

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU

MANUFACTURE OF ALUMINIUM ALLOY CASTINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ MORAVEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ANTONÍN ZÁDĚRA, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakult strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

Zadání bakalářské práce

Student(ka): Moravec Lukáš

Který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

Obor: **Strojírenská technologie (B2341-3)**

ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba odlitků ze slitin hliníku

V anglickém jazyce

Manufacture of aluminium alloy castings

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Podíl odlitků ze slitin hliníku z celkového počtu odlitků ve světě neustále narůstá. Rostoucí požadavky na vnitřní a povrchovou jakost odlitků, jejich rozměrovou a tvarovou přesnost vyžadují zavádění nových postupů v metalurgickém zpracování a tavení hliníkových slitin, v technologii i systému řízení výroby a kontroly odlitků.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování literární rešerše v oblasti metalurgie slitin hliníku pro technologie gravitačního lití do pískových a kovových forem. Definice základních výhod a nevýhod nejčastějších způsobů tavení v kelímkových a šachtových plynových pecích. Porovnání nejčastěji používaných procesů výroby a ošetření taveniny. Dále krátce popsat vliv použitých formovacích a jádrových směsí na povrchovou a vnitřní kvalitu odlitků za slitin hliníku.

Seznam odborné literatury:

1. ROUČKA, J., SLÁMA, A., aj. Filtrace hliníkových slitin. Transaction of the VŠB - Technical university of Ostrava, Mechanical series. 2009, vol. 52, no. 2, p. 287-294. ISSN 1210-0471.
2. CAGALA, M., LICHÝ, P. Mechanické vlastnosti vybraných hliníkových slitin při zvýšených teplotách. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hutnická. 2009, roč. LII, č. 2, s. 21. ISBN 978-80-248-1991-4. ISSN 0474-8484.
3. LICHÝ, P., CAGALA, M. Studium filtrace taveniny sledováním mechanických vlastností hliníkových odlitků. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hutnická. 2009, roč. LII, č. 2, s. 185-190. ISBN 978-80-248-1991-4. ISSN 0474-8484.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

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

V Brně, dne 8. 11. 2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou odlitků ze slitin hliníku se zaměřením na porovnání procesu tavení v plynových, kelímkových, sklopných pecích s tavením v plynových, šachtových pecích. Řeší návrh spojení výhod obou typů tavicích pecí do jednoho agregátu. Dále práce obsahuje ekonomické vyhodnocení z pořizovacích nákladů a předpokládaných úspor při provozu nového pecního agregátu.

Klíčová slova

Tavení, slitiny hliníku, plynová, tavicí pec, šachtová, tavicí pec, úspory nákladů, návratnost.

ABSTRACT

This thesis deals with the production of castings of aluminum alloys with a focus on a comparison of the melting process in the gas, crucible, tilting furnaces with melting in gas, shaft furnaces. Resolves proposal links the advantages of both types of melting furnaces into a single unit. The work includes economic evaluation of cost and projected savings in the operation of the new kiln unit.

Key words

Melting, aluminum, gas, smelting furnace, shaft, smelting furnace, cost savings, return on investment.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MORAVEC, L.. *Výroba odlitků ze slitin hliníku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 50 s. Vedoucí práce Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba odlitků ze slitin hliníku vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a internetových odkazů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. 5. 2012

.....
Lukáš Moravec

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Antonínovi Záděrovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
1 Cíle bakalářské práce.....	8
2 Úvod.....	9
3 Historie společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o.	11
4 Výroba odlitků ze slitin Al	12
4.1 Slévárenské Al slitiny	13
4.2 Slitiny AL – Si	14
4.3 Slitiny Al – Cu	16
4.4 Slitiny Al – Mg	18
5 Úvod do problematiky tavení a ošetření Al slitin	19
5.1 Kelímkové plynové sklopné pece typu MORGAN	20
5.2 Plynové šachtové tavící pece sklopné (odpichové)	21
5.3 Elektrické odporové tavící pece	23
5.4 Elektrické indukční pece	24
6 Metalurgie slitin hliníku pro technologie gravitačního lití do pískových a kovových forem	26
7 Výhody a nevýhody tavení v kelímkových a šachtových plynových pecích	27
7.1 Tavení v kelímkových pecích	27
7.2 Tavení v šachtových pecích	27
8 Porovnání nejčastěji používaných procesů ošetření taveniny	29
8.1 Prachové přípravky	29
8.2 Tablety	29
8.3 Granulát	29
8.4 Kovové předslitiny se stronciem	29
8.5 Odplyňování	30
9 Vliv použitých formovacích a jádrových směsí na povrchovou a vnitřní kvalitu odlitků ze slitin hliníku	33
10 Stručný popis nejčastěji se vyskytujících neshod	34
10.1 Neshody související s metalurgickým zpracováním kovu	34
10.2 Neshody související s jakostí jádrových a formovacích směsí	35
11 Porovnání nového a starého provozu	37
11.1 Současný stav tavníny	37
11.2 Projektované změny tavníny	37
13. Analýza současného stavu – návrh nového řešení	42
13.1 Změny tavení Al slitin na VIK nové tavníny	43
13.2 Porovnání procesů	45
13.3 Ekonomické hodnocení a návratnost investice	45
14 Závěr	48
Seznam literatury	50

1 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo provést literární rešerši a rozbor problematiky výroby odlitků z hliníkových slitin. Dílčí části byly zaměřeny do oblastí:

- Zpracování literární rešerše v oblasti metalurgie slitin hliníku pro technologie gravitačního lití do pískových a kovových forem.
- Definice základních výhod a nevýhod nejčastějších způsobů tavení v kelímkových a šachtových plynových pecích.
- Porovnání nejčastěji používaných procesů výroby a ošetření taveniny.
- Vliv použitých formovacích a jádrových směsí na povrchovou a vnitřní kvalitu odlitků ze slitin hliníku.
- Ekonomické porovnání stávajícího a projektovaného pracoviště tavní, výpočet návratnosti investice do nové tavní.

2 ÚVOD

Podíl odlitků ze slitin hliníku z celkového objemu výroby odlitků ze všech běžných slitin ve světě neustále narůstá. Rostoucí požadavky na vnitřní a povrchovou jakost odlitků, jejich rozměrovou a tvarovou přesnost vyžadují zavádění nových postupů v metalurgickém zpracování a tavení hliníkových slitin, v technologii i systému řízení výroby a kontroly odlitků.

Největší odběratelé odlitků za slitin hliníku jsou z automobilového průmyslu. Jedná se především o dílce motorů a převodovek vedle velkého objemu odlitků kol.

Řada dalších odběratelů z ostatních průmyslových odvětví rovněž využívá lehké slitiny. V leteckém průmyslu tvoří lehké slitiny, vedle tvářených materiálů, významný podíl součástí motorů, ovládacích a řídicích mechanismů, sedaček i skeletu. Dalším velkým odběratelem odlitků ze slitin Al je elektrotechnický průmysl, jedná se o odlitky skříní, nosičů, dílů elektromotorů. Mezi menší odběratele odlitků ze slitin hliníku patří výrobci ventilů, čerpadel, armatur a dále výrobci strojů a zařízení pro potravinářský a chemický průmysl.

Slitiny hliníku s křemíkem, siluminy, jsou nejrozšířenějším konstrukčním materiálem, menší objemy zaujímají slitiny hliníku s hořčíkem, hydronaly, na třetím místě slitiny hliníku s mědí, a hořčíkem, duraly. Které jsou častěji využívány jako hutní polotovary (profily, plechy) určené k třískovému obrábění a tváření a dále, pro dobrou svařitelnost, k výrobě svařovaných konstrukcí (například pro manipulátory, části robotů) ve strojírenství, ale i nosné konstrukce ve stavebnictví. Čistý hliník se používá pro výrobu elektrických vodičů.

Celosvětová výroba hliníku se dnes pohybuje okolo 44 Mt. V roce 2011 nejvíce hliníku vyrobila Čína (18 Mt), Rusko (4 Mt), Kanada (2,97 Mt), Austrálie (1,93 Mt) a USA (1,99 Mt). Praktické využití hliníku i jeho slitin je velmi rozmanité. Největší množství, více než 40% celosvětové produkce hliníku se spotřebovává na výrobu plechovek na nápoje, 24% hliníku spotřebuje automobilový průmysl, 12% hliníku najde uplatnění v elektrotechnice, 8% se využívá ve stavebnictví. Pouhá 3% vyrobeného hliníku se využívá v leteckém průmyslu, to je stejné množství, jaké se spotřebuje k výrobě hliníkového nádobí [1].

Přestože hliník patří mezi prvky nejvíce zastoupené v zemské kůře, byla jeho průmyslová výroba ještě začátkem minulého století k velmi obtížným procesům. Je to především z toho důvodu, že elementární hliník nelze jednoduše metalurgicky vyredukovat z jeho rudy. Teprve zvládnutí průmyslové elektrolyzy taveniny kovových rud umožnilo současnou mnohasettunovou roční produkci čistého hliníku. Výroba hliníku se od roku 1886 provádí

elektrolytickým rozkladem oxidu hlinitého rozpuštěného v roztaveném kryolitu - Hallův-Héraultův postup [2].

Více než 98% světové produkce hliníku se vyrábí z bauxitu. Bauxit se louží v autoklávu vratným louhem a přidává se kalcinovaná soda a vápno. Proces loužení, kterým se bauxit rozkládá, trvá 30 až 60 hodin. Tato směs již obsahuje Al_2O_3 . Fyzikálními postupy se odstraní kaly s nežádoucími nečistotami. Odloučený oxid hlinitý, společně s kryolitem (Na_3AlF_6), tvoří taveninu, ze které se získává elektrolýzou hliník.

Čistý Al_2O_3 se taví při teplotě 2050°C , takže při elektrolýze roztaveného Al_2O_3 by se vylučoval hliník v plynném stavu. Proto se teplota tavení elektrolytu snižuje vhodným tavidlem, kterým je kryolit

V tavenině probíhá reakce:

Oxid hlinitý, rozpuštěný v roztaveném kryolitu, se disociuje na ionty.



Kationty Al^{3+} , při elektrolýze putují směrem ke katodě, takto získaný surový hliník (99,5%) se dále rafinuje opět elektrolyticky (podle potřeby až na 99.9999%).

3 HISTORIE SPOLEČNOSTI SLÉVÁRNA A MODELÁRNA NOVÉ RANSKO, S.R.O.

Podnik navazuje na několikasetletou tradici železářské výroby v regionu. Obec Ransko je poprvé zmiňována v souvislosti se železářským dílem (hamr) již v roce 1393 a jako huť je uváděna již v roce 1630. Od roku 1690 tuto huť vlastnila šlechtická rodina Ditrichštejnů (Ferdinand z Ditrichštejna).

Od roku 1807 zde byly provozovány dvě kuplovný dle štýrského vzoru. V době největšího rozkvětu v druhé polovině 19. století zaměstnávaly železářny až 1500 zaměstnanců.

Společnost navazuje na tradici strojírenského a slévárenského provozu Jana Pujmana z roku 1885.

Firma Jana Pujmana začala s výrobou stacionárních „petrolejových“ motorů, Po první světové válce vyvíjela dále motory a začala je osazovat do mobilních zařízení (mlátičky, sekačky, lokomotivy pro přepravu rašeliny. Firma používala ochrannou známku „Pluto“. Ve třicátých letech minulého století vyvinula traktor, který, jako první používal gumové pneumatiky. Bohužel po druhé světové válce se sice nakrátko firma udržela, synové zakladatele se stali „národními správci“, ale v prosinci 1945 byli Pujmanové násilně vystěhováni a podnik byl znárodněn.

V padesátých letech se stal slévárnou šedé litiny, koncem padesátých let byla zahájena výroba odlitků ze slitin hliníku a mědi, začátkem šedesátých let přibyla výroba odlitků z hliníkové bronzы (věncová kola šnekových převodovek výtahů, kvalitnější kluzná ložiska). Toto materiálové zaměření přetrvalo do současnosti.

V říjnu roku 1991 byla založena společnost Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. a po vyrovnání restitučního nároku s rodinou Pujmanovou byla s Fondem národního majetku podepsána Kupní smlouva na odkoupení podniku. Od 1. listopadu 1992 je samostatným právním subjektem doposud.

Současná podoba společnosti:

Společnost je certifikována od roku 2004 dle ČSN EN ISO 9001 a 14001. Společnost prochází úspěšně externími audity již řadu let. Před zavedením systému řada odběratelů požadovala výrobní audity [3].

Společnost je zaměřena na kusovou až středně sériovou produkci. Export činí přibližně 45 % do převážně německy mluvících zemí.

Společnost je středně velkou komerční slévárnou s vlastní modelárnou a obrobnou. Zaměstnává v současnosti cca 235 pracovníků. Roční objem výroby je v současnosti 3700 tun odlitků/rok 2011, což představuje obrat cca 300 mil Kč/rok 2011.

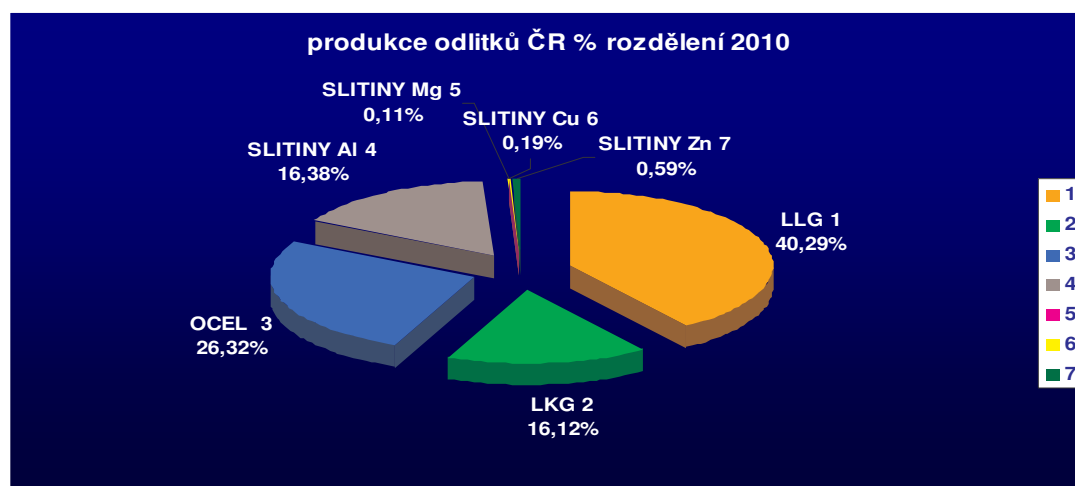
4 VÝROBA ODLITKŮ ZE SLITIN AL

Výroba odlitků v ČR v závislosti na druhu odlévané slitiny je uvedena v tab. 1 [4], [5]. Z výsledků uvedených v tab. 1 vyplývá, že podíl odlitků z Al slitin tvořil přibližně 16% z celkové produkce odlitků v ČR. V roce 2008 meziročně vzrostl dokonce o cca 5 % (21% z celkové produkce). Do roku 2009 byl tedy znatelný nárůst výroby odlitky ze slitin Al, avšak ekonomická recese naše území zasáhla zdatelně. V roce 2009 činil meziroční pokles odlitků z Al slitin cca 70% a podíl odlitků z Al slitin z celkové produkce byl pouze 12,8%. Z toho vyplývá, že pokles výroby Al odlitků byl dokonce vyšší než u odlitků z ostatních slitin. Od roku 2009 dochází opět k pozvolnému navýšení výroby odlitků z Al slitin a podíl na celkové roční produkci v ČR je opět cca 16%.

Tab. 1, Objem výroby odlitků v ČR pro jednotlivé odlévané slitiny [t]

Rok	2006 (t)	2007 (t)	2008 (t)	2009 (t)	2010 (t)	2011 (t)
LLG	293026	310000	252964	138838	150000	157500
LKG	51046	62000	52150	40678	60000	63000
OCEL	113878	122000	97863	52392	98000	102900
SLITINY AI	89044	95158	114061	34306	61000	64050
SLITINY Mg	780	842	912	466	400	412
SLITINY Cu	1890	2100	2662	888	700	721
SLITINY Zn	2587	3200	4101	1368	2200	2310
ČR celkem	552251	595300	524713	268936	372300	390915

Jak dále vyplývá z tab. 1 největší pokles zaznamenává výroba odlitků z Al, Cu a Zn slitin, nejnižší pokles LKG. Mezi lety 2010 a 2011 je odhadován významný vzestup produkce odlitků s výjimkou LLG, ale pokles pravděpodobně přetrvá u slitin Mg a Cu. Na obr. 1 je uvedeno procentní rozdělení z produkce v ČR v roce 2010.



Obr. 1, Procentní rozdělení z produkce v t 2010

Další vývoj produkce odlitků z Al slitin bude doprovázen hledáním nákladově přijatelných východisek z nepříznivých dopadů na životní prostředí [6]. V souvislosti s připravovanými změnami v automobilovém průmyslu (hybridní pohony, elektromobily) je nutné se přizpůsobovat i ve slévárenství. Ekologické automobily budou potřebovat až o 30% méně odlitků. Změny v automobilovém průmyslu ovlivní ostatní odvětví průmyslu a je rovněž nezbytné přistupovat urychleně k řešením, která budou šetrná k životnímu i pracovnímu prostředí a budou vyžadovat výrobu strojů a zařízení, která budou rovněž spotřebovávat odlitky ze slitin neželezných kovů.

Vraťme se k automobilovému průmyslu. Snad se prosadí postupné nahrazování vozů poháněných spalovacím motorem modely s hybridními pohony, použití vody jako paliva, vozy s elektromotorem.

Při konstrukčních řešeních nových vozidel by měla být uplatňována volba lehkých a vylehčených materiálů (zpěněné lehké kovy, větší lité konstrukční dílce karosérií a podvozků). Mezeru na trhu, vznikající poklesem dodávek do automobilového průmyslu bude nutno vyplnit komoditami souvisejícími s připravovanými změnami v ostatních průmyslových odvětvích, změní se způsob výroby tepla a elektřiny. Od toho všeho lze snad rovněž očekávat i výrobu nových strojů a zařízení, která se bez odlitků z lehkých slitin neobejdou.

4.1 Slévárenské Al slitiny

Vlastnosti čistého hliníku jsou pro konstrukční účely nevyhovující, téměř čisté slitiny hliníku jsou zpracovávány tvářením, obvykle za studena, pro elektrotechnický průmysl (dobrá elektrická i tepelná vodivost). Pro výrobu odlitků se používají slitiny hliníku, které mají lepší slévárenské, vyšší mechanické hodnoty a lepší obrobiteľnosť. Výsledné vlastnosti slitin jsou dány množstvím a vzájemnou kombinací legujících prvků. [7]

Slitiny hliníku lze členit podle jejich chemického složení:

- siluminy - slitiny Al – Si
- duraly - slitiny Al – Cu
- hydronalia - slitiny Al – Mg

Doprovodné prvky jsou do slitiny vnášeny bez záměrného přidávání, a ve většině případů po překročení normou stanovené koncentrace zhoršují mechanické, korozní odolnost nebo technologické vlastnosti. Jsou původem z vsázkových surovin, ale také do slitiny mohou pronikat z vyzdívky a náradí, které jsou v kontaktu s taveninou [7].

Nejčastějšími slitinami hliníku jsou podeutektické siluminy, příkladem je slitina Al Si10Mg, uvedená v následující tabulce:

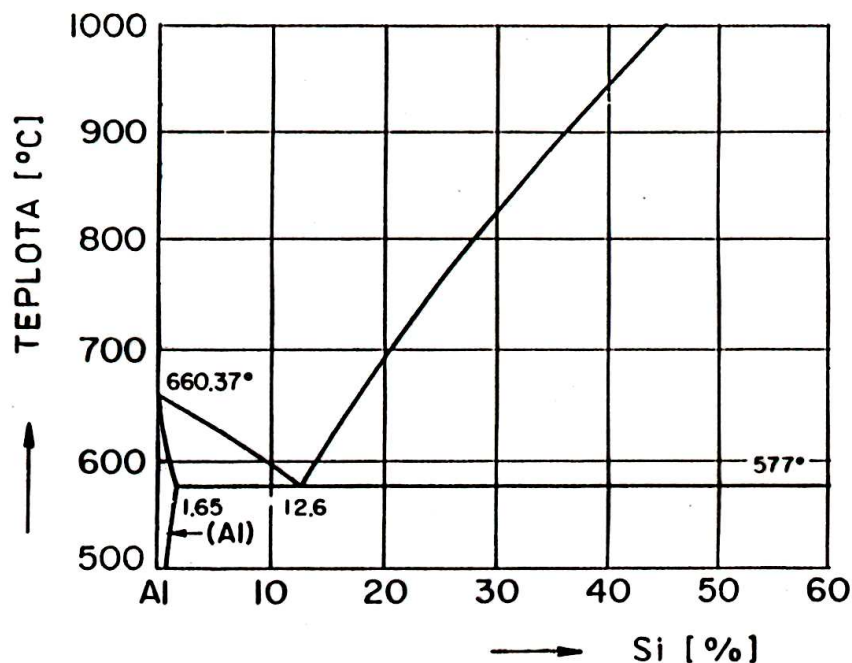
Tab. 2, Charakteristika a vlastnosti podeutektického siluminu AlSi10Mg [2]

Charakteristika	Odlévání	Tepelné zpracování	Použití
AlSi10Mg, EN AC 43000			
mírně podeutektické slitiny s nízkým obsahem doprovodných prvků a nečistot, výborné slévárenské a technologické vlastnosti, výborná obrobiteľnosť a odolnosť proti korozi,	všechny technologie odlévání, při tuhnutí netvoří vnitřní staženiny	vytvzování – T6, rozpouštěcí žihání 510-525 °C – 3-6 hod. ochlazení ve vodě, precipitační žihání 150-175 °C – 5-15 hod.	tenkostěnné tvarově složitě odlitky, vysoce namáhané strojní součásti, díly motorů, klikové skříně, brzdové čelisti, rychloběžné součástky, např. pro ventilátory

4.2 Slitiny Al – Si

Slitiny Al-Si, běžně nazývané jako siluminy, jsou nejdůležitějším typem slévárenských slitin hliníku a představují drtivou většinu produkce hliníkových odlitků. Křemík má v hliníku jen velmi omezenou rozpustnost. Při eutektické teplotě je rozpustnost pouze 1,65 %Si a při poklesu teploty se dále snižuje [7]. Binární slitiny Al - Si jsou pro konstrukční účely dále legovány hořčíkem.

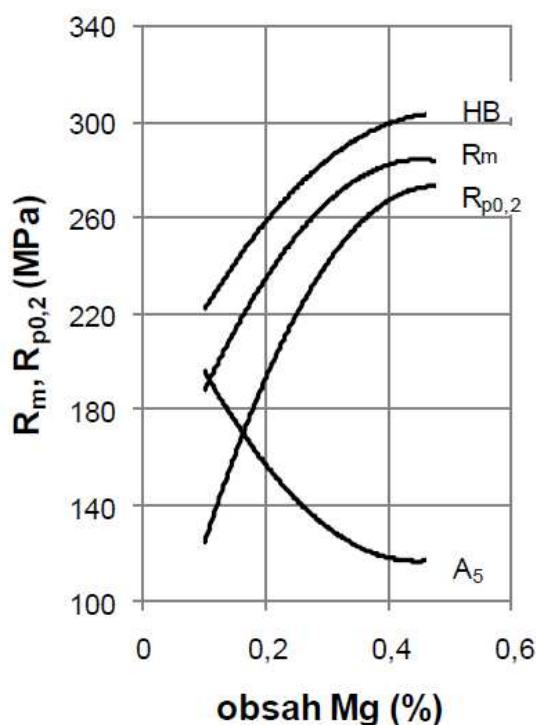
Přítomnost Mg ve slitinách umožňuje vytvrzování za tepla při obsahu Mg 0,25 - 0,45 %. Vliv Mg na mechanické vlastnosti podeutektických a eutektických siluminů, litých do pískových forem je znázorněn na obr. 2. [7].



Obr. 2, Binární diagram Al-Si

Přítomnost Mg umožňuje provést vytvrzování, kterým lze dosáhnout výrazného zlepšení mechanických vlastností. Zvyšuje se hodnota R_m , $R_{p0,2}$, HB a obrobiteľnosť, ale súčasne se snižuje A_5 . Silumíny majú lepší zabíhavosť než slitiny Al s hořčíkem nebo s mědí.

Blíží-li se chemické složení eutektické koncentraci, slitiny méně stahují. [8]. Slitiny Al – Si – Mg se nejčastěji odlévají gravitačně do pískových nebo kovových forem. Použití těchto slitin je vhodné pro součásti, u nichž je požadována nízká hmotnosť a při dobrých mechanických vlastnostech součásti, proto se převážně používají v leteckém a automobilovém průmyslu. Svařitelnost odlitků ze slitin hliníku již není problémem, pokud je použita ochranná atmosféra (obvykle Ar) a přídavný materiál s chemickým složením co nejlépe odpovídajícím materiálu odlitku. Svarový kov má často lepší mechanické hodnoty než základní litý materiál, problémem však je tepelně ovlivněné pásmo. Pnutí způsobené svarem lze úspěšně snížit tepelným zpracováním. U nelegovaných siluminů postačí žíhání na snížení vnitřního pnutí, u legovaných hořčíkem jsou vyhovující výsledky dosahovány vytvrzováním (viz tabulka 2).



Obr. 3, Diagram vlivu obsahu Mg na slitiny Al [8]

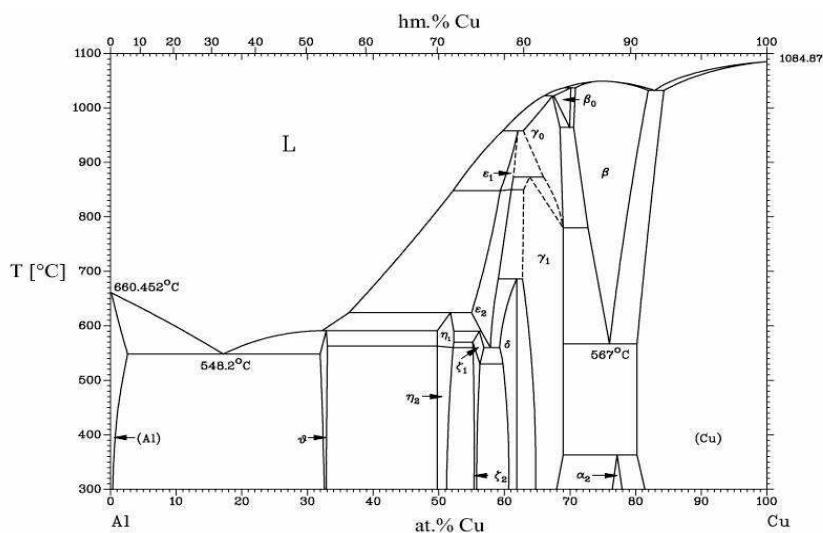
4.3 Slitiny Al – Cu

Dural nebo duraluminium (z lat., „tvrdý hliník“) je obchodní označení pro různé slitiny obvykle 90–96 % hliníku a 4–6 % mědi s menšími přísadami mědi, hořčíku, manganu aj. Oproti čistému hliníku (měrná hmotnost 2,7 g/cm³) je dural jen nepatrně těžší (typicky 2,8 g/cm³), ale až pětkrát pevnější v tahu i tvrdší. Pevnost i tvrdost se zvyšuje tepelným opracováním a zušlechťováním, podobně jako u ocelí. Dural se velmi snadno obrábí, spojuje se svařováním v ochranné atmosféře, pájením s pomocí speciálních tavidel, nýtováním nebo lepením. Dural je chemicky odolný a dá se velmi dobře povrchově upravovat a barvit (eloxování). Nedostatkem duralových slitin je malá schopnost tlumit otřesy a pohlcovat rázy, neboť mají malou elasticitu.

Dural byl objeven v roce 1906 Alfredem Willemem v Německu a hojně se používá hlavně v automobilovém průmyslu, při stavbě letadel a lodí, v stavebnictví, při výrobě sportovních a zdravotnických potřeb i jinde. Vyrábějí se duralové plechy, dráty, tyče, trubky, dural se využívá také k výrobě duralových šípů a odlehčených duralových luků, přesné a často velmi složité tažené profily (např. na okenní rámy) a z duralu se také odlévá. [9]

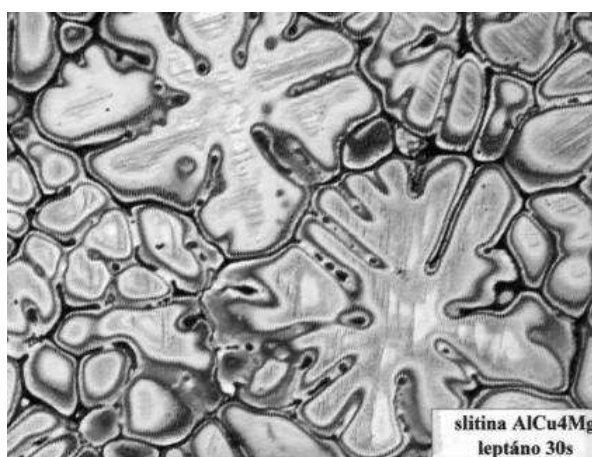
Slitiny Al-Cu-Mg představují nejvíce používané materiály této podskupiny. Jsou to zejména **duraly** AlCu₄Mg AlCu₄Mg₁ a AlCu₄Mg₁Mn, dosahující značné pevnosti po vytvrzení tepelným zpracováním (R_m až 530 MPa). Maximální rozpustnost mědi v tuhém

roztoku hliníku je za rovnovážných podmínek 2.48 at.% (~ 5.7 hm. %) Cu při teplotě eutektické reakce 548.2 °C [10]



Obr. 4, Binární diagram Al-Cu [9]

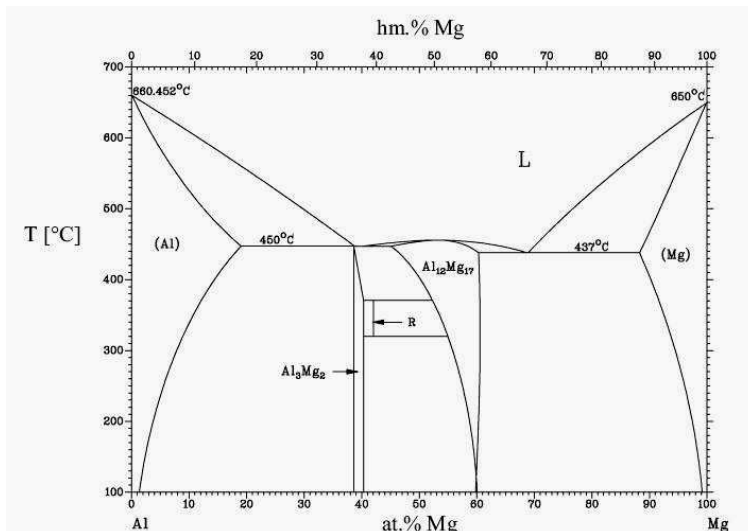
Mechanické vlastnosti slitin Al – Cu závisí na tom, jestli se Cu nachází v tuhém roztoku ve formě sféroidické, případně jako rozptýlené částice nebo zda vytváří síť na hranicích zrn. Ve slitině AlCu_4Mg_1 se vyskytuje především binární eutektikum $\alpha + \text{CuAl}_2$ a malé množství ternárního eutektika $\alpha + \text{CuAl}_2 + \text{Cu}_2\text{Mg}_2\text{Al}_5$. Mimo těchto základních složek fázi se zde mohou vyskytovat i další fáze: Mg_2Si , FeAl_3 , AlFeMnSi , AlCuFeMn apod. Na obr. 5 je uvedena mikrostruktura slitiny AlCu_4Mg .



Obr. 5, Mikrostruktura slitiny AlCu_4Mg , zvětšeno 100 x

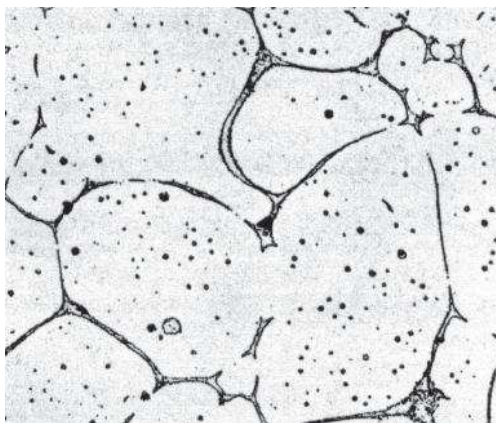
4.4 Slitiny Al – Mg

Hydronálie mají dobrou odolnost proti korozi i bez povrchové ochrany, avšak je nelze tepelným zpracováním podstatně zpevnit (vytvdřit) [10].



Obr. 6, Binární diagram Al-Mg [9]

Jejich předností je dobrá svařitelnost, lze je dobře tvářet a jsou odolnost proti vibračnímu zatížení a mají dobrou houževnatost. Slitiny s obsahem hořčíku větším než 6 hm. % mají sklon ke korozi po hranicích zrn, zejména při mechanickém zatížení, proto se obvykle nepoužívají.



Obr. 7, Mikrostruktura slitiny AlMg10, zvětšeno 100 x

U slitiny AlMg10 se šedá fáze Mg_2Al_3 nachází ve formě síťoví na hranicích zrn i dendritů. Fáze Mg_2Al_3 je velmi křehká při teplotách pod 350 °C, při vyšších teplotách se stává plastickou.

Nevelkou pevnost slitin Al-Mg (v žíhaném stavu $R_m = 140$ až 200 MPa) lze zvýšit deformačním zpevněním, tedy tvářením za studena (do R_m max. 420 MPa), které se používají především pro slitinu AlMg5 a to se stupněm deformace 20 až 30%.

5 ÚVOD DO PROBLEMATIKY TAVENÍ A OŠETŘENÍ AL SLITIN

Slitiny hliníku jsou většinou dodávány ve formě tzv. housek neboli ingotů, které se dále zpracovávají (obr. 8). V současné době je brán veliký důraz na co nejlevnější výrobu při udržení dostatečné kvality, což se v mnoha případech řeší odběrem hliníku od dodavatele, jenž přetavuje hliníkový odpad, a tedy hrozí i vyšší riziko výskytu nežádoucích vměstků nebo nedostatečná kvalita z pohledu chemického složení slitiny způsobená výskytem prvků, které jsou u daného typu slitiny brány jako nežádoucí.



Obr. 8. Housky Al slitiny

Proces tavení slitin hliníku a jejich následné ošetření lze rozdělit podle použitého pecního zařízení, kterými jsou například:

- Kelímkové plynové sklopné pece typu MORGAN
- Plynové šachtové tavící pece sklopné (odpichové)
- Elektrické odporové tavící pece
- Elektrické indukční pece

Zdrojem tepla pro tavení a ohřev může být elektrická energie nebo spalování plynu. Použitý zdroj tepla i vlastní konstrukce pece ovlivňuje rychlost tavení, obsah plynů v tavenině, lidickou čistotu kovu ale i například ekonomiku tavení a dalšího zpracování.

5.1 Kelímkové plynové sklopné pece typu MORGAN

Tento tavící agregát je nejběžnější ve slévárnách slitin neželezných kovů, protože umožňuje rychlou změnu chemického složení taveniny. Ošetření taveniny se obvykle provádí přímo v kelímku pece.

Proces tavení

Příprava vsázky – suroviny, housky a vratný materiál, je nutno sázet do pece suché. Obvykle se připraví na pracovišti tavírny,

Studený start do přehřáté pece – zahájení drobnějším kusovitým vratným materiálem, pokračuje se houskami, sázenými na výšku a po té střídavě až do natavení celého objemu kelímku pece. První tavba trvá o 30 až 50% času déle, než opakované tavení s teplým startem.

Teplý start – zahájení opět drobnějším kusovitým vratným materiálem a dále obdobně. Z hlediska úspor energie je užitečné pracovat v peci s tekutým zbytkem.

Tavení probíhá postupným rozpouštěním vsázky v keramickém kelímku až do dosažení teploty vhodné k ošetření taveniny. U siluminů je to v intervalu 720 až 740 °C, protože vyšší teplota vede ke skokovému navýšení obsahu vodíku a oxidů. Přehřátí taveniny vlivem akumulovaného tepla ve vyzdívce pláště pece lze zabránit vypnutím hořáku při teplotě taveniny o 40 až 60 °C nižší. Nastavení režimu provozu hořáku je nutno empiricky stanovit, protože je závislé na druhu a tloušťkách vrstev vyzdívky pláště pece.

První analýza chemického složení je prováděna pro ověření, zda chemické složení odpovídá příslušnému materiállovému listu (normě). Po případném dolegování je provedena další analýza chemického složení.

Ošetření taveniny

Ošetření taveniny je prováděno buď přímo v tavícím kelímku nebo mimopecně, obvykle v transportní nebo zpracovací pánvi (kelímku). Při mimopecním ošetření je nutno počítat s poklesem teploty taveniny po přelití.

Přípravky na ošetření taveniny jsou buď ve formě tablet, granulí či v prášku nebo v kovové formě (dráty, tyčky, bloky). Dávkování (převážně v hmotnostních %) je předepsáno dodavatelem přípravku, případná korekce vychází z praktických zkušeností.

Měření teploty jsou prováděna buď kontinuálně (obvykle nepřímo termočlánkem v otvoru ve stěně kelímku nebo termočlánkem v ochranném pouzdře) nebo po jednotlivých úkonech tavení a ošetření taveniny ponorným termočlánkem.



Obr. 9, Plynové sklopné tavící pece typu MORGAN [8]

5.2 Plynové šachtové tavící pece sklopné (odpichové)

Tento tavící agregát je používán zejména ve slévárnách slitin neželezných kovů, kde není nutná častá změna chemického složení taveniny, je nejeefektivnější v kontinuálním režimu. Šachtové pece bývají často dvounístejové (tavící komora s nístějí, ze které kontinuálně stéká kov do udržovací nístěje). Ošetření taveniny se obvykle provádí mimopecně ve zpracovací pánvi.

Proces tavení

Příprava vsázky – suroviny, housky a vratný materiál, je nutno sázet suché, například do vozíku skipového výtahu. Obvykle je součástí tavícího zařízení skipový výtah.

Studený start do předehřáté pece – vsázka může být připravena v šachtě již při rozběhu pece. Tavba trvá o 30 až 50% času déle než opakované tavení s teplým startem.

Teplý start – je energeticky méně náročný, pojem je používán při tavení v kampaních (podle druhu slitiny a potřeby tekutého kovu k odlévání). Energeticky nejvýhodnější je kontinuální tavení, kde je však podmínkou kontinuální spotřeba tekutého kovu na pracovištích odlévání.

Tavení probíhá postupným rozpouštěním vsázky v tavící komoře. Současně je spaliny předehřívána vsázka v šachtě. Tavenina je vylévána (odpichována) do zpracovací pánve, která bývá vyhřívána. Ve zpracovací pánvi se provede ošetření taveniny. V současnosti

jsou šachtové pece dvoukomorové (tzv. čistící dvouníštějové). V horní tavící komoře dochází k odtavování vsázky, je opatřena dvířky k vyhrabávání nečistot), dolní komora je udržovací. Tavenina se dohřívá na vylévací (odpichovou) teplotu, u siluminů v rozmezí 720 až 740 °C, Tavenina je lépe chráněna proti vlivům atmosférické vlhkosti na tavírně.

Analýza chemického složení je prováděna po kampaních nebo ve stanovených časových úsecích při kontinuálním tavení. Případné dolegování je obtížnější, proto je druhotání řízeno tak, aby se korektury daly provádět již při dávkování vsázky.

Ošetření taveniny

Ošetření taveniny je prováděno mimopecně, obvykle v transportní nebo zpracovací pánvi (častěji vyhřívané).

Přípravky na ošetření taveniny jsou aplikovány obdobně jako u kelímkových pecí.

Měření teploty jsou prováděna buď kontinuálně termočlánkem v ochranném pouzdře) nebo ponorným termočlánkem před vylitím (odpichem).



Obr. 10, Plynová šachtová tavící pec sklopná (odpichové)

5.3 *Elektrické odporové tavící pece*

Tento tavící agregát je používán ve slévárnách slitin neželezných kovů, kde nejsou nároky na rychlost tavení a spotřeba tekutého kovu je menší, obvykle při výrobě drobnějších odlitků. Ošetření taveniny se provádí přímo v kelímku pece. Elektrické odporové pece jsou vhodné především pro udržování taveniny.

Proces tavení

Příprava vsázky – suroviny, housky a vratný materiál, je nutno sázet suché. Obvykle se připraví na pracovišti tavírny,

Studený start do předehřáté pece – zahájení drobnějším kusovitým vratným materiálem, pokračuje se houskami, sázenými na výšku a po té střídavě až do úplného naplnění kelímku taveninou. Tavba se studeným startem trvá obvykle cca 3 krát déle, než je tomu u plynové kelímkové pece.

Teplý start – Teplý start je výhodnější do zbytku teplého kovu. Pokud je nová kusová vsázka sázena do teplé pece, je tavba obvykle 2 krát delší, než je tomu u plynové pece.

Tavení probíhá postupným rozpouštěním vsázky v keramickém kelímku až do dosažení teploty vhodné k ošetření taveniny. Přehřátí taveniny vlivem akumulovaného tepla ve vyzdívce pláště pece lze zabránit včasným snížením příkonu pece.

První analýza chemického složení je prováděna pro ověření, zda chemické složení odpovídá příslušnému materiállovému listu (normě). Po případném dolegování je provedena další analýza chemického složení.

Ošetření taveniny

Ošetření taveniny je prováděno shodně, jako u plynové tavící pece.

Měření teploty jsou prováděna shodně, jako u plynových pecí. Lze však měřit teplotu kontinuálně pokud je termočlánek umístěn mezi odporovým vinutím a kelímkem. Údaj o teplotě je však nutné kalibrovat na teplotu taveniny.



Obr. 11, Elektrická odporová tavící pec (sklopná) [14]

5.4 Elektrické indukční pece

Tento tavící agregát je používán ve slévárnách slitin neželezných kovů v menší míře, protože slitiny neželezných kovů mají vyšší hodnotu tepelné i elektrické vodivosti. Doba tavby je delší než při tavení vsázky na bázi Fe. Ošetření taveniny se může provádět přímo v kelímku pece, obvyklejší je mimopecní ošetření.

Proces tavení

Příprava vsázky – suroviny, housky a vratný materiál, je nutno sázet suché. Obvykle se připraví na pracovišti tavírny.

Studený start do přehřáté pece – stejné sázení, jako u plynové pece s tím rozdílem, že teplota taveniny nabíhá na odpichovou teplotu cca 2 krát déle. Indukční tavení není tak vhodné proto, že slitiny hliníku mají vysokou vodivost, například slitiny Fe s menší vodivostí se rychleji prohřívají, protože vsázka klade větší odpor.

Teplý start – doba tavení je srovnatelná s dobou tavení v plynové peci. Podobně jako u plynové a odporové pece je energeticky méně náročný, jestliže se sází do zbytku taveniny

Tavení probíhá postupným rozpouštěním vsázky v kelímku indukční pece, až do dosažení teploty vhodné k ošetření taveniny. Ve srovnání s plynovou tavící pecí není vliv akumulovaného tepla významný, neboť se vyhřívá pouze výduska kelímku pece. Podle počtu induktorů dochází k míchání taveniny v jednotlivých vrstvách pece. Míchání má však nevýhodu v tom, že se do taveniny zanáší z hladiny, případně i výdusky nečistoty.

První analýza chemického složení je prováděna stejně, jako u předchozích případů.

Ošetření taveniny

Ošetření taveniny je z výše uvedených důvodů prováděno nejčastěji mimopecně. Nejčastěji je využívána pánvová metalurgie nebo se používá tzv. duplexní pochod, kdy to se tavenina po roztavení v indukční peci přelije do pánvové pece vyhřívané plynem nebo odporové pece a zde je provedeno ošetření taveniny.

Přípravky na ošetření taveniny jsou stejné, jako plynových pecí

Měření teploty je převážně prováděno ponorným termočlánkem.



Obr. 12, Elektrická odporová tavící pec (sklopná)

Dále se práce zabývá nejpoužívanějšími tavícími agregáty, tedy plynovými pecemi.

6 METALURGIE SLITIN HLINÍKU PRO TECHNOLOGIE GRAVITAČNÍHO LITÍ DO PÍSKOVÝCH A KOVOVÝCH FOREM

Metalurgie slitin hliníku litých gravitačně do pískových forem probíhá ve většině sléváren ČR následovně:

- Složení vsázky se řídí využitím tekutého kovu v odlitcích. Vratný materiál a předlité ingoty (housky) jsou druhovány v poměru cca 1:1 až 2:1.
- Vsázka se nataví na požadovanou teplotu a odebere se vzorek pro analýzu chemického složení. Pokud chemické složení vyhovuje normě či požadavkům zákazníka, provede se ošetření taveniny.
- Pro odplynění se používají odplyňovací tablety. Odplynění slouží pouze ke snížení obsahu vodíku v tavenině. Odplynění se dosáhne potřebného snížení porezity, provádí se pomocí předem předehřátého děrovaného ponorného zvonu, kterým se tableta ponoří na dno kelímku. Reakcí taveniny s tabletou dochází k uvolňování dusíku a zplodiny reakce jsou společně s vodíkem a oxidy vynášeny na hladinu taveniny.
- K odplynění hliníkových slitin může být použito také odplyňovacího rotoru.
- Modifikace je prováděna rovněž děrovaným ponorným zvonek. Modifikací se dosáhne změny morfologie křemíkového eutektika. Jehlicovité a deskovité útvary krystalizují v mezidendritických prostorách základní fáze Al α v zrnité formě.
- Očkovací tablety jsou aplikovány podobně. Očkováním dojde k vytvoření většího množství krystalizačních zárodků a tím dochází ke zjemnění zrna. Po ukončení těchto procesů pro snížení kovnatosti stěru používá čistící sůl.
- Jako stěr je označována tmavě šedivá popelovitá směs nečistot a reakčních produktů. Následně jsou použity krycí tablety, které zabraňují bezprostřednímu styku taveniny s atmosférou.
- V některých slévárnách je používána krycí sůl i při transportu tekutého kovu v transportních pánvích. Ošetřený kov musí po takto provedené metalurgické úpravě 10 až 15 min odstát.

Ve slévárně Nové Ransko se postupovalo podobným způsobem. Jediným rozdílem od výše popsaného postupu byl ten, že ve slévárně Nové Ransko se používaly k vyčištění taveniny i halogenidové (převážně na bázi Cl) soli a ne jenom tablety. Tyto soli byly používány do transportních kelímků na náročnější výrobu odlitků, při současném používání tablet v pecích.

7 VÝHODY A NEVÝHODY TAVENÍ V KELÍMKOVÝCH A ŠACHTOVÝCH PLYNOVÝCH PECÍCH

Cílem kapitoly je provést porovnání procesů tavení v kelímkových a šachtových pecích a z tohoto porovnání vyvodit návrh tavicího agregátu, který by slučoval výhody obou procesů.

7.1 Tavení v kelímkových pecích

Kelímkové plynové pece jsou používány ve slévárně neželezných kovů společnosti Slévárna a modelárna, s.r.o., jsou optimální pro kampaňovité tavení, což je důležité při častém střídání chemického složení taveniny. Zejména sklopné plynové tavicí pece typu MORGAN jsou velmi rozšířené ve slévárnách ČR.

Výhody tavení v kelímkových pecích:

- možnost ošetření taveniny přímo v tavicím kelímku pece,
- snadný přechod na jiný druh tavení hliníkové slitiny,
- snadné čištění po každém vyprázdnění kelímku.

Nevýhody tavení v kelímkových pecích:

- nebezpečí přehřátí taveniny akumulovaným teplem vyzdívky pláště pece (čím menší je zbytek kovu v kelímku, tím větší nebezpečí),
- proces odlévání je nutno přizpůsobit kampaňovitému tavení,
- obtížné využití tepla spalin,
- častá výměna kelímků (po cca 300 tavnách),
- větší energetické ztráty.

7.2 Tavení v šachtových pecích

Šachtové pece jsou efektivní při kontinuálním tavení, kdy se nemění často chemické složení taveniny. Jsou používány ve slévárnách s větší sériovostí produkce odlitků podobného typu (například v kokilárnách, vyrábějících kola osobních automobilů).

Výhody tavení v šachtových pecích:

- kontinuální tavení (umožňuje průběžný odběr kovu k odlévání),
- dobré využití tepla,
- vyšší životnost vyzdívky (menší teplotní šoky),

- nižší energetické ztráty,
- možnost použití vlhké vsázky.

Nevýhody tavení v šachtových pecích:

- obtížný přechod na jiný druh slitiny (přechodový kov),
- obtížné udržení reprodukovatelných výsledků chemického složení, nerovnoměrné rozložení teploty taveniny v nístěži,
- nutnost mimopecního ošetření taveniny.

Lepší reprodukovatelnosti výsledků se dosahuje při kampaňovitém tavení v šachtové peci. Kontinuální tavení je vhodné pro použití v provozech, kde se odlévá dlouhodobě z jednoho materiálu o stejném chemickém složení.

Dobrym řešením tavící pece by bylo spojení výhod obou druhů pecí do jednoho tavícího agregátu. Spojení šachty s předehřívací a tavící komorou s udržovací sklopnou kelímkovou pecí, která je v případě potřeby schopná pracovat jen v režimu tavení.

8 POROVNÁNÍ NEJČASTĚJI POUŽÍVANÝCH PROCESŮ OŠETŘENÍ TAVENINY

Přípravky na ošetření taveniny se dodávají v podobě jemně mleté (prachové); lisované (v tabletách) nebo v podobě granulí. Prachové přípravky se již se používají v omezené míře, například pro krytí hladiny tekutého kovu z důvodů snížení tepelných ztrát a ochrany před oxidací. Tablety jsou používány na tavárnách, kde není prováděno odplynění inertním plynem pomocí ponorných rotorů, které se skládají z keramické trubice a turbíny. Granule mají v kombinaci s odplyněním inertními plyny, vřáněnými rotorem, nejlepší využití.

8.1 Prachové přípravky

V dnešní době se prachové přísady, k provedení modifikace nebo očkování, téměř nepoužívají. Hlavním důvodem je především nízké využití přípravku (max. cca 30%). Tyto přípravky byly převážně na bázi kamenné soli (NaCl) a mletého vápna, sodík fungoval, jako modifikátor a chlór jako čistící plyn. Přípravky s chlórem výrazně zhoršují pracovní prostředí. Pracoviště tavírny by muselo být velmi efektivně odsáváno. Použitím těchto přípravků také vznikaly ve struktuře slitin vměstky na bázi chlóru (CaCl_2).

8.2 Tablety

Tablety jsou v mnoha slévárnách stále používány. Odplyňovací a modifikační tablety mají poměrně nízkou účinnost (do 50%). Na odplyňovací tablety je nutné použít děrovaný ponorný zvon. Reakce jsou velmi bouřlivé. Z tablet se při reakci uvolňuje dusík. Bubliny dusíku jsou při použití tablet velmi rozměrné a obvykle se nepodaří, aby odplynily celý objem taveniny. Obdobné reakce jsou i reakce modifikačních tablet. Další nevýhodou použití tablet jsou hydrokopické vlastnosti, proto je dobré tablety před aplikací vysušit a předebrát. Současně i zplodiny reakcí mohou zvyšovat množství nežádoucích vměstků v tavenině.

8.3 Granulát

Použití granulátu je v dnešní době z výše uvedených metod nejefektivnější. Využití je až 80% v kombinaci s čištěním taveniny inertním plynem. Granulát je obvykle dávkován z násypek upevněných na odplyňovacím zařízení. Množství přípravků pro modifikaci a očkování je dáno nastaveným programem pro ošetření taveniny.

8.4 Kovové předslitiny se stronciem

Předslitiny se používají pro modifikaci. Kovové předslitiny jsou dodávány, jako dráty tyčky nebo bloky. Jejich využití je srovnatelné s granulátem, tedy poměrně vysoké. Předslitiny

se stronciem jsou vhodné pro odlévání forem s velkou rychlostí odvodu tepla. Hlavní výhodou Sr je velmi dlouhý odeznívací účinek.

8.5 Odplyňování

Pro odplyňování se používá inertních plynů zejména dusík (N) a argon (Ar).

Z ekonomických důvodů je převážně používán technický dusík.

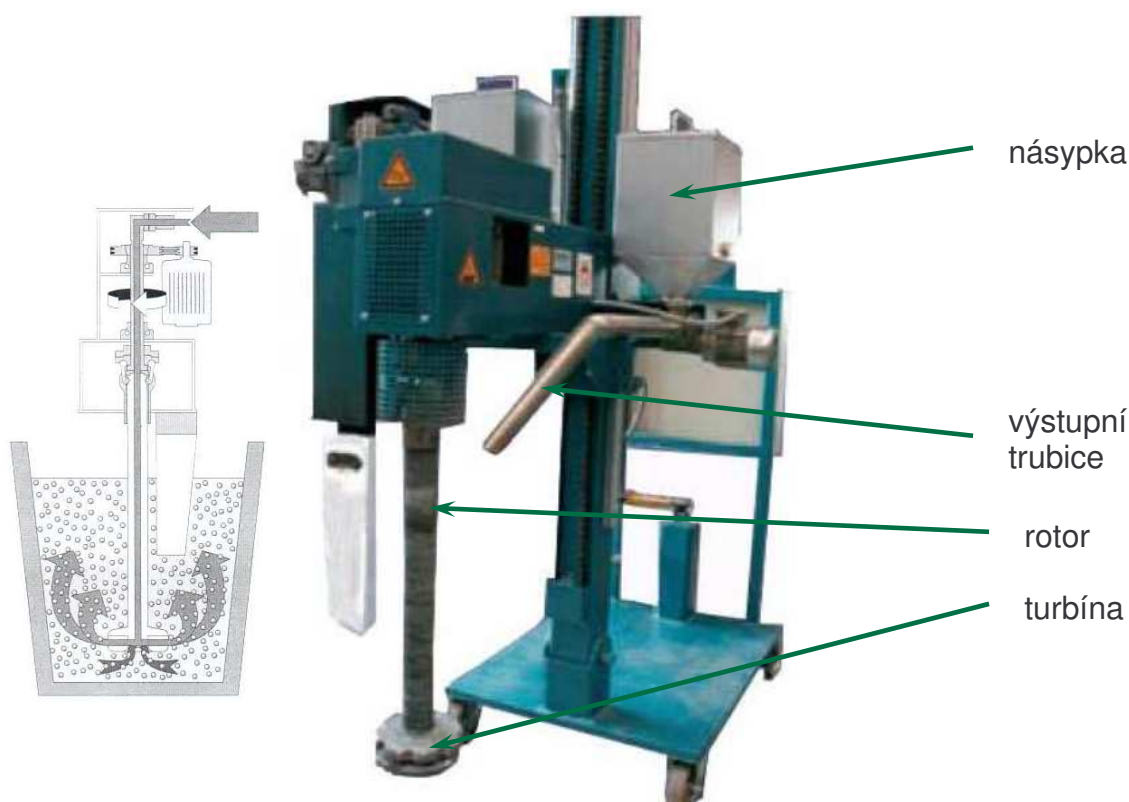
Mezi naplyněním taveniny a stahováním slitiny v průběhu tuhnutí je spojitost, protože plynové bubliny mohou částečně nebo úplně nahrazovat úbytek objemu kovu při stahování během tuhnutí. To může u silně odplyněné taveniny způsobit velký sklon k tvorbě mezidendritické porezity, soustředěných staženin, a proto je nutné dokonalé nálitkování. [8]. Ve společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. se používá odplyňování vnášením dusíku přímo v tavící peci pomocí zařízení FDU). Rotor s turbínou je zasouván do taveniny těsně nad dno kelímku tak, aby unikající jemné bubliny dusíku vyplnily co nejlépe celý prostor kelímku. Dusík je používán častěji než například argon. Hlavním důvodem je nižší cena technického dusíku. Malá velikost bublin, dostatečně dlouhá dráha (tzn. jejich tvoření u dna dostatečně vysokého kelímku) a dobré promíchávání (homogenizace) taveniny, jsou rozhodující podmínkou účinného odplynění. Během vyplouvání je vodík těmito bublinami pohlcován do vzniku rovnováhy mezi parciálním tlakem vodíku v bublině a v tavenině. Následně je pohlcený vodík vynášen na hladinu. [8] Současně dochází vlivem přijatelně nízkého povrchového napětí i k vynášení dalších nečistot z taveniny.

Modifikace – je proces, kterým dochází při tuhnutí odlitku ve formě ke změně morfologie eutektika (desky a jehlice eutektického křemíku tuhnou v zrnité formě). Modifikací se zlepšují mechanické vlastnosti a obrobitelnost.

Ve slévárně Nové Ransko se jako modifikátor používá sodík ve formě granulátu s označením SIMODAL 97. Granulát je dodáván v pytlích, které nepropouští vlhkost. Pytle se vyprázdňují do násypky na zařízení FDU (obr. 13).

Násypka je opatřena víkem, granulát je do taveniny dopravován šnekem do výsypné trubice, množství granulátu je řízeno podle nastaveného programu ošetření taveniny. Dávkování při lití do pískových forem je obvykle 0,1 – 0,2 % na hmotnost taveniny.

Podle druhu modifikátoru je nutno počítat s odezněním účinku modifikace (zejména u modifikátorů na bázi Na).



Obr. 13, Mobilní přístroj na odplynění taveniny inertním plynem [8]

Očkování je proces, kterým je dosahováno vytvoření většího množství zárodků pro heterogenní nukleaci. Výsledkem očkování je zjemnění zrna kovu v odlitku. Očkování přispívá ke zlepšení mechanických vlastností a ke zlepšení obrobitelnosti odlitků.

Jako očkovadlo se obvykle používá granulát nebo předslitina v podobě tyček. U podeutektických a eutektických siluminů je množství očkovadla, přidávaného do taveniny, závislé na obsahu křemíku (čím více se blíží eutektické koncentraci ve slitině, tím větší množství přidávaného očkovadla). Účinek je téměř okamžitý, avšak u některých slitin po překročení doby cca 30 minut může docházet ke zhoršení zjemňujícího účinku.

Gravitační separace se používá ve slévárnách zřídka ke snížení obsahu Fe. V hutních provozech se gravitační separace používá, obsahuje-li šrot vyšší množství Fe. Proces je zdlouhavý, proto se častěji volí ředění tekutého kovu čistým Al, vyrobeným elektrolyticky z bauxitu.

Tab. 3, Gravitační separace nečistot [11]

Druh neshody	Chemické složení	Rozměry [μm]	Hustota	*Rychlost vyplování	Tavící teplota
			[$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	[m/min]	[$^{\circ}\text{C}$]
Oxidy	MgAl_2O_4 – spinel	0,1 – 100	3,74	21,977	2825
	Al_2O_3 – korund	0,2 – 30	3,69	1,904	2047
	MgO	0,1 – 5	3,54	0,046	1650
	SiO_2	0,5 - 30	2,65	-0,098	
Karbidy	Al_4C_3	0,5 - 30	3,1	0,785	2100
	SiC		3,53	1,628	2540
Boridy	TiB_2	0,1 – 30	4,5	3,439	2790
	AlB_2	0,1 - 3	4,8	0,043	2160
Nitridy	AlN	X.50	3,2	3,796	2227
Intermetalické fáze	TiAl_3	10 – 100	4,4	43,381	
	TiB_2	1.30	4,5	3,439	2790
Směsné kovové fáze	Al (FeMnCr)Si	100 - 500	2,7(7,4)2,3	986,988	
Chloridy, fluoridy	CaCl_2 , MgCl_2 , KCl, NaF, AlF_3 , CaF_2 , Na_3AlF_6 ,	0.5 – 1	2,1 až 3,2	-0,047	700 – 1000

9 Vliv použitých formovacích a jádrových směsí na povrchovou a vnitřní kvalitu odlitků ze slitin hliníku

Druh použité formovací směsi má vliv na metalurgickou kvalitu odlitků v závislosti na rychlosti odvodu tepla a plyných zplodin formou. Dále záleží na tloušťkách stěn odlitku a na technologickém zvládnutí vtokových soustav a dobře dimenzovaných nálitků.

Směsi s velmi nízkým obsahem vody (samotuhnoucí) snižují pravděpodobnost vzniku neshod, typických pro bentonitové směsi (zálupy odvařeniny).

Na kvalitu má dále vliv typ formovacího stroje, technologická kázeň, tvrdost formy, rovnoměrnost propěchování, prodyšnost apod. Formovací směsi musí mít reprodukovatelné parametry, neboť pokud tomu tak není, dochází k poklesu mechanických vlastností formy a při odlévání formy by mohlo dojít k zadrobeninám.

Některé neshody lze částečně odstranit filtrací. Filtrací dojde k zachycení hrubých nečistot, které se vyskytují před filtrem. Zároveň se ve filtru přeměňuje turbulentní proudění tekutého kovu na proudění blízké laminárnímu a dochází ke klidnějšímu plnění dutiny formy [11]. Filtrací však nelze odstranit vměstky, které vznikají až při tuhnutí odlitku ve formě. Například u samotuhnoucích směsí nebo směsí chemicky vytvrzovaných se nesmí jádro zakládat do formy dříve než za tři hodiny po vytvrzení jádra na hodnotu rozebíratelné pevnosti v ohybu (u malých jader ze samotuhnoucích směsí cca 0,3 MPa a u větších cca 0,5 MPa). Těchto hodnot se většinou dosahuje v rozmezí od 25 minut do 45 minut v závislosti na typu a množství pojiva a tvrdidla. Následuje další cca tříhodinové vytvrzování na potřebnou pevnost (1,2 až 1.8 MPa).

10 STRUČNÝ POPIS NEJČASTĚJI SE VYSKYTUJÍCÍCH NESHOD

Každé nedodržení technologické kázně zpravidla vede ke vzniku neshod. Suroviny pro tavení je nutno skladovat tak, aby podle druhu tavící pece vyhovovaly potřebám tavní. Tavení musí být vždy ukončeno pečlivým ošetřením taveniny a během tavení a ošetření nesmí dojít k přehřátí taveniny.

Příprava formovacích a jádrových směsí musí být prováděna tak, aby nedocházelo k riziku výskytu neshod z důvodů špatných výstupních parametrů. Výstupy z připravených formovacích a jádrových směsí musí být reprodukovatelně vhodné ke kvalitní výrobě forem a jader.

Teplota lití musí být přizpůsobena druhu odlitku. Vtokové soustavy musí být dimenzovány tak, aby byly v co největší míře eliminovány neshody z důvodu nevhodně zvolené vtokové soustavy.

Při vytloukání odlitků je nutno dbát na to, aby se odlitky nevytloukaly dříve, než jsou dostatečně ztuhlé. Současně je nutné dbát, aby nedocházelo k potlučení funkčních tvarů odlitků (odlitky ze slitin Al jsou zvláště choulostivé na potlučení při vytloukání).

Při čištění odlitků je nutné, aby nedocházelo k zařezávání nebo podbroušení funkčních tvarů. Případné opravy odlitků musí být prováděny tak, aby kvalita opravy byla v souladu s požadavky zákazníků.

10.1 Neshody související s metalurgickým zpracováním kovu

Surovinu je nutné sázet do kelímku šetrně, aby nedocházelo k narušení vnitřní stěny kelímku a nedocházelo tak ke znečištění taveniny keramickými částicemi z kelímku. V extrémním případě může dojít až ke vzniku trhliny ve stěně kelímku. Během tavení nesmí dojít k přehřátí taveniny, První stěr musí být proveden velmi pečlivě. Po ošetření taveniny a následné vylití tekutého kovu z kelímku je nutno provést pečlivé odstranění nečistot z vnitřní stěny kelímku, obzvláště po poslední tavbě při ukončení směny.

Mezi takto vzniklé neshody patří například:

- naplynění odlitku,
- nedomodifikovaná struktura,
- přemodifikovaná struktura,
- hrubozrnná, příp. nerovnoměrná struktura materiálu odlitku,
- vysoký výskyt vměstků,
- velký výskyt rozměrných oxidických pln,
- studené spoje, zavaleniny,
- nezaběhnutí odlitku.

10.2 Neshody související s jakostí jádrových a formovacích směsí

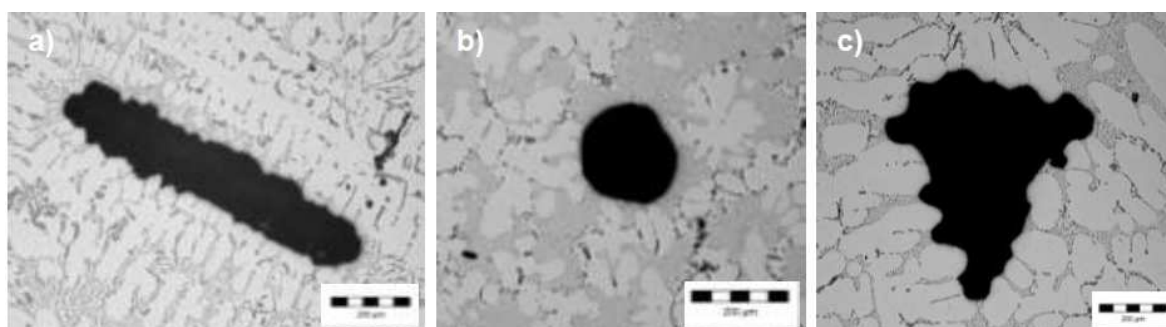
Vstupní ostřivo musí být dostatečně vychlazené, jak při přípravě bentonitových, tak samotuhnoucích směsí. Formovací i jádrové směsi musí být připravovány tak, aby výstupy byly reprodukovatelné, tedy byly v souladu s technologickými předpisy. Vlastnosti formovacích i jádrových směsí je nezbytné pravidelně ověřovat laboratorními zkouškami.

Mezi takto vzniklé neshody patří například:

- Zahlcený plyn v odlitku
- Penetrace kovu do formy
- Zálupy
- Zdrobeniny
- Eroze formy
- Odvařeniny od forem a jader

Porezita

Porezita je neshoda, která vzniká během tuhnutí, kdy se rozpustnost vodíku v tuhé fázi prudce snižuje vůči rozpustnosti vodíku v tavenině. Porezita je způsobena kombinací vzniku mikrostaženin a bublin. Čistě plynové bubliny lze pozorovat zřídka. V případě, kdy jsou dutiny tvarově členité, na obr 14 a), c), a kopírují dendritickou stavbu základní fáze α obr. 14. [7]



Obr. 14 Tvary pórů ve slitinách hliníku: a) mikrostaženina; b) plynová bublina; c) porezita (plyn a mikrostaženina) [7]

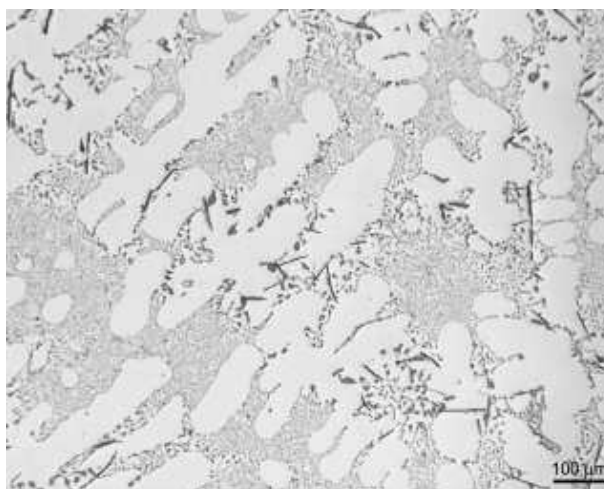
Fáze β (Al_5FeSi)

Fáze β (Al_5FeSi) označována jako jehlicovitá fáze je intermetalická sloučenina, která se tvoří již při malé koncentraci Fe ve slitinách Al. Tato fáze vzniká v rozmezí intervalu tuhnutí při teplotách kolem 580 °C, tj. před vyloučením lamel Si. Má monoklinickou mřížku a tvoří hrubé deskovité útvary (na výbrusu viditelné jako jehlice), které porušují strukturu siluminu a výrazně zhoršují jeho mechanické vlastnosti (vyšší tvrdost, nižší pevnost, nižší tažnost). [7]

Přemodifikovaná struktura

Přemodifikovaná slitina (obr. 15) může vzniknout při překročení optimálního obsahu modifikačního prvku. Přemodifikovaná struktura viditelná na obr. 15 je typická výskytem hrubých útvarů Si na hranici zrn. V důsledku odmíšení přebytečného sodíku vzniká na hranici zrn intermetalická fáze AlSiNa , která slouží jako krystalizační zárodky pro částice zrnitého eutektického Si. [7]

Výskyt této fáze vede ke snížení mechanických vlastností.



Obr. 15 Přemodifikovaná struktura Al-Si-Mg, zv. 100 x [7]

11 POROVNÁNÍ NOVÉHO A STARÉHO PROVOZU

Ve starém provozu je tavírna na malém prostoru, manipulace s tekutým kovem vyžaduje pracovat tak, aby byly veškeré potřebné činnosti bezpečné. Tato okolnost snižuje rychlost zásobení pracovišť odlévání tekutým kovem (kříží se podvěsná drážka na pracoviště kokilového lití s podvěsnou drážkou na odlévání forem ze strojního formování).

11.1 *Současný stav tavírny*

Současná tavírna je osazena čtyřmi plynovými pecemi typu Morgan na 580 až 750 kg taveniny a třemi plynovými pecemi s vyjímatelným kelímkem na 100 kg slitin Al nebo 300 kg slitin Cu. V provozu kokilového lití je rovněž nutné provádět metalurgické úpravy tekutého kovu, zejména udržovat teplotu, ale i domodifikovávat. V tomto provozu je proto využíváno také 11 udržovacích odporových pecí, z toho 9 po cca 80 kg a 2 silitových pecí na cca 500 kg Al.

11.2 *Projektované změny tavírny*

Projekt tavírny v novém provozu počítá s větším prostorem pro manipulaci s tekutým kovem. Podvěsné drážky se nebudou křížit, neboť kokilové lití a strojí formovna jsou v oddělených lodích podél ruční formovny ve střední lodi. Na ruční formovnu bude tekutý kov převážen jeřábem.

Realizace projektu

První etapa projektu probíhala v časovém období od 1. 4. 2010 do 31. 7. 2010. V první etapě realizace projektu byla provedena příprava stavby nové haly slévárny neželezných kovů. Současně byl zahájen sběr dat ze starého provozu. Z analýzy těchto dat vyplynulo, jaká data budou nutná sledovat v novém provozu. Dále byl vybrán a pořízen potřebný HW (Hardware) a SW (Software) pro sběr dat.

Druhá etapa realizace projektu probíhala v časovém rozmezí od 1. 6. 2010 do 28. 2. 2011. V rámci projektu byla postavena nová hala slévárny neželezných kovů a byly připraveny prostory pro instalace výzkumně inovačních kapacit (VIK) pro vědu a výzkum (VaV). VIK a VaV v sobě zahrnují zařízení tavírny, strojní a ruční formovny.

Třetí etapa je v současnosti realizována. Naplánována byla do časového období od 1. 8. 2010 do 31. 7. 2011. Ve třetí etapě probíhá instalace tavicí pece. Dále probíhají práce na vývoji SW pro řízení procesu tavení a jsou verifikovány parametry vlastnosti taveniny a tomu odpovídající data pro monitorování procesů a tvorbu datových souborů.

Čtvrtá etapa byla realizována v období od 1. 11. 2010 do 31. 12. 2011. Ve čtvrté etapě byla nainstalována zařízení k výrobě a regeneraci formovacích směsí pro ruční formování do samotuhnoucích anorganických směsí.

Pátá etapa je v současnosti realizována. Realizace probíhá v časovém období od 1. 5. 2011 do 31. 9. 2012. V páté etapě probíhá instalace formovacího stroje s nezbytnou periferií pro strojní formování.

Podpůrný projekt

Společnost Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. se zapojila do VaV ve spolupráci s VŠB v Ostravě do projektu z programu ALFA. Účast společnosti na projektu spočívá v praktickém odzkoušení litých poréznicích kovů na bázi Al slitin. Od této spolupráce si lze slibovat zavedení výroby jednak odlitků s řízenou vnitřní porézitou pro vylehčené dílce pro finální výrobky, kde je významným faktorem výsledná, co nejnižší hmotnost; a jednak odlitků kovových filtrů, které by mohly nahradit keramické filtry. Dalším důvodem pro účast společnosti je zlepšení hledisek ekologických v souvislosti se snížením spotřeby vstupních materiálů a snížením nákladů na energie a při výrobě filtrů je očekávána lepší kvalita vratného materiálu, než je tomu při použití filtrů keramických.

Změny projektu VIK tavení

Pro sběr informací o procesu tavení postačí jedna dvoupec (šachtová pec se dvěma šachtami, oddělenými keramickou přepážkou, a dvěma udržovacími kelímky), která bude vybavena výstupy pro sběr dat. Budou sbírány hodnoty hmotností komponent při druhování a čas zavážení vsázky skipovým výtahem do předehřívací komory šachty. Dále budou snímány teploty v tavicí komoře, hmotnost a teplota tekutého kovu v udržovacím kelímku.

Vstupy pro tavnici budou hmotnost a chemické složení tekutého kovu pro jednotlivá pracoviště lití. Tavení bude řízeno v kampaních s několikaminutovým předstihem. Elektronické spřažení údajů z formoven a kokilárny umožní, aby nedocházelo ke

zbytečnému dlouhodobému udržování taveniny v kelímku tavící pece. Popsaným změnám bude přizpůsoben HW a SW.

Současná slévárna, zajišťující výrobu odlitků ze slitin neželezných kovů, již tomuto záměru nevyhovuje z hledisek pracovního prostředí, dlouhých technologických časů a morální i fyzické zastaralosti pracovišť, zejména tavírny a ručního a strojního formování.

Projekt společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. je dotován 50 % ze započitatelných výdajů z dotačního titulu POTENCIAL (poskytovatel MPO). Podmínkou pro schválení projektu je provádět během realizace a tři roky po ukončení výzkum a vývoj ve zvolených oblastech [12].

Důvodem zřízení Výzkumné a inovační kapacity (dále VIK) v novém objektu je dosahovat dlouhodobě ve slévárně neželezných kovů snížené spotřeby energie a významného zlepšení životního a pracovního prostředí při zvýšené produkci technologicky velmi náročných odlitků [12]. VIK je pro společnost kvalitativní změnou, při níž bude vedle zvýšení kvality při nižší energetické náročnosti dosaženo snížení výrobních nákladů.

Zaměření VIK (výzkumně inovační kapacity) a využití pro potřeby společnosti

V nových prostorách je vytvořeno experimentální poloprovozní pracoviště, na kterém jsou realizovány výzkumné aktivity a ověřovány nejefektivnější výrobní podmínky pro výrobu technologicky náročných odlitků.

Výzkum a vývoj (dále VaV) v první VIK je motivován potřebou významně zlepšit proces řízení tavírny. Je ukončen vývoj pecního zařízení s elektronickým řízením. Pro snížení energetické náročnosti a zlepšení životního a pracovního prostředí je využito teplo spalin k vysušení a předehřevu vsázky v horní komoře, v dolní komoře bude probíhat tavení vsázky zemním plynem. Tavenina dále odtéká do plynového (alternativně elektrického) vyhřívaného udržovacího kelímku. Pec je koncipována jako sklopná. Pro efektivní ošetření taveniny je provozně prověřováno odplyňovací zařízení se dvěma zásobníky granulátu pro modifikaci a očkování (inertní plyn N_2 je vháněn do taveniny keramickou turbínou).

Druhá VIK je zaměřena na VaV ručního formování do samotuhnoucích směsí s anorganickým pojivovým systémem, hlavní důraz je kladen na kvalitní výrobu a regenerace formovacích a jádrových směsí tak, aby bylo využito co nejvíce regenerátu k výrobě forem i jader.

Třetí VIK je zaměřena na VaV strojního formování do bentonitových směsí na stroji nové generace (náhrada stříhání s dolisováním systémem siatsu).

U všech výrobních procesů je hlavní důraz kladen na identifikaci průběhu výrobních operací elektronickým řízením v časové ose.

Souběžně je připravováno zavedení simulačních SW.

Výsledky VIK budou shrnuty ve vyhodnocení projektu a budou dále rozpracovány do systémové dokumentace společnosti. Inovace postupů povede jak ke zvýšení kvality řízení, tak ke zvýšení kvality odlitků. Současně lze očekávat i zvýšení konkurenceschopnosti slévárny neželezných kovů společnosti

Další podpůrná pracoviště

HW, SW a server bude sloužit k modelování a on-line řízení tavicích a odlévacích procesů, procesů ručního a strojního formování. Vstupní hodnoty budou dodávány ze sofistikovaného systému pro sběr dat do příslušných databází.

Software bude mít následující moduly:

- zobrazovací moduly multidimenzionálního modelu;
- moduly statistických výpočtů pro stanovení výrobních nákladů;
- optimalizační moduly pro ověřování shody technologických procesů se systémovou dokumentací dle ISO EN ČSN 9001 a 14001;
- modul statistického procesního modelu;
- modul statistického modelu pro potřeby analýzy procesů vedoucích ke vzniku neshodné produkce.

Metrologické pracoviště odpovídá potřebám VaV. Systém měření a monitorování procesů bude sloužit k ověřování rozměrů modelových zařízení, odlitků a obrobků a bude jako jediné umístěno mimo objekt nové haly. (v sousedící budově CNC obrobny).

Metalurgická laboratoř bude vybavena novým spektrálním analyzátozem (doutnavý výboj) a stávajícími zařízeními pro kontrolu kvality formovacích a jádrových směs a pro metalografická šetření (broušení, leštění, mikroskop). Získaná data budou využita k definování vstupních podmínek pro simulaci tuhnutí odlitků včetně dat pro ověřování predikčních modulů.

Shrnutí

Lze předpokládat, že po uvedení nových technologií na pracoviště nové slévárny vzroste výrazně výrobní kapacita. Ekonomický přínos bude dán procesem řízení tavniny a formoven. Dále se očekává vznik významné úspory provozních nákladů (odborný odhad 35 až 40%), zejména snížením spotřeby elektřiny a plynu.

Zavedením simulace tuhnutí se očekává zvýšení využití tekutého kovu a tím i vznik dalších úspor nákladů na tavení. VIK ručního formování povede k vyšší kvalitě povrchů odlitků a tím ke snížení pracnosti na čistírně. Dále se očekává až dvojnásobné zvýšení výkonu pracoviště ručního formování do samotuhnoucích směsí. Vik strojního formování povede ke zlepšení reprodukovatelnosti vlastností formovací směsi, lepší způsob zhutnění formy k vyšší přesnosti odlitků a tím i ke snížení pracnosti na čistírně. Vzhledem k tomu, že formovací rámy budou přibližně dvakrát větší, než současné rámy a výkon stroje bude v rozmezí 40-50 forem za hodinu dojde až ke čtyřnásobnému zvýšení počtu vyrobených forem.

13. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU – NÁVRH NOVÉHO ŘEŠENÍ

V této oblasti byla provedena analýza současného stavu tavení ve slévárně neželezných kovů ve slévárně Nové Ransko. Analýza byla provedena před vlastním podáním přijatého projektu. Z analýzy vyplynulo, že nejméně zvládnuté procesy výroby odlitků z Al slitin ve slévárně Nové Ransko jsou ve třech oblastech. Do těchto oblastí byly navrženy Výzkumně inovační kapacity (Vik) a také v těchto třech oblastech bude ve smyslu projektu prováděn vývoj a výzkum.

Do těchto oblastí patří:

Fáze tavení

Nejvíce nákladů při výrobě odlitků ze slitin Al spotřebuje tavení a ošetření taveniny (80% - 90%). Protože suroviny pro tavení jsou až o řád dražší než suroviny pro výrobu litin. Na tuto oblast je i převážně zaměřena bakalářská práce.

Strojní formování

Další výzkum v projektu byl zaměřen na strojní formování, protože současná strojní formovna je vybavena morálně i fyzicky zastaralými stroji foromat 20. Morální zastaralost spočívá v tom, že stroje střešání s dolisováním byly vyvinuty ve 30. letech 20. století a byly masově zaváděny ve slévárnách v 50. letech 20. století. Procesy nelze elektronicky řídit. Poloformy nemají reprodukovatelné vlastnosti a geometrie modelového zařízení se musí podřítit možnostem formovacího stroje (úkosy a přídavky na opracování). Současné formovací stroje pracují s daleko vyšší přesností (lze vyrábět poloformy i bezúkosově s menšími přídavky na opracování). Stroje jsou elektronicky řízeny a veškerá data lze elektronicky sledovat a zaznamenávat. Výkon jednoho stroje je až 4x vyšší při stejné velikosti formovacího rámu, než u formoven osazených foromaty. Provozní náklady se sníží při stejném výrobním programu až o 30%.

Ruční formování

Poslední část výzkumu v projektu je zaměřena na ruční formování. Současná ruční formovna používá k výrobě forem bentonitové směsi. Formy jsou vyráběny pomocí pneumatických pěchovaček (fyzicky velmi namáhavá práce, která vede k množství různých onemocnění zejména kloubních). Výroba forem do samotuhnoucích směsí je méně fyzicky namáhavá, protože není používáno pneumatických pěchovaček. Směs je do

poloformy nasypána přímo z průběžného mísiče, pouze při sypaní modelové směsi je nutné modelovou směs ručně dotlačit na kontury modelu. Proces výroby formovací směsi lze elektornicky řídit, sledovat a zaznamenávat. K identifikaci forem lze použít maticové kódy, které lze snímat čtečkou v časové ose, tím je elektronicky zaznamenána i výroba každé poloformy. Úspora pracnosti při výrobě poloforem umožní až zdojnásobení výkonu ruční formovny. Lepšími povrchy na odlitkách se dosahukje i výrazně znatelných úspor při čistění odlitků. Lze očekávat, že náklady na ruční formovně při stejném výrobním objemu klesnou minimálně o 30%.

13.1 Změny tavení Al slitin na VIK nové tavírny

Vyvíjené pecní zařízení je navrženo tak, aby výhody efektivnějšího tavení v šachtových pecích byly spojeny s výhodami tavení v kelímkových pecích a zároveň byly odstraněny některé nevýhody obou způsobů.

Pecní zařízení se skládá ze dvou zrcadlově spojených šachtových pecí s předeřívací a tavící komorou. Obě šachty jsou zaváženy skipovým výtahem na sobě nezávisle. Vytavený kov vytéká do udržovací kelímkové sklopné pece. V tomto pecním zařízení budou tavby řízeny kampaňovitě, aby nedocházelo ke vzniku přechodové směsné taveniny. Proces tavení je řízen tak, aby tekutý kov byl připraven vždy těsně před ošetřením kovu takového množství, které odpovídá potřebě příslušného pracoviště (kokilárna, strojní a ruční formovna). Plnění šachty pece bude prováděno pomocí vozíků, které budou současně sloužit jako přepravní nádoby vratného materiálu z čistírny.

Sledované parametry na tavírně

- hmotnost vratného materiálu,
- hmotnost housek,
- teplota v předeřívací komoře šachty,
- teplota v udržovacím kelímku,
- hmotnost taveniny v udržovacím kelímku.

Udržovací kelímek pece je možno plnit i ručně a v případě potřeby ho využít jako tavící (korekce chemického složení).

Vsázka bude v šachtě přehřívána na teplotu, která bude dostatečná na odstranění fyzikální vlhkosti (cca 250 °C). Současně kombinace vratného materiálu drobnější kusovitosti a housek umožní snížení tuhých znečišťujících látek v odtahu spalin (do určité míry splní tento postup roli filtru).

Tavicí komora šachty je vybavena hořákem, který bude řízen tak, že nebude docházet ke zbytečnému přehřátí vsázky. Vzniklá tavenina vytéká do udržovacího kelímku. Teplota taveniny z tavicí komory je o cca 50 °C nižší, než teplota kovu v udržovacím kelímku. Tavicí komora současně při kampaňovitém provozu umožní vyčistit nístěj od zbytků keramiky a případně i zálitků a jiných kovových i nekovových částí obsažených ve vtokových soustavách. V udržovacím kelímku je tavenina dohřátá na teplotu vhodnou pro ošetření taveniny a kov je ošetřen odplyňovacím zařízením, vhodným modifikátorem a očkovadlem, tak aby tekutý kov byl připraven právě v okamžiku kdy je nutno odlévat. Kov je transportován na jednotlivá licí pracoviště v transportním kelímku (pánvi) na pracoviště kokilového lití nebo do licího zařízení na strojní formovně. Transport kelímku (pánve) k požadovaným formám na ruční formovně je zajištěn pomocí drážek nebo pomocí jeřábu.

Ošetření taveniny

Ošetření taveniny je řízeno tak, aby tekutý kov měl parametry odpovídající normě a typu forem. Pro pracoviště kokilového lití je použit modifikátor na bázi stroncia, protože rychlost tuhnutí je dostatečně vysoká a účinek stroncia zaručí v celém objemu výrobku zrnitou strukturu křemíkového eutektika. Koncentrace stroncia se pohybuje na úrovni cca 120 ppm.

Tekutý kov pro bentonitové formy na pracovišti strojního formování je rovněž modifikován stronciem, protože bentonitová forma má dostatečně rychlý odvod tepla, ačkoliv koncentrace stroncia se musí pohybovat na cca 320 ppm. V případě, že by se na strojním pracovišti vyráběly odlitky tlustostěnné je nutno provádět modifikaci sodíkem (Na).

Na ruční formovně je k modifikaci použito modifikátoru na bázi sodíku, protože doba tuhnutí je výrazně vyšší, než u výše uvedených pracovišť. Dle praktických zkušeností z tavrny ve společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko s.r.o. se současná přítomnost sodíku a stroncia nevyklučuje.

Kvalitu modifikace na novém pracovišti je prověřována přístrojem na termickou analýzu (v současné době zapůjčena).

13.2 Porovnání procesů

V tab. 4 je provedeno porovnání procesů na tavírně od vsázkování až po ukončení ošetření taveniny ve stávajícím a nově budovaném pracovišti tavírny a formovny. Manipulace se vsázkovými surovinami je zjednodušena, protože vratný materiál je v současnosti přepravován elektrovozíkem do bunkru na tavírně. V případě nové tavírny je vratný materiál přepravován přímo v sázcích bednách z čistírny.

Tab. 4, Porovnání procesů

Porovnání procesů		
proces	stávající procesy	navrhované procesy
Příprava vsázky	ručně	skipem
předehřev vsázky	volně na pracovišti tavírny	v předehřívací komoře
tavení	v kelímku sklopné pece	v tavící komoře
čištění taveniny	pouze stěr	dvou stupňové čištění
odplynění	tabletami	inertní plyn
modifikace	tabletami	granulátem
očkování	tabletami nebo tyčkou TiB	granulátem
snížení kovnatosti stěru	jemný granulát	jemný granulát

Údaje uvedené v tabulce jsou v následující kapitole vyčísleny z pohledu nákladů. Z hodnot na současné tavírně jsou vypočteny i koeficienty předpokládaných úspor. Tyto hodnoty jsou použity pro výpočet návratnosti, který je vztažen k pořizovacím nákladům na novou tavírnu.

13.3 Ekonomické hodnocení a návratnost investice

K výpočtu návratnosti investice je nutno odborně odhadnout úspory z provozních nákladů v nové tavírně a pořizovací náklady na novou tavírnu. Údaje o současných a předpokládaných nákladech jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5, Úspory z provozních nákladů [13]

č.	údaj	jednotka	hodnota	současnost (tis.Kč/rok)	předpoklad (tis.Kč/rok)	koef.	úspora (tis.Kč/rok)
náklady na tavení							
1	nový kov v houskách	Kč/kg	56,50	100717,39	90645,65	0,90	10071,74
2	vratný materiál	Kč/kg	2,83	5044,78	3026,87	0,60	2017,91
3	modifikační přísady	Kč/kg	102,52	219,64	131,78	0,60	87,86
4	očkovací přísady	Kč/kg	44,00	26,40	15,84	0,60	10,56
5	inertní plyn (N ₂)	Kč/láhev	2165,00	68,69	41,21	0,60	27,48
6	spotřeba tavicích kelímků	Kč/ks	38000,00	337,01	168,51	0,50	168,51
7	spotřeba zemního plynu	Kč/tavbu	42,00	62,63	37,58	0,60	25,05
8	spotřeba elektřiny	Kč/kWh	3,35	4,68	2,81	0,60	1,87
9	transportní zařízení	Kč/tavbu	29,70	0,46	0,37	0,80	0,09
10	zdvihací zařízení	Kč/tavbu	1,06	1,58	1,74	1,10	-0,16
11	mzdové náklady mistr taviřny	Kč/hod	290,36	270,62	270,62	1,00	0,00
12	mzdové náklady tavič	Kč/hod	240,58	420,41	462,45	1,10	-42,04
13	analýzy	Kč/tavbu	81,00	120,79	169,10	1,40	-48,31
14	celkem náklady na tavení			107295,09	94974,54		12320,55

Pro výpočet návratnosti jsem zvolil metodu, vycházející ze součtu kapitálových výdajů (nákladů na investici) a příjmů z investice (úspory = cash flow celkových příjmů), ale v jejich současné hodnotě, tj. rozdílem mezi diskontovanými peněžními příjmy z investičního projektu a kapitálovým výdajem. U NPV (nominal pure value) volně přeloženo do češtiny čistá současná hodnota, je brán ohled na faktor času, rizika a časový průběh investice [13].

$$NPV = -IN + \frac{CF_1}{(I+k)^1} + \frac{CF_2}{(I+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(I+k)^n} = -IN + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(I+k)^i}$$

Kde IN náklady na investici;

CF očekávaná hodnota cash flow v období i;

k podniková diskontní sazba;

n doba návratnosti investice;

i v období 1 až n.

Je-li čistá současná hodnota investice kladná, investici přijímáme. Ta varianta investice, která má vyšší aktualizovanou hodnotu, je považována za výhodnější. Pokud je čistá

současná hodnota (NPV) záporná, investici musíme odmítnout. Za předpokladu, že v roce 2015 bude diskontní sazba 10%, je hodnota $k = 0,10$.

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= -31375000 + \frac{22346230}{(1+0,1)} + \frac{22346230}{(1+0,1)^2} \\ &= -31375000 + 20314755 + 18467959 = 740771 \end{aligned}$$

Výpočtem NPV bylo zjištěno, že investice je výhodná, a proto ji společnost přijala. Plusový zůstatek odpovídá přibližně 3 měsícům, je tedy návratnost investice velmi příznivá tj. 1 rok a 9 měsíců.

14 ZÁVĚR

Z provedené literární rešerše k metalurgii slitin hliníku pro technologie gravitačního lití do pískových a kovových forem vyplynulo, že neexistuje plynová tavící pec, která by spojovala výhody šachtových pecí a sklopných kelímkových pecí. Výzkum a vývoj ve výzkumně inovační kapacitě pro tavení byl zaměřen na realizaci pece, splňující představy investora v nové slévárně neželezných kovů.

Byly definovány základní výhody a nevýhody nejčastějších způsobů tavení v kelímkových a šachtových plynových pecích. Byla provedena analýza vlastností projektované dvojpece, tj. šachtové pece s přehřívacími a tavíci komorami, propojenými s udržovacími kelímky. Konstrukčně je dvojpec řešena „zrcadlově“ (pravá a levá v jednom opláštěném ocelovém skeletu). Lze předpokládat, že tato pec spojuje některé výhody šachtové a sklopné kelímkové pece v provozní praxi.

Výzkumně inovační kapacita tavírny, osazené třemi dvoupencemi a mobilním odplyňovacím zařízením s dávkováním modifikačního a očkovacího granulátu, splní s dostatečnou rezervou náročné požadavky projektu. Porovnáním nejčastěji používaných procesů výroby a ošetření taveniny bylo zjištěno, že v současných podmínkách je navržené řešení pracoviště tavírny nejefektivnější.

Vliv použitých formovacích a jádrových směsí na povrchovou a vnitřní kvalitu odlitků ze slitin hliníku nelze zanedbat. Tekutý kov z pracoviště tavírny bude možné, volbou programu ošetření taveniny, přizpůsobit i odlišnostem, které jsou dány druhy forem (geopolymerní samotuhnoucí na ruční formovně, bentonitové na strojní formovně).

Ekonomické porovnání bylo provedeno z hodnot stávajícího a projektovaného pracoviště tavírny, tedy z hodnot na stávající tavírně, přepočtených pomocí koeficientů úspor a ztrát. Z pořizovacích nákladů a očekávaných úspor byl proveden výpočet návratnosti investice do nové tavírny. Návratnost, necelé dva roky, je velmi příznivá.

Pro budoucnost doporučuji pracoviště tavírny vybavit termickou analýzou, protože současné prověření kvality modifikace metalograficky je zdlouhavé. Termická analýza by umožnila, zejména při přechodu na suroviny předmodifikované stronciem, zvýšit reprodukovatelnost výsledků modifikace rychleji, již před odléváním tekutého kovu do forem.

Projekt nové slévárny neželezných kovů se třemi Výzkumně inovačními kapacitami představuje pro společnost z kategorie středních podniků velmi významnou finanční zátěž. Jsme však přesvědčeni, že přínosy po realizaci budou velmi užitečné, jak pro odběratele, tak pro společnost, protože se významně sníží neshodná produkce.

Podpůrný projekt společnosti umožní zavést výrobu, technologicky zcela nových, vylehčených odlitků.

SEZNAM LITERATURY

- [1] *Světová produkce hliníku* [online]. 15. 6. 2010 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z www: <<http://prvky.com/13.html>>.
- [2] *Kovy* [online]. 12. 9. 2011 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z www: <<http://.nom.wz.cz/KOVY/Hlinik2.htm>>.
- [3] *Systémová dokumentace společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o.: Příručka jakosti 2012*, Nové Ransko.
- [4] *Roční přehledy 2006 - 2011* [online]. 17. 1. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z www: <<http://.otahalconsult.cz/>>.
- [5] ZÁDĚRA, Antonín. *45. přehled světové výroby odlitků za rok 2010 vykazuje nárůst produkce*. Slévárenství 3-4/2012, str. 120.
- [6] LÁNA, Ivo. *Vliv odplynění taveniny na vnitřní kvalitu odlitků v závislosti na použité technologii*. Sekce neželezných kovů a ekologie, Sborník přednášek 48. Slévárenské dny Brno 2011,
- [7] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [8] NOVÁKOVÁ, Lucie: *Snížení nákladů na výrobu odlitku ze slitin hliníku*. Brno: diplomová práce 2010.
- [9] *Binární diagramy*, [online]. 17. 5. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z www: <http://ateam.zcu.cz/download/Slitiny_09>.
- [10] MICHNA, S., aj. *Encyklopedie hliníku*, I. vyd. Děčín: ALCAN, 2005. 699 s. ISBN 80-89041-88-4.
- [11] LÁNA, Ivo: *Vliv odplynění taveniny na vnitřní kvalitu odlitků (dle technologie), vyhodnocování indexu hustoty (řízení dle druhu zařízení)*, Sborník přednášek 4. Holečkova konference, Brno: ISBN 978-80-02-02303-6
- [12] LÁNA, Ivo KUBÁT, František: *Vybudování moderního pracoviště za účelem výzkumu a vývoje progresivních technologií v oblasti výroby odlitků ze slitin neželezných kovů*, Podnikatelský záměr, Nové Ransko 2009
- [13] PROCHÁZKOVÁ, Petra, *Systém managementu kvality*, Bakalářská práce, ZÁPADOMORAVSKÁ VYSOKÁ ŠKOLA TŘEBÍČ, o. p. s., Třebíč 2012
- [14] *Elektrické odporové pece* [online]. 17. 5. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z www: <<http://realistic.cz/prumyslove-pece/taveni-barevnych-kovu.php>>.