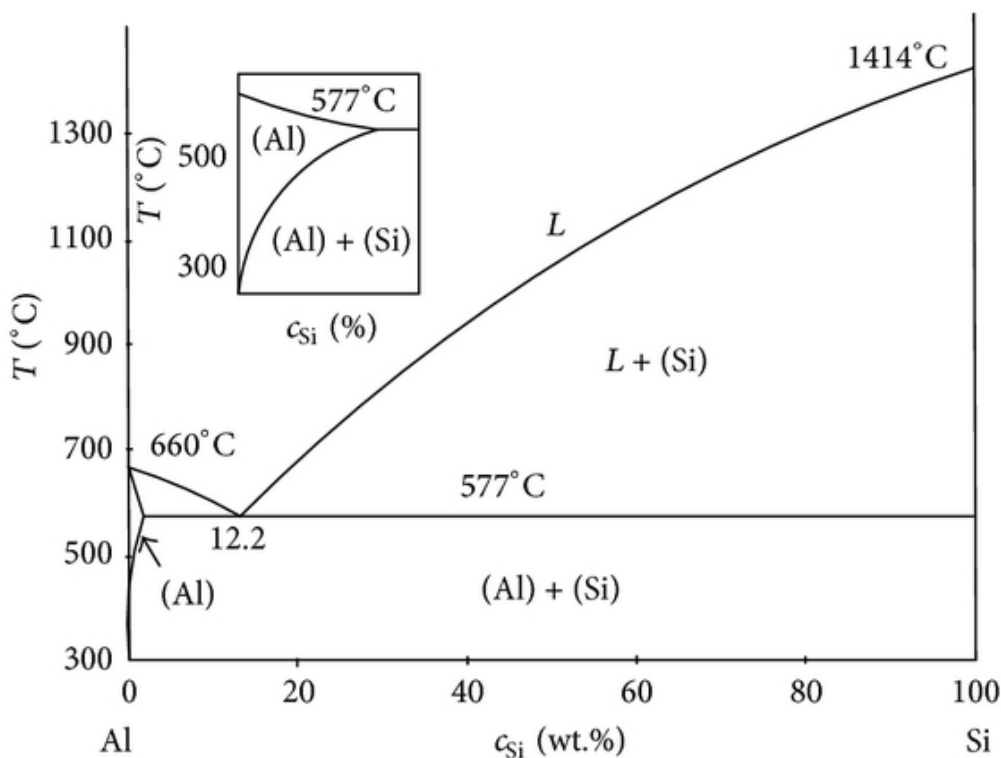
Siluminy jsou nejpočetnější skupinou slévárenských slitin a představují drtivou většinu produkce hliníkových odlitků. Slitiny tohoto typu se dělí do tří skupin:

- podeutektické – 4,5 až 10 % Si,
- eutektické – 11 až 13 % Si,
- nadeutektické – nad 13 % Si. [12]

Kromě základních prvků (hliník a křemík) ještě obsahují železo a mangan, jejichž obsah se pohybuje řádově v desetinách procenta. Mezi dalšími doprovodnými prvky se vyskytuje měď, jejíž obsah nepřekročí 0,05 %. Pro zjemnění zrna se používá titan v množství 0,1-0,2 %.

Slitiny tohoto typu mají dobré slévárenské vlastnosti, odlitky mají dobrou těsnost vůči plynům i kapalinám. Dále se vyznačují dobrou svařitelností, odolností vůči korozi, ale horší obrobitelností. S rostoucím obsahem křemíku se slévárenské vlastnosti zlepšují. Slitinami tohoto typu se vyrábějí odlitky lité do pískových nebo kovových forem a odlitky lité pod tlakem. Slitiny s obsahem křemíku do oblasti eutektika mají nižší interval tuhnutí, zlepšuje se zabíhavost a zmenšuje se objem staženin. Tato skutečnost je způsobena tím, že při tuhnutí křemík zvětšuje svůj objem a tím kompenzuje stahování hliníkové matrice. [1,4]

Slitiny typu AlSi se vyznačují středními mechanickými vlastnostmi, které lze zvýšit přísadou prvků s vyšší rozpustností v tuhém roztoku (např. měď a hořčík). Modifikací slitiny je možno zvýšit tažnost a obrobitelnost. Odolnost vůči korozi je průměrná, ve vlhké atmosféře dostává slitina šedé matné zbarvení. I přes to, že odlitky lze brousit a leštit, se tyto slitiny pro dekorativní účely příliš nehodí. Tuto skutečnost nezlepší ani anodická oxidace, po jejíž aplikaci mají slitiny černo-šedé zbarvení. Slitiny je možno galvanicky pokovovat (chromováním, niklováním). [1,4,5]



Obrázek 2.1 Fázový diagram Al-Si slitin [6]

2.6 Slitiny typu Al-Si-Cu

Jde o nepoužívanější typ slitin hliníku, který tvoří asi 1/2 celkové produkce hliníkových slitin a jeho použití je převážně v automobilovém průmyslu. Nejčastěji se používají slitiny podeutektické až eutektické, z nichž nejznámějším představitelem je slitina $AlSi8Cu3$. Díky obsahu mědi má tato slitina menší odolnost vůči korozi, ale její mechanické vlastnosti a obrobitelnost jsou dobré. Nevýhodou této slitiny je sklon k tvorbě trhlin a vzniku staženin, které je možné eliminovat vyšším obsahem křemíku. U těchto slitin zvýšený obsah křemíku také znamená lepší zabíhavost. Dále je možné vlastnosti zlepšovat očkovaním. [1]

Slitiny tohoto typu se používají ve stavu tepelně nezpracovaném, neboť díky přítomnosti mědi dochází k určitému stupni samovolnému vytvrzování, které probíhá několik dnů. Tento efekt je tím silnější, čím byla rychlost ochlazování odlitku větší. [14]

Lze je použít pro výrobu tvarově složitých odlitků litých do pískových forem, do kokil nebo pod tlakem. Nadeutektické slitiny se pak používají na výrobu pístů

spalovacích motorů a bloků motorů. Tyto slitiny obsahují 14-17 % křemíku, 4 % mědi a 0,5 % hořčíku příp. 2 % niklu. [4]

Přítomností mědi v těchto slitinách se snižuje stahování kovu při tuhnutí, zlepšuje se nepropustnost odlitků a také se uvádí její příznivý vliv k zmenšení naplynění taveniny. Dále přítomností mědi se zvyšuje pevnost a tvrdost, ale snižují se plastické vlastnosti. Ke snižování plastických vlastností dochází i s rostoucím obsahem hořčíku a zinku. Obrobitelnost slitin tohoto typu se zlepšuje s rostoucím obsahem mědi. Tímto ovšem klesá korozní odolnost. V tomto ohledu se projevuje negativní účinek mědi malou odolností vůči korozi těchto slitin v kyselinách, alkalických roztocích a mořské vodě. Při obsahu nad 2 % mědi je korozní odolnost poměrně špatná a je doporučeno pro eliminaci porušování materiálu korozi používat ochranné prostředky jakými jsou např. nátěry. Pro použití v automobilovém průmyslu, který je největším odběratelem těchto slitin, je však korozní odolnost ještě dostačující. Při obsahu mědi vyšším než 0,5 % se zhoršuje možnost anodické oxidace, neboť se zmenšuje tloušťka a hutnost ochranné vrstvy. [1,4]

2.7 Slitiny typu Al-Si-Mg

Obsah křemíku se pohybuje v rozmezí 0,25-0,45 %, u některých slitin až 0,7 % a umožňuje vytvrzovat slitiny za tepla. Přítomností hořčíku se při běžné rychlosti ochlazování ve slitině vylučuje fáze Mg_2Si . Běžně se tyto slitiny vyznačují pouze průměrnými mechanickými vlastnostmi, které lze zvýšit vytvrzováním. Slitiny typu Al-Si-Mg jsou pondeutektické a podle obsahu křemíku se dělí do dvou typů:

- AlSi7Mg,
- AlSi10Mg. [4]

Slitiny AlSi10Mg mají oproti slitinám AlSi7Mg lepší slévárenské vlastnosti a obrobitelnost. Stejně tak jako u binárních slitin AlSi je i zde obsah doprovodných prvků limitován na velmi nízké hodnoty. Lze je odlévat do pískových forem, do kokil gravitačně i pod tlakem. Používají se pro vysoce namáhané výrobky, nejčastěji v leteckém a automobilovém průmyslu. Vytvrzováním lze zvýšit mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost. Ovšem na úkor tažnosti, která po vytvrzování klesá. Vlivem zvýšené tvrdosti se zlepšuje obrobitelnost. [14]

2.8 Označování slévárenských slitin hliníku

Od roku 2000 jsou v ČR slévárenské slitiny hliníku normovány dle evropské normy ČSN EN 1706. Tato norma nahradila dřívější normu ČSN 42 43xx a 42 45xx. Další často užívané značení v českých slévárnách je dle původní německé normy DIN 1725, které používá rovněž Vereinigung Deutscher Schmelzhütten – VDS. Méně časté je používání označení slitin hliníku dle amerických norem ASTM nebo jiných normalizačních systémů. [1]

Dle ČSN EN 1706 se slitiny značí buď číselně, nebo chemickými značkami.

2.9 Číselné značení slitin dle ČSN EN 1706

Označení se skládá z písmen EN AC a pětimístného čísla, jehož tvar je:

EN AC-XXXXX

Význam jednotlivých číslic:

- První číslice charakterizuje hlavní přísadový prvek, a to:
 - 2 – slitiny AL-Cu,
 - 4 – slitiny Al-Si,
 - 5 – slitiny Al-Mg,
 - 7 – slitiny Al-Zn.
- Druhá číslice udává skupinu slitin a prakticky se využívá pouze u slitin AlSi.
- Třetí číslice je pořadové číslo ve skupině.
- Čtvrté a páté číslice jsou 0. [1]

2.10 Značení slitin chemickými značkami dle ČSN EN 1706

Označení se skládá z úvodního **EN AC-Al** a dále se uvádějí přísadové prvky v pořadí od hlavní k vedlejším přísadám v sestupném pořadí. Je-li obsah přísady nad 1 %, udává se číslicí za značkou příslušného prvku. Je-li obsah nižší než 1 %, číslo se za značku neuvádí.

V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé skupiny slitin hliníku k odlévání a jejich číselné označení a označení chemickými značkami. Vyskytuje-li se ve skupině více slitin, v tabulce je u číselného označení tato skutečnost naznačena křížky na 3. až 5. místě. U označení pomocí chemických značek jsou v závorce uvedeny další obsahy daného prvku v různých slitinách této skupiny. [1]

Skupina slitin	Označení slitiny	
	Číselné	Chemickými značkami
AlCu	EN AC-21xxx	EN AC-Al Cu4
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-Al Si2MgTi
AlSi7Mg	EN AC-42xxx	EN AC-Al Si7Mg0,3(0,6)
AlSi10Mg	EN AC-43xxx	EN AC-Al Si10(9) Mg
AlSi	EN AC-44xxx	EN AC-Al Si12(11)
AlSi5Cu	EN AC-45xxx	EN AC-Al Si6(5) Cu4(3,1)
AlSi9Cu	EN AC-46xxx	EN AC-Al Si9(7,11) Cu3(2,1)
AlSi(Cu)	EN AC-47xxx	EN AC-Al Si12Cu
AlSiCuNiMg	EN AC-48000	EN AC-Al Si12CuNiMg
AlMg	EN AC-51xxx	EN AC-Al Mg3(5,9)
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC-Al Zn5Mg

Tabulka 2.1 Způsob značení slévárenských slitin hliníku dle ČSN EN 1706 [1]

3 Metody hodnocení kvality Al-Si slitin

Kontrola kvality slitin se musí provádět během celého výrobního cyklu na zkušebních kusech i na hotových odlitcích. Z hlediska zajištění kvality kovu a její stability jsou důležité zejména provozní zkoušky, kterými se zjistí vlastnosti slitiny ještě před odlitím do forem a případně je možné ještě provádět nutné metalurgické zásahy. [4]

O kvalitě taveniny a slévárenských, mechanických i užitkových vlastnostech rozhoduje:

- chemické složení,
- teplota tavení a odlévání,
- obsah oxidů a nekovových vměstků,
- obsah vodíku,
- stupeň očkování,
- stupeň modifikace. [1]

3.1 Kontrola chemického složení

Kontrola chemického složení je základní zkouškou, kterou by měly slévárny používat. Většina sléváren provádí zkoušku na spektrálních nebo rentgenových analyzátoch. K dosažení přesných výsledků je nutná pravidelná kalibrace těchto přístrojů.

Vzorky pro chemickou analýzu se odlévají do kovových forem. Správné vzorky na vyhodnocení musí mít homogenní jemnozrnnou strukturu bez vnitřních vad a segregací. Vzorky jsou obvykle válcové s průměrem 35-50 mm a výškou do 10 mm. Forma musí být před odlitím vzorku suchá, dobře očištěná.

Odběru vzorku z pece se musí věnovat dostatečná pozornost. Kov je nutno nabírat z čisté hladiny bez oxidů a zbytků solí, vzorkovací lžíce musí být rovněž čistá, pokud se používá lžíce kovová, má být předehřátá. S výhodou se pro odběr vzorků používají lžíce z keramických vláken. Mají výborné tepelně izolační vlastnosti (nehrozí pokles teploty kovu při manipulaci) a neulpívá na nich kov a oxidy. Před odběrem vzorku je nutno zajistit chemickou homogenitu taveniny v

celém objemu lázně. Nesprávný způsob odběru vzorků může být příčinou velkých odchylek výsledků. [1,9]

Pokud se kontroluje chemické složení vsázkových surovin, je nutno odebírat vzorky pro analýzu z míst, kde jsou co nejmenší segregace a kde se nepředpokládá výskyt vnitřních vad. U odlitků, které jsou součástí vsázky (šrot, vratný materiál), to bývají zejména tenké stěny. Vzorky se nemají brát z povrchové kůry součástí, tepelných uzlů a ze znečištěných míst.



Obrázek 3.1 Spektrometr Magella Q8 [8]

3.2 Měření teploty

Základním předpokladem pro dodržení kvality taveniny je měření teploty. Měření teploty je velmi důležité hlavně z důvodu naplynění a vzniku oxidických vměstků. Teplota kovu nelze u hliníkových slitin odhadnout podle barvy. Teplota kovu by měla být měřena v tavících pecích i v udržovacích pecích a také při všech metalurgických operacích – rafinaci, odplynování a lití.

Měření teplot se provádí dvěma způsoby:

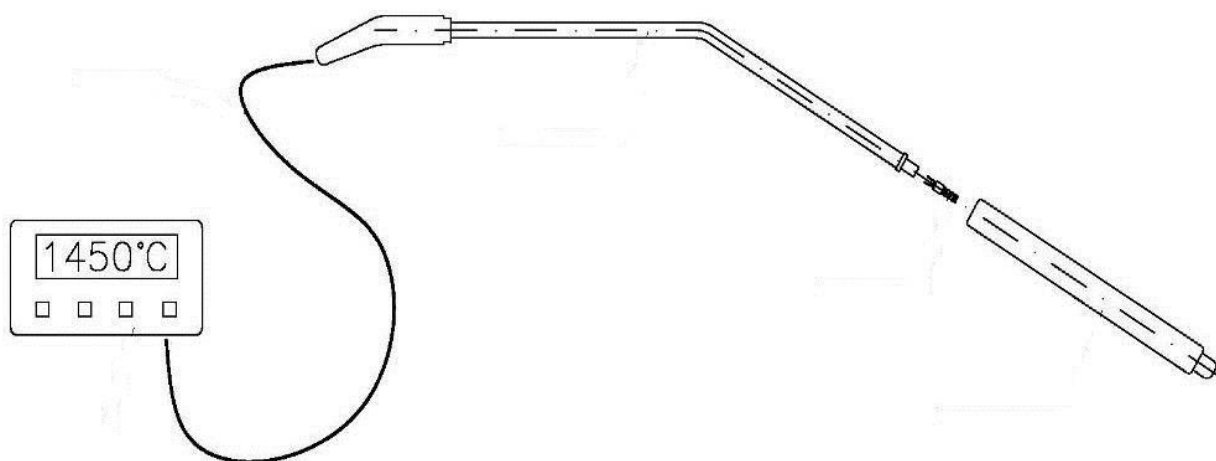
1. kontaktním měřením pomocí termočlánekových teploměrů,
2. bezkontaktním měřením pomocí radiačních pyrometrů. [4]

3.2.1 Kontaktní měření

Nejrozšířenější jsou ponorné nebo dotykové snímače na bázi termočláneků. Pro slitiny Al-Si se používají termočláanky typu K: NiCr-Ni.

Použitím dotykových termočláneků lze dosáhnout velmi přesných výsledků a při správném používání v oblasti taveného hliníku mají vysokou životnost. Termočlánek je srdcem teploměru, který se skládá z izolační keramiky a konektoru, prodlužovacího vedení a termostatu, nebo kompenzačního obvodu. Vlastní termočlánek je tvořen dvěma vodiči z různých kovů, které jsou na koci spojené tak, aby tvořili uzavřený elektrický obvod. Sondy s termočlánekem typu K se dodávají v provedení plášťových termočláneků s průměry od 1 mm do 4,5 mm.

Při tavení hliníkových slitin není teplota zas až tak vysoká (okolo 700 °C), ale agresivita hliníkové slitiny je veliká. Slitina reaguje s žáruvzdorným materiálem a tím dochází k poškození měřicí sondy. Termočláanky opláštěné ocelovou trubičkou je možné chránit vhodným nátěrem. [4]



Obrázek 3.2 Schéma termosondy pro měření v hutním a slévárenském provozu
[7]

Dlouhodobě se teplota v pecích měří termočlánky v ochranných keramických trubicích. Pro termočlánky, které jsou trvale ponořené do taveniny, se používají masivní grafitové, keramické nebo kovové trubice. Nebezpečí poškození hrozí při zavážení vsázky, čištění pece a manipulaci. Dalším problémem je postupné usazování oxidických vrstev na čidle. V moderních pecích jsou tato čidla zabudována již ve vyzdívce. [4]

3.2.2 Bezkontaktní měření

Je měření teplot za pomoci pyrometru. Pyrometr vyhodnocuje teplotu na základě záření, které dopadá pomocí vstupní optiky na snímač. Toto záření je složeno ze záření měřeného tělesa (taveniny) a odraženého záření všech okolních těles. Moderní konstrukce optických pyrometrů vycházejí z porovnání energie tepelného záření, vyzařovaného měřeným předmětem, s energií vyzařovanou vnitřním polovodičovým zdrojem. Tato metoda není závislá na osobním rozhodnutí operátora. [4]

3.3 Kontrola obsahu oxidů a nekovových prvků

Většinu nekovových vměstků ve slitinách hliníku představují oxidy hliníku. Proto se metody kontroly obsahu nekovových vměstků soustředí na stanovení oxidů v tavenině. Podle použitého postupu se dělí na:

- chemicko-analytické metody,
- technologické metody,
- mikrostrukturní metody.

Chemicko-analytickými metodami se množství oxidů zjistí přímo ze zjištěného obsahu kyslíku ve vzorku. Tyto metody jsou velmi přesné, ale nákladné a zabírají mnoho času.

Při technologických metodách stanovení obsahu vměstků se buď přímo, nebo nepřímo stanovují účinky na vybranou vlastnost slitiny. Nedostatkem všech technologických metod je nedostatečný popis výsledků.

Mikrostrukturními metodami se hodnotí množství vměstků ve sledované mikrostruktuře pomocí porovnání s etalony. Etalony si slévárny vyrábí sami. [1,4]

3.4 Měření naplynění taveniny

Metody měření obsahu vodíku v tavenině slouží k pohotovému zjištění výsledku s dostatečnou přesností za přijatelnou cenu. Důležitější je u těchto zkoušek pohotovost než vysoká přesnost, neboť na základě tohoto měření se rozhoduje o uvolnění tavby pro lití, nebo o dalším odplyňování. Doba provedení zkoušky by neměla být delší než deset minut. Z hlediska způsobů zjišťování obsahu plynů lze tyto metody dělit na laboratorní a provozní.

Laboratorní metody jsou založeny na principu vakuové extrakce vodíku ze vzorku kovu. Tento kov je speciálně připraven pro danou metodu. Extrakce se může provádět na tuhém vzorku při teplotách asi 50 K pod teplotou tuhnutí nebo na roztavených vzorcích. Zařízení pro provedení laboratorní zkoušky jsou vysoce nákladná a provedení této zkoušky trvá poměrně dlouho. Při odběru a skladování vzorků je nutné respektovat velkou difuzní pohyblivost vodíku a vzorky skladovat při teplotách kapalného dusíku. Těchto metod se v provozní praxi většinou nevyužívá.

Provozní metody slouží k orientačnímu, převážně kvalitativnímu, hodnocení stupně naplynění taveniny. U těchto metod se obvykle opticky pozoruje a hodnotí vzhled kvality vzorku kovu tuhnutého za atmosférického tlaku nebo za podtlaku. Vodík se při tuhnutí vylučuje v podobě bublin, které v něm expandují a zůstávají pod tuhnoucí kůrou. Objem bublin kompenzuje objemový úbytek kovu v důsledku stahování při tuhnutí. Hladina vzorku s vysokým obsahem vodíku má tak vypouklý tvar na rozdíl od vzorku s nízkým obsahem vodíku, kde hladina je propadlá. Vzhled hladiny může sloužit jako měřítko stupně naplynění. Zkušený tavič tuto tendenci rozezná i na vzorcích tuhnutých za atmosférického tlaku. Tímto měřením se však dosahuje nízké přesnosti. [4]

3.4.1 Metoda první bubliny

Tato metoda vychází z principu rozpustnosti vodíku ve slitinách hliníku. Vzorek taveniny se nalije do kelímku a umístí se do studeného nebo vyhřívaného

„hnízda“ zkušebního zařízení, které se uzavře víkem a postupně se odsává vakuovou pumpou vzduch. Obsluha zařízení sleduje průhledem vzorek a v okamžiku, kdy se na povrchu vzorku objeví první bublina, zaznamená příslušnou teplotu a tlak. Pomocí příslušné rovnice se určí naplynění.

$$\log S = \frac{1}{2} \log P_{H_2} \frac{A}{T} + B$$

- S - rozpustnost vodíku v tavenině (cm³/100 g)
P_{H₂} - parciální tlak vodíku v okolní atmosféře (kPa)
T - teplota kovu (K)
A, B - konstanty pro daný kov

V přístroji s teplým „hnízdem“ kelímku nedochází k ztuhnutí kovu. V tomto případě se měří pouze tlak při vzniku první bubliny. Naplynění se určuje na základě platnosti Sievertsova zákona. Měření na těchto přístrojích se v praxi již nepoužívají, protože reprodukovatelnost měření je nízká a ovlivněná subjektivním hodnocením obsluhy. [1]

Sievertsův zákon [1]

$$[H] = k \cdot \sqrt{p_{H_2}}$$

3.4.2 Metoda měření hustoty kovu – metoda dvojího vážení

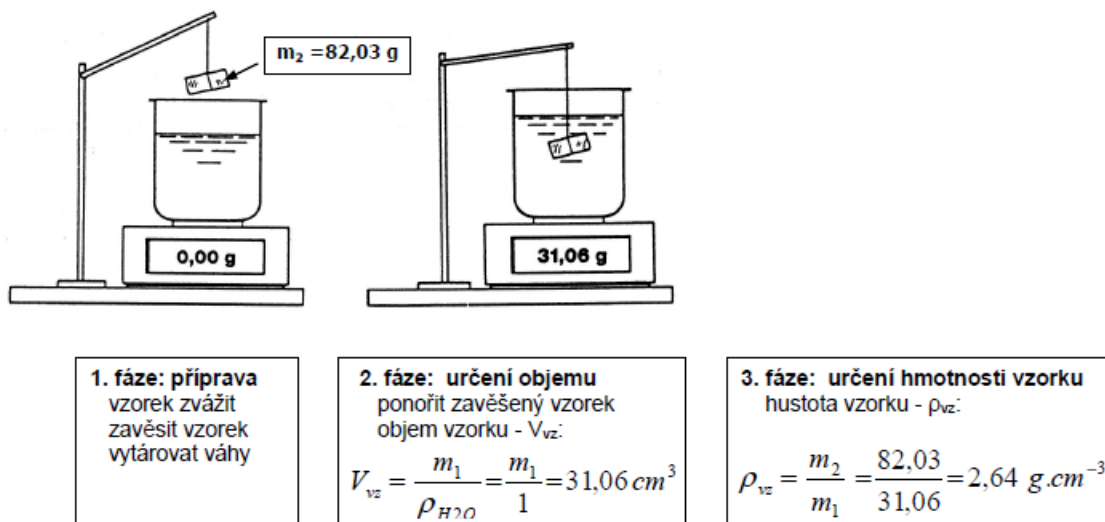
Metoda dvojího vážení je ve slévárnách nejvíce využívaná. Tato metoda je založená na principu porovnání hustoty dvou vzorků. K porovnání dochází u vzorku, který tuhl za atmosférického tlaku a u vzorku tuhnutého za podtlaku. Jako u metody první bubliny se využívá Sievertsova zákona. Podle tohoto zákona je v kovu za podtlaku nižší rozpustnost vodíku, a proto se při tuhnutí slitiny vyloučí více vodíkových bublin než u vzorku tuhnutého za atmosférického tlaku. Bubliny zůstávají v kovu uzavřeny a tím snižují jeho hustotu. [1,13]

Postup měření

Tavenina hodnocené slitiny se odebere z tavící pece a nalije se do dvou zkušebních kovových nebo keramických kelímků. Objem kelímků je zhruba 40–80 ml. První vzorek se nechá tuhnout za atmosférického tlaku. Druhý vzorek se

odlije do kelímku ve vakuové komoře, přikryje se víkem a odčerpá se z místa vzduch. Tento vzorek tuhne za definovaného podtlaku. Tento podtlak většinou bývá 8 kPa.

Pro zjištění hustoty vzorků se využívá Archimedova zákonu. Hustota vzorku tuhnutého za atmosférického tlaku a hustota vzorku ztuhlého za podtlaku se zjistí zvážením na vzduchu a zvážením po ponoření do kádinky s vodou. [1]



Obrázek 3.3 Postup měření při metodě dvojího vážení [1]

Při vážení vzorku ve vodě je důležité zavěsit vzorek tak, aby váha registrovala pouze přírůstek hmotnosti vody vytlačené objemem ponořeného vzorku. Vážení probíhá na přesných vahách s nádobkou na vodu a závěsem zkušební vzorku. Přesnost vah musí být 0,01 g. [13]

Objem vzorku

$$V_{vz} = \frac{m_{vzH_2O}}{\rho_{H_2O}}$$

Hustota vzorku

$$\rho_{vz} = \frac{m_{vz \text{ at}}}{V_{vz}} = \frac{m_{vz \text{ at}}}{m_{vz H_2O}} \cdot \rho_{H_2O}$$

$M_{vz H_2O}$ - hmotnost vzorku ponořeného ve vodě (kg)

$M_{vz \text{ at}}$ - hmotnost vzorku na vzduchu (kg)

ρ_{H_2O} - hustota vody (kg.m^{-3})

- ρ_{vz} - hustota vzorku kovu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
- $\rho_{vz\ atm}$ - hustota vzorku tuhnutého za atmosférického tlaku ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
- $\rho_{vz\ vak}$ - hustota vzorku tuhnutého ve vakuu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Obsah vyloučeného plynu:

$$V_{H_2} = \frac{1}{\rho_{vz\ vak}} - \frac{1}{\rho_{vz\ atm}} \quad (\text{m}^3 H_2 / \text{kg Al})$$

Z hustot $\rho_{vz\ atm}$ a $\rho_{vz\ vak}$ se určí **index hustoty**, někdy označovaný DI z německého „Dichte Index“. Dnešní moderní přístroje už sami dokáží spočítat index hustoty.

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

Metoda dvojího vážení je v dnešní době nejpoužívanější metodou ve slévárnách. Hodnota indexu hustoty se u slitin hliníku při běžném lití pohybuje kolem několika procent. Výhodou moderních přístrojů je, že vyžadují pouze zvážení vzorku na vzduchu a ponoření do vody. Výpočet hustoty provedou přístroje automaticky.

Protože vznik plynových bublin úzce souvisí s přítomností cizích zárodků, vyjadřuje Index hustoty souhrnný vliv obsahu plynů a oxidických vměstků, tedy skutečný sklon slitiny ke vzniku bublin. [4]

3.5 Metalografie

Základní metodou pro studium struktury je metalografická mikroskopie. Je založená na pozorování odraženého světla od rovinných řezů vzorků kovových materiálů světelným metalografickým mikroskopem. Metalografická analýza se používá pro hodnocení primární fáze, typu a morfologie eutektika a intermetalických fází, pro detailní analýzu strukturních složek a lomových ploch. Optická mikroskopie je ve slévárnách pro běžné účely snadno proveditelná a dostatečná. [1]

Při výběru metalografických vzorků je nutno dbát na to, aby vzorky byly odebrány z reprezentativního místa odlitku. Rozlišujeme hodnocení makroskopické a mikroskopické, a to podle velikosti zvětšení a účelu, pro který se metalografické pozorování dělá. [4]

3.5.1 Makroskopická hodnocení

Pro toto hodnocení se pozoruje vzorek v nezvětšeném stavu, nebo maximálně zvětšený 10x. Tato metoda se používá pro hodnocení primárního zrna, přítomnosti nekovových vměstků nebo porozity, velkých částic intermetalických fází a pro vyhodnocení lomů.

Ve slitinách Al-Si jsou hranice primárních zrn nezřetelné a leptáním se nedosáhne velkého zlepšení. K zvýraznění hranice zrn je zapotřebí leptání v 10-30 % vodném roztoku CuCl_2 a přidáním několika kapek HF. Na povrchu leptané plochy vzniká tmavý povlak, který je nutné průběžně stírat. Před leptáním je nutné vzorek odmastit v roztoku Na OH. Tím docílíme rovnoměrného leptání. K zvýšení kontrastu zrn se používá Poultonovo leptadlo. [4]

3.5.2 Mikroskopické hodnocení

Mikroskopické hodnocení slouží především k posouzení stupně modifikace eutektika Al-Si. Pro přípravu vzorků se používají jemnější papíry než v předchozím případě a vzorky se dále leští diamantovými pastami o zrnitosti až 1 μm . Jako mazadlo se doporučuje petrolej nebo propylen. Vyleštěné vzorky je nutné pečlivě odmastit a umýt pod proudem vody a osušit.

Pro leptání se používá roztok kyseliny fluorovodíkové. K zvýraznění různých intermetalických fází se používají selektivní leptadla na bázi různých kombinací kyselin HNO_3 , HCl, H_2SO_4 nebo NaOH.

Příprava a hodnocení metalografických vzorků je odborně i časově velmi náročná a výsledky jsou k dispozici až po odlití kovu. [1]

4 Analýza tavicího procesu

Praktickou část této práce jsem vypracovával ve společnosti METAL TRADE COMAX, a. s. ve Velvarech. Hlavní náplní bylo zjištění závislosti odplynění na kvalitě slitiny. K tomu bylo potřeba naměřit indexy hustoty, teploty, popř. chemické složení při tavných slavinách.

Společnost MT COMAX, a. s. se věnuje výrobě slitin a předslitin neželezných kovů. Výroba slitin probíhá za využití nejnovějších technologií tavení neželezných kovů v plynových a indukčních pecích. Jako vsázku používají především recyklovatelné suroviny neželezných kovů, které jsou před tavením tříděny. Slitiny a předslitiny neželezných kovů jsou využívány ve slévárenství k výrobě odlitků hlavně pro automobilový průmysl, strojírenství a elektrotechniku. [11]

Měření probíhalo při tavných slavinách Al-Si, a to přesně slitina DIN 226 D. Označení této slitiny podle normy ČSN EN 1706 je EN AC 4600, chemické označení EN AC- $AlSi9Cu3$. Tato slitina je zvláště vhodná pro tlakové lití, má velmi dobré slévárenské vlastnosti. Slitina má minimální sklon k vytváření povrchových defektů a ke vzniku vnitřních staženin při tuhnutí. Je dobře obrobitelná.

Společnost má pro řízení výroby zaveden systém kvality ISO 9001, z kterého jsem mohl čerpat data o spotřebě dusíku při jednotlivých tavných slavinách. Spotřebu jsem zjišťoval u taveb probíhajících od začátku roku do konce března roku 2017. Každá tavná slavná má své číselné označení. Podle čísla tavné slavné jsem následně zjistil, z jaké ustalovací pece byla slitina odlévána. Celkově jsem měl k dispozici záznamy o 390 tavných slavinách.

4.1 Určení chemického složení slitiny

Kontrola chemického složení je ve společnosti prováděna pomocí emisních spektrometrů Spectro LAB F8 a Q8 Magellan od firmy BAS.



Obrázek 4.1 Spektrometr Spectro LAB F8 [8]

Provedení kontroly spočívalo v odlití zkušební vzorku do kovové formy. Po ztuhnutí a vyjmutí bylo nutné ořezovat zkušební vzorek. Vzorek, viz obr. č. 4.2, byl vložen do Spektrometru Spectro LAB F8. U každého vzorku byla provedena dvě měření chemické analýzy a následně vyhodnocena průměrná hodnota obsahu daného prvku.



Obrázek 4.2 Odlitý vzorek k určení chemického složení

Ze sledovaných taveb byly vybrány tři s různým indexem hustoty a teplotou. Na následujících obrázcích je patrné, že chemické složení u všech tří taveb je téměř totožné.

4.1.1 Tavba č. 426

Naměřený index hustoty u této tavby byl 2,2 % a licí teplota 759 °C. Slitina byla odlévána z velké 24 tunové ustalovací pece a tavba trvala 3,5 hodiny. Chemické složení je na obrázku č. 4.3.

Chemická analýza					
Si	9,05	%	Ca		%
Fe	0,88	%	Sb		%
Cu	2,36	%	P		%
Mn	0,33	%	Cd		%
Mg	0,29	%	Bi		%
Zn	1,03	%	Al	Rest	%
Ni	0,06	%			%
Cr	0,05	%			%
Pb	0,07	%			%
Sn	0,01	%			%
Ti	0,05	%			%

Obrázek 4.3 Chemická analýza tavby 426

4.1.2 Tavba č. 460

Tato tavba byla odlévaná z malé 12 tunové ustalovací pece a index hustoty byl 5,8 % a lící teplota 772 °C.

Chemická analýza					
Si	9,10	%	Ca		%
Fe	0,93	%	Sb		%
Cu	2,43	%	P		%
Mn	0,35	%	Cd		%
Mg	0,31	%	Bi		%
Zn	0,83	%	Al	Rest	%
Ni	0,03	%			%
Cr	0,05	%			%
Pb	0,05	%			%
Sn	0,02	%			%
Ti	0,09	%			%

Obrázek 4.4 Chemická analýza tavby 460

4.1.3 Tavba č. 555

U této tavby z velké 24 tunové ustalovací pece byl naměřen index hustoty 1,5 % a lící teplota byla 783 °C.

Chemická analýza					
Si	9,36	%	Ca		%
Fe	0,91	%	Sb		%
Cu	2,35	%	P		%
Mn	0,28	%	Cd		%
Mg	0,31	%	Bi		%
Zn	1,11	%	Al	Rest	%
Ni	0,04	%			%
Cr	0,04	%			%
Pb	0,10	%			%
Sn	0,02	%			%
Ti	0,05	%			%

Obrázek 4.5 Chemická analýza tavby 555

4.2 Měření naplynění taveniny

Měření naplynění taveniny probíhalo ve společnosti METAL TRADE COMAX, a. s. Měření bylo prováděno metodou dvojího vážení vzorku. Základní princip této metody spočívá v porovnání hustot dvou zkušebních vzorků, z nichž jeden ztuhl při atmosférickém tlaku a druhý ztuhl za podtlaku ve vakuu. U vzorku tuhnoucího za podtlaku je nižší rozpustnost vodíku, a proto se během tuhnutí vyloučí více vodíkových bublin než u vzorku, který ztuhl za atmosférického tlaku. Bubliny, které zůstaly v kovu uzavřeny, snižují jeho hustotu. Tato metoda byla popsána v kapitole 3.4.2. [1]

4.2.1 Postup měření

Měření probíhalo při tavně slitiny hliníku DIN 226 D. Po 30 minutách byly odebírány z lícího pásu vzorky pro měření indexu hustoty. Tavenina byla nabrána pomocí kovové lžíce, viz obr. č. 4.6. Toto měření probíhalo po celou dobu tavně, která trvala zhruba čtyři hodiny. Při každém odběru byla zároveň měřena i teplota taveniny teplotní sondou Diterm 97. Toto měření bylo provedeno u 10 taveb. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.1.



Obrázek 4.6 Odběr taveniny

Vzorky byly odlity do kelímků na přístroji Martech – VTCM 0017, kde se za dobu 5 minut odčerpá vzduch a vznikl podtlak 90 mbar.



Obrázek 4.7 Martech – VTCM 0017 [15]

Po odebrání všech vzorků se na příslušné váze NAGATA FATH – 06 S, viz obr. č. 4.8, změřil index hustoty metodou dvojího vážení. Tato váha automaticky vypočítá z poměrů hustot příslušný index hustoty.



Obrázek 4.8 Váha Nagata FATH – 06 S [15]

4.2.2 Naměřené hodnoty

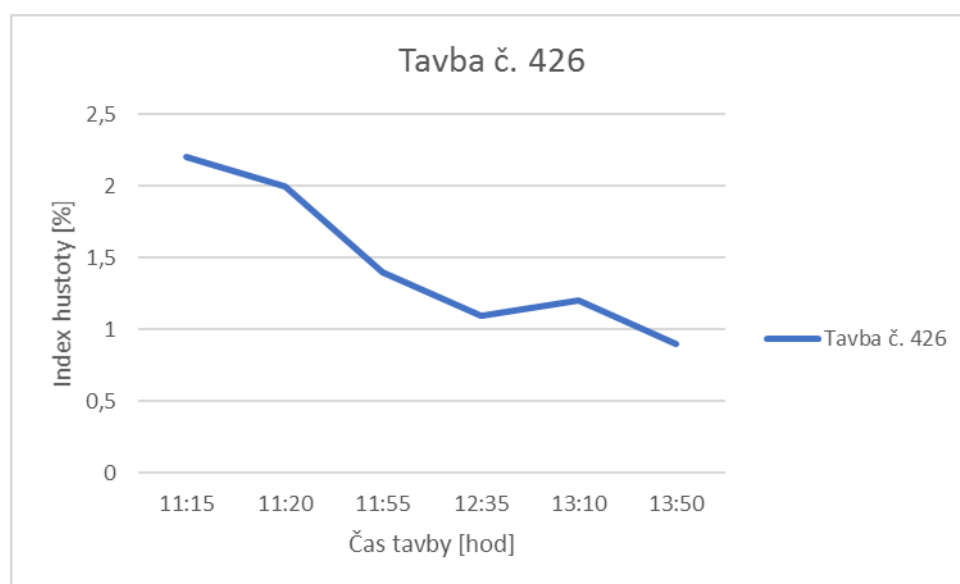
V tabulce č. 4.1 jsou zaznamenány naměřené hodnoty indexu hustoty v průběhu tavby č 426. Tavba byla odlévána z 24 tunové ustalovací pece a vzorky byly

odebírány z licího pásu. Začátek odlévání byl v 11 hodin a celkově trval 3,5 hodiny.

Tavba	Čas	DI [%]
426	11:15	2,2
	11:20	2
	11:55	1,4
	12:35	1,1
	13:10	1,2
	13:50	0,9

Tabulka 4.1 Průběh měření indexů hustoty u tavby č. 426

Z obrázku č. 4.9 je patrné, že v průběhu odlévání se indexy hustoty mění. Má klesající trend. Na začátku, docházelo k odlévání taveniny z vrchní části, kde byla tavenina ve styku s okolním vzduchem. Tento vzorek je více naplyněn. Naměřený index hustoty je 2,2 %. Vzorek odebraný ze spodní části pece měl index hustoty pouze 0,9 %. Tato tavenina nebyla tak dlouho v kontaktu s okolním vzduchem.



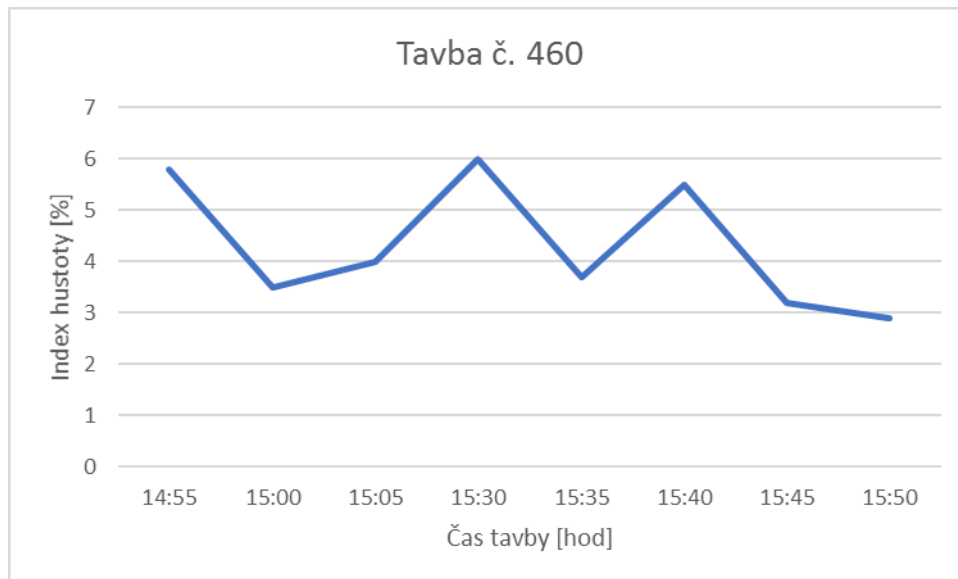
Obrázek 4.9 Graf tavby č. 426

Pro porovnání uvádím záznam další tavby č. 460, která byla odlévána z malé ustalovací pece 12 tunové. Celková doba odlévání 2 hodiny.

Tavba	Čas	DI [%]
460	14:55	5,8
	15:00	3,5
	15:05	4
	15:30	6
	15:35	3,7
	15:40	5,5
	15:45	3,2
	15:50	2,9

Tabulka 4.2 Průběh měření indexů hustoty u tavby č. 460

U této tavby je počáteční naměřený index hustoty 5,8 %. V průběhu odlévání má index hustoty stále klesající trend, i když v časech 15:30 a 15:40 byl naměřený index hustoty vyšší. Při odběru těchto vzorků byla nejspíš teplota taveniny neúměrně vysoká.

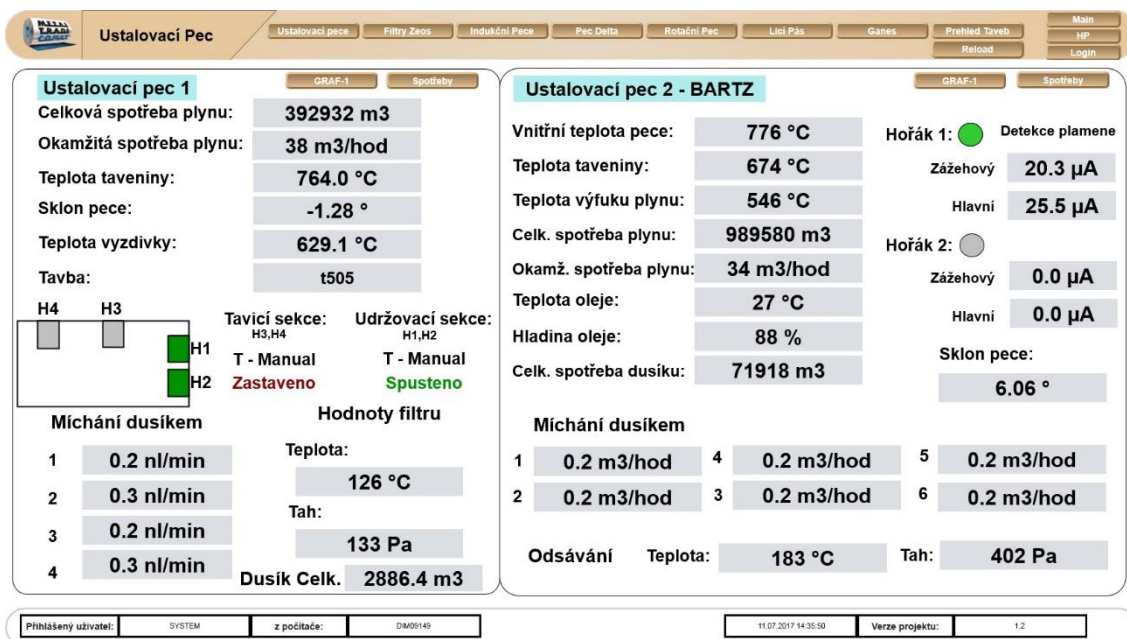


Obrázek 4.10 Graf tavby č. 460

Tato analýza byla provedena u 10 různých taveb v různé dny. Záznamy z ostatních měření jsou zaznamenány v příloze č. 4. Průměrné indexy hustoty z těchto analýz byly sestaveny do tabulky č. 4.3 a byla na nich sledována spotřeba dusíku.

4.3 Spotřeba dusíku

V další části byla zjištěna spotřeba dusíku v jednotlivých tavbách a počet odplynění. Tyto informace jsem odečítal z grafů řídicího systému, který ve společnosti používají. Tento systém zaznamenává informace o každé tavbě, jako je např. spotřeba plynu, teplota taveniny, sklon pece, viz obr. č. 4.9. Hodnoty byly odečítány z celkové spotřeby dusíku pro dvě ustalovací pece. Pec P1 (12 tunová) ustalovací pec a P2 (24 tunová) ustalovací pec.



Obrázek 4.11 Ustalovací pece

4.3.1 Ustalovací pec P1

Ustalovací pec P1 je 12 tunová pec, kde dochází k odplynění taveniny pomocí dusíku. Ten je vypouštěn ze dna pece třemi kameny. Průměrná spotřeba dusíku na jedno odplynění je 0,83 m³. Z grafu, viz obr. č. 4.10, lze vyčíst, kdy a kolik bylo pro danou tavbu použito naplynění a jaká je počáteční a konečná spotřeba dusíku.



Obrázek 4.12 Ustalovací pec P1

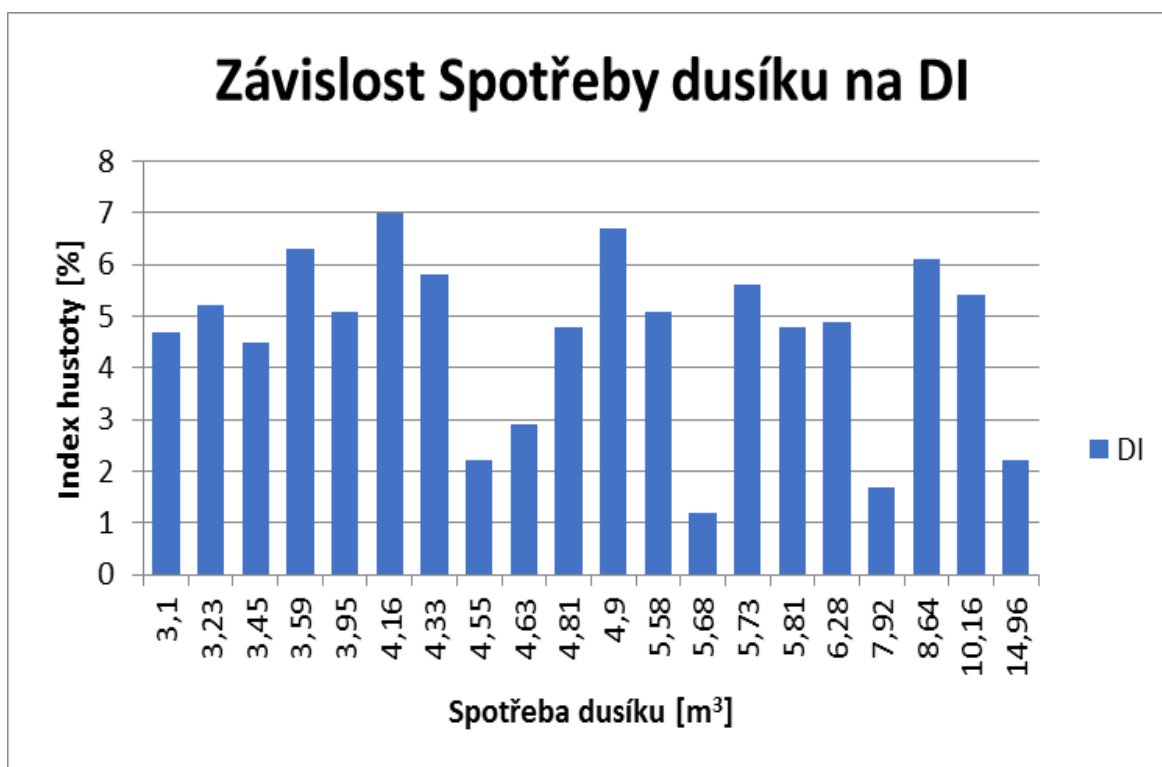
Z řídicího systému jsem zaznamenával časy taveb, spotřebu dusíku a jednotlivé počty odplynění v ustalovací peci P1. Z 250 sledovaných taveb, které proběhly od ledna do března, jsem sestavil tabulku 4.3 s vybranými záznamy.

Spotřeba dusíku P1				
Datum tavby	Spotřebovaný dusík [m ³]	Počet odplynění	DI [%]	Teplota [°C]
7. 1. 2017	4,9	6	6,7	765
9. 1. 2017	4,33	5	5,8	758
14. 1. 2017	4,16	8	7	765
15. 1. 2017	3,59	5	6,3	790
24. 1. 2017	5,73	8	5,6	772
25. 1. 2017	8,64	10	6,1	766
26. 1. 2017	3,23	4	5,2	769
2. 2. 2017	6,28	6	4,9	780
4. 2. 2017	3,95	6	5,1	781
8. 2. 2017	10,16	13	5,4	780
9. 2. 2017	5,58	8	5,1	786
15. 2. 2017	3,45	4	4,5	759
17. 2. 2017	5,81	8	4,8	750
3. 3. 2017	3,1	5	4,7	781
4. 3. 2017	4,81	6	4,8	770
6. 3. 2017	5,68	3	1,2	763

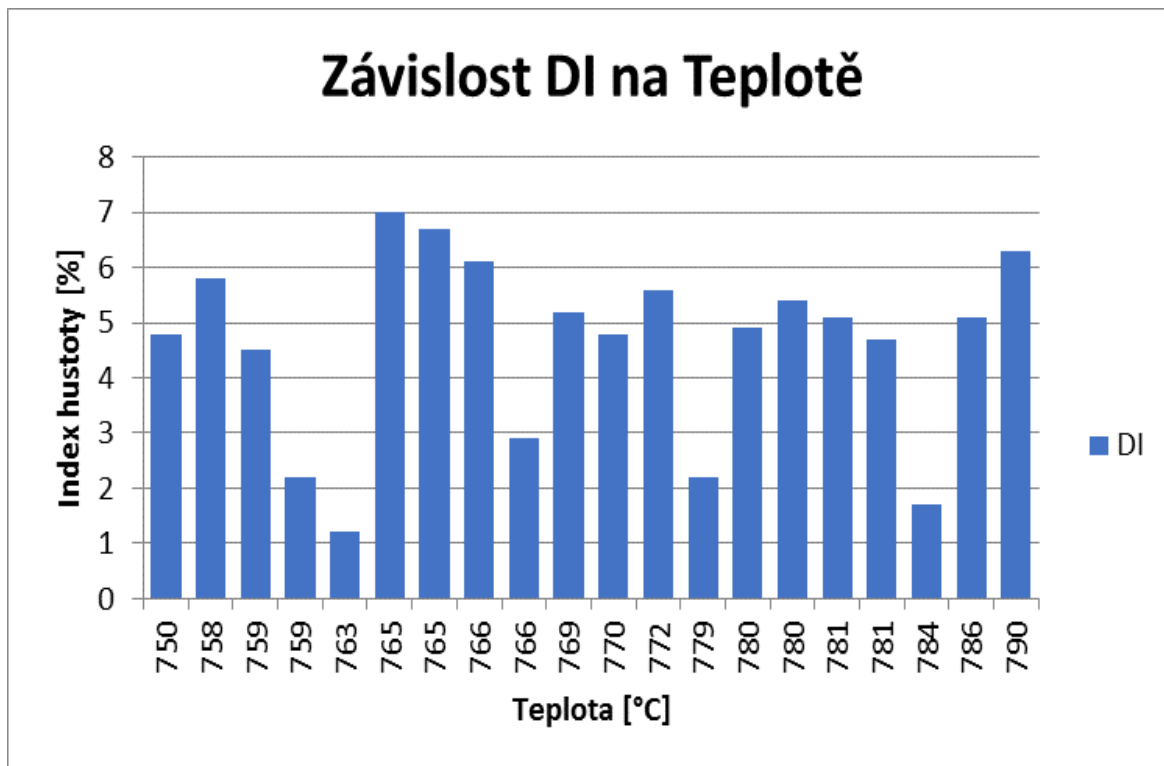
7. 3. 2017	14,96	18	2,2	779
9. 3. 2017	4,63	6	2,9	766
10. 3. 2017	7,92	10	1,7	784
16. 3. 2017	4,55	6	2,2	759

Tabulka 4.3 Měření ustalovací pec P1

Tabulka 4.3. ukazuje spotřebovaný dusík, počet odplynění, průměrný index hustoty a lící teploty. Z této tabulky jsem sestavil grafy závislosti indexu hustoty na spotřebě dusíku a teplotě viz obr. č. 4.13 a 4.14.



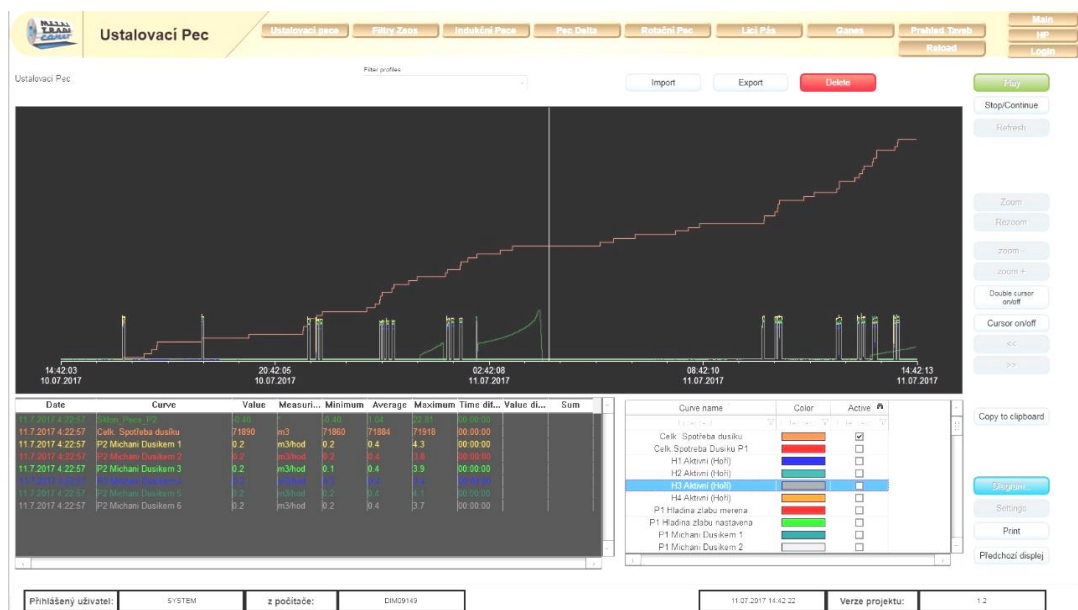
Obrázek 4.13 Graf Závislosti spotřeby dusíku na indexu hustoty



Obrázek 4.14 Graf závislosti licí teploty na indexu hustoty

4.3.2 Ustalovací pec P2

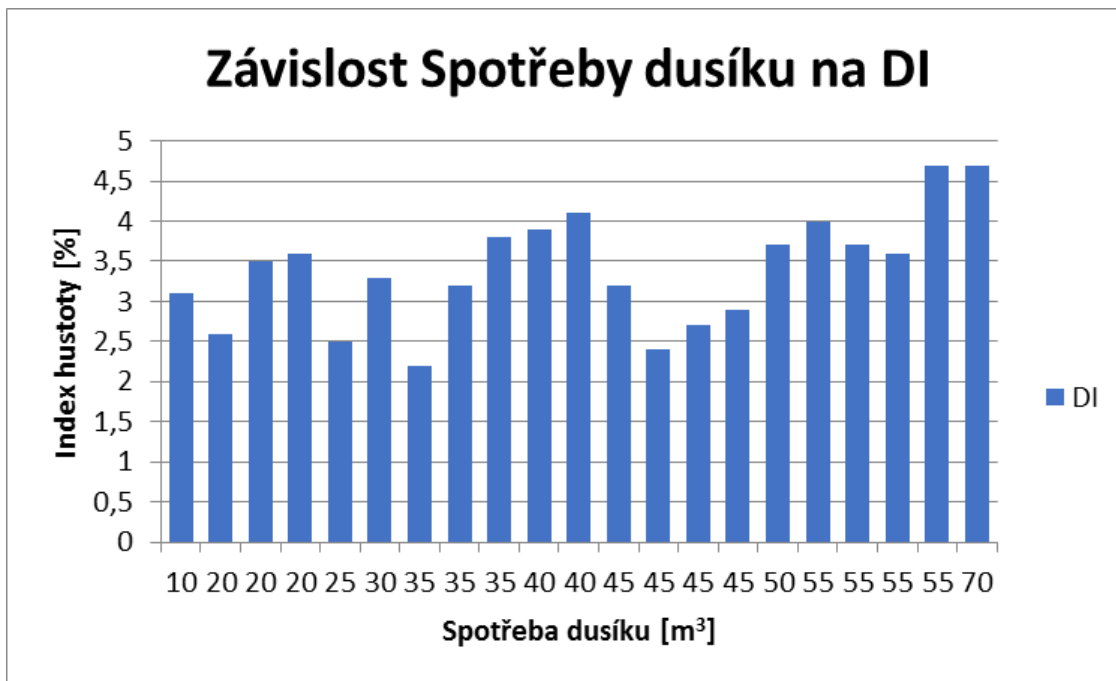
Ustalovací pec P2 má objem 24 tun a průměrná spotřeba dusíku je 5 m³. Z odečtených hodnot byla sestavena tabulka 4. 4. a grafy závislostí indexu hustoty na spotřebě dusíku a licí teplotě, viz obr. č. 4.16 a 4.17.



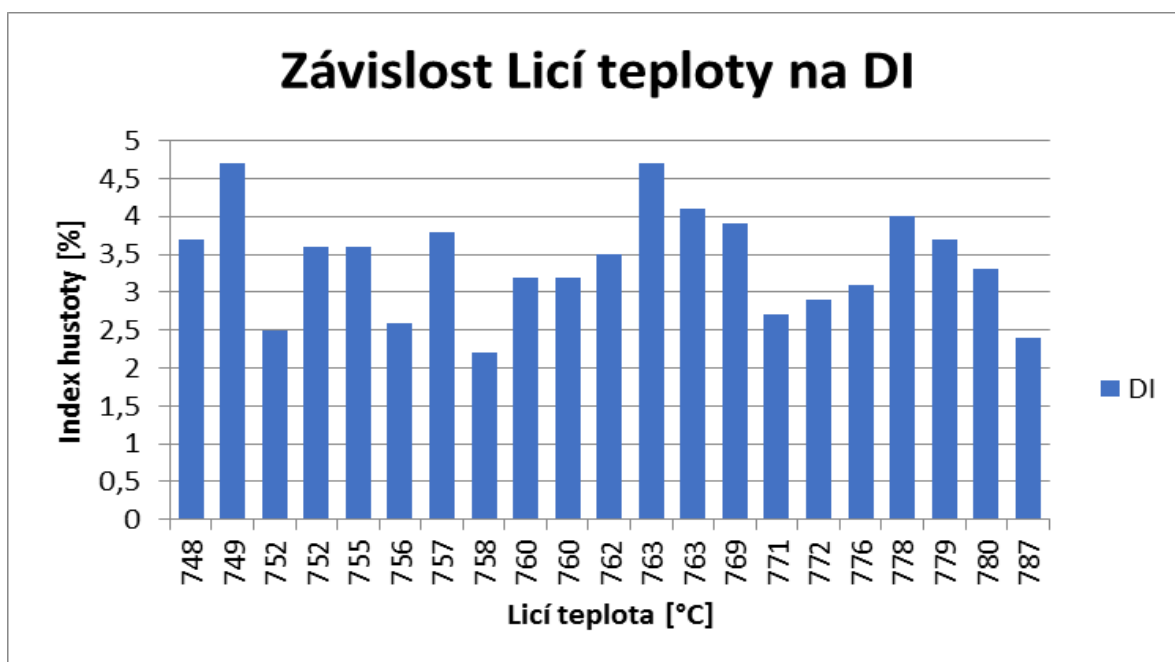
Obrázek 4.15 Ustalovací pec P2

Spotřeba dusíku P2				
Datum	Spotřeba dusíku [m ³]	Počet odplynění	DI [%]	Teplota [°C]
5. 1. 2017	45	9	3,2	760
10. 1. 2017	55	11	4	778
11. 1. 2017	30	6	3,3	780
13. 1. 2017	25	5	2,5	752
17. 1. 2017	55	11	3,7	748
19. 1. 2017	20	4	2,6	756
23. 1. 2017	10	2	3,1	776
1. 2. 2017	45	9	2,4	787
6. 2. 2017	55	11	3,6	755
7. 2. 2017	35	7	2,2	758
10. 2. 2017	45	9	2,7	771
12. 2. 2017	20	4	3,5	762
19. 2. 2017	35	7	3,2	760
24. 2. 2017	45	9	2,9	772
26. 2. 2017	20	4	3,6	752
5. 3. 2017	50	10	3,7	779
8. 3. 2017	35	7	3,8	757
9. 3. 2017	55	11	4,7	763
15. 3. 2017	70	14	4,7	749
16. 3. 2017	40	8	3,9	769
19. 3. 2017	40	8	4,1	763

Tabulka 4.4 Měření ustalovací pece P2



Obrázek 4.16 Závislost indexu hustoty na spotřebě dusíku



Obrázek 4.17 Závislost indexu hustoty na licí teplotě

4.4 Metalografické hodnocení struktury

4.4.1 Příprava vzorků

Pro hodnocení tvaru a velikosti bublin a staženin bylo nutné zhotovit metalografické výbrusy. Příprava vzorku byla provedena na pracovišti Ústavu Strojírenské technologie – ČVUT FS v Praze. K hodnocení byly použity vzorky odlité pro zkoušku naplynění pomocí dvojího vážení. Vzorky byly rozřezány na

kotoučové pile. Dále byly vzorky upraveny broušením. Broušení probíhalo na brusném papíru o drsnosti 170, 600, 1100 a 2000. Po celý průběh broušení byla přivedena na brusný papír voda, aby odplavovala nečistoty z brusného papíru. Po skončení broušení byla provedena vizuální kontrola broušené plochy. V případě výskytu povrchových vrypů na vybroušené ploše byl vzorek přebroušen. Po každém broušení byl každý vzorek opláchnut proudem tekoucí vody a poté usušen teplým vzduchem.

Takto upravené vzorky byly vyfoceny na mikroskopu Stemi DV 4 od firmy Carl Zeiss s osmi-násobným přiblížením.

4.4.2 Makrostruktura

Pro hodnocení makroskopické struktury bylo rozřezáno a vybroušeno 70 vzorků. Všechny vzorky byly nafoceny na mikroskopu a z pořízených snímků jsou zde prezentovány tři příklady:

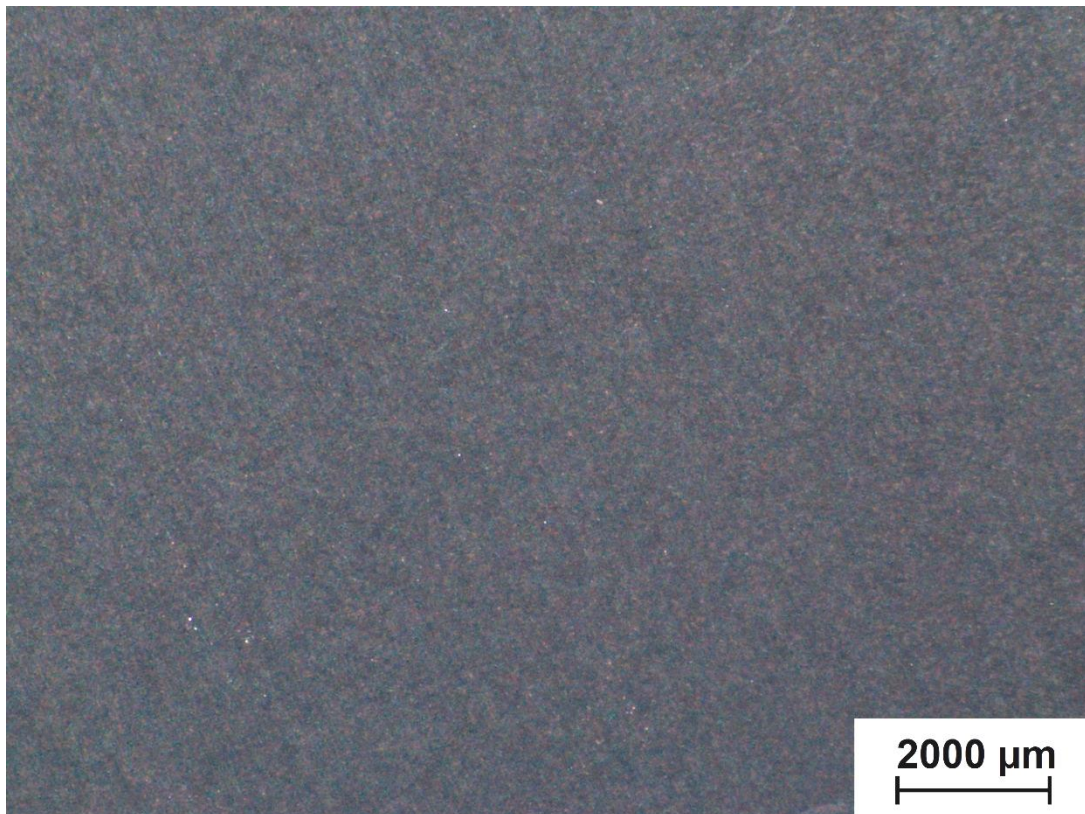
Tavba	DI	Teplota
426	2,2	759 °C
459	17,7	781 °C
460	5,8	772 °C

Tabulka 4.5 Indexy hustot a teploty u vzorků pro metalografii

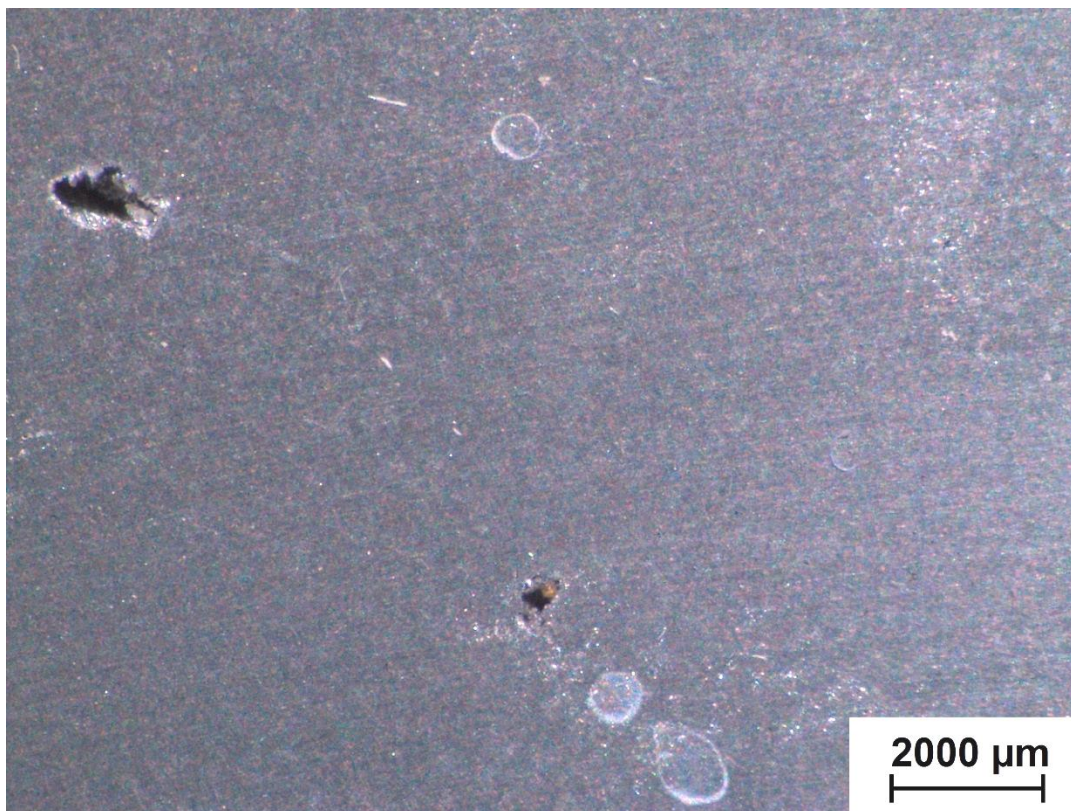
Byly analyzovány vzorky tuhnuté za podtlaku a tuhnuté za atmosférického tlaku. Očekávaný rozdíl mezi vzorky je v porozitě. U vzorků tuhnutých za podtlaku je porozita většího rozsahu než u vzorků tuhnutých za atmosférického tlaku. Na obrázku č. 4.19 je vidět makrostruktura vzorku tuhnutého za atmosférického tlaku. Zde nejsou viditelné žádné vady struktury. Na rozdíl od obr. č. 4.20, kde je makrostruktura vzorku tuhnutého za podtlaku. Zde se začínají objevovat vady. Na obrázku č. 4.18 jsou zobrazeny vybroušené vzorky. Vlevo vzorek tuhnutý za podtlaku, vpravo vzorek tuhnutý za atmosférického tlaku.



Obrázek 4.18 Tavba č. 426 - vybroušené vzorky



Obrázek 4.19 Makrostruktura vzorku tavby 426 tuhnutého za atm. tlaku

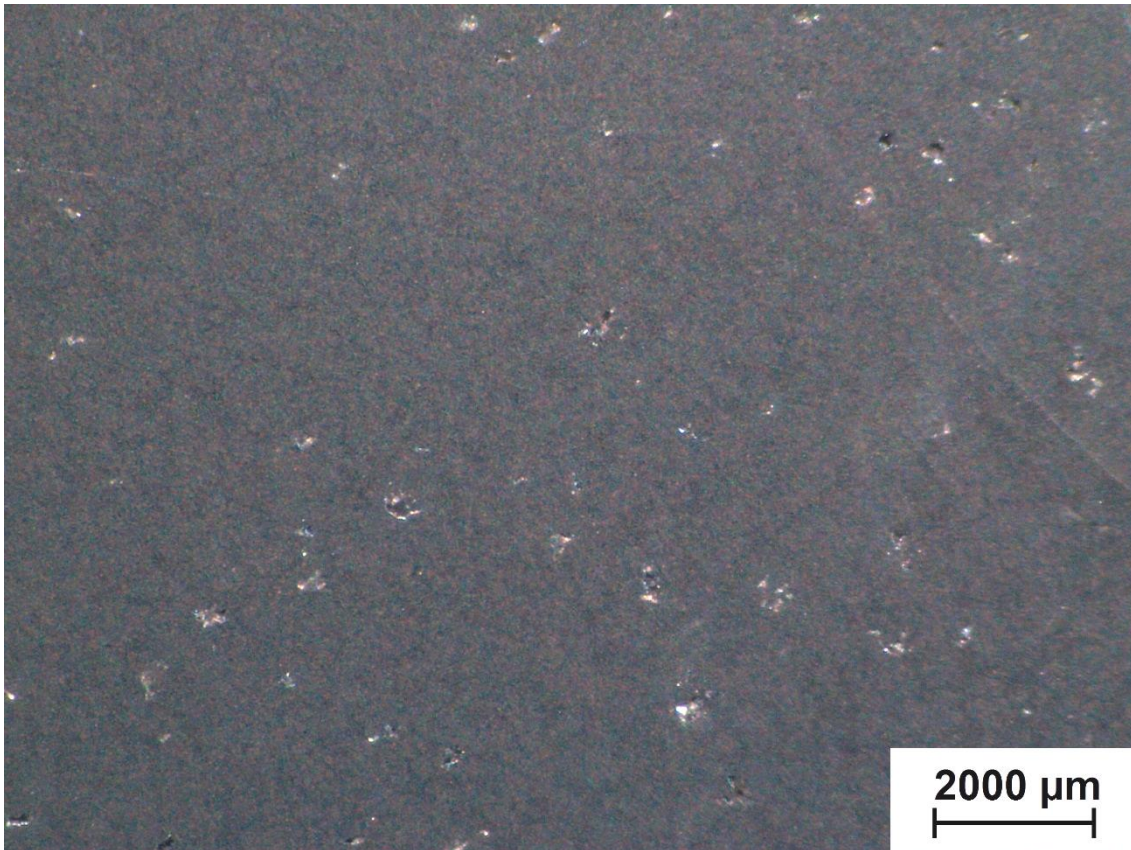


Obrázek 4.20 Makrostruktura vzorku tavby 426 tuhnutého za podtlaku

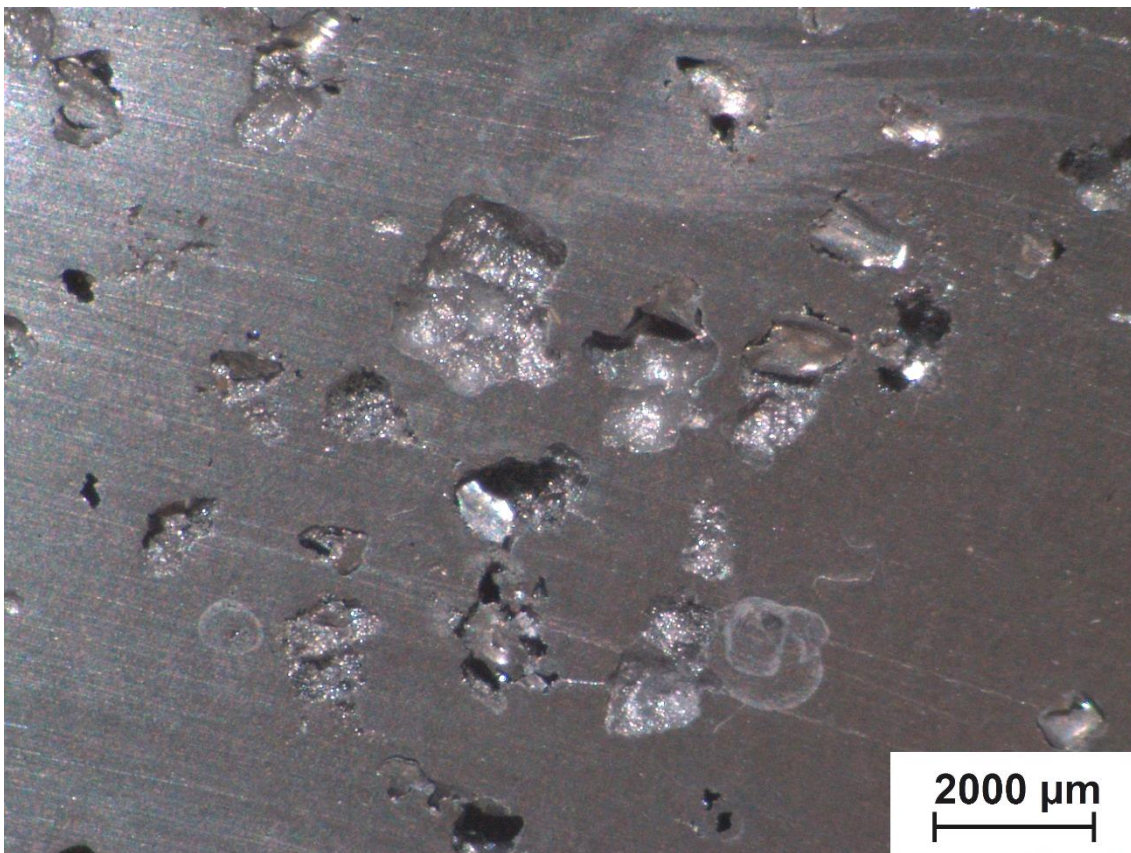
Při tavně č. 459 bylo špatně provedené odplynění. To dokládá index hustoty 17,7 %, který je oproti jiným tavnám víc jak třikrát větší. To se projevilo i na struktuře. Už na vzorku ztuhlém za atm. tlaku je patrná porozita. Na vzorku tuhnutém za podtlaku je porozita mnohonásobně větší, viz obr. č. 4.23.



Obrázek 4.21 Tavba č. 459 – vybroušené vzorky



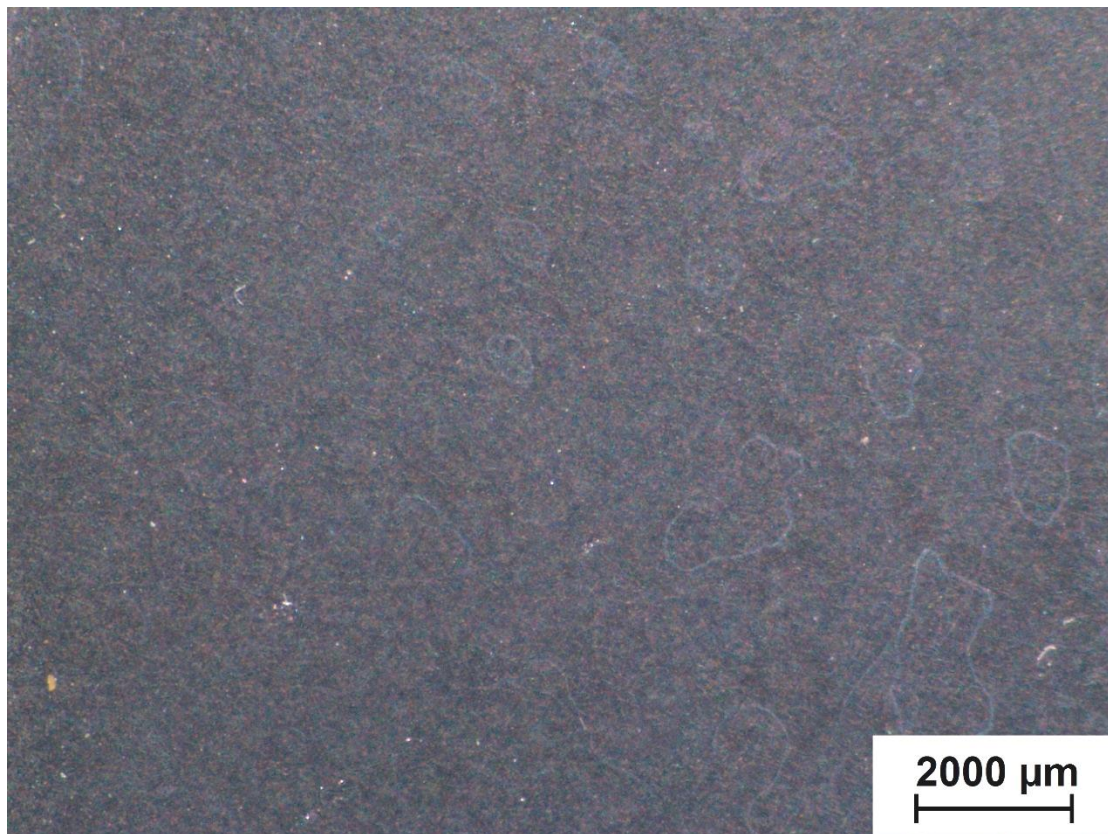
Obrázek 4.22 Makrostruktura vzorku tavby 459 tuhnutého za atm. tlaku



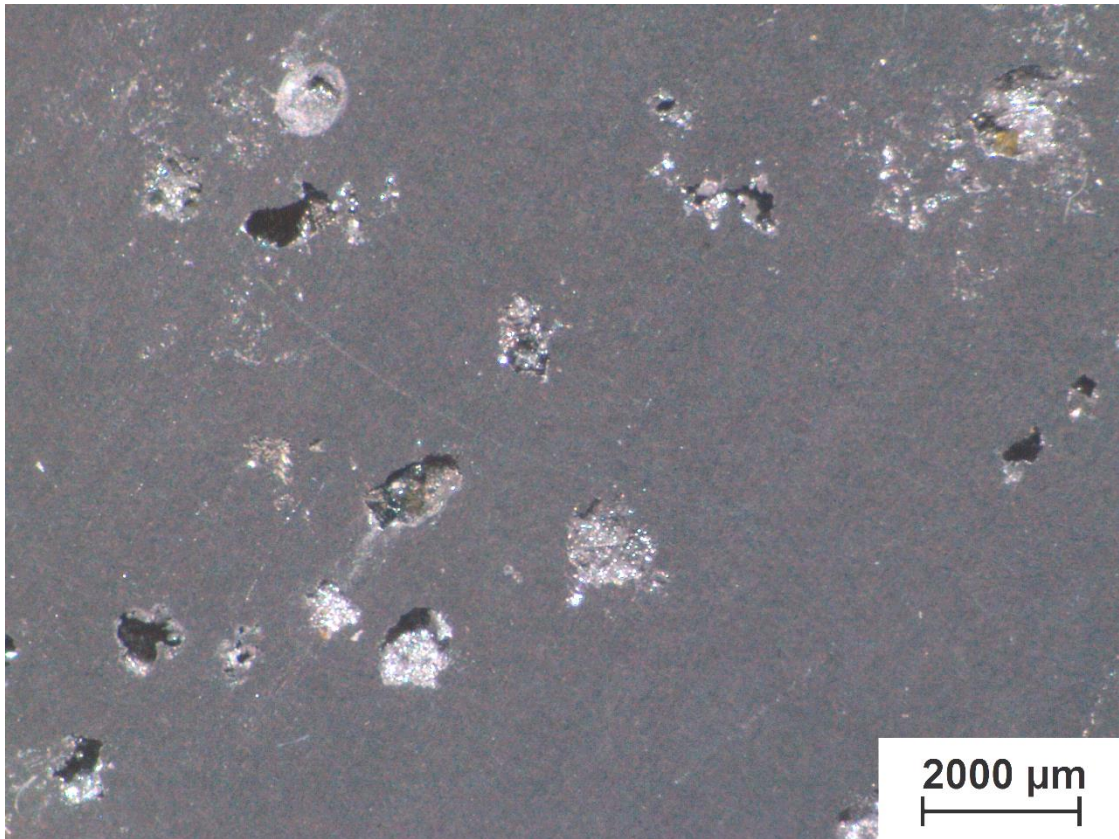
Obrázek 4.23 Makrostruktura vzorku tavby 459 tuhnutého za podtlaku



Obrázek 4.24 Tavba č. 460 – vybroušené vzorky



Obrázek 4.25 Makrostruktura vzorku tavby 460 tuhnutého za atm. tlaku

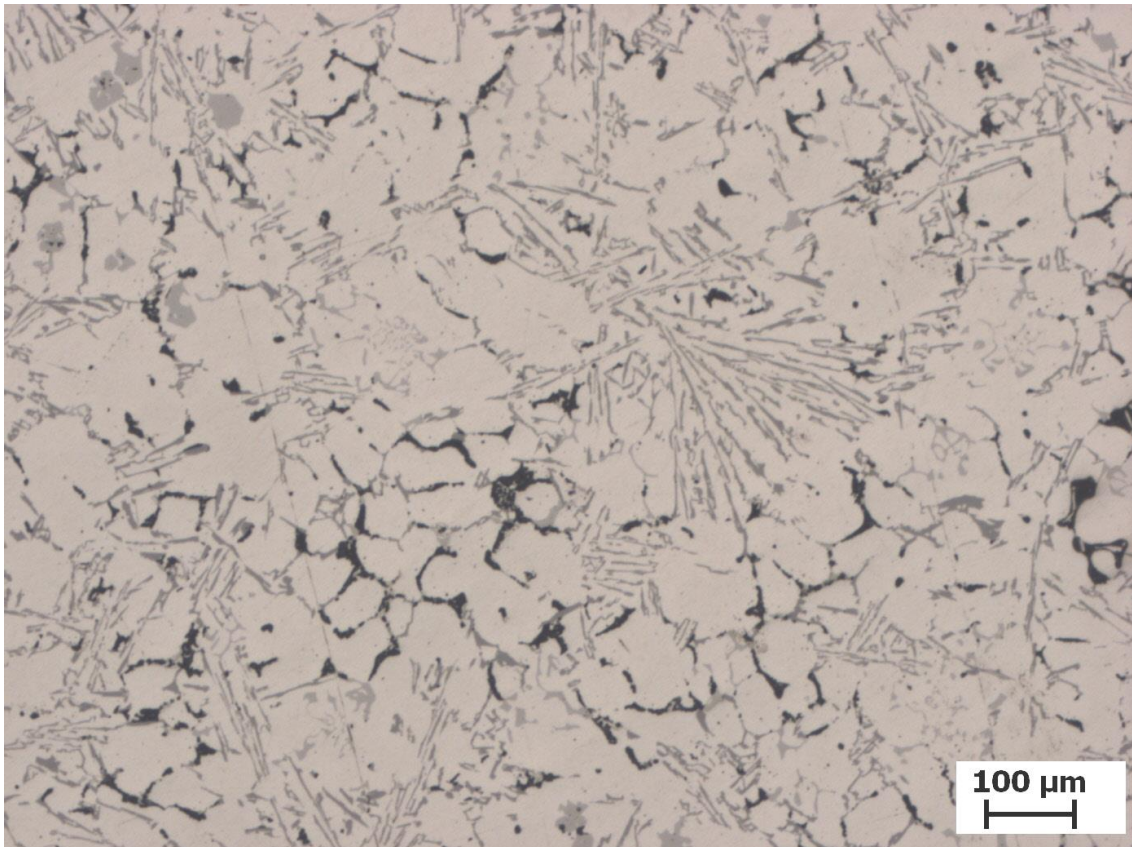


Obrázek 4.26 Makrostruktura vzorku tavby 460 tuhnutého za podtlaku

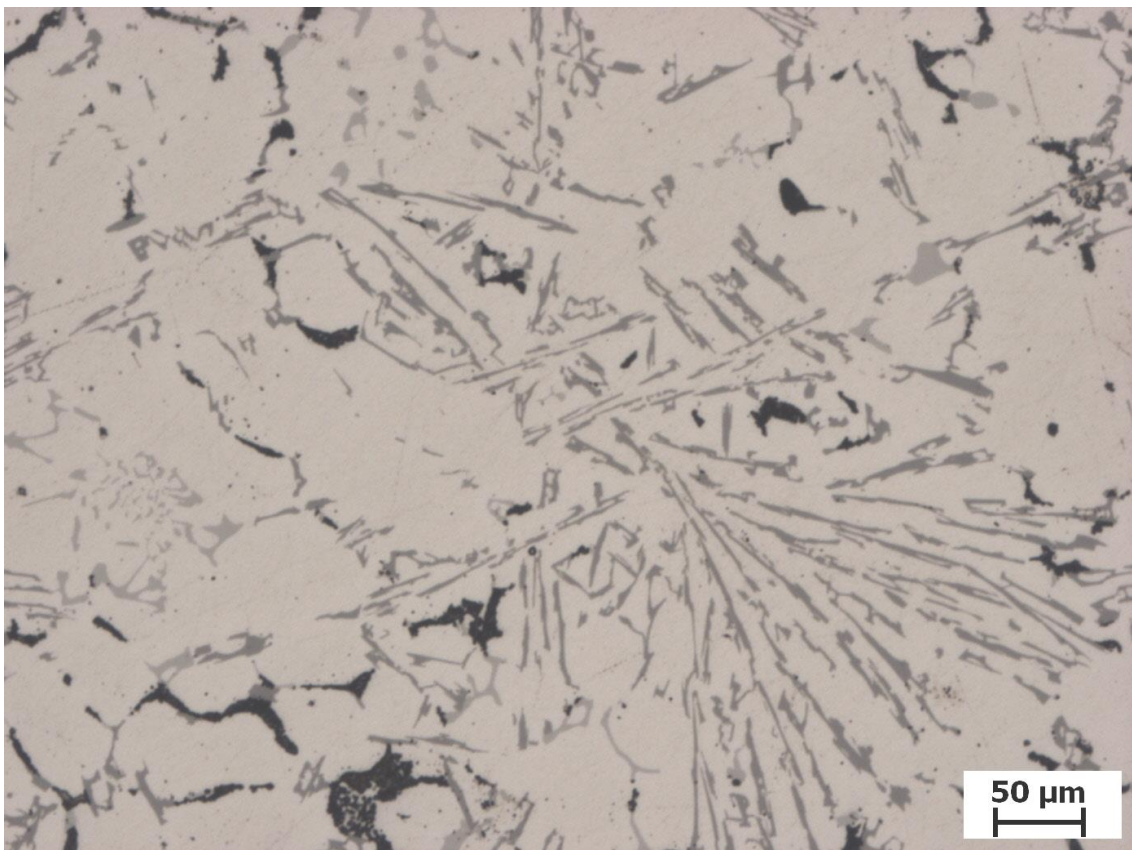
4.4.3 Mikrostruktura



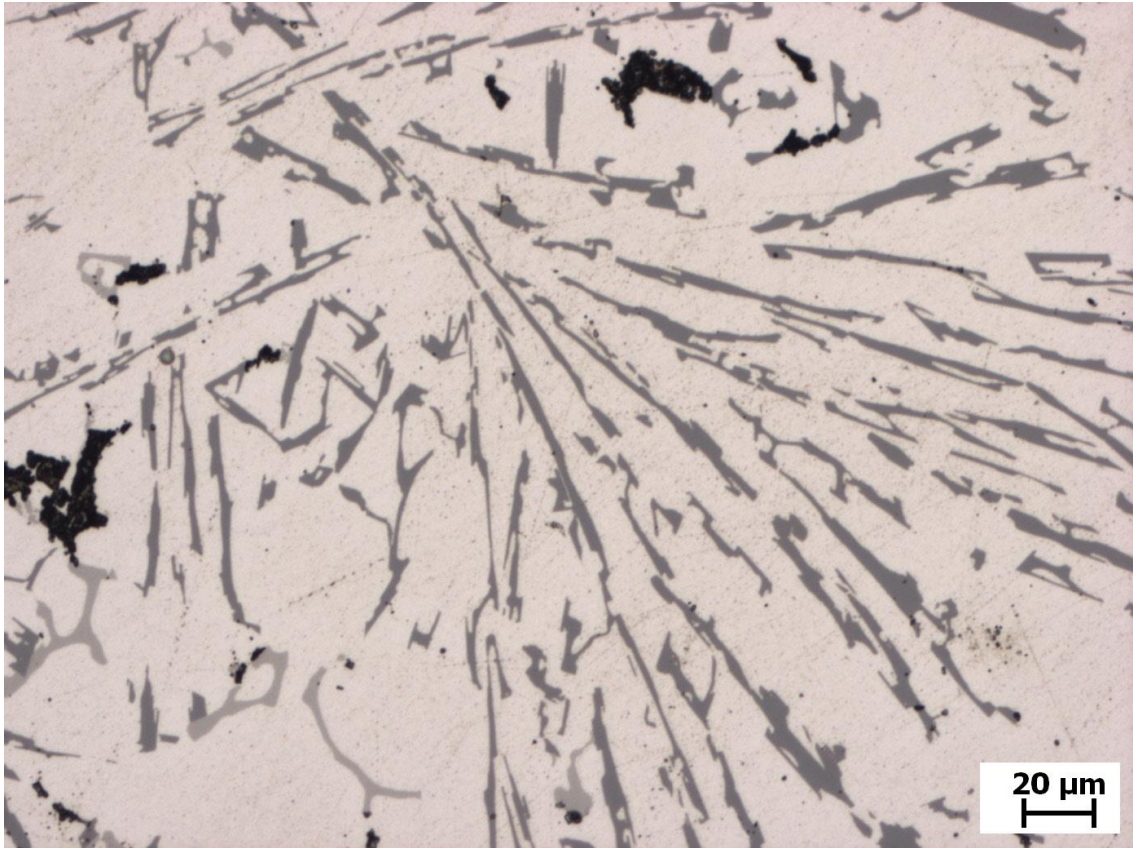
Obrázek 4.27 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 25x



Obrázek 4.28 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 50x



Obrázek 4.29 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 100x



Obrázek 4.30 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 200x

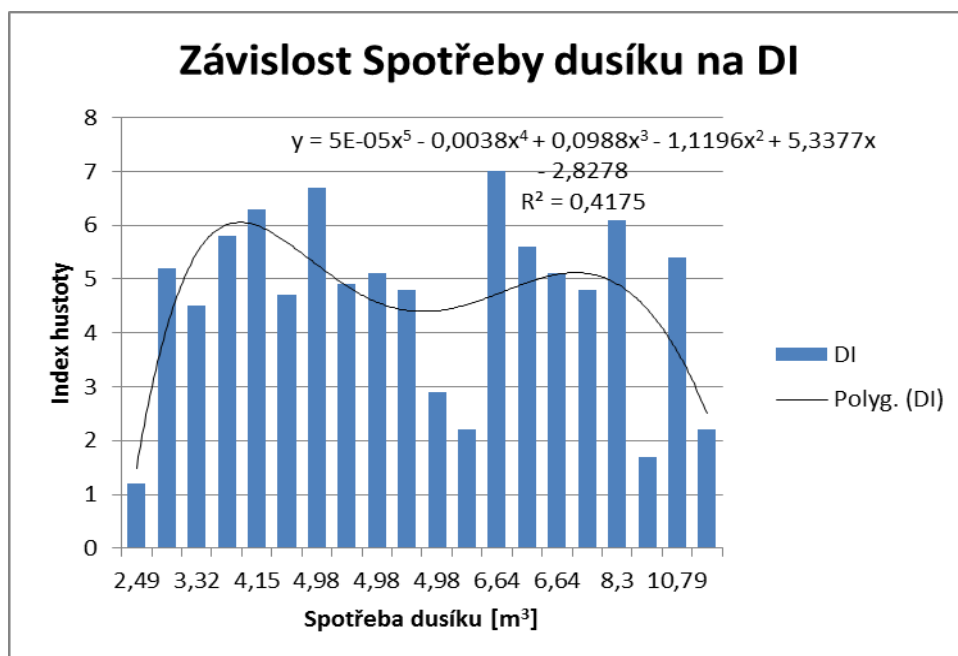
5 Návrh změn a zhodnocení

5.1 Zhodnocení měření

Při řešení mé práce byl nalezen problém, že v průběhu různých taveb bylo použito jiné množství počtu odplynění. Počet odplynění v průměru vycházel na 5 za jednu tavbu, ale byly i tavby, kde bylo odplynění použito 18krát. Tyto výkyvy měly za následek velkou spotřebu dusíku.

Chemické složení jednotlivých vzorků bylo dáno spektrální analýzou. Z jednotlivých tabulek naměřených hodnot je patrné, že všechny vzorky se nepatrně liší v obsahu jednotlivých prvků. Tato skutečnost může být způsobena použitím jiného složení vsázky.

Naměřené a odečtené hodnoty indexu hustoty a spotřeby dusíku byly zpracovány a sestaveny do tabulek a pomocí Grubbsova testu byly vyloučeny náhodné chyby. Dále byly vytvořeny grafy závislostí indexu hustoty na spotřebě dusíku a teplotě. Z obrázku č. 5.1 je patrné, že hodnota spolehlivosti, která by se měla blížit k jedné, je 0,417. Z toho jsem usoudil, že spotřeba dusíku i teplota lití nemají zásadní vliv na kvalitu slitiny.



Obrázek 5.1 Závislost Spotřeby dusíku na DI

5.2 Návrh změn

Z analýzy tavy se neprokázala přímá závislost kvality slitiny na počtu odplynění. Taktéž se neprokázalo, že množství spotřebovaného dusíku na odplynění není závislé na indexu hustoty. Index hustoty je závislý na lidském faktoru. Záleží na obsluze, jak rychle přelévá taveninu, jestli docházelo k přehřátí taveniny v rotační peci nebo nedodržení přesného technologického postupu a způsobů zpracování taveniny.

Doporučil bych, aby při výrobě taveniny docházelo k přesnému dodržování technologických postupů. Aby byl zaveden jednotný počet odplynění za jednu tavbu.

Další navrhovanou změnou by mohlo být zkrácení doby jednoho odplynění, aby nedocházelo k nadbytečné spotřebě dusíku.

Regulací teploty v rotačních pecích by se zabránilo přehřívání taveniny. Tato změna by sloužila k zmenšení růstu nečistot v tavenině. Dále bych doporučil změnit výšku licího pásu, aby nedocházelo při odlévání z pece k zbytečnému promíchávání taveniny při dopadu taveniny na dno kanálu.

6 Závěr

V první části této práce byly popsány základní slévárenské vlastnosti hliníku, chemické složení slitin hliníku a vliv přísadových prvků ve slitinách hliníku. Za základní přísadový prvek je považován křemík. Slitiny hliníku a křemíku jsou označovány jako siluminy. Siluminy tvoří asi polovinu celkové produkce hliníkových slitin. V Další části byly popsány základní slévárenské slitiny hliníku a jejich značení.

V poslední teoretické části byly popsány metody hodnocení kvality slitiny. Jsou zde popsány nejběžnější metody, jako je kontrola chemického složení prováděná na spektrometrech, kontrola teploty pomocí kontaktních a bezkontaktních měřičů, měření naplynění taveniny metodou první bubliny a metodou dvojího vážení. Metoda dvojího vážení je nejvíce používána v hutních provozech. Vyhodnocení této metody je rychlé a poměrně přesné.

V praktické části bakalářské práce byla provedena analýza tavícího procesu. Měření indexu hustoty bylo prováděno ve společnosti METAL TRADE COMAX, a. s. U různých 10 taveb bylo provedeno měření indexu hustoty. Index hustoty se měřil v průběhu tavby zhruba po 30 minutách. Dále byly naměřeny licí teploty, počet odplynění a spotřeba dusíku u 390 taveb. Z naměřených hodnot byly sestaveny závislosti indexu hustoty na licí teplotě a spotřebě dusíku.

V další části práce byly vyhotoveny metalografické vzorky pro hodnocení makrostruktury a mikrostruktury. Celkově 50 vzorků bylo rozřezáno a vybroušeno na požadovanou kvalitu. Následně byly pořízeny metalografické snímky.

Hlavním cílem práce bylo zjistit závislost indexu hustoty na spotřebě dusíku a počtu odplynění. Tato závislost se neprokázala. Bylo zjištěno, že větší vliv na index hustoty má lidský faktor, přehřátí taveniny v rotační peci a nedodržování technologické kázně.

V poslední části bakalářské práce byly navrženy změny, mezi které patří zavedení určitého počtu odplynění za jednu tavbu, zkrácení doby jednoho odplynění a regulace teploty v rotačních pecích, aby nedocházelo k přehřívání taveniny.

Již v průběhu zpracování této bakalářské práce byla ve společnosti METAL TRADE COMAX, a. s. některá doporučená opatření zavedena a potvrzena v praxi. Například byla přenastavena spotřeba dusíku na jedno odplynění z 0,6 m³ na 0,2 m³. Toto opatření snížilo hodnotu spotřebovaného dusíku o 33 %.

7 Použitá literatura:

- [1] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 8021427906.
- [2] MICHNA, Š. A kol. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. ISBN 80-890-4188-4.
- [3] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-600-1.
- [4] BOLIBRUCHOVÁ, Dana a Eva TILLOVÁ. *Zlievarenské zliatiny Al-Si*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2005. ISBN 8080704856.
- [5] CHVOJKA, Jiří a Miroslav BRZOBOHATÝ. *Zpracování a použití hliníku a jeho slitin*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961. Řada hutnické literatury.
- [6] *The Al-Si phase diagram [6]*. - Figure 6 of 6. ResearchGate - Share and discover research [online]. Copyright © 2008 [cit. 23. 07. 2017]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/258390327_fig6_The-Al-Si-phase-diagram-6
- [7] *Termosondy Kladno, spol. s r. o. - Produkty*. Termosondy Kladno, spol. s r. o. [online]. Dostupné z: http://www.termosondy.cz/index_soubory/Page362.htm
- [8] *Měření indexu hustoty - Tavírna - Šebesta s.r.o.* [online]. Copyright © 2017 [cit. 23.07.2017]. Dostupné z: <http://www.sebestasro.cz/cz/tavirna/mereni-indexu-hustoty>
- [9] *Laboratorní spektrometr - BAS Rudice spol. s r.o.* [online]. Dostupné z: https://www.bas.cz/bruker-quantron/laboratorni_spektrometr_q8_magellan.php
- [10] BROWN, John R. *Foseco non-ferrous foundryman's handbook*. 11th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 0750642866.
- [11] *Hutní výroba | METAL TRADE COMAX, a.s.* [online]. Dostupné z: <http://www.mtcomax.cz/?q=cs/hutni-vyroba>

[12] Al-Si alloys. ISBN 978-3-319-58379-2.

[13] ... Holečkova konference: redukce nákladů v období ekonomické a finanční krize, technologie, metalurgie, metalurgická kvalita a metalografie slitin neželezných kovů: rozšířené zasedání, zaměřeno na praktické poznatky ... Brno: Česká slévárenská společnost, [200-] - . ISBN 9788002027171.

[14] NĚMEC, Milan a Jaroslav PROVAZNÍK. Slévárenské slitiny neželezných kovů. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04116-1.

[15] Martech Brno | Naplynění hliníku. Martech Brno | Naplynění hliníku [online]. Dostupné z: <http://www.martechbrno.com/?ukaz=product>

8 Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Fázový diagram Al-Si slitin [6]	11
Obrázek 3.1 Spektrometr Magella Q8 [8]	16
Obrázek 3.2 Schéma termosondy pro měření v hutním a slévárenském provozu [7]	17
Obrázek 3.3 Postup měření při metodě dvojího vážení [1]	21
Obrázek 4.1 Spektrometr Spectro LAB F8 [8]	25
Obrázek 4.2 Odlitý vzorek k určení chemického složení	25
Obrázek 4.3 Chemická analýza tavby 426	26
Obrázek 4.4 Chemická analýza tavby 460	27
Obrázek 4.5 Chemická analýza tavby 555	27
Obrázek 4.6 Odběr taveniny	28
Obrázek 4.7 Martech – VTCM 0017 [15].....	29
Obrázek 4.8 Váha Nagata FATH – 06 S [15]	29
Obrázek 4.9 Graf tavby č. 426	30
Obrázek 4.10 Graf tavby č. 460	31
Obrázek 4.11 Ustalovací pece	32
Obrázek 4.12 Ustalovací pec P1	33
Obrázek 4.13 Graf Závislosti spotřeby dusíku na indexu hustoty	34
Obrázek 4.14 Graf závislosti licí teploty na indexu hustoty.....	35
Obrázek 4.15 Ustalovací pec P2	35
Obrázek 4.16 Závislost indexu hustoty na spotřebě dusíku	37
Obrázek 4.17 Závislost indexu hustoty na licí teplotě.....	37
Obrázek 4.18 Tavba č. 426 - vybroušené vzorky	39
Obrázek 4.19 Makrostruktura vzorku tavby 426 tuhnutého za atm. tlaku	39
Obrázek 4.20 Makrostruktura vzorku tavby 426 tuhnutého za podtlaku.....	40

Obrázek 4.21 Tavba č. 459 – vybroušené vzorky.....	40
Obrázek 4.22 Makrostruktura vzorku tavby 459 tuhnutého za atm. tlaku	41
Obrázek 4.23 Makrostruktura vzorku tavby 459 tuhnutého za podtlaku.....	41
Obrázek 4.24 Tavba č. 460 – vybroušené vzorky.....	42
Obrázek 4.25 Makrostruktura vzorku tavby 460 tuhnutého za atm. tlaku	42
Obrázek 4.26 Makrostruktura vzorku tavby 460 tuhnutého za podtlaku.....	43
Obrázek 4.27 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 25x	43
Obrázek 4.28 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 50x	44
Obrázek 4.29 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 100x	44
Obrázek 4.30 Mikrostruktura vzorku tavby č. 471 – zvětšeno 200x	45
Obrázek 5.1 Závislost Spotřeby dusíku na DI.....	46

9 Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Způsob značení slévárenských slitin hliníku dle ČSN EN 1706 [1] ..	14
Tabulka 4.1 Průběh měření indexů hustoty u tavby č. 426	30
Tabulka 4.2 Průběh měření indexů hustoty u tavby č. 460	31
Tabulka 4.3 Měření ustalovací pec P1	34
Tabulka 4.4 Měření ustalovací pece P2	36
Tabulka 4.5 Indexy hustot a teploty u vzorků pro metalografii	38

10 Přílohy

10.1 Příloha 1

Tabulka spotřeby dusíku v ustalovací peci P1

10.2 Příloha 2

Tabulka spotřeby dusíku v ustalovací peci P1

10.3 Příloha 3

Tabulka taveb

10.4 Příloha 4

Tabulka naměřených indexů hustoty

10.5 Příloha 5

Metalografické snímky

Příloha 1

Tabulka spotřeby dusíku v ustalovací peci P1

Datum tavby	Čas tavby [hod]	Spotřebovaný dusík [m ³]	Počet odplynění
3.1.2017	9:50	4,28	6
3.1.2017	9:55	3,2	4
4.1.2017	9:15	5,22	7
4.1.2017	5:05	0,65	0
4.1.2017	12:20	5,38	8
5.1.2017	11:25	14,27	13
5.1.2017	5:35	2,75	4
5.1.2017	6:30	4,1	6
6.1.2017	5:20	2,5	4
6.1.2017	7:25	2,51	5
6.1.2017	8:20	3,41	5
7.1.2017	7:05	2,77	4
7.1.2017	5:20	4,9	6
7.1.2017	7:40	1,82	2
7.1.2017	8:55	0,34	0
8.1.2017	5:10	0,85	0
8.1.2017	7:05	1,17	0
8.1.2017	1:50	0,28	0
8.1.2017	8:25	1,34	0
9.1.2017	3:20	0,53	0
9.1.2017	10:45	4,33	5
9.1.2017	8:10	5,71	8
10.1.2017	6:35	2,85	3
10.1.2017	7:40	1,75	2
10.1.2017	5:00	3,38	4
10.1.2017	7:45	2,6	3
11.1.2017	8:25	2,22	3
11.1.2017	3:05	0,7	1
11.1.2017	7:35	3,25	4
12.1.2017	7:00	1,75	2
12.1.2017	9:25	4,17	5
12.1.2017	3:50	3,54	5
12.1.2017	6:55	2,42	3
13.1.2017	5:10	4,06	6

13.1.2017	7:10	2,68	4
13.1.2017	5:00	3,08	4
13.1.2017	6:35	3,21	5
14.1.2017	5:50	4,16	7
14.1.2017	7:45	3,63	5
14.1.2017	4:55	2,17	3
14.1.2017	7:00	2,8	4
15.1.2017	4:55	3,59	5
15.1.2017	6:00	0,7	0
15.1.2017	3:35	0,44	0
15.1.2017	8:15	1,01	0
16.1.2017	12:20	9,07	13
16.1.2017	12:50	12,77	19
17.1.2017	11:05	5,47	8
17.1.2017	10:45	8,95	12
18.1.2017	9:55	4,02	6
18.1.2017	8:50	6,53	9
18.1.2017	7:30	6,09	7
19.1.2017	3:35	3,21	5
19.1.2017	10:25	4,53	7
19.1.2017	4:10	2,9	4
20.1.2017	6:20	1,2	1
20.1.2017	8:25	4,51	7
20.1.2017	5:00	3,09	5
20.1.2017	6:35	4,68	7
21.1.2017	6:05	4,69	7
21.1.2017	8:20	6,21	10
21.1.2017	5:45	1,86	3
21.1.2017	6:05	1,86	3
22.1.2017	6:00	2,58	4
22.1.2017	8:40	5,34	7
22.1.2017	2:40	0	0
22.1.2017	6:00	0,63	0
23.1.2017	3:25	0,45	0
23.1.2017	5:45	0,87	0
23.1.2017	10:00	7,6	9
23.1.2017	7:55	5,93	8
24.1.2017	10:05	8,23	9
24.1.2017	10:05	5,73	8
25.1.2017	7:25	4,41	6
25.1.2017	6:50	3,23	5

25.1.2017	8:10	8,64	10
26.1.2017	7:40	3,23	4
26.1.2017	5:20	0,87	0
26.1.2017	11:40	24,13	33
27.1.2017	7:30	5	7
27.1.2017	6:55	3,91	5
27.1.2017	4:20	3,76	5
27.1.2017	6:35	2,27	2
28.1.2017	5:10	2,21	3
28.1.2017	6:40	3,65	5
28.1.2017	6:35	4	5
28.1.2017	6:15	4,69	7
29.1.2017	5:40	5,41	8
29.1.2017	7:25	4	5
29.1.2017	5:05	3,84	5
29.1.2017	6:00	1,03	0
30.1.2017	8:20	7,54	9
30.1.2017	11:25	5,63	8
31.1.2017	11:35	13,26	17
31.1.2017	7:50	6,06	8
31.1.2017	5:35	3,22	4
1.2.2017	4:40	2,77	4
1.2.2017	9:25	5,44	6
1.2.2017	6:30	5,04	7
1.2.2017	6:30	4,11	6
2.2.2017	6:40	6,28	7
2.2.2017	6:20	5,48	9
2.2.2017	9:50	9,05	12
3.2.2017	6:55	4,61	7
3.2.2017	7:55	6,22	10
3.2.2017	5:05	7,12	9
3.2.2017	7:20	5,99	8
4.2.2017	5:20	3,95	6
4.2.2017	6:40	3,38	5
4.2.2017	4:20	2,87	4
4.2.2017	7:00	1,17	1
5.2.2017	6:00	2,13	3
5.2.2017	7:40	1,06	0
5.2.2017	2:20	0,31	0
5.2.2017	5:45	1,7	2
6.2.2017	5:00	0,66	0

6.2.2017	11:30	8,29	12
6.2.2017	8:50	5,97	9
7.2.2017	11:20	7,01	10
7.2.2017	13:05	5,9	8
8.2.2017	11:00	10,13	13
8.2.2017	5:30	4,02	5
8.2.2017	8:10	2,18	3
9.2.2017	10:05	6,92	10
9.2.2017	5:20	5,58	8
9.2.2017	6:15	3,1	5
10.2.2017	6:05	2,86	4
10.2.2017	7:25	3,11	5
10.2.2017	5:25	5,11	8
10.2.2017	7:30	7,65	8
11.2.2017	5:50	5,36	7
11.2.2017	6:10	1,61	2
11.2.2017	2:55	0,39	0
11.2.2017	11:25	1,51	0
12.2.2017	4:15	0,53	0
12.2.2017	6:15	0,31	0
12.2.2017	2:20	0	0
12.2.2017	6:40	1,01	1
13.2.2017	13:50	4,99	7
13.2.2017	9:50	5,72	9
14.2.2017	11:40	7,04	11
14.2.2017	11:40	4,74	7
15.2.2017	12:15	6,5	9
15.2.2017	6:25	3,45	4
15.2.2017	6:25	4,29	6
16.2.2017	5:25	7,98	10
16.2.2017	6:55	6,64	8
16.2.2017	5:10	3,49	3
16.2.2017	6:55	3,76	4
17.2.2017	6:20	5,24	7
17.2.2017	7:35	2,21	2
17.2.2017	5:10	5,81	8
17.2.2017	10:15	6,94	3
18.2.2017	7:55	4,35	6
18.2.2017	4:40	5,48	6
18.2.2017	6:45	4,3	5
19.2.2017	6:20	7,5	10

19.2.2017	6:00	1,08	1
19.2.2017	3:20	0,95	0
19.2.2017	5:50	1,63	0
20.2.2017	5:20	1,5	0
20.2.2017	10:10	3,72	3
20.2.2017	8:05	4,63	7
21.2.2017	9:45	1,44	2
21.2.2017	9:05	8,22	9
21.2.2017	8:30	10,23	15
22.2.2017	4:50	4,1	6
22.2.2017	7:20	5,17	6
22.2.2017	4:40	5,51	8
22.2.2017	8:20	2	3
23.2.2017	2:25	0	0
23.2.2017	1:55	0	0
23.2.2017	9:55	4,14	6
23.2.2017	6:50	2,1	3
24.2.2017	5:20	4,64	5
24.2.2017	7:05	6,56	9
24.2.2017	5:25	3,5	5
24.2.2017	6:30	6,31	9
25.2.2017	5:10	3,4	4
25.2.2017	7:05	5,37	7
25.2.2017	5:20	3,44	5
25.2.2017	7:30	3,46	5
26.2.2017	3:30	0,87	2
26.2.2017	5:50	0,76	1
26.2.2017	2:40	0	0
26.2.2017	7:10	0	0
27.2.2017	3:15	0	0
27.2.2017	14:15	10,77	13
27.2.2017	9:30	9,35	13
28.2.2017	7:10	7,05	9
28.2.2017	6:45	2,1	3
28.2.2017	4:45	3,28	4
28.2.2017	6:45	0	0
1.3.2017	6:55	3,48	5
1.3.2017	6:40	2,92	4
1.3.2017	4:35	2,47	3
1.3.2017	22:50	10,14	5
2.1.2017	4:25	3,46	5

3.3.2017	7:35	5,63	8
3.3.2017	6:50	4,74	6
3.3.2017	4:40	3,1	5
3.3.2017	7:25	3,54	5
4.3.2017	4:50	4,81	6
4.3.2017	6:50	4,52	5
4.3.2017	4:25	2,88	4
4.3.2017	6:20	4,84	7
5.3.2017	5:00	4,61	4
5.3.2017	7:10	5,1	7
5.3.2017	5:15	2,59	3
5.3.2017	5:55	0	0
6.3.2017	13:15	7,1	10
6.3.2017	8:50	15,68	3
7.3.2017	10:05	9,17	13
7.3.2017	6:35	1,36	2
7.3.2017	10:05	14,96	18
8.3.2017	8:25	6,59	9
8.3.2017	9:05	3,03	4
8.3.2017	5:25	2,02	3
9.3.2017	6:35	4,31	6
9.3.2017	9:30	4,63	6
9.3.2017	4:55	3,25	5
9.3.2017	6:20	0,71	1
10.3.2017	5:15	6,44	10
10.3.2017	7:00	2,16	4
10.3.2017	5:35	3,8	5
10.3.2017	6:35	4,8	7
11.3.2017	5:15	4,6	7
11.3.2017	6:00	1,18	3
11.3.2017	5:50	4,82	7
11.3.2017	7:00	2,58	4
12.3.2017	2:45	0	0
12.3.2017	6:50	0	0
12.3.2017	3:15	0	0
12.3.2017	4:00	0	0
12.3.2017	5:45	0	0
13.3.2017	5:15	0	0
13.3.2017	11:45	11,5	12
13.3.2017	11:45	3,35	5
14.3.2017	7:50	1,32	2

14.3.2017	3:30	0	0
14.3.2017	5:40	0	0
15.3.2017	7:35	7,25	11
15.3.2017	6:45	2,58	4
15.3.2017	4:30	4,27	8
15.3.2017	7:00	6,03	7
16.3.2017	5:30	3,12	6
16.3.2017	6:50	3,57	4
16.3.2017	6:05	4,03	6
16.3.2017	6:50	3,96	6

Příloha 2

Tabulka spotřeby dusíku v ustalovací peci P2

Datum tavby	Čas tavby [hod]	Spotřebovaný dusík [m ³]	Počet odplynění
1.1.2017	8:54	0	0
2.1.2017	9:36	65	13
3.1.2017	12:38	10	2
3.1.2017	9:47	45	9
4.1.2017	15:19	40	8
4.1.2017	9:48	35	7
5.1.2017	12:04	45	9
6.1.2017	12:57	35	7
6.1.2017	13:09	50	10
7.1.2017	15:16	35	7
7.1.2017	12:33	45	9
8.1.2017	9:34	25	5
8.1.2017	12:27	50	10
9.1.2017	10:55	40	8
9.1.2017	8:33	65	13
10.1.2017	14:36	30	6
10.1.2017	12:48	55	11
11.1.2017	10:46	30	6
11.1.2017	8:39	60	12
12.1.2017	15:02	50	10
12.1.2017	12:56	35	7
13.1.2017	10:53	25	5
13.1.2017	12:45	100	20
14.1.2017	11:40	40	8
14.1.2017	12:33	60	12
15.1.2017	12:14	40	8
15.1.2017	12:31	50	10
16.1.2017	11:27	75	15
16.1.2017	11:14	25	5
17.1.2017	12:50	55	11
17.1.2017	11:03	30	6
17.1.2017	10:38	35	7

18.1.2017	14:55	40	8
19.1.2017	11:53	20	4
19.1.2017	13:41	20	4
20.1.2017	10:57	40	8
20.1.2017	7:54	30	6
21.1.2017	15:19	50	10
21.1.2017	11:06	60	12
22.1.2017	12:07	35	7
22.1.2017	12:39	65	13
23.1.2017	10:17	10	2
23.1.2017	13:56	50	10
24.1.2017	13:11	75	15
24.1.2017	9:43	35	7
25.1.2017	10:44	50	10
25.1.2017	13:07	60	12
26.1.2017	13:01	35	7
26.1.2017	9:57	30	6
26.1.2017	10:08	20	4
27.1.2017	14:58	20	4
28.1.2017	13:09	65	13
28.1.2017	10:02	20	4
29.1.2017	12:26	45	9
19.1.2017	12:46	30	6
30.1.2017	11:57	10	2
30.1.2017	12:34	80	16
31.1.2017	12:51	45	9
31.1.2017	12:20	45	9
31.1.2017	6:10	15	3
1.2.2017	14:27	45	9
2.2.2017	12:59	70	14
2.2.2017	12:35	50	10
3.2.2017	9:40	55	11
3.2.2017	15:36	60	12
4.2.2017	11:55	70	14
4.2.2017	11:56	20	4
5.2.2017	10:47	45	9
5.2.2017	13:15	40	8
6.2.2017	10:04	55	11
6.2.2017	13:40	75	15
7.2.2017	10:58	35	7
7.2.2017	10:54	35	7

8.2.2017	13:00	35	7
8.2.2017	11:29	75	15
9.2.2017	13:20	65	13
9.2.2017	9:25	75	15
10.2.2017	12:52	45	9
10.2.2017	13:16	70	14
11.2.2017	11:57	50	10
11.2.2017	13:00	35	7
12.2.2017	10:08	20	4
12.2.2017	14:07	25	5
13.2.2017	8:54	30	6
13.2.2017	13:55	40	8
14.2.2017	10:15	30	6
14.2.2017	10:00	30	6
15.2.2017	1:28	50	10
16.2.2017	13:04	20	4
16.2.2017	11:17	65	13
17.2.2017	13:02	40	8
17.2.2017	13:09	55	11
18.2.2017	0:21	65	13
19.2.2017	11:18	35	7
19.2.2017	12:16	20	4
20.2.2017	10:15	20	4
20.2.2017	13:08	25	5
21.2.2017	14:20	50	10
21.2.2017	11:33	35	7
22.2.2017	9:43	30	6
22.2.2017	13:24	80	16
23.2.2017	13:11	55	11
23.2.2017	10:44	40	8
24.2.2017	10:08	45	9
24.2.2017	12:25	50	10
25.2.2017	11:59	35	7
25.2.2017	12:07	20	4
26.2.2017	11:55	20	4
26.2.2017	10:55	40	8
26.2.2017	10:10	15	3
27.2.2017	14:55	65	13
28.2.2017	10:49	20	4
28.2.2017	13:54	35	7
1.3.2017	11:01	35	7

1.3.2017	13:31	65	13
1.3.2017	8:43	50	10
2.3.2017	17:54	0	0
3.3.2017	13:36	35	7
3.3.2017	6:11	50	10
4.3.2017	12:47	40	8
4.3.2017	11:27	30	6
5.3.2017	11:02	50	10
5.3.2017	11:37	20	4
6.3.2017	12:33	35	7
6.3.2017	12:09	35	7
7.3.2017	13:12	50	10
7.3.2017	12:20	45	9
8.3.2017	10:00	35	7
8.3.2017	14:15	40	8
9.3.2017	13:36	55	11
9.3.2017	11:32	35	7
10.3.2017	11:01	45	9
10.3.2017	13:35	75	15
11.3.2017	10:42	35	7
11.3.2017	11:46	45	9
12.3.2017	12:09	40	8
12.3.2017	11:16	60	12
13.3.2017	12:25	25	5
13.3.2017	11:20	25	5
14.3.2017	11:36	20	4
14.3.2017	13:49	75	15
15.3.2017	9:24	20	4
15.3.2017	13:28	70	14
16.3.2017	10:57	40	8
16.3.2017	12:29	15	3
17.3.2017	12:41	40	8
17.3.2017	12:42	65	13
18.3.2017	10:27	35	7
18.3.2017	10:40	35	7

Příloha 3

Tabulka taveb

Datum	Pec	Tavba	Materiál	Index hustoty [%]	Teplota [°C]
5.1.2017	V24	9	226D	3,2	760
7.1.2017	M12	26	226D	6,7	765
9.1.2017	M12	41	226D	5,8	758
10.1.2017	V24	43	226D	4	778
11.1.2017	V24	49	226D	3,3	780
13.1.2017	V24	54	226D	2,5	752
14.1.2017	M12	70	226D	7	765
15.1.2017	M12	73	226D	6,3	790
17.1.2017	V24	84	226D	3,7	748
19.1.2017	V24	101	226D	2,6	756
23.1.2017	V24	107	226D	3,1	776
24.1.2017	M12	126	226D	5,6	772
25.1.2017	M12	135	226D	6,1	766
26.1.2017	M12	136	226D	5,2	769
1.2.2017	V24	173	226D	2,4	787
2.2.2017	M12	180	226D	4,9	780
4.2.2017	M12	195	226D	5,1	781
6.2.2017	V24	207	226D	3,6	755
7.2.2017	V24	213	226D	2,2	758
8.2.2017	M12	220	226D	5,4	780
9.2.2017	M12	230	226D	5,1	786
10.2.2017	V24	244	226D	2,7	771
12.2.2017	V24	252	226D	3,5	762
15.2.2017	M12	261	226D	4,5	759
17.2.2017	M12	271	226D	4,8	750
19.2.2017	V24	296	226D	3,2	760
24.2.2017	V24	315	226D	2,9	772
26.2.2017	V24	326	226D	3,6	752
3.3.2017	M12	342	226D	4,7	781
4.3.2017	M12	350	226D	4,8	770
5.3.2017	V24	367	226D	3,7	779
6.3.2017	M12	375	226D	1,2	763
7.3.2017	M12	379	226D	2,2	779
8.3.2017	V24	386	226D	3,8	757

9.3.2017	M12	385	226D	2,9	766
9.3.2017	V24	392	226D	4,7	763
10.3.2017	M12	421	226D	1,7	784
15.3.2017	V24	424	226D	4,7	749
16.3.2017	M12	426	226D	2,2	759
16.3.2017	V24	433	226D	3,9	769
17.3.2017	M12	434	226D	1,8	777
17.3.2017	V24	452	226D	4,1	782
19.3.2017	M12	453	226D	1	763
20.3.2017	V24	455	226D	2,2	758
21.3.2017	M12	459	226D	14,4	781
21.3.2017	M12	460	226D	4	772
21.3.2017	V24	465	226D	3,9	766
22.3.2017	M12	466	226D	1,8	761
22.3.2017	V24	472	226D	5,5	780
23.3.2017	M12	471	226D	1,4	754
23.3.2017	V24	478	226D	4,4	764
24.3.2017	V24	479	226D	1,3	758
24.3.2017	V24	499	226D	1,8	765
27.3.2017	M12	502	226D	1,6	780
28.3.2017	V24	507	226D	4,4	765
29.3.2017	M12	508	226D	2,6	779
29.3.2017	M12	512	226D	5,3	763
5.4.2017	M12	549	226D	2	778
5.4.2017	M12	550	226D	1,3	754
5.4.2017	M12	554	226D	5,2	766
6.4.2017	V24	555	226D	1,5	783

Příloha 4

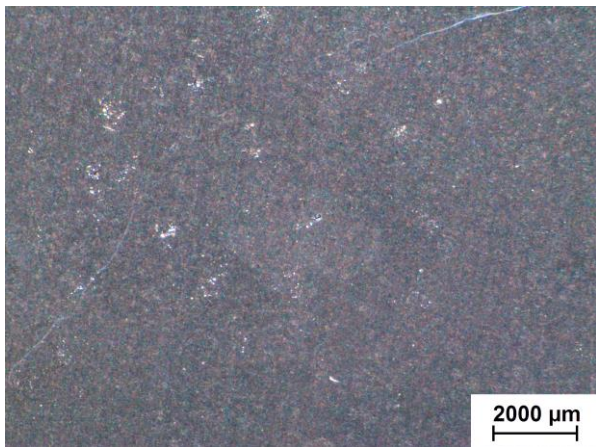
Tabulka naměřených indexů hustoty

Tavba	Čas	DI [%]	Začátek lití	Konec Lití	Ustalovací pec
426	11:15	2,2	11:00		v
	11:20	2			v
	11:55	1,4			v
	12:35	1,1			v
	13:10	1,2			v
	13:50	0,9		14:10	v
434	13:55	1,6	13:30		v
	14:05	1,8			v
	14:10	1,2		15:25	v
453	12:15	1	12:00		v
	12:45	1			v
	13:15	0,8		14:00	v
459		20	8:00		m
		17,7			m
		14,4			m
		16,7		9:40	m
460	14:55	5,8	14:10		m
	15:00	3,5			m
	15:05	4			m
	15:30	6			m
	15:35	3,7			m
	15:40	5,5			m
	15:45	3,2			m
	15:50	2,9		16:10	m
471	11:40	1,4	11:20		v
	12:40	1,1			v
	13:40	1,2			v
	14:39	1		14:45	v
549	11:55	1,7	11:30		m
	12:45	2		13:30	m
554	9:00	1,1	8:40		m
	10:10	5,2		10:30	m
555	11:30	1,5	11:00		v
	12:00	0,9			v

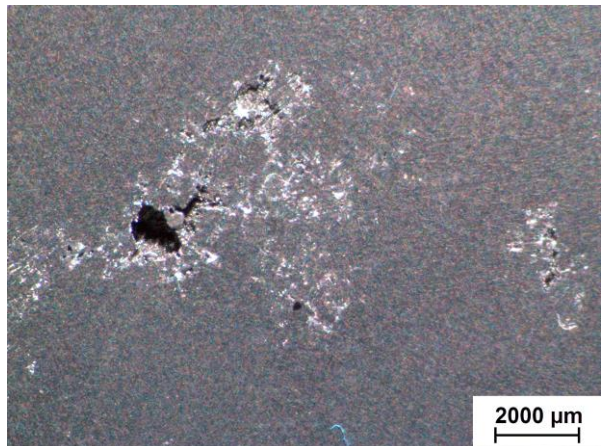
	13:00	1			v
	14:00	1		14:20	v

Příloha 5

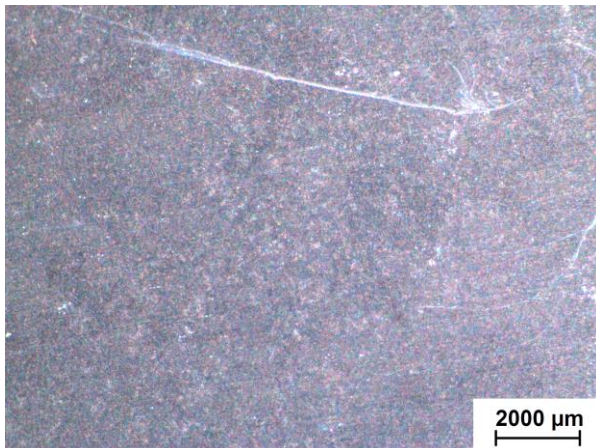
Metalografické snímky



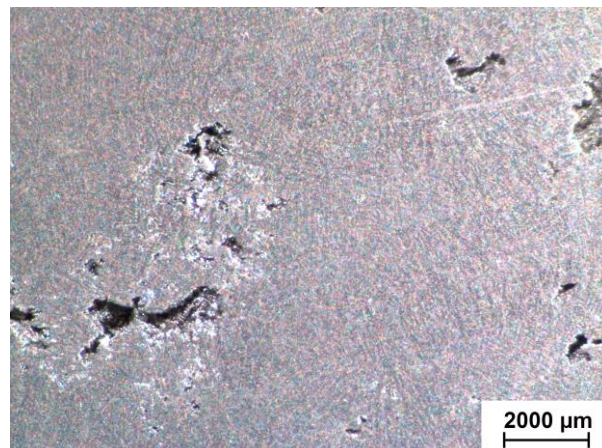
426_1_8x



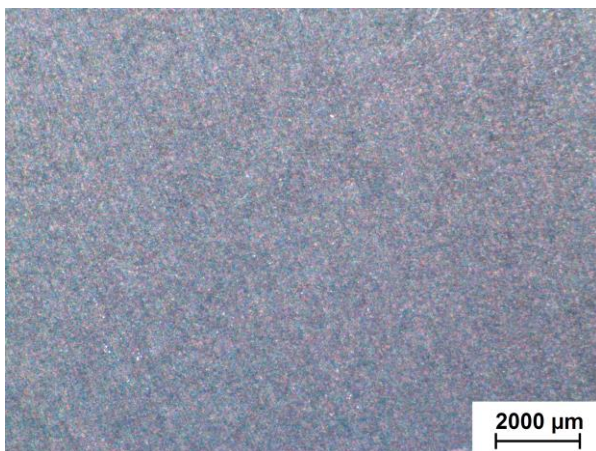
426_1VA_8x



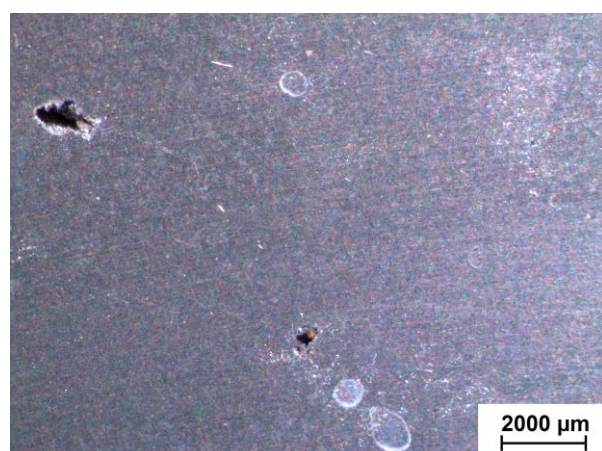
426_2_8x



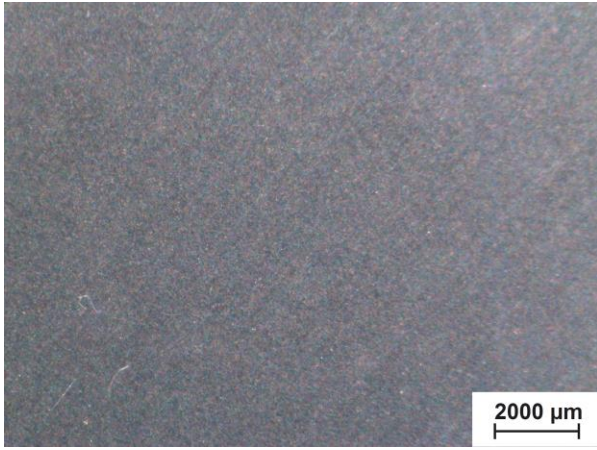
426_2VA_8x



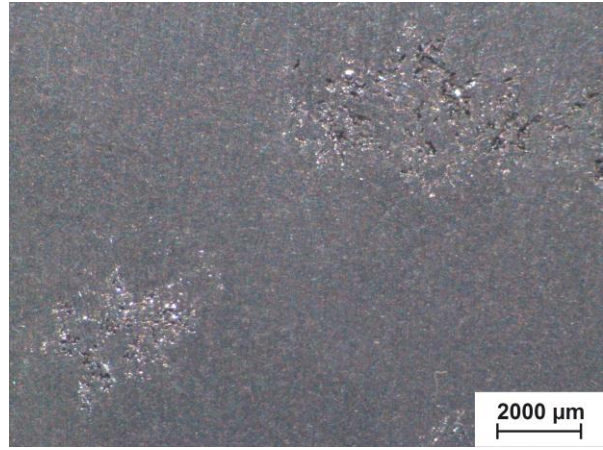
426_3_8x



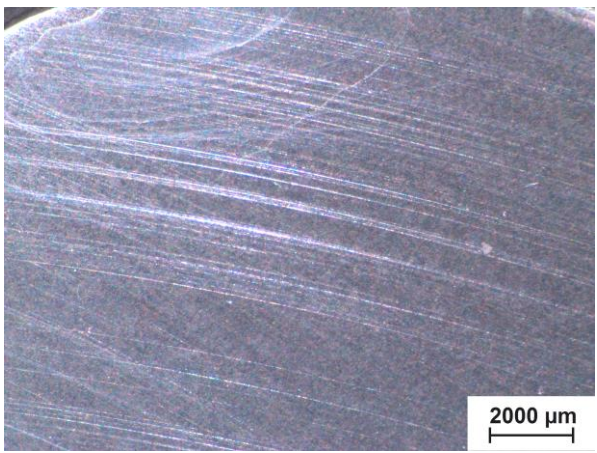
426_3VA_8x



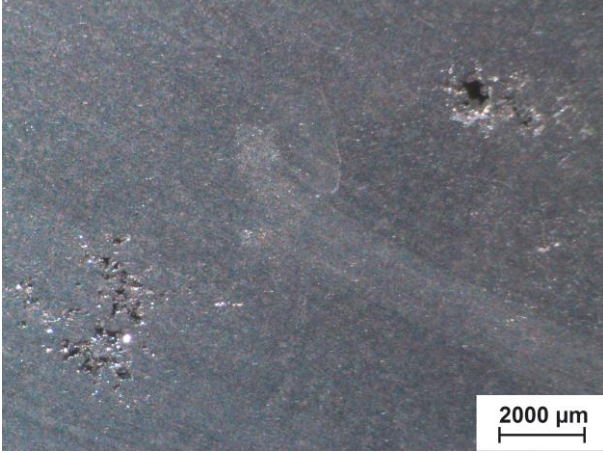
426_4_8x



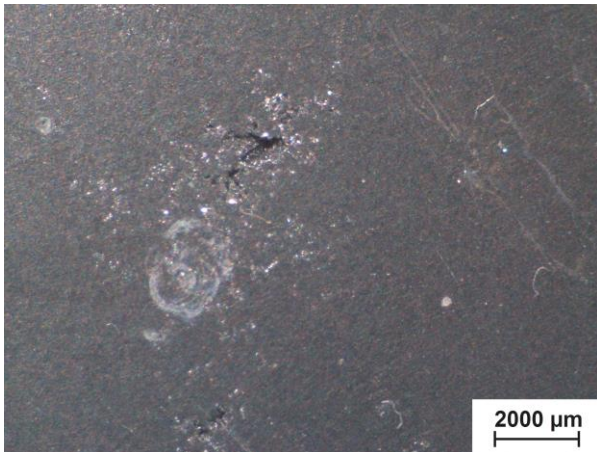
426_4VA_8x



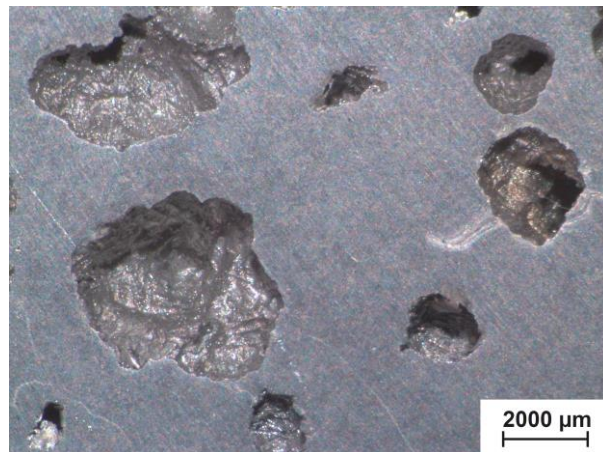
434_1_8x



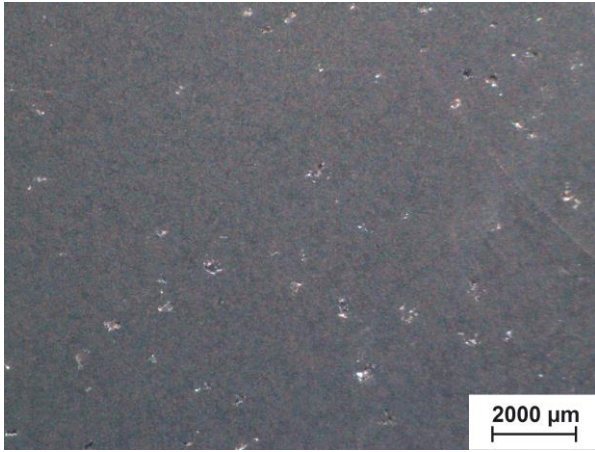
434_1VA_8x



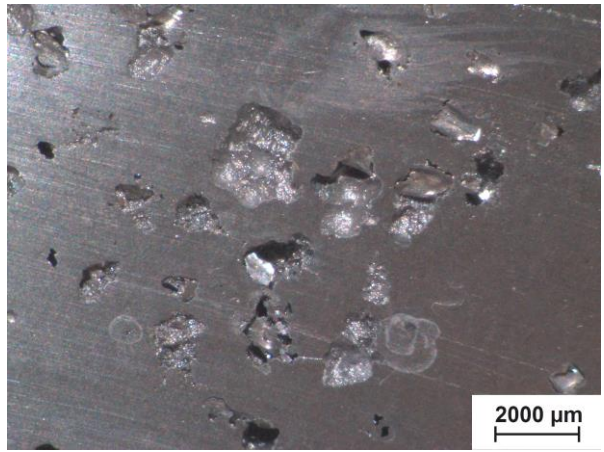
459_1_8x



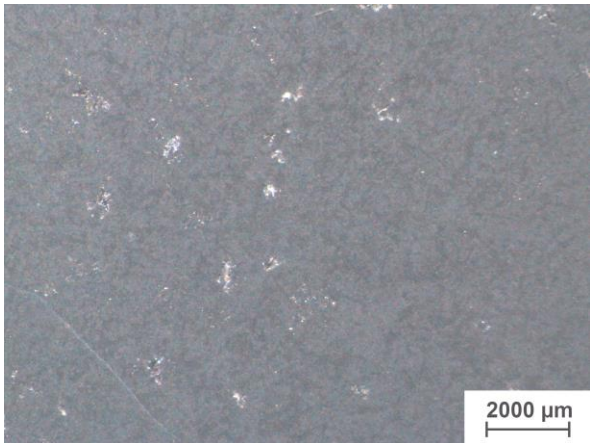
459_1VA_8x



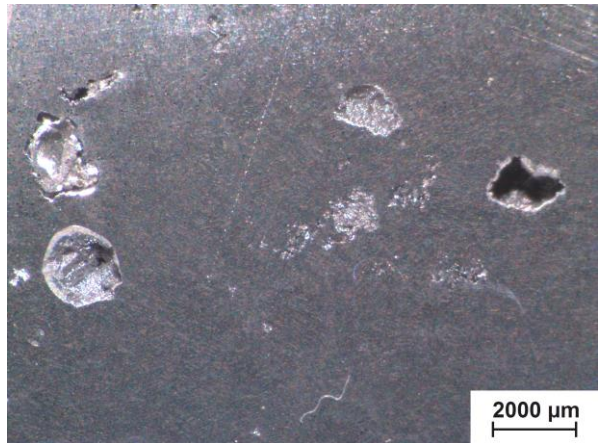
459_2_8x



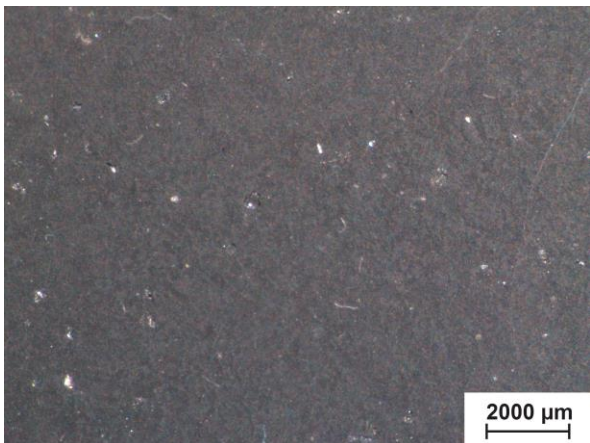
459_2VA_8x



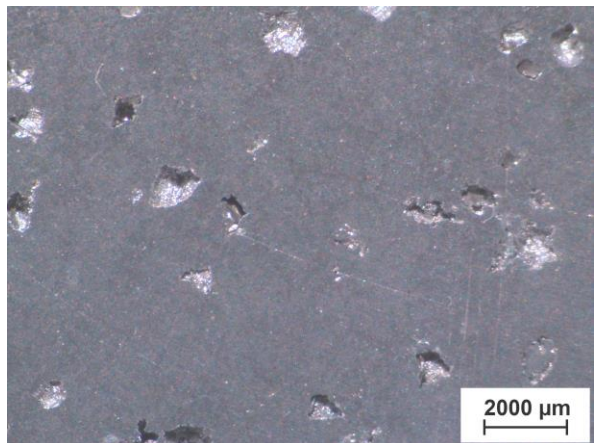
459_3_8x



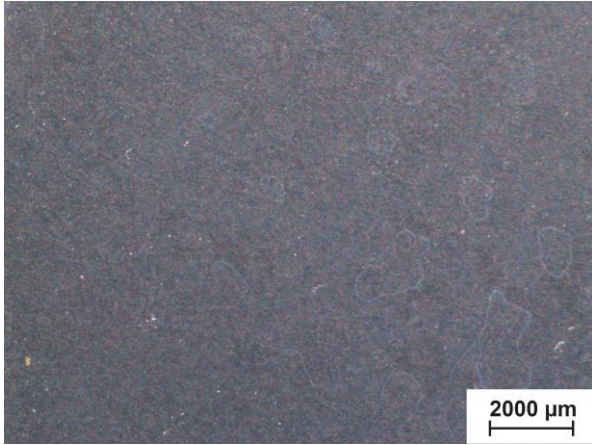
459_3VA_8x



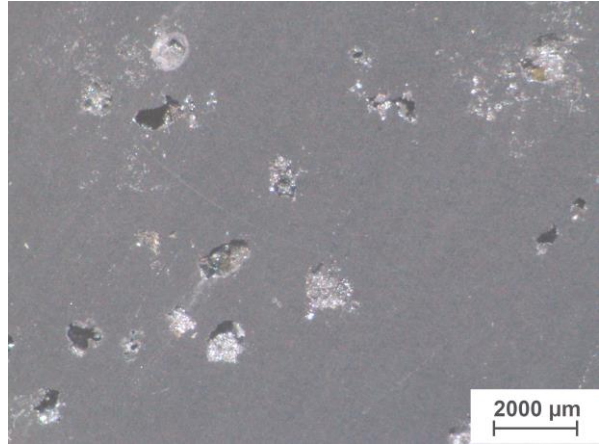
459_4_8x



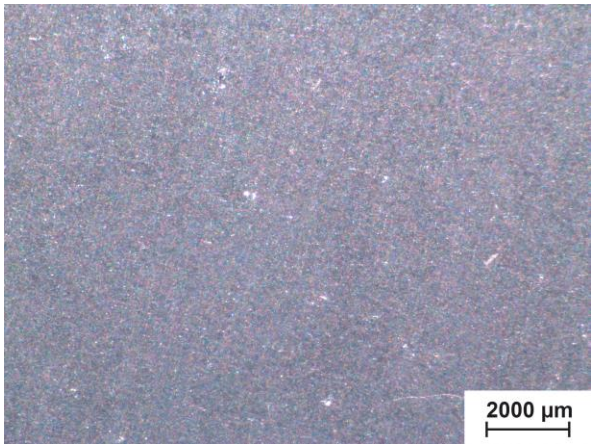
459_4VA_8x



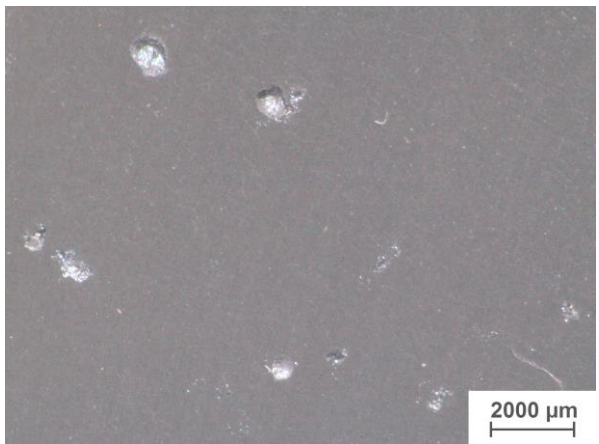
460_1_8x



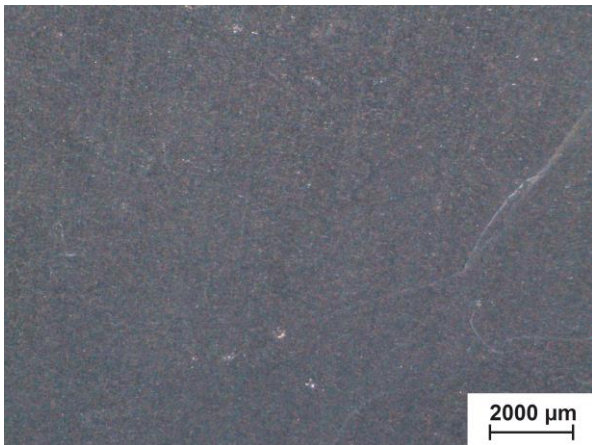
460_1VA_8x



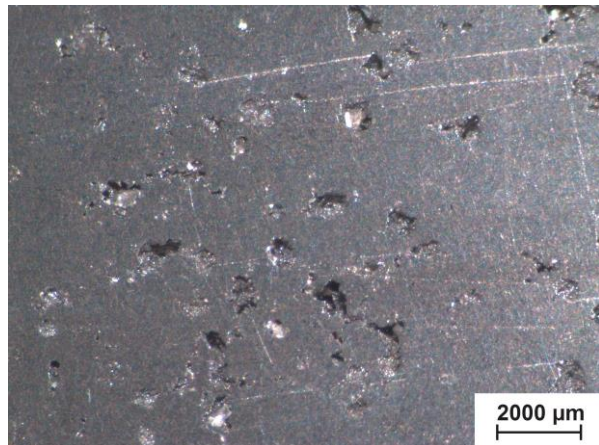
460_2_8x



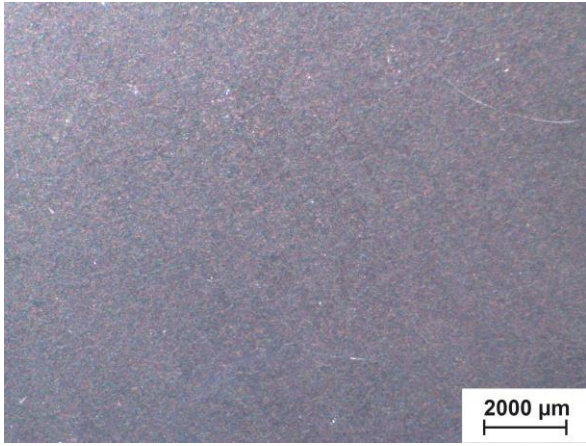
460_2VA_8x



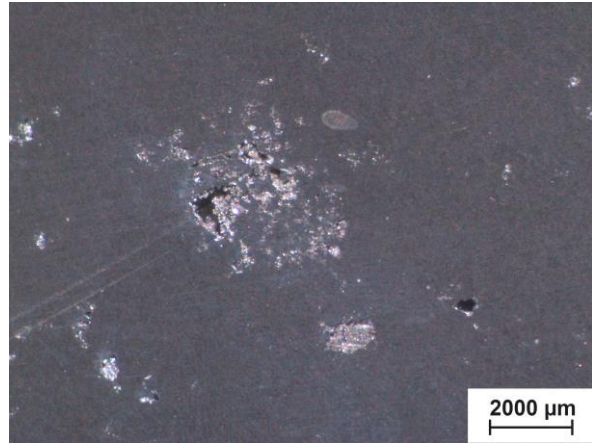
460_4_8x



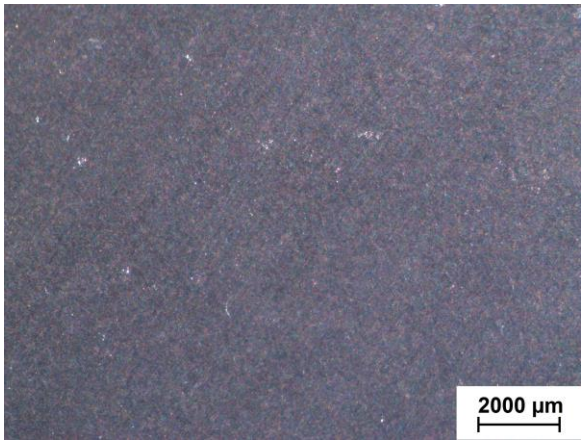
460_4VA_8x



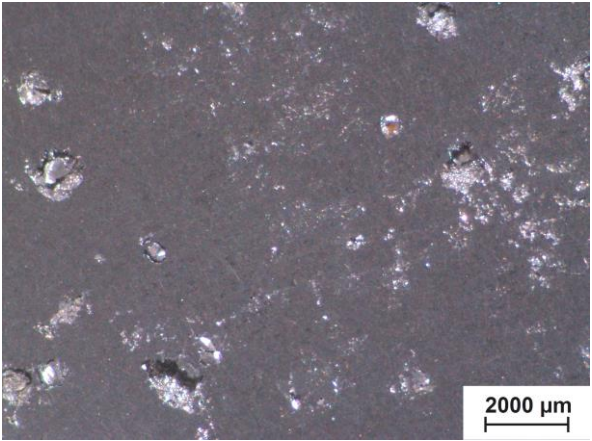
460_5_8x



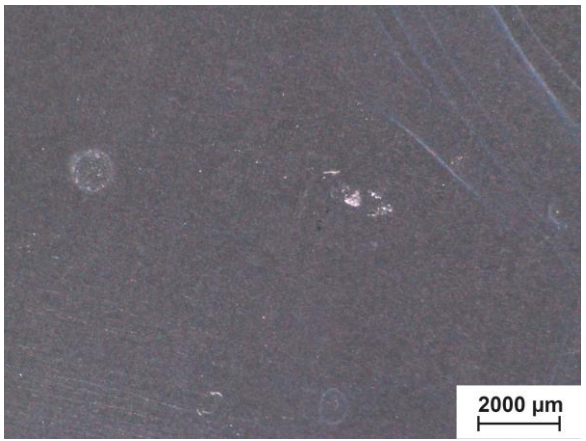
460_5VA_8x



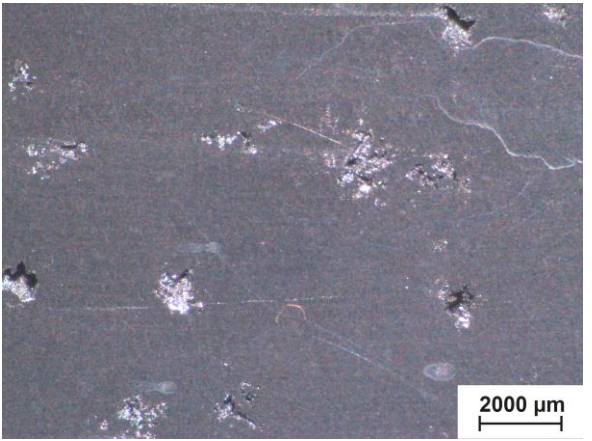
460_6_8x



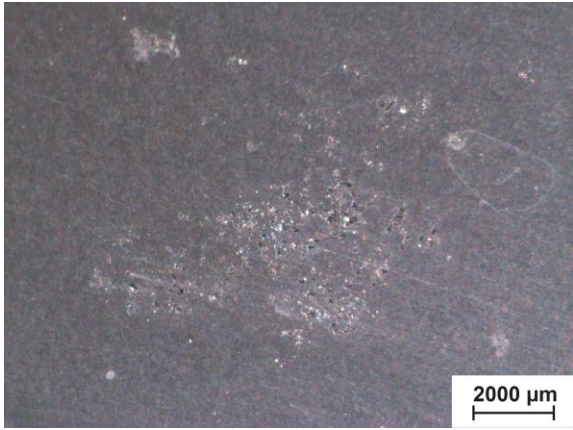
460_6VA_8x



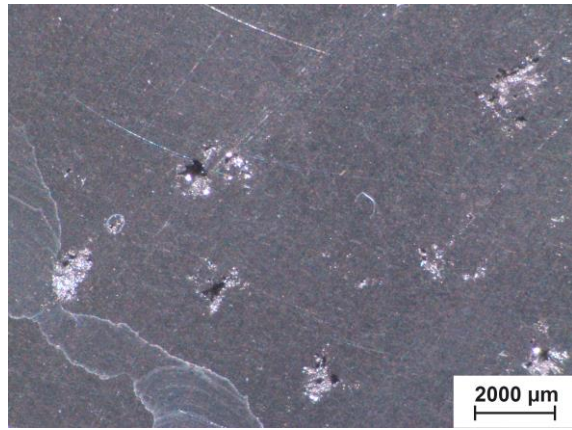
460_7_8x



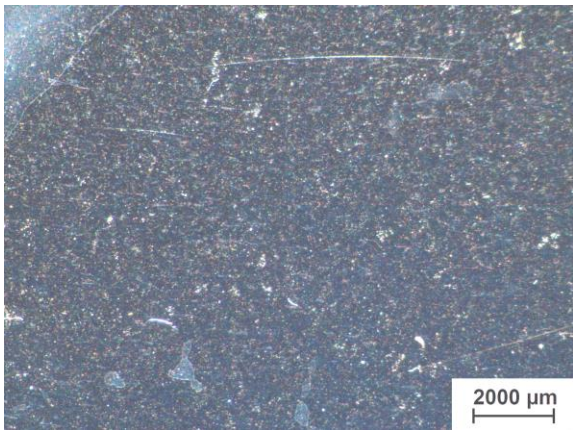
460_7VA_8x



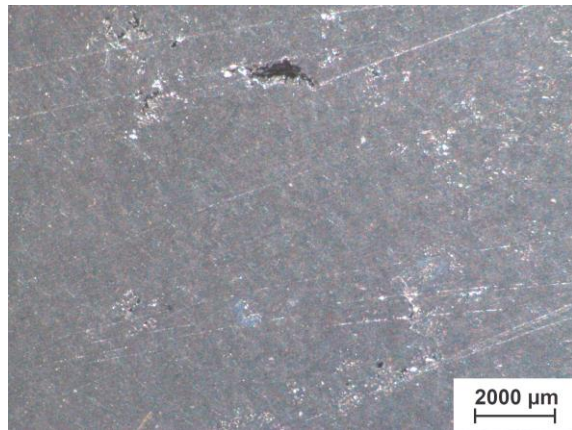
460_8_8x



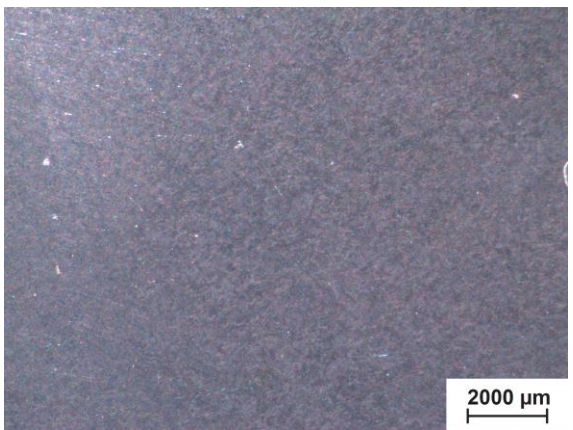
460_8VA_8x



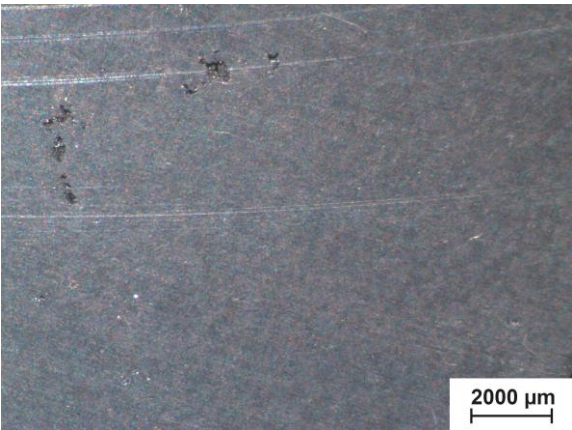
471_1_8x



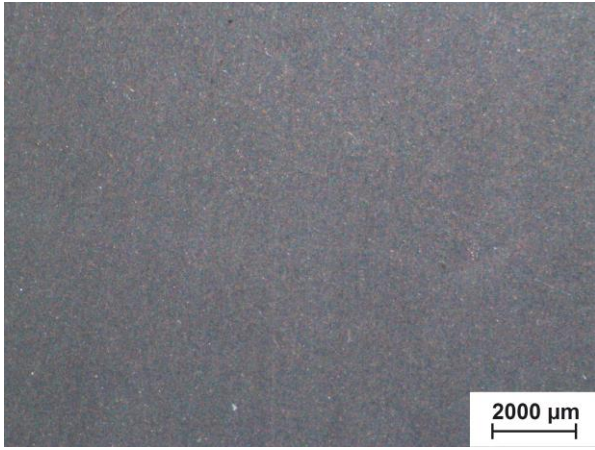
471_1VA_8x



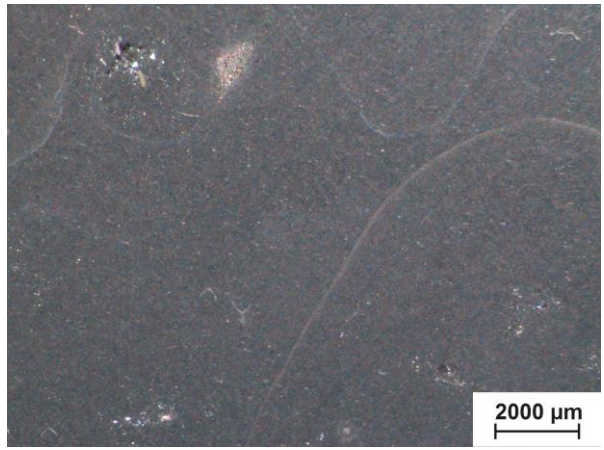
471_2_8x



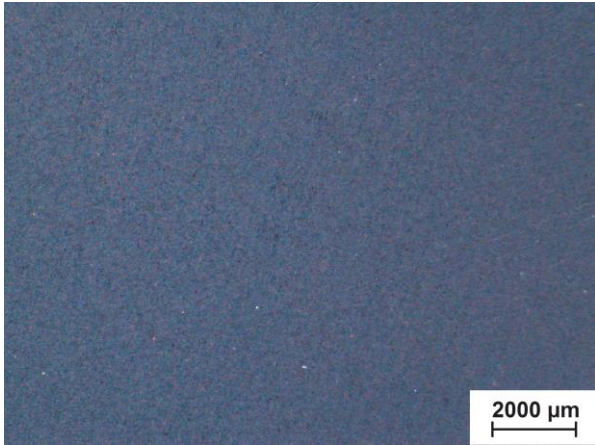
471_2VA_8x



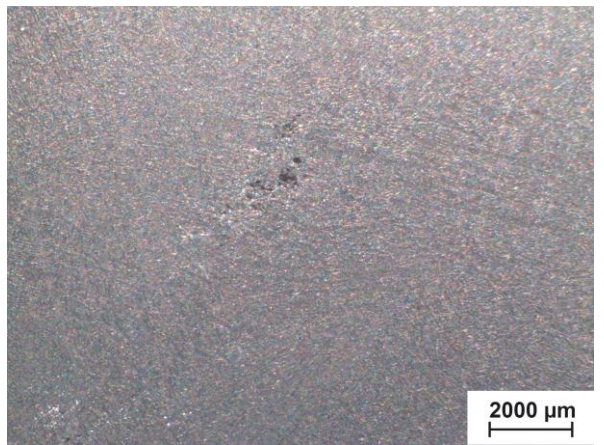
555_2_8x



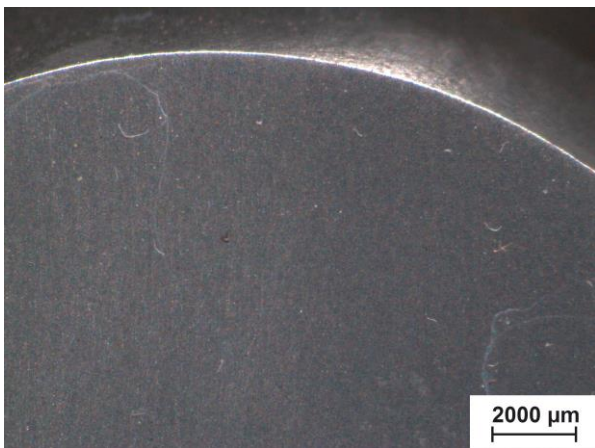
555_2VA_8x



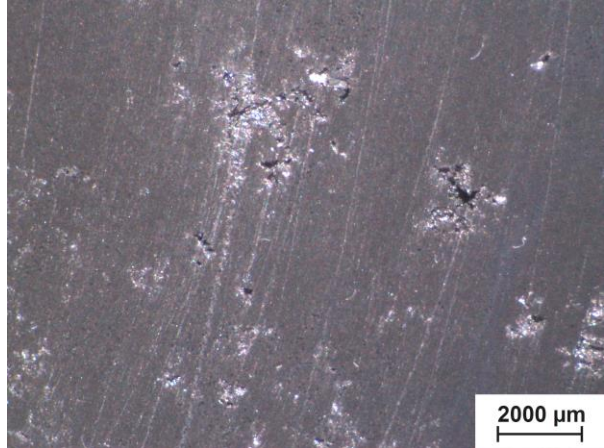
555_3_8x



555_4VA_8x



555_4_8x



555_4VA_8x