

Technická Univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Studijní program : N2301 Strojní inženýrství

Obor : 2303 T 002 Strojírenská technologie

Zaměření : Materiálové inženýrství

Hodnocení kvality procesu tepelného zpracování odlitéků ze slitin AlSi

Heat treatment process evaluation of AlSi castings

KMT - 179

Veronika Nováková

Vedoucí diplomové práce : Ing. Hilda Dostrašilová - Katedra materiálu TUL

Konzultant diplomové práce : Ing. Libor Tengler – Beneš a Lát slévárna a strojírna s.r.o.

Počet stran textu: 64

Počet obrázků: 20

Počet tabulek: 19

Počet grafů: 21

Počet příloh: 32

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146072575

20.5.2003



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Bc. Veronika NOVÁKOVÁ

studijní program

N2301 Strojní inženýrství

obor

2303 T 002 Strojírenská technologie

zaměření

Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Hodnocení kvality procesu tepelného zpracování odlitků ze slitin AlSi

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle magisterské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s problematikou tepelného zpracování hliníkových slitin.
2. Sledujte a) vliv parametrů tepelného zpracování na konečnou tvrdost odlitků
b) závislost obsahu Mg na konečnou tvrdost odlitků.
3. Navrhněte vhodný systém zkoušek a proveďte je.
4. Vyhodnoťte zvolené zkoušky a navrhněte optimální režim tepelného zpracování i s ohledem na ekonomičnost provozu.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 30 - 40 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] SEDLÁČEK, V.: Neželezné kovy a slitiny, SNTL Praha 1979
- [2] METALS HANDBOOK Desk Edition, American Society for Metals 1995
- [3] Firemní podklady firmy Beneš a Lát, slévárna a strojírna a.s. Průhonice

Vedoucí diplomové práce:
Konzultant diplomové práce:

Ing. Hilda Dostrašilová
Ing. Libor Tengler

L.S.



prof. RNDr. Petr ŠPATENKA, CSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Petr LOUDA, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10. 2003

Platnost zadání magisterské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání magisterské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Téma: Hodnocení kvality procesu tepelného zpracování odlitků ze slitin AlSi

Anotace:

Diplomová práce nabízí přehled slitin hliníku a jejich tepelného zpracování. Dále se zabývá vlivem jednotlivých parametrů rozpouštěcího žíhání na výslednou tvrdost odlitků. Sleduje závislost tvrdosti po TZ na obsahu hořčíku v odlitku.

Provedenými experimenty byla prokázána závislost výsledné tvrdosti na obsahu hořčíku i na teplotě a době rozpouštěcího žíhání. Stávající proces (při 525°C, 7 hodin) se ukázal jako vyhovující. S ohledem na ekonomičnost provozu není vhodné zvyšovat teplotu (na 535°C) ani dobu (8 hodin) rozpouštěcího žíhání. Pokud bude splněna podmínka dostatečného množství hořčíku v odlitku (cca 0,3%), je možno zkrátit dobu procesu (6 hodin) a tím snížit náklady, aniž by došlo ke snížení tvrdosti.

Pro zpřesnění výsledků je zapotřebí provést další, rozsáhlejší měření, přičemž bude sledována pouze jedna proměnná.

Theme: Heat treatment process evaluation of Al-Si castings

Annotation:

A diploma thesis offers a summary of aluminium alloys and its heat treatment. Then it considers an influence of the particular parameters of the solution annealing on a final hardness of the castings. It monitors dependence of final hardness on magnesium content in the casting.

Executed experiments prove dependence of the final hardness on magnesium content, on temperature and duration of the solution annealing. A current process (525°C, 7 hours) proved to be appropriate. In consideration of the economy of the process it is not appropriate to increase temperature (535°C) or duration (8 hours) of the solution annealing. If a sufficient content of magnesium is guaranteed (0,3%) it is possible to reduce the duration of the process (6 hours) thus to decrease the costs without decreasing of hardness.

For further specification of the results it is necessary to realize additional and more extensive measurement where only one variable will be controlled.

Místopřísežné prohlášení :

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího práce a konzultanta.

V Liberci dne 20.5.2004


.....

Veronika Nováková

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat zejména vedoucí mé diplomové práce Ing. Hildě Dostrašilové z katedry materiálů FS TUL a konzultantovi práce Ing. Liboru Tenglerovi z firmy Beneš a Lát s.r.o.. Zejména za jejich za čas a trpělivost, dále za ochotné poskytnutí potřebných informací a materiálů. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým nejbližším za trpělivost, toleranci a psychickou podporu.

OBSAH

1	Úvod.....	8
TEORETICKÁ ČÁST		9
2	Hliníkové slitiny.....	9
2.1	Slitiny hliníku pro tváření	10
2.1.1	Nevytvrditelné slitiny.....	10
2.1.1.1	Al-Mg slitiny	10
2.1.1.2	Al-Mn slitiny	11
2.1.2	Vytvrditelné slitiny	11
2.1.2.1	Al-Mg-Si slitiny.....	11
2.1.2.2	Al-Cu-Mg slitiny	11
2.1.2.3	Al-Cu-Mg-Ni slitiny	12
2.1.2.4	Al-Zn-Mg-Cu slitiny.....	12
2.1.2.6	Al-Li slitiny	12
2.2	Slitiny hliníku na odlitky.....	12
2.2.1	Al-Si slitiny	13
2.2.1.1	Vliv legujících prvků (příměsí) na vlastnosti Al-Si slitin.....	15
2.2.2	Al-Mg slitiny.....	16
2.2.3	Al-Cu slitiny.....	17
2.2.4	Al-Zn-Mg slitiny	18
2.2.5	Al-Li slitiny	18
3	Tepelné zpracování slitin hliníku.....	18
3.1	Žihání	18
3.1.1	Žihání ke snížení vnitřních pnutí	19
3.1.2	Rekrystalizační žihání	19
3.1.3	Stabilizační žihání	19
3.1.4	Homogenizační žihání.....	20
3.1.5	Žihání na rovnovážný stav	20
3.2	Vytvrzování.....	20
3.2.1	Rozpouštěcí žihání	21
3.2.2	Ochlazení	22
3.2.3	Stárnutí	22
3.3	Tepelné zpracování jednotlivých druhů slitin hliníku.....	23
3.3.1	Tvářené slitiny nevytvrzované	23
3.3.1.1	Al-Mn slitiny	23
3.3.1.2	Al-Mg slitiny	23
3.3.2	Tvářené slitiny vytvrzované.....	24
3.3.2.1	Al-Cu-Mg slitiny	24
3.3.2.2	Al-Mg-Si slitiny	25
3.3.3	Slévárenské slitiny hliníku	25
3.3.3.1	Al-Si slitiny.....	26
3.3.3.2	Al-Mg slitiny	26
3.3.3.3	Al-Cu slitiny	26
3.3.3.4	Al-Zn slitiny.....	27
3.4	Označení stavů slitin hliníku.....	27
3.4.1	Systémy pro mechanicky zpevněné výrobky	28
3.4.2	Systémy pro tepelné zpracovatelné slitiny.....	28
3.4.3	Stav T6	28

PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 Technologický postup výroby Al-Si odlitků	29
5 Experimentální zjištění parametrů stávajícího procesu TZ	31
5.1 Výsledky experimentu	34
6 Vliv vstupních parametrů TZ na výslednou tvrdost odlitků	34
6.1 Výběr odlitků	34
6.1.1 Slitina AlSi7Mg0,3	35
6.1.2 Slitina AlSi10MgMn	35
6.2 Příprava vzorků	37
6.3 Měření tvrdosti	37
6.3.1 Popis měřicího zařízení	37
6.3.2 Postup při měření tvrdosti	37
6.3.3 Naměřené hodnoty tvrdosti	38
6.4 Tepelné zpracování testovaných odlitků	38
6.5 Analýza chemického složení	39
6.5.1 Popis měřicího zařízení	39
6.5.2 Postup při analýze vzorku	39
6.5.3 Výsledky spektrální analýzy	40
6.6 Energetická bilance	40
7 Diskuse výsledků	41
7.1 Odlitek 03087026	41
7.2 Odlitek S85525	47
7.3 Odlitek S91505	52
7.4 Porovnání obsahu Mg v etalonu a ve vzorcích	57
7.5 Grafické závislosti	58
7.5.1 Odlitek 03087026	58
7.5.2 Odlitek S85525	60
7.5.3 Odlitek S91505	61
7.6 Diskuse ke spotřebě elektrické energie	62
8 Závěr	63

1 Úvod

Firma Beneš a Lát slévárna a strojírna s.r.o. je zakázková slévárna s dlouholetou tradicí výroby hliníkových a zinkových odlitků. Jedná se o firmu s vlastní konstrukcí a výrobou licích nástrojů. Obrábění odlitků zadává jiným společnostem, tepelné zpracování se provádí v areálu firmy.

V tomto podniku jsou tepelně zpracovávány pouze dvě slitiny hliníku (ČSN 42 4331 a ČSN 42 4334). Tepelné zpracování probíhá za takových podmínek, aby bylo u slitin dosaženo stavu T6. Tato diplomová práce má vysledovat vliv parametrů tepelného zpracování a obsahu hořčíku v odlitku na konečnou tvrdost.

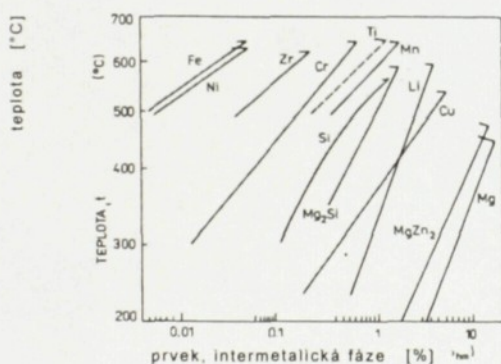
Prvním úkolem bude výběr vhodných odlitků a zvolení optimálního souboru vzorků. Dále bude třeba připravit vhodný systém testování odlitků tak, aby byly zaznamenány vlivy jak parametrů TZ, tak i obsahu hořčíku.

Zjištěné hodnoty pak bude třeba statisticky vyhodnotit. Na základě těchto výsledků pak navrhnout optimální režim tepelného zpracování.

TEORETICKÁ ČÁST

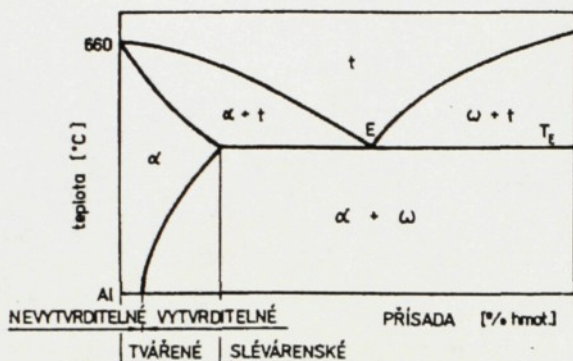
2 Hliníkové slitiny

Čistý hliník má nízké hodnoty mechanických vlastností a není tedy běžně užívaným konstrukčním materiálem. Pro tyto účely se leguje jedním nebo více prvky (mechanické hodnoty se legováním zvýší asi 10krát). Čistý hliník má homogenní strukturu. V tuhém roztoku hliníku s legujícím prvkem, u kterého se rozpustnost mění s teplotou vzniká precipitací sekundární fáze, která je rozptýlena uvnitř zrn, nebo se tvoří na hranicích zrn tuhého roztoku. Legující prvek, který má vyšší obsah než odpovídá rovnovážné rozpustnosti (jeho přebytek již nemůže tvořit tuhý roztok), se vylučuje v podobě sekundární fáze různé morfologie a odlišného chemického složení. Některé fáze (intermetalické sloučeniny) jsou stabilní, nelze je ohřevem rozpustit. Jiné jsou metastabilní a při dlouhodobém ohřevu se rozpadají. [10]



Obr.1 Změna rozpustnosti některých prvků, resp. intermetalických fází v hliníku, v závislosti na teplotě[1]

Nejčastěji se slitiny hliníku dělí podle způsobu zpracování, dle norem ČSN. Dalším kritériem pro dělení hliníkových slitin je jejich schopnost zvýšit tvrdost a pevnost tepelným zpracováním (vytvrzováním). Tato schopnost souvisí s chemickým složením slitin, tedy jejich polohou v rovnovážném diagramu odpovídající soustavy. Dále je podmíněna dostatečným přesycením tuhého roztoku přísadovými prvky, dosahovaném při rychlém ochlazení slitin z oblasti tuhého roztoku.



Obr.2 Schema obecného rovnovážného diagramu binárních slitin hliníku [2]

2.1 Slitiny hliníku pro tváření

Tvářené slitiny se obvykle dělí podle toho, zda jsou tepelně zpracovávány či nikoliv. Obsah všech legujících prvků u tvářených slitin hliníku zpravidla nepřesahuje 10%.

2.1.1 Nevytvrditelné slitiny

Tyto slitiny nelze vytvrdit tepelným zpracováním. Mají však dobrou odolnost proti korozi díky tomu, že neobsahují měď. Jejich předností je dobrá svařitelnost, tvářitelnost, odolnost proti vibračnímu zatížení a dobrá lomová houževnatost.

2.1.1.1 Al-Mg slitiny

Tyto slitiny obsahují 5%, výjimečně 7% hořčíku. Slitiny s obsahem hořčíku nad 6% mají sklon ke korozi po hranicích zrn, zejména při mechanickém zatížení, proto se obvykle nepoužívají. Rozpustnost hořčíku v hliníku je dosti značná, při eutektické teplotě 450°C činí 17,4%. Hořčík výrazně zvyšuje pevnost slitiny. Z hlediska rovnovážného diagramu mají slitiny hliníku s hořčíkem všechny předpoklady k tomu, aby mohly být vytvrzovány, ale jelikož je zlepšení mechanických vlastností velmi malé, precipitační vytvrzování se neprovádí. Slitiny s hořčíkem jsou proto zpevňovány tvářením za studena. Při normální i zvýšené teplotě nejsou tyto slitiny stabilní a soustavně mění své vlastnosti. Tuto nepříznivou vlastnost lze částečně odstranit

stabilizačním žháním. Významnou předností slitin typu Al-Mg jsou jejich dobré mechanické vlastnosti při nízkých teplotách. Tyto slitiny se dobře leští a eloxují. Jejich další předností je vysoká odolnost proti korozi (i v mořské vodě). Uplatňují při stavbě lodí, vagonů, v potravinářském i chemickém průmyslu a ve stavebnictví. [9]

2.1.1.2 Al-Mn slitiny

Rozpustnost manganu v hliníku je velmi malá. Při eutektické teplotě 658,5°C se v hliníku rozpouští 1,4% Mn. Obsah manganu ve slitinách s hliníkem bývá tedy nižší než 1,5%. Jelikož při vyšším obsahu se tvoří křehká fáze Al_6Mn , která způsobuje praskání slitin během tváření. Tyto slitiny nahrazují čistý hliník jako konstrukční materiál díky zvýšené pevnosti, dobré svařitelnosti a odolnosti proti korozi. [9]

2.1.2 Vytvrditelné slitiny

2.1.2.1 Al-Mg-Si slitiny

Tyto slitiny obsahují vedle hořčíku a křemíku ještě malé množství manganu, železa, popř. mědi. Podle ČSN se obsah hořčíku pohybuje od 0,4 do 1,2% a obsah křemíku je 0,3 až 1,2%. Již 0,3% Mn mírně zvyšuje pevnost slitiny, vyšší obsah působí spíše naopak. Vyšší obsah manganu lze připustit pouze u slitin s vysokým obsahem křemíku, jelikož mangan se váže s křemíkem v málo rozpustné sloučenině a vytvrzovací fáze je ochuzována o křemík. Vedle pevnosti zvyšuje mangan také vrubovou houževnatost a působí příznivě na zjemnění zrna. Slitiny této skupiny jsou dobře tvářitelné za tepla, snadno se svařují a eloxují. Tepelným zpracováním je lze částečně vytvrdit. Používají se zejména v letectví, stavebnictví a bytové architektuře. [9]

2.1.2.2 Al-Cu-Mg slitiny

Tyto slitiny jsou známé pod obchodním označením duraly. Mají horší tvářitelnost za tepla než výše zmíněné slitiny. Vysoké pevnostní charakteristiky je předurčují k výrobě nosných konstrukcí letadel, skříní kolejových vozidel apod.

2.1.2.3 Al-Cu-Mg-Ni slitiny

Jsou vhodné pro dlouhodobou funkci za teplot až 300°C. Pro zjemnění zrna se přidává titan.

2.1.2.4 Al-Zn-Mg-Cu slitiny

Jsou nejpevnější vytvrditelné slitiny hliníku. Po tepelném zpracování dosahují pevnosti 500 až 800 MPa. Obsah zinku v těchto slitinách se pohybuje od 5 do 8%, přičemž obsah všech přísad včetně zinku činí maximálně 10%. Mají sklon ke korozi pod napětím, nižší lomovou houževnatost a vyšší vrubovou citlivost. [9]

2.1.2.5 Al-Li slitiny

Dosud nejsou zařazeny v ČSN, patří k vývojovým slitinám, v České republice nejsou vyráběny. Jelikož je lithium vysoce reaktivní prvek, tyto slitiny jsou taveny a odlévány v ochranné atmosféře argonu nebo ve vakuu, případně na vzduchu pod krycí struskou. Ve srovnání s konvenčními slitinami hliníku má o 5 až 10% nižší hmotnost (544 kg.m^{-3}) a zvýšený modul pružnosti v tahu (77,5 až 81,2 GPa). Jejich pevnost v tahu (420 až 600 MPa) je přitom srovnatelná s pevností duralů. [2]

2.2 Slitiny hliníku na odlitky

Tyto slitiny jsou určeny k lití tvarových odlitků do písku, do kovových forem nebo tlakově. Obvykle se u slévárenských slitin setkáváme s přísadou křemíku, mědi, hořčíku, zinku, niklu a manganu, přičemž celkový obsah přísad se pohybuje v rozmezí 4 až 25%, tedy více než u slitin tvářených. Slévárenské slitiny jsou heterogenní, ve struktuře se objevuje eutektikum. Ve srovnání s tvářenými slitinami jsou méně tvárné a se stoupajícím množstvím eutektika jejich tvárnost klesá, ale zlepšují se slévárenské vlastnosti. Ve srovnání s tvářenými slitinami, jsou mechanické vlastnosti slévárenských slitin horší. Volba vhodné slitiny pro výrobu odlitků je dána konstrukčními a slévárenskými vlastnostmi odlitku. Z konstrukčních vlastností jsou důležité mechanické vlastnosti, odolnost proti korozi, svařitelnost a obrobitelnost. Ze slévárenských vlastností je to především požadavek na dobrou zabíhavost, malý sklon k tvorbě trhlin za tepla a malá náchylnost k tvorbě staženin.

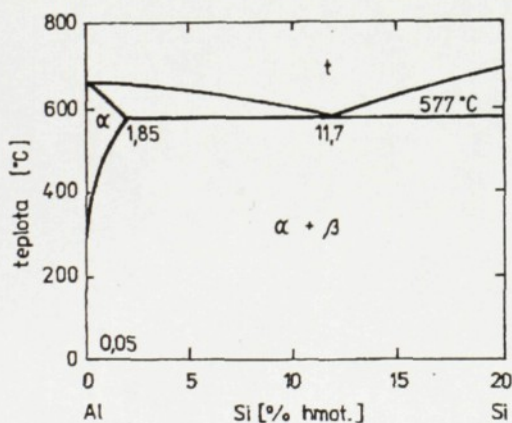
Podle ČSN 42 1401 rozlišujeme základní šestimístné číselné označení slévárenských hliníkových slitin (druh materiálu) s dvoumístným doplňkovým číslem (způsob tepelného zpracování a způsob odlévání). Třetí číslice 4 označuje vždy lehké slitiny. Pokud je čtvrtá číslice lichá, jedná se o slévárenské slitiny. Čtvrtá, pátá a šestá číslice nám určuje chemické složení slitiny.

Slévárenské slitiny hliníku dělíme také podle slitinových bází:

2.2.1 Al-Si slitiny

Al-Si slitiny patří k nejdůležitějším slévárenským slitinám hliníku. Slitiny tohoto typu jsou označovány jako binární siluminy a podle obsahu křemíku se dělí na podeutektické (pod 11,7% Si), eutektické (kolem 11,7% Si) a nadeutektické (11,7 až 20% Si). Nejlepší slévárenské vlastnosti mají eutektické siluminy. [2]

U podeutektických slitin s rostoucím obsahem křemíku roste podíl eutektika ve slitině a také se významně zmenšuje interval tuhnutí slitiny. Zatímco u nadeutektických slitin s rostoucím obsahem křemíku roste podíl primárního křemíku a interval tuhnutí slitiny se rychle zvětšuje. U eutektických slitin se interval tuhnutí zmenší na minimum a z více než 95% vzniká eutektikum. [5]



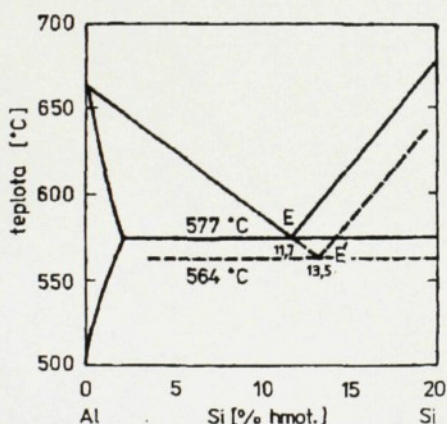
Obr.3 Část binárního Al-Si diagramu [2]

Na obr.3 je část binárního Al-Si diagramu. Fáze α je substitučním tuhým roztokem křemíku v hliníku, s maximální rozpustností 1,85% křemíku při eutektické teplotě 577°C. Se snižující se teplotou rozpustnost klesá a při 200°C dosahuje asi 0,05% křemíku.

Siluminy mají značný podíl hrubých a křehkých krystalů křemíku. Zjemněním těchto krystalů v eutektiku lze zvýšit pevnost a tvárnost siluminů. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby:

- volbou vyšší rychlosti ochlazování a následně vyšší rychlosti eutektické přeměny
- modifikací malým množstvím alkalických kovů (sodík, lithium, stroncium)

V praxi se více užívá druhý způsob. Jako modifikátory slouží směsi fluoridových a chloridových solí sodíku. Modifikací taveniny se sníží krystalizační schopnost křemíku natolik, že současně dochází ke krystalizaci hliníku za značného přechlazení taveniny a vzniká tak velmi jemné eutektikum. Eutektické i nadeutektické siluminy mají po modifikaci podeutektickou strukturu (viz obr.4).



Obr.4 Snižení eutektické teploty v soustavě Al-Si pomocí modifikace [2]

Modifikace siluminů se provádí tak, že se do roztavené slitiny vpraví stanovené množství sodíku nebo solí, které sodík uvolňují. Zjemnění hrubých primárních krystalů křemíku nadeutektických siluminů se provádí modifikací červeným fosforem nebo

solemi obsahujícími fosfor. Fosfor tvoří sulfid hliníku, jehož částice působí jako zárodky pro krystalizaci proeutektického křemíku. Takto vzniklé jemné krystaly jsou v konečné struktuře uloženy v eutektiku. Podeutektické siluminy, které jsou lity do kokil nebo pod tlakem, obvykle nemodifikujeme.

Interval tuhnutí siluminů se pohybuje v závislosti na chemickém složení od 605 do 575°C. Teplota, při které se siluminy metalurgicky zpracovávají se pohybuje v mezích od 700 do 820°C.

Slévárenské vlastnosti siluminů:

- výborná zabíhavost
- dobře vyplňují formu
- málo se smršťují
- malá náchylnost k tvorbě trhlin za tepla
- mají téměř nulový interval tuhnutí, takže nemají sklon ke tvorbě mikrostaženin a ředin

[2],[3],[8]

Mechanické vlastnosti siluminů:

- jsou lepší v litém stavu než v tvářeném
- $R_m = 130$ až 150 MPa [3], 150 - 250 MPa [4]
- $A = 0,5$ až 4% [3], 1 - 4% [4]
- tvrdost 45 až 90 HB [3],[4]

2.2.1.1 Vliv legujících prvků (příměsí) na vlastnosti Al-Si slitin

Přidáním dalších prvků se binární systém Al-Si stává ternárním nebo ještě složitějším. Legující prvky se za nerovnovážných podmínek v hliníku rozpouštějí velmi omezeně, takže ve struktuře slitiny vytvářejí nejrůznější intermetalické fáze.

- *Křemík (5 až 25%)* je základním legujícím prvkem. Výrazně zlepšuje slévárenské vlastnosti (zabíhavost, tekutost apod.). S rostoucím obsahem křemíku se také zlepšují plastické vlastnosti.

- *Měď (do 5%)* slouží ke zvýšení pevnostních vlastností slitin vytvrzením. Současně snižuje odolnost těchto slitin proti korozi a tvárnost. Zvyšuje pravděpodobnost vzniku ředin a sklon k trhlinám za tepla. Zvyšuje mez únavy.

- *Hořčík (do 2%)* se výrazně uplatňuje při tepelném zpracování Al-Si slitin, v litém stavu je vliv hořčíku na vlastnosti slitiny minimální. Slouží tedy ke zvýšení pevnostních vlastností slitin vytvrzením, ale nedosahuje účinnosti mědi. Zato však nesnižuje korozivzdornost Al-Si slitin.

- *Zinek (do 3%)* negativně ovlivňuje zejména vlastnosti při zvýšených teplotách. Do obsahu 0,3% nemá vliv na vlastnosti Al-Si slitin. Zvyšuje pevnost. Snižuje houževnatost a odolnost proti korozi.

- *Mangan (do 3%)* snižuje škodlivý vliv železa. Zjemňuje zrna a omezuje růst zrna při ohřevu. Zvyšuje tažnost, pevnost, odolnost proti korozi a vrubovou houževnatost. Při větší koncentraci manganu dochází k větším smrštěním a zvyšuje křehkost.

- *Fosfor (do 0,01%)* částečně zlepšuje svařitelnost.

- *Železo (do 3%)* spolu s křemíkem a hliníkem vytváří křehké intermetalické sloučeniny jehlicovitého tvaru, které zhoršují tažnost, vrubovou houževnatost a slévárenské vlastnosti. Snižuje odolnost proti korozi. Částečně zvyšuje žárupevnost Al-Si slitin. Do určité míry zjemňuje zrna.

- *Sodík (do 0,01%)* a *stroncium (do 0,02%)* se používají jako modifikátory.

- *Chrom, kobalt, nikl, molybden a beryllium* slouží k odstranění škodlivého účinku železa a ke zvýšení žárupevnosti Al-Si slitin.

- *Titan (do 0,2%), bor a zirkon* zjemňují strukturu a působí jako krystalizační zárodky.

[1],[6],[9]

2.2.2 Al-Mg slitiny

Pro slévárenské účely se používají slitiny hliníku s obsahem hořčíku od 3 do 11% (mez rozpustnosti hořčíku v hliníku je 14,5%). Aby se snížila škodlivost železa, legují se manganem (0,3 až 0,8%), který současně zvyšuje pevnostní vlastnosti a odolnost proti korozi. Přísada křemíku (0,5 až 2%) zlepšuje zabíhavost, snižuje sklon k tvorbě trhlin za tepla a zvyšuje hustotu odlitků, ale zhoršuje vzhled povrchu odlitků.

Železo (max. 0,5%) zhoršuje slévárenské vlastnosti a odolnost proti korozi. Tyto slitiny jsou také oblíbeny pro svou dobrou leštitelnost. Al-Mg slitiny mají nejvyšší měrnou pevnost a rázovou houževnatost ze všech slévárenských slitin hliníku. Jejich obrobiteľnosť je lepší než u slitin Al-Si. Značné naplynění a oxidace při tavení, lití a krystalizaci jsou však příčinou jejich horších slévárenských vlastností (zabíhavost je třikrát menší než u siluminů), větší pórovitosti a snížené těsnosti odlitků. Mají vysokou korozivzdornost a poměrně nízkou měrnou hmotnost. Interval tuhnutí se pohybuje v závislosti na chemickém složení od 495 do 620°C. Takto velký interval tuhnutí způsobuje sklon k tvorbě staženin. [1],[2],[3],[4],[9]

Mechanické vlastnosti Al-Mg slitin [7]:

- $R_m = 190$ až 260 MPa

- $A_{10} = 5$ až 8%

- tvrdost 60 až 80 HB

2.2.3 Al-Cu slitiny

Al-Cu slitiny se vyrábějí pod obchodním názvem duralaluminy. Obsah mědi ve slitinách se pohybuje od 3 do 8,5%. Měď zvyšuje pevnost slitiny, současně však snižuje její tažnost. Tyto slitiny mají malé použití. Proto se do nich přidává nikl a železo. Tyto slitiny jsou pak určeny pro dlouhodobou funkci za teploty 350 až 450°C. Nikl (0,6 až 6%) se také používá na zvýšení žáruvzdornosti. Tyto slitiny ale mají horší slévárenské vlastnosti, zejména zabíhavost, větší sklon k tvorbě trhlin za tepla při tuhnutí odlitků a sklon k mikropórovitosti. Zabíhavost lze vylepšit přísadou křemíku (do 6% Si). Hlavním společným nedostatkem všech slévárenských slitin hliníku obsahujících měď je jejich poměrně špatná odolnost proti korozi. Odlitky proto musí být povrchově chráněny. [2],[3]

Mechanické vlastnosti duralaluminů [4]:

- $R_m = 160$ až 240 MPa

- $A = 0,5$ až 1%

- tvrdost 50 až 90 HB

Slévárenské vlastnosti duralaluminů [4]:

- malá zabíhavost
- větší sklon k tvorbě trhlin za tepla při tuhnutí odlitků
- sklon k mikroporovitosti

2.2.4 Al-Zn-Mg slitiny

Al-Zn-Mg slitiny se vyznačují dobrou slévateľností, snadným tepelným zpracováním a dobrými mechanickými vlastnostmi. Mají obvykle lepší slévateľské vlastnosti než slitiny Al-Cu a Al-Mg. Ve srovnání se slitinami Al-Cu je lepší i jejich odolnost proti korozi. Obsah zinku v těchto slitinách kolísá od 3 do 8%, obsah hořčíku je v rozmezí 1 až 3%. Zrno slitin je zjemňováno přísadou titanu a chromu. [9]

2.2.5 Al-Li slitiny

Odlévání těchto slitin se z důvodu vysoké reaktivity lithia provádí pod krycí struskou, v ochranné atmosféře nebo ve vakuu.

3 Tepelné zpracování slitin hliníku

Úkolem tepelného zpracování slévářských slitin hliníku je kromě zlepšení mechanických vlastností snížení vnitřního pnutí po chladnutí z lící teploty a zvýšení rozměrové stálosti. Fázové přeměny v tuhém stavu jsou základem nejdůležitějších způsobů tepelného zpracování, kterými lze měnit vlastnosti odlitků. A jelikož hliník a jeho slitiny, běžně používané v technické praxi, nejsou polymorfní, možnosti tepelného zpracování jsou tím značně omezeny.

3.1 Žihání

Žiháním usilujeme o dosažení stavu, který je blízký stavu rovnovážnému. Pro stanovení teploty žihání hliníkových slitin není nejdůležitější křivka změny rozpustnosti v rovnovážném diagramu, jako je tomu u slitin železa. Výše teploty se řídí druhem a

stavem slitiny před žiháním a také vlastnostmi, kterých chceme u slitiny žiháním dosáhnout. Celkový rozsah teplot je podstatně menší než u slitin železa, proto se žihání provádí v pecích s přesnou regulací teplot, s malými výchyly. Způsoby žihání členíme do následujících skupin:

3.1.1 Žihání ke snížení vnitřních pnutí

Používá se u tvarově složitých výrobků tvářených za tepla, u odlitků litých zejména do kovové formy, u svařenců a obrobků. Žiháním při teplotě 200 až 250°C je možno vnitřní pnutí do značné míry snížit. Výdrž na teplotě bývá 1 až 8 hodin, přičemž u odlitků je výdrž na teplotě delší (6 až 8 hodin) než u tvářených součástí (1 až 2 hodiny). Při teplotách 250 až 350°C se podaří vnitřní pnutí téměř odstranit. Nad 300°C může dojít k poklesu pevnosti. Následuje pomalé ochlazení na vzduchu. [2]

3.1.2 Rekrystalizační žihání

Rekrystalizačním žiháním se snižuje pevnost a tvrdost, současně se zvyšuje tažnost a houževnatost. Je dosaženo stavu, který se blíží rovnovážnému stavu slitiny. Snahou je získat co nejmenší zrno. Toho lze dosáhnout tehdy, když je rychlost ohřevu na rekrystalizační teplotu dostatečně velká a prodleva na teplotě je zkrácena na nejkratší možnou dobu. Teploty rekrystalizačního žihání hliníku jsou 300 až 500°C, podle jeho čistoty a stupně tváření. Používá se u výrobků, které byly tvářeny za studena. Slitiny, které se nevytvrzují mohou být po rekrystalizaci ochlazovány na vzduchu. Slitiny, které se vytvrzují, nedosáhnou ochlazením na vzduchu zcela rovnovážného stavu. Obvykle se totiž tuhý roztok přesytí, což po určité době způsobí zestárnutí slitiny a tím dojde i ke změnám vlastností. Tomu lze zabránit volným ochlazováním slitiny v peci.

3.1.3 Stabilizační žihání

Má stabilizovat tvar, rozměry anebo mechanické vlastnosti výrobku před jeho uvedením do provozu za zvýšených teplot. Proto se používá u odlitků, které pracují za zvýšených provozních teplot (např. písty spalovacích motorů) a vytvrzovacím procesem by došlo k nevratnému nárůstu rozměrů. Teplota žihání je vyšší než provozní teplota a

bývá v rozmezí 240 až 350°C podle druhu slitiny. Doba žhání může dosáhnout až několik desítek hodin. Ochlazuje se většinou na vzduchu.

3.1.4 Homogenizační žhání

Slitiny, které jsou díky své chemické heterogenitě v nerovnovážném stavu (např. po primární rekrystalizaci), je možno homogenizovat žháním nad teplotou změny rozpustnosti, tedy v oblasti tuhého roztoku. Délka doby žhání záleží zejména na druhu slitiny a jejím stavu. Slitiny s velkou koncentrací přísad vyžadují delší prodlevu na teplotě a naopak. Slitiny tvářené a jemnozrné jsou zhomogenizovány mnohem rychleji (20 až 60 minut) než slitiny slévárenské (3 až 16 hodin), které mají většinou po odlití hrubozrnou strukturu. Při žhání obvykle hrubne zrna, čímž se zhorší některé mechanické vlastnosti. Ochlazovat můžeme buď volně, tím dosáhneme rovnovážného stavu bez vnitřního pnutí, nebo zvolíme rychlý ohřev, aby k rovnovážného stavu nedošlo a byl tedy zachován přesycený homogenní tuhý roztok.

3.1.5 Žhání na rovnovážný stav

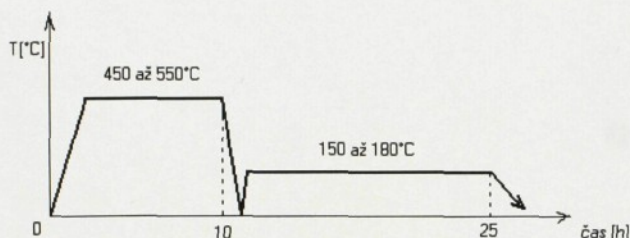
Uplatňuje se u slitin, které byly vytvrzeny a které je nutno vyžehat k dosažení zcela rovnovážného stavu. Teplota žhání se obvykle volí v rozsahu 300 až 400°C. Po žhání následuje volné ohlazování v peci na teplotu nejméně 200°C, následuje rychlejší ochlazení na vzduchu. Toto žhání lze použít jak pro tvářené, tak pro odlévané slitiny hliníku.

3.2 Vytvrzování

Vytvrzování patří ke kombinovanému tepelnému zpracování slitin. Aby bylo možno slitinu hliníku vytvrzovat, přísadový prvek ve slitině musí být schopen rozpouštět se v hliníku. Rozpustnost přísad by také měla stoupat s teplotou. Změna rozpustnosti je základním předpokladem pro vznik přesyceného tuhého roztoku, jehož další přeměna vede ke změně vlastností. Vytvrzováním se dosáhne zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností. Tímto způsobem se tepelně zpracovávají odlitky ze slitin, které tvoří tuhé roztoky s omezenou rozpustností. Vyloučení rovnovážných

fází (Al_2Cu , Mg_2Si , MgZn_2 , AlAg_2) z přesycených tuhých roztoků je možné potlačit rychlým ochlazením. Skládá se z následujících fází:

- rozpouštěcího žíhání
- stárnutí



Obr.5 Vytvrzování hliníkových slitin

3.2.1 Rozpouštěcí žíhání

Má homogenizovat fázovou nebo chemickou heterogenitu slitiny. Při rozpouštěcím žíhání dojde nejprve k ohřevu nad teplotu solvu (segregační křivku), na 450 až 550°C. Následuje prodleva na této teplotě (3 až 10 hodin), při níž dojde ke vzniku homogenního tuhého roztoku a k rozpuštění rovnovážných fází, které jsou za dané teploty v tuhém roztoku rozpustné. Jelikož teplotní interval mezi teplotou solidu a křivkou změny rozpustnosti v binární soustavě je velmi malý, teplota pece nebo lázně by měla být dodržena velmi přesně, s maximální odchylkou $\pm 5^\circ\text{C}$. Při vyšších teplotách dochází k tavení na hranicích zrn a zrno prudce hrubne. Horní hranice teplot pro rozpouštěcí žíhání tedy leží asi 10°C pod teplotou solidu dané slitiny. Při nižších teplotách nedojde k úplnému rozpuštění segregátů a nedojde tedy k očekávanému zlepšení mechanických vlastností.

Prodleva na teplotě je dána především tloušťkou zpracovávaných výrobků a druhem a velikostí fází, které se musí v tuhém roztoku rozpustit. Tvářené slitiny obsahují jemně vyloučené fáze, které se rozpouštějí mnohem rychleji, než hrubé fáze vyloučené v odlitcích. Prodlužováním doby žíhání hrubne zrno a zhorší se vlastnosti. Naopak během velmi krátké doby žíhání se nedosáhne předpokládaných mechanických hodnot. Délka doby žíhání závisí samozřejmě také na tom, zda rozpouštěcímu žíhání předcházelo tepelné zpracování či nikoliv.

3.2.2 Ochlazení

Pomalým ochlazením pod křivku solvu (nebo pokud není slitina ochlazená ihned po vyjmutí z pece) může dojít k segregaci přísadového prvku po hranicích zrn nebo uvnitř zrn hliníku. Segregované fáze způsobí chemickou heterogenitu a tím i snížení mechanických vlastností. Proto je důležité ochladit výrobky ihned (do 5 s) po vyjmutí z pece. Prakticky pro všechny slitiny hliníku se pro tyto účely používá voda o teplotě 20 až 40°C. U tvarově složitějších výrobků, u nichž vlivem tepelných pnutí po rychlém ochlazení mohou vznikat deformace, se ochlazení provádí ve vodě o teplotě 40 až 50°C (výjimečně až 80°C). Na vzduchu se ochlazují slitiny s vysokou stabilitou přesyceného tuhého roztoku. Rychlost ochlazování záleží na složení a druhu slitiny. Ochlazením se potlačí precipitace rovnovážných fází (legujících přísad) a zůstává zachován metastabilní přesycený tuhý roztok. Získáme houževnatou a měkkou slitinu, kterou je možno tvářet bez nebezpečí vzniku prasklin.

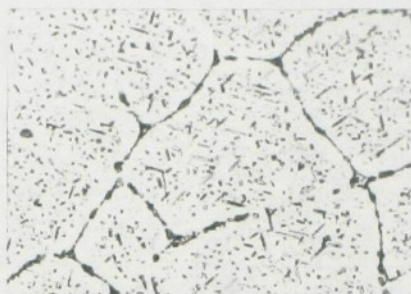
3.2.3 Stárnutí

Stárnutí je spojeno s rozpadem přesyceného tuhého roztoku. Pokud rozpad probíhá při teplotě okolí a samovolně, pak se jedná o přirozené stárnutí. Nebo může probíhat za teplot zvýšených, ohřevem na 150 až 180°C po dobu 8 až 15 hodin, v tomto případě se jedná o umělé stárnutí.

Ochlazením homogenního tuhého roztoku (nebo vlivem plastické deformace) dojde k chemickému přesycení legujícím prvkem. Stupeň přesycení je dán typem slitiny, obsahem legujícího prvku ve slitině a podmínkami rozpouštěcího žíhání. Nadbytečné legury se shlukují a vytvářejí částice, tzv. Guinier-Prestonovy zóny. Tyto částice jsou koherentní se základní mřížkou. Dochází k růstu G-P zón, tím částice ztrácejí koherenci a vzniká přechodový precipitát. Růstem precipitátu se rozpouštějí G-P zóny. Přechodový precipitát má rozhodující vliv na zvýšení pevnosti a tvrdosti slitiny. S rostoucí velikostí částic (zón) a vzdáleností mezi nimi se snižuje vytvrzující účinek.



Obr.6 Litý stav slitiny hliníku [10]



Obr.7 Částice precipitující fáze v základním tuhém roztoku [10]

Při umělém stárnutí nejsou G-P zóny stabilní a z přesyceného tuhého roztoku rovnou vzniká přechodový nebo stabilní precipitát. Stabilní precipitát je nekoherentní a má menší vliv na vlastnosti slitiny. Hrubnutím precipitátu dochází k přestárnutí.

3.3 Tepelné zpracování jednotlivých druhů slitin hliníku

3.3.1 Tvářené slitiny nevytvrzované

3.3.1.1 Al-Mn slitiny

Vhodný způsob tepelného zpracování je vedle legování dalším způsobem, jak ovlivnit velikost zrna. Příznivě působí homogenizační žíhání litých bloků na vysoké teploty (580 až 630°C) před válcováním. Zrno se dá také zjemnit rekrystalizačním žíháním za studena tvářených výrobků, pokud ohřev na rekrystalizační teplotu probíhá velmi rychle. Mangan výrazně zvyšuje rekrystalizační teplotu. Pokud slitinu, která obsahuje alespoň 1,5% manganu prudce ochladíme, rekrystalizace nastává až po rozpadu přesyceného tuhého roztoku. Naopak rekrystalizační teplotu lze snížit pomocí berylia, hořčíku nebo železa.

3.3.1.2 Al-Mg slitiny

Tyto slitiny mají všechny předpoklady k tomu, aby mohly být vytvrzovány. Zlepšení mechanických vlastností je však minimální, proto se precipitační vytvrzování neprovádí. Slitiny s hořčíkem jsou proto zpevňovány tvářením za studena. Takto

zpevněné slitiny jsou poměrně málo stabilní při zvýšených teplotách. Tato nepříznivá vlastnost se dá částečně omezit stabilizačním žháním při teplotě 130 až 160°C po krátkou dobu.

3.3.2 Tvářené slitiny vytvrzované

3.3.2.1 Al-Cu-Mg slitiny

Pokud je požadavkem maximální pevnost po vytvrzení, pohybuje se obsah mědi v těchto slitinách v rozmezí od 4 do 4,8%. V případě, že je obsah mědi poloviční než je uvedené množství, pevnost slitiny po vytvrzení je nižší, ale tvárnost je velmi dobrá. Hořčík zlepšuje možnosti precipitačního vytvrzování (tvoří vytvrzující fáze) a zvyšuje pevnost po vytvrzení. Křemík působí příznivě na průběh umělého stárnutí. Obsah křemíku je stanoven na základě obsahu hořčíku ve slitině. Pro vlastnosti slitin je velmi důležitý poměr mezi těmito prvky. Tyto prvky tvoří vytvrzující fázi Mg_2Si v poměru $Mg:Si = 1,73$. Tento poměr ovlivňuje také způsob tepelného zpracování. Slitiny s poměrem $Mg:Si \geq 1,73$ jsou většinou precipitačně vytvrzovány při normální teplotě, kdežto slitiny s poměrem $Mg:Si < 1,73$ lze vytvrzovat jen při zvýšené teplotě.

Vedle mědi a hořčíku ovlivňuje pevnost po vytvrzení také železo. Společně s mědí a hliníkem tvoří železo sloučeninu $AlFeCu$, která je v hliníku téměř nerozpustná. Takto vázaná měď se nemůže podílet na zvýšení pevnosti slitiny a železo má tedy negativní vliv na pevnost slitiny. Tuto negativní vlastnost železa lze eliminovat přísadou křemíku nebo manganu, které s ním vytvářejí další fáze. Přísadou manganu je také příznivě ovlivňován průběh vytvrzování.

Teplota rozpouštěcího ohřevu se u Al-Cu-Mg slitin obvykle pohybuje v rozmezí od 490 do 505°C v závislosti na druhu slitiny. Maximální teplota rozpouštěcího ohřevu leží obvykle asi 10°C pod křivkou solidu. Pokud dojde k překročení této teploty, dojde k přehřátí slitiny, zhrubnutí zrna, natavování a tím úplnému znehodnocení slitiny. Délka prodlevy na teplotě rozpouštěcího ohřevu závisí na tloušťce výrobku, druhu slitiny a způsobu ohřevu. Ohřev může probíhat v solné lázni, což je rychlejší způsob, nebo v komorové peci. Pokud byla slitina před ohřevem tvářena za studena, rychlejší ohřev je výhodnější také z důvodu zjemnění a homogenizace struktury. Po rozpouštěcím ohřevu

následuje ochlazování. Při malé rychlosti ochlazování dochází k částečné segregaci a zhoršuje se odolnost proti korozi. Velké rychlosti způsobí zborcení a průhyb rozměrnějších součástí. Součástky pak musí být rovnány. K urychlení stárnutí stačí již malá deformace způsobená rychlým ochlazením. Ale ke zvýšení tvrdosti po vytvrzení jsou nutné větší deformace.

Al-Cu-Mg slitiny stárnou přirozeně během několika dnů. Tyto slitiny jsou precipitačně vytvrzovány při normální teplotě. [8] Nebo mohou být vytvrzeny za tepla. Stárnutí je v tomto případě umělé, probíhá 6 až 12 hodin při teplotě 185 až 195°C s ochlazením na vzduchu. [11]

3.3.2.2 Al-Mg-Si slitiny

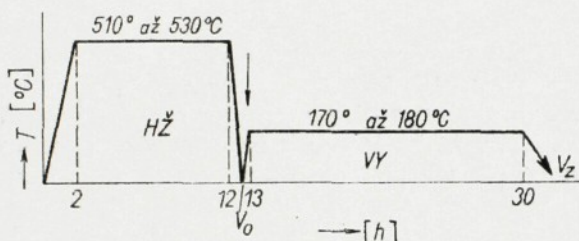
Slitiny Al-Mg-Si mají velmi stabilní tuhý roztok, proto po rozpouštěcím ohřevu (500 až 540°C) nemusí být ochlazovány takovou rychlostí. Slitiny, které mají poměr hořčíku a křemíku co nejvíce podobný poměru ve sloučenině Mg_2Si (63,41%Mg, 36,56%Si), lze ochlazovat i v proudě vzduchu. Při tomto způsobu ochlazování nedochází v takové míře k borcení výrobků a není je tedy třeba nákladně rovnat. Při vyšším obsahu křemíku je však nutné ochlazování ve vodě. Stárnutí by mělo probíhat za zvýšených teplot v rozsahu 160 až 180°C. Podle teploty stárnutí se určuje délka prodlevy na teplotě. Časová prodleva mezi ochlazením a precipitačním vytvrzováním způsobuje zřetelný pokles pevnosti a meze pružnosti. Pokud však slitinu ihned po ochlazení ohřejeme na teplotu 50 až 160°C, po dobu několika minut, k poklesu mechanických hodnot nedojde. Obvykle se Al-Mg-Si slitiny tepelně zpracovávají tak, že jsou ihned po ochlazení precipitačně vytvrzeny při zvýšené teplotě 160°C po dobu 4 až 6 hodin.

3.3.3 Slévárenské slitiny hliníku

Slévárenské slitiny mají obvykle hrubší zrna a větší chemickou heterogenitu než slitiny tvářené. Proto je nutná delší doba rozpouštěcího žhání před ochlazením. Stabilita přesyceného tuhého roztoku je obvykle značná a k dosažení optimálních pevnostních hodnot je tedy třeba provádět stárnutí za zvýšených teplot.

3.3.3.1 Al-Si slitiny

Rozpouštěcí žíhání siluminů probíhá za teplot 510 až 530°C, s prodlevou na teplotě 2 až 12 hodin podle druhu slitiny. Bezprostředně po vyjmutí z pece následuje ochlazení ve vodě. Dále probíhá stárnutí při teplotě 170 až 180°C po dobu 10 až 17 hodin a ochlazení na vzduchu.



Obr.8 Průběh vytvrzování Al-Si slitin [6]

3.3.3.2 Al-Mg slitiny

Tepelné zpracování se zaměřuje především na slitiny s obsahem hořčíku nad 8%. Tyto slitiny jsou obvykle dodávány ve stavu po homogenizačním žíhání a ochlazené ve vodě. Tímto tepelným zpracováním se dosáhne zvýšení houževnatosti Al-Mg slitin. Nevýhodou je pomalé rozpouštění fáze Mg_2Al_3 v tuhém roztoku. Homogenního stavu lze dosáhnout rozpouštěcím žíháním po dobu 60 až 70 hodin při teplotě 425 až 435°C. V technické praxi se volí kratší doba, obvykle 8 až 20 hodin. Na rychlejší rozpouštění fáze Mg_2Al_3 má příznivý vliv přísada zirkonu. Zirkon také zlepšuje slévárenské a mechanické vlastnosti.

3.3.3.3 Al-Cu slitiny

Al-Cu slitiny se mohou precipitačně vytvrzovat. Rozpouštěcí žíhání u těchto slitin je však velmi dlouhé a zlepšení mechanických vlastností po vytvrzení není velké, proto jsou tyto slitiny používány ve stavu po odlití.

3.3.3.4 Al-Zn slitiny

Al-Zn slitiny dosahují po tepelném zpracování nejvyšších mechanických hodnot ze všech hliníkových slitin. Přesycený tuhý roztok je velmi stabilní a i při malé rychlosti ochlazování zůstává přesycen a slitina přirozeně stárne 14 až 30 dnů. Umělé stárnutí celý proces urychlí. Po úplném tepelném zpracování, zahrnujícím rozpouštěcí žhání, rychlé ochlazení a umělé stárnutí jsou získané mechanické hodnoty vyšší. Konečné hodnoty mechanických vlastností jsou ovlivněny také způsobem odlévání. Nejvyšší pevnostní hodnoty dosahují slitiny lité do kokil, jelikož rychle probíhající krystalizace intenzivně zjemňuje jejich zrnno.

3.4 Označení stavů slitin hliníku

Evropské označení stavu tvářeného hliníku a jeho slitin obsahuje norma ČSN EN 515 (třídící znak 42 0053). Označení různých stavů je založeno na pořadí základních způsobů zpracování, která se používají pro dosažení určitého stavu výrobku. K označení základních stavů se používá velkých písmen a k podrobnějšímu označení konkrétních variant základních stavů se užívá jedné až pěti číslic. Rozlišuje se následujících pět základních stavů:

F- litý stav

O- žháný stav, s nízkou pevností

H- stav deformačně zpevněný u výrobků tvářených za studena po žhání nebo po tváření za tepla; za písmenem H následují vždy nejméně dvě číslice, z nichž první vyjadřuje způsob zpracování a druhá vyjadřuje stupeň deformačního zpevnění

W- nestabilní stav po rozpouštěcím žhání u slitin, které přirozeně stárnou (samovolné stárnutí při normální teplotě)

T- stav tepelně nebo tepelně-mechanicky zpracovaný, zpravidla vytvrzený; první číslice rozlišuje pořadí základních etap zpracování (rozpouštěcí žhání, stárnutí a tváření za studena), další číslice vyjadřují varianty základních etap, kterými se dosahuje určitých mechanických, technologických a korozních vlastností nebo jejich optimalizace. Aplikuje se u součástí, které jsou tepelně zpracované, s nebo bez dodatečného precipitačního vytvrzení, k dosažení stabilního stavu.

3.4.1 Systémy pro mechanicky zpevněné výrobky

H1 pouze zpevněné tvářením

H2 zpevněné tvářením a částečně žíhané

H3 zpevněné tvářením a stabilizačně žíhané

3.4.2 Systémy pro tepelně zpracovatelné slitiny

T1 řízené ochlazování z lící teploty a přirozené stárnutí

T2 řízené ochlazování z lící teploty, tváření za studena a přirozené stárnutí

T3 rozpouštěcí žíhání, tváření za studena a přirozené stárnutí

T4 rozpouštěcí žíhání a přirozené stárnutí

T5 řízené ochlazování z lící teploty a umělé stárnutí

T6 rozpouštěcí žíhání a umělé stárnutí

T7 rozpouštěcí žíhání a stabilizační žíhání

T8 rozpouštěcí žíhání, tváření za studena a umělé stárnutí

T9 rozpouštěcí žíhání, umělé stárnutí a tváření za studena

T10 řízené ochlazování z lící teploty, tváření za studena a umělé stárnutí

3.4.3 Stav T6

Tepelné zpracování, kterým se dosáhne stavu T6 se skládá z rozpouštěcího žíhání, které je následované rychlým ochlazením a umělým stárnutím. Při tepelném zpracování typu T6 většinou slitiny dosahují vyšších pevnostních hodnot, aniž by došlo ke snížení dalších vlastností po odlití. Rozpouštěcí žíhání probíhá při teplotách 505 až 540°C po dobu 8 až 12 hodin. Pak proběhne rychlé ochlazení ve vodě při teplotě 65 až 100°C po dobu 10 až 20s. Následuje umělé stárnutí při teplotě 155 až 175°C po dobu 2 až 6 hodin.

Tento typ tepelného zpracování se aplikuje na součásti, které nejsou tvářené za studena a homogenizovány, a u kterých mohou být umělým stárnutím podstatně zlepšeny mechanické vlastnosti, rozměrová stabilita nebo obojí.

PRAKTICKÁ ČÁST

4 Technologický postup výroby Al-Si odlitků

Před samotným započítím práce bylo důležité seznámit se s technologickým postupem výroby Al-Si odlitků ve firmě Beneš a Lát s.r.o.

Nejprve je nutné roztavit kovovou vsázku. Tento děj probíhá v plynových kelímkových tavicích pecích při teplotě cca 740°C. Vsázka je tvořena z 30ti až 50ti % vratným materiálem vyráběné slitiny (vtoky, nálitky, zmetky), zbytek tvoří hutní housky hotové slévárenské slitiny dle normy. Při větším podílu vratného materiálu ve vsázce se ve slitině zvyšuje obsah škodlivých příměsí železa a fosforu. Obsah železa ve slitinách je dán příslušnými normami a v souladu s těmito omezeními je voleno procento vratného materiálu ve vsázce. Ve firmě Beneš a Lát s.r.o. jsou odlévány slitiny hliníku AlSi12Mn (ČSN 42 4330), AlSi10MgMn (ČSN 42 4331), AlSi9Cu3, AlSi12(Cu), AlSi7Mg0,3T6 (ČSN 42 4334, AC 42 100) a AlZn10Si8Mg (viz příloha I).

Z tavicí pece se slitina přelije do kelímků, kde tavič provede modifikaci tabletami. Podnik v současné době používá pro gravitační lití tablety Eutektal T 200S, pro nízkotlaké lití tablety Probatfluss Al a Monotab NS od firmy Schaffer. Dále pak tablety od firmy Hoesch: Dursalit LVE 47 pro gravitační lití a Dursalit LVB 52 pro nízkotlaké lití. Všechny uvedené tablety jsou na bázi sodíku (karbonáty a fluoridy-čisticí složka), čímž dochází k vyčištění slitiny a zlepšení slévárenských vlastností, zejména zabíhavosti. Sodík způsobuje změnu růstu eutektického křemíku z destičky na tyčinku a tím zlepšuje mechanické vlastnosti siluminů.

Po modifikaci je slitina zavezena do udržovacích pecí, kde slévač provede rafinaci rafinačními solmi. Tavení hliníkových slitin je také provázáno naplyněním vodíkem a znečištěním taveniny nekovovými příměsemi – oxidy, nitridy, karbidy, boridy apod. Vlivem proudění taveniny v tavicí peci nedochází k sedimentaci příměsí, proto je rafinace součástí výroby hliníkových slitin. Úkolem rafinace je odstranění těchto nerozpustných příměsí a odplynění taveniny. Způsob rafinace se volí podle stupně a charakteru znečištění taveniny s ohledem na možnosti dané slévárny. Nečistoty jsou

vytlačeny ve strusce, která se jednoduše odstraní z povrchu taveniny. Po každé rafinaci následuje další modifikace tabletami, v kelímkových pecích každou hodinu, v silicových každých osm hodin. Modifikace se provádí za účelem zjemnění zrna. Jemnozrnnou strukturu odlitků získáme nejenom modifikací, ale i vysokou rychlostí ochlazování odlitku za současného působení tlaku, jak při gravitačním, tak při nízkotlakém lití.

Ve firmě Beneš a Lát s.r.o. se hliníkové odlitky odlévají buď gravitačním litím do kokil nebo nízkotlakým litím (NTL). Před samotným litím je nutno kokilu i ostatní plochy, které přicházejí do styku s tekutým kovem (jádra, trny, vložky) očistit, předehřát a opatřit postřikem. Čištění se provádí každý den před započítím nebo po skončení práce, drátěnými kartáči a škrabkami. Při čištění je třeba odstranit především rez, starý postřik, mastnotu a mechanické nečistoty. Pokud je znečištění velké, čištění se provádí pískováním na speciálním zařízení. Kokily, včetně jader, trnů a vložek se před nanesením postřiku musí předehřát na teplotu odparu vody postřiku (cca 120°C). Ohřev je realizován plynovými hořáky, u kterých je možno regulovat teplotu plamene. Po nanesení postřiku se musí kokila dohřát na provozní teplotu. Teplota se zjišťuje dotykovým pyrometrem.

Důvody pro nanášení postřiků:

- ochrana materiálu formy (kokily) před erozivními účinky proudící taveniny
- snížení povrchového přehřátí formy a tepelného nárazu na formu
- částečná regulace tuhnutí odlitku
- vliv na zabíhavost taveniny v dutině formy
- vliv na jakost povrchu odlitku
- usnadnění vyjmutí odlitku z formy

Postřik se na kokilu nanáší rosenkou a výmazy se provádí štětcem.

Jak již bylo uvedeno, samotné lití do kokil probíhá buď gravitačně nebo za nízkého tlaku. U nízkotlakého lití se používají udržovací teploty k prodloužení účinku modifikace v tavenině. Nízkotlaké lití má oproti gravitačnímu řadu výhod. Největší předností je vysoké využití tekutého kovu (v průměru dosahuje až 95%). Lící teplota ovlivňuje technologii, operační cyklus, trvanlivost forem a výskyt zmetků.

Princip NTL:

Udržovací pec je hermeticky uzavřena víkem, na kterém je posazena kovová forma. Roztavený kov se do formy vtlačuje tlakem vzduchu (20 až 40 kPa), který působí na hladinu kovu v peci. Kov do formy vystoupá stoupací trubicí, která sahá téměř ke dnu pece. Po naplnění formy kovem začne působit dotlak (cca 50 kPa), který má funkci nálitku. Odlitek tuhne odshora směrem k vtoku. Tlak v peci zůstává až do ztuhnutí odlitku. [16]

Po vyjmutí z kokily má odlitek teplotu 400 až 450°C. Následuje RTG kontrola, řezání, cídění, tepelné zpracování odlitků, kontrola a expedice.

5 Experimentální zjištění parametrů stávajícího procesu TZ

Cílem této práce je vysledovat závislosti výsledné tvrdosti na parametrech tepelného zpracování a obsahu hořčíku v odlitku. Na základě zjištěných údajů pak stanovit optimální proces tepelného zpracování. Aby bylo možno parametry TZ měnit, je třeba stanovit jejich výchozí hodnoty.

Z hliníkových slitin v podniku odlévaných jsou tepelně zpracovávány pouze slitiny ČSN 42 4331 a ČSN 42 4334 (AC 42 100).

Pro experimentální ověření parametrů stávajícího procesu tepelného zpracování (viz pracovní karty v přílohách IX, XI, XIII) a doplnění dalších údajů byly vybrány čtyři typy odlitků, od každé slitiny dva. U každého odlitku bylo testováno 4 až 5 vzorků různého data lití. Tepelné zpracování těchto odlitků také probíhalo v různých dnech. Vzorky byly označeny číslem odlitku, za pomlčkou je uvedeno pořadí dle data lití (viz přílohy II až V).

Po odřezání nálitků a ocídění byla změřena tvrdost na kontrolním místě odlitků dle zvyklostí podniku. Pak probíhalo tepelné zpracování, tak jak je v podniku dlouhodobě zavedeno. Ve firmě Beneš a Lát s.r.o. je používáno tepelné zpracování, kterým se dosahuje stavu T6 (viz kapitola 3.4.3).

Odlitky určené k tepelnému zpracování jsou postupně naskládány do čtyř košů, které jsou překryty pletivem. Tím se zabrání jejich případnému pohybu při chlazení.



Obr. 9, 10, 11 Uložení odlitků v koších při tepelném zpracování

Takto uložené odlitky jsou připraveny ke spuštění do elektrické šachtové pece, kde během 4 až 6 hodin při teplotě $525 \pm 5^\circ\text{C}$ dojde k homogenizaci odlitků při rozpouštěcím žhání. Ihned poté proběhne ochlazení ve vodě o teplotě 20 až 40°C . Po vyjmutí z lázně jsou odlitky spuštěny do pece stejného typu, kde probíhá umělé stárnutí po dobu 6 až 8 hodin při teplotě $175 \pm 5^\circ\text{C}$. Postup tepelného zpracování je uveden na obr. 12 až 17



Obr. 12, 13 Postup při rozpouštěcím žhání



Obr.14, 15, 16 Postup při chlazení



Obr.17 Umělé stárnutí

Průběh teploty během procesu tepelného zpracování je monitorován počítačem.

Údaje o teplotě během procesu uchované v počítači sloužily jako podklad pro sestrojení grafických průběhů. Z nich pak byly stanoveny průměrné hodnoty parametrů tepelného zpracování. Tvrdost byla na vzorcích měřena ještě jednou, po tepelném zpracování. Dále bylo zjištěno chemické složení vzorků pomocí spektrální analýzy. Všechny výše zmíněné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách v přílohách VI, VII.

5.1 Výsledky experimentu

Na základě provedených měření lze konstatovat, že rozpouštěcí žíhání trvá v průměru 7 hodin a 20 minut. Jako výchozí vezmeme dobu v celých hodinách, tedy 7 hodin. Průměrná teplota rozpouštěcího žíhání je 527°C , což je v toleranci teploty udané technologickými postupy ($525 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Ochlazení probíhalo při teplotě vody přibližně 45°C po dobu 30s. Během chlazení došlo k ohřevu vody o cca $12,5^{\circ}\text{C}$. Teplota vody byla měřena digitálním odporovým teploměrem.

Umělé stárnutí trvá v průměru 7 hodin a 50 minut, zaokrouhleně na celé hodiny 8 hodin. Tato fáze TZ probíhá při průměrné teplotě 173°C . Tato teplota je opět v toleranci technologických postupů ($175 \pm 5^{\circ}\text{C}$)

Tvrdość všech vzorků před i po tepelném zpracování vyhovuje příslušným normám. U slitiny ČSN 42 4331 se pohybuje v rozmezí 92,3 až 104 HB^* a u slitiny AC 42 100 je tvrdość 89,7 až 107 HB^* .

Obsah hořčíku v testovaných odlitcích je u slitiny ČSN 42 4331 0,24 až 0,33% a u slitiny AC 42 100 se jedná o hodnoty 0,26 až 0,41%. Tyto údaje jsou také v toleranci norem.

6 Vliv vstupních parametrů TZ na výslednou tvrdość odlitků

6.1 Výběr odlitků

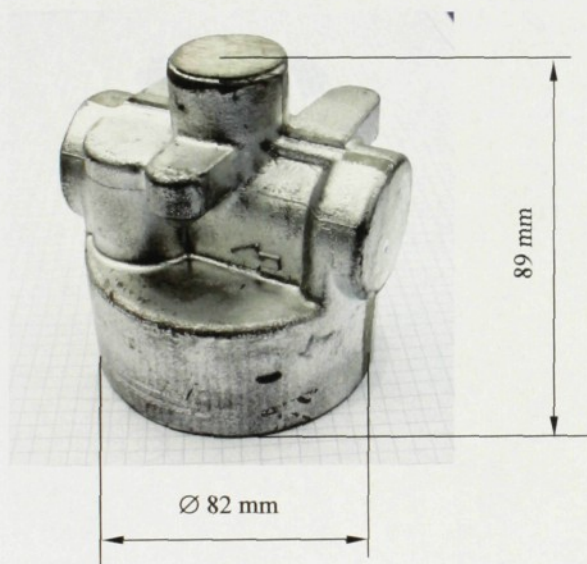
Výběr testovaných odlitků je založen na „pracovním plánu“ firmy na nejbližší období. Aby byla zajištěna co největší rozmanitost chemického složení je zapotřebí, aby vzorky pocházely z různých taveb. Proto byly zvoleny ty odlitky, které byly odlévány ve velkých sériích (tisíce kusů). Chemické složení slitin je garantováno příslušnými normami, ale v jednotlivých tavnách a tedy i u každého odlitku může být chemické

složení odlišné v rámci tolerancí obsahů jednotlivých prvků dle norem. Přehled odlitků nalezneme v příloze VIII.

6.1.1 Slitina AlSi7Mg0,3

Odlitek 03087026

Jedná se o víčko vysokotlakého filtru hydraulických kapalin pro firmu HYDAC. Čistá hmotnost odlitku je 0,53 kg. Nejtenčí místo odlitku má 6 mm, nejsilnější 30 mm. Podrobnější údaje jsou uvedeny v pracovní kartě (příloha IX) a technologickém postupu (příloha X).



6.1.2 Slitina AlSi10MgMn

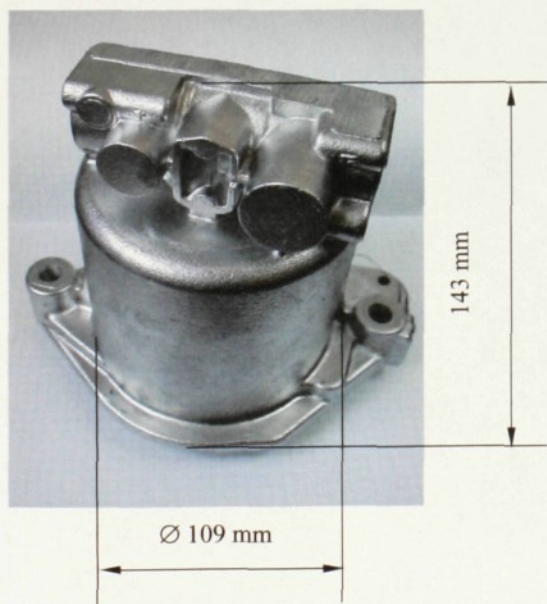
Odlitek S85525

Jedná se o kryt v brzdovém systému pro firmu Knorr Hejnice. Čistá hmotnost odlitku je 0,16 kg. Nejtenčí místo odlitku má 4 mm, nejsilnější 18 mm. Podrobnější údaje jsou uvedeny v pracovní kartě (příloha XI) a technologickém postupu (příloha XII).



Odlitek S91505

Jedná se o přepouštěcí těleso v brzdovém systému pro firmu Knorr Hejnice. Čistá hmotnost odlitku je 1,64 kg. Nejtenčí místo odlitku má 4,5 mm, nejsilnější 35 mm. Podrobnější údaje jsou uvedeny v pracovní kartě (příloha XIII) a technologickém postupu (příloha XIV).



6.2 Příprava vzorků

Prvním úkolem bylo stanovení velikosti série vzorků. Statistika samozřejmě vyžaduje co největší počet vzorků. Počet je ale nutné přizpůsobit provozu firmy. Jako optimální bylo zvoleno 14 kusů v sérii.

Dalším úkolem bylo zajištění plynulosti výrobního toku vzorků spolu s ostatními odlitky při jejich současném testování. Samozřejmě také nebylo možné jakékoliv mechanické porušení odlitků vzhledem k jejich ceně. Jako vzorky tedy sloužily odlitky, které byly po tepelném zpracování expedovány k zákazníkovi.

Vzorky byly označeny barevnými symboly a opatřeny samostatným odváděcím lístkem (viz přílohy XV až XVIII). K označení bylo použito barev *HT 1000 by INTRAMA*, které vydrží teploty dosahované při tepelném zpracování. Vzorky procházely výrobou společně s ostatními odlitky až k expedici.

6.3 Měření tvrdosti

6.3.1 Popis měřicího zařízení

Zkouška podle Brinella probíhala na tvrdoměru typu WPM.

6.3.2 Postup při měření tvrdosti

Tvrdost byla na odlitcích poprvé měřena po odřezání nálitků a ocídění. Měření byla provedena na kontrolním místě dle zvyklostí podniku. Při této metodě dochází ke vtlačování leštěné ocelové kuličky o průměru 10 mm do odlitku zátěžnou silou 1000 N po dobu 10 s. Jelikož se nejedná o standardní podmínky zkoušky, v celé diplomové práci budou naměřené hodnoty označovány HB^* .

$$HB^* = HB_{10/1000/10}$$

6.3.3 Naměřené hodnoty tvrdosti

Průměr vtisku byl měřen pomocí příměrné lupy s délkovým měřítkem o rozsahu 0 až 5 mm, přičemž velikost nejmenšího dílku byla 0,1 mm. Chyba měření je stanovena (dle ČSN 42 3071) $\pm 0,25\%$ průměru kuličky, což v tomto případě činí 0,025 mm. Hodnoty tvrdosti byly podle průměru vtisků odečteny z tabulky v příloze XIX a výsledky těchto měření vidíme v tabulkách v přílohách XX až XXIV.

Podruhé byla tvrdost měřena až po tepelném zpracování. Zkouška probíhala stejným způsobem a naměřené hodnoty jsou také uvedeny v přílohách XX až XXIV.

6.4 Tepelné zpracování testovaných odlitků

Parametry tepelného zpracování, které je možno ovlivňovat jsou:

- teplota a doba rozpouštěcího žíhání
- doba a způsob chlazení
- teplota a doba umělého stárnutí

Chlazení se v podmínkách podniku provádí ve vodě o teplotě 40-60°C po dobu zhruba třiceti sekund, je statické. Tento způsob chlazení byl použit. Rozpouštěcí žíhání má bezesporu větší vliv na výsledné hodnoty po tepelném zpracování a proto budeme měnit parametry rozpouštěcího žíhání.

Z literatury [12] bylo převzato rozmezí teplot pro rozpouštěcí žíhání 510 až 540°C. V tomto intervalu byly zvoleny tři teploty, při kterých budou vzorky žíhány. Doba homogenizace byla ponechána 7 hodin. Další dva procesy probíhaly za teploty 525°C a proměnnou hodnotou byla doba rozpouštěcího žíhání. Následuje výčet parametrů prováděných procesů:

- 515°C, 7 hodin
- 525°C, 7 hodin
- 535°C, 7 hodin
- 525°C, 6 hodin
- 525°C, 8 hodin

Teplotní průběhy jednotlivých procesů vidíme v přílohách XXV až XXXII.

6.5 Analýza chemického složení

6.5.1 Popis měřícího zařízení

Spektrální analýza probíhala částečně na zařízení BAIRD spectromet 750 a na spektrometru *metalLAB* od firmy G.N.R. Italia. Jedná se o stejný typ měřících přístrojů. Spektrometr *metalLAB* má širší spektrum pozorovatelných prvků a určí přítomnost daného prvku s přesností o jeden řád vyšší (s přesností na tisíce). Zařízení BAIRD je starší a je ho třeba rekalibrovat častěji. Rekalibrace se provádí z důvodu znečištění vstupní čočky, změny podmínek v argonovém rozvodu, okolní teploty a tlaku, čímž dochází také ke změně světelné propustnosti spektrometru.

6.5.2 Postup při analýze vzorku

1. umístění vzorku do stativu
2. spuštění programu
3. odjiskření vzorku – má tři fáze:
 - *proplach* - Jiskřiště stativu je třeba propláchnout argonem, vyloučit zbytkový kyslík a nečistoty z předcházející analýzy. Doba proplachu je většinou 3 až 5 vteřin.
 - *předjiskření* - Během této fáze se nataví a homogenizuje povrch vzorku.
 - *integrace* - V této fázi se měří (integruje) intenzita světla dopadající na jednotlivé detktory (fotonásobiče) příslušející vlnovým délkám měřených prvků.
4. zobrazení výsledků analýzy

S každou analýzou se ukládá datum a čas provedení analýzy.

6.5.3 Výsledky spektrální analýzy

Po oddělení nálitků byly v nástrojárně obrobny jejich určité části, na kterých byla následně provedena spektrální analýza. Obsah hořčíku v jednotlivých vzorcích se pohyboval v rozmezí 0,21 až 0,4% Mg a vyhovuje tedy normě. Konkrétní hodnoty vidíme v přílohách XX až XXIV.

6.6 Energetická bilance

Při každém procesu byl odečten počáteční a konečný stav elektroměru šachtové pece. Z nich byla vypočítána spotřeba elektrické energie na daný proces rozpouštěcího žíhání.

datum homogenizace	parametry homogenizace	počáteční stav elektroměru [kWh]	konečný stav elektroměru [kWh]	spotřeba el. energie [kWh]
10.11.2003	515°C, 7 hodin	8095	8169,3	74,3
26.11.2003	515°C, 7 hodin	10604,6	10675,5	70,9
10./11.11.2003	525°C, 7 hodin	8169,3	8245,8	76,5
12./13.11.2003	525°C, 7 hodin	8622,4	8694	71,6
13.11.2003	525°C, 6 hodin	8780,1	8837,3	57,2
17./18.11.2003	525°C, 8 hodin	9164	9260,2	96,2
11.11.2003	535°C, 7 hodin	8324	8407,4	83,4
24.11.2003	535°C, 7 hodin	10211	10289,5	78,5

Tabulka 1

Při ceně 1,8 Kč za 1 kWh jsou náklady na spotřebu elektrické energie na každý ze sledovaných procesů rozpouštěcího žíhání následovné:

datum homogenizace	parametry homogenizace	náklady [Kč]
10.11.2003	515°C, 7 hodin	134
26.11.2003	515°C, 7 hodin	128
10./11.11.2003	525°C, 7 hodin	138
12./13.11.2003	525°C, 7 hodin	129
13.11.2003	525°C, 6 hodin	103
17./18.11.2003	525°C, 8 hodin	173
11.11.2003	535°C, 7 hodin	150
24.11.2003	535°C, 7 hodin	141

Tabulka 2

7 Diskuse výsledků

Hodnoty naměřené v této diplomové práci byly statisticky zpracovány. Statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu Microsoft Excel 2000. Cílem statistické analýzy je objasnění vztahu mezi výstupní závisle proměnnou veličinou (výslednou tvrdostí odlitku po TZ) a vstupní nezávisle proměnnou veličinou (obsah hořčíku v odlitku). Nejprve je důležité zjistit koeficienty korelace mezi výše uvedenými veličinami. Tento koeficient určí, zda lze výsledné závislosti nahradit regresní přímkou.

Následuje tabulka hodnot zjištěných na odlitcích tepelně zpracovaných za uvedených podmínek a koeficient korelace vypočítaný pomocí nástroje *Korelace* v programu Excel.

7.1 Odlitek 03087026

tvrdost po TZ (515°C)[HB']	obsah Mg [%]
87,2	0,25
82,6	0,258
87,2	0,262
87,2	0,27
89,7	0,28
89,7	0,283
89,7	0,285
89,7	0,295
92,3	0,299
95	0,303
95	0,308
89,7	0,31
95	0,32
92,3	0,333

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,806277019	1

Tabulka 3 Obsah Mg v odlitku 03087026 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 515°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace

Pro jednoduchý test statistické hypotézy, že je koeficient korelace roven nule, je možno dle ČSN 01 0252, pro hladinu významnosti 5%, použít kritické hodnoty koeficientu korelace v závislosti na počtu měření n z následující tabulky:

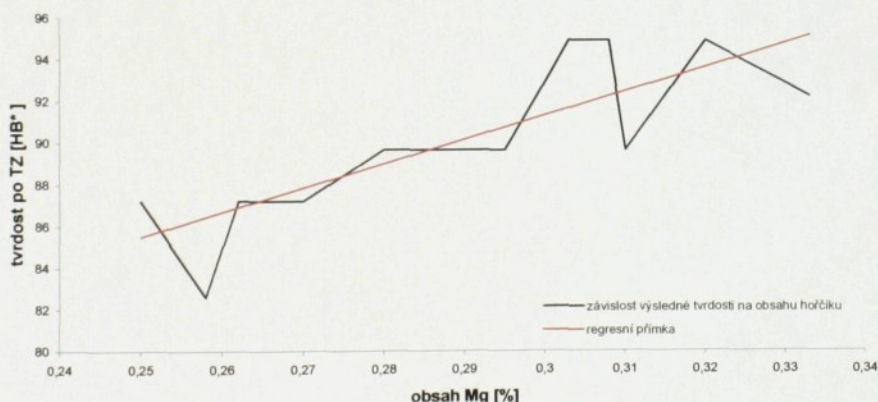
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rkr	0,997	0,95	0,878	0,811	0,755	0,707	0,667	0,632	0,602

n	12	15	20	25	30	35	40	50	100
Rkr	0,577	0,514	0,444	0,38	0,34	0,32	0,3	0,27	0,19

Tabulka 4 Kritické hodnoty koeficientu korelace pro příslušné počty měření dle ČSN 01 0252

Pokud je vypočtená hodnota koeficientu korelace větší než příslušná kritická hodnota, zamítáme nulovou hypotézu a předpokládáme, že je korelační koeficient různý od nuly a že tedy mezi příslušnými veličinami existuje lineární závislost.

V tomto případě má korelační koeficient hodnotu 0,806277019 a kritická hodnota pro 14 měření je mezi hodnotami 0,577 a 0,514. Dá se tedy konstatovat, že tvrdost odlitku 03087026 po TZ (515°C, 7 hodin) je lineárně závislá na obsahu hořčíku v odlitku. Výslednou závislost těchto veličin je možno nahradit regresní přímkou. Nástroj Regrese v programu Excel provádí náhradu regresní křivky přímkou metodou nejmenších čtverců.



Graf 1 Závislost výsledné tvrdosti odlitku 03087026 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žihání: 515°C, 7 hodin

Hladina významnosti byla zvolena 95%. Regresní přímka je ve tvaru $y = a + b \cdot x$, kde a a b jsou regresní koeficienty.

$$a = 56,1$$

$$b = 117,4$$

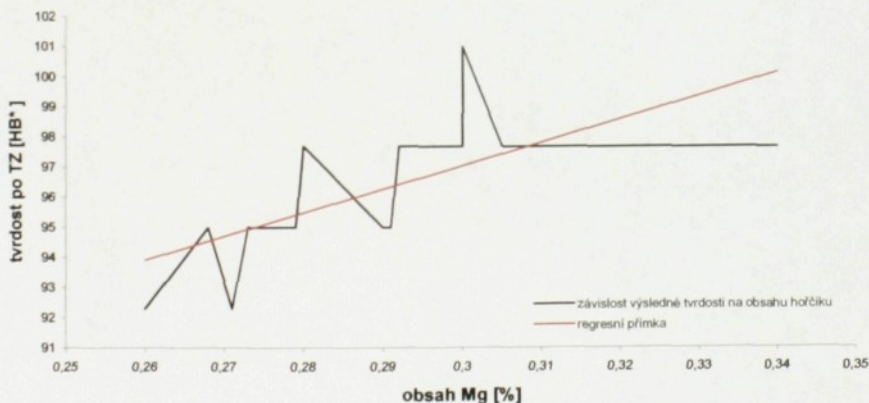
Rovnice regresní přímky je tedy: $y = 56,1 + 117,4 \cdot x$

tvrdost po TZ (525°C)[HB°]	obsah Mg [%]
92,3	0,26
95	0,268
92,3	0,271
95	0,273
95	0,279
97,7	0,28
95	0,29
95	0,291
97,7	0,292
97,7	0,299
97,7	0,3
101	0,3
97,7	0,305
97,7	0,34

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,659768	1

Tabulka 5 Obsah Mg v odlitku 03087026 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace

Ve všech následujících případech je vypočítaný koeficient korelace větší než příslušná kritická hodnota 0,535. Závislosti je tedy možno nahradit regresními přímkami. Grafy 2 až 15 tyto závislosti dokumentují.



Graf 2 Závislost výsledné tvrdosti odlitku 03087026 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žhání: 525°C, 7 hodin

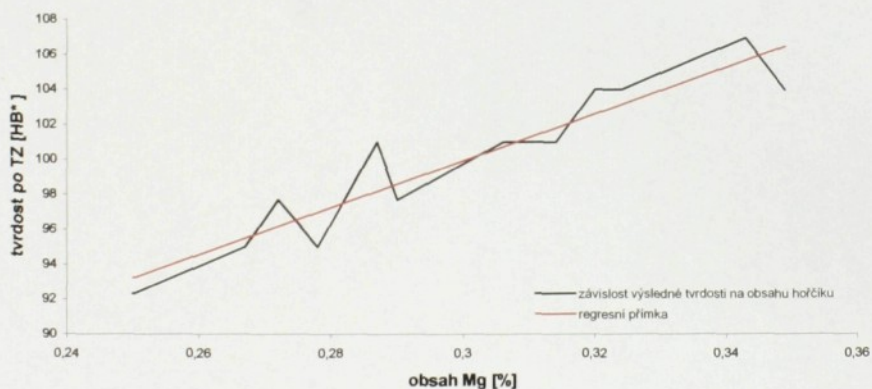
Rovnice regresní přímky: $y = 73,5 + 78,4 \cdot x$

tvrdost po TZ (535°C)[HB°]	obsah Mg [%]
92,3	0,25
95	0,267
97,7	0,272
95	0,278
101	0,287
97,7	0,29
101	0,306
101	0,31
101	0,31
101	0,314
104	0,32
104	0,324
107	0,343
104	0,349

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,935833	1

Tabulka 6

Obsah Mg v odlitku 03087026 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 535°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 3

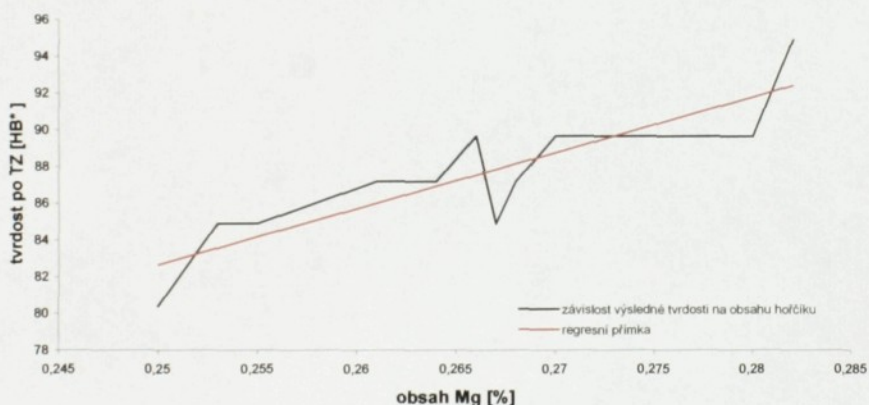
Závislost výsledné tvrdosti odlitku 03087026 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 535°C, 7 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 59,6 + 134,3 \cdot x$

tvrdost po TZ (6 hodin) [HB ⁺]	obsah Mg [%]
80,4	0,25
84,9	0,253
84,9	0,255
87,2	0,261
87,2	0,264
89,7	0,266
84,9	0,267
87,2	0,268
89,7	0,27
89,7	0,27
89,7	0,274
89,7	0,277
89,7	0,28
95	0,282

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,870414	1

Tabulka 7 Obsah Mg v odlitku 03087026 a příslušné tvrdosti po TZ probíhajícím při teplotě 525°C po dobu 6 hodin a vypočítaný koeficient korelace



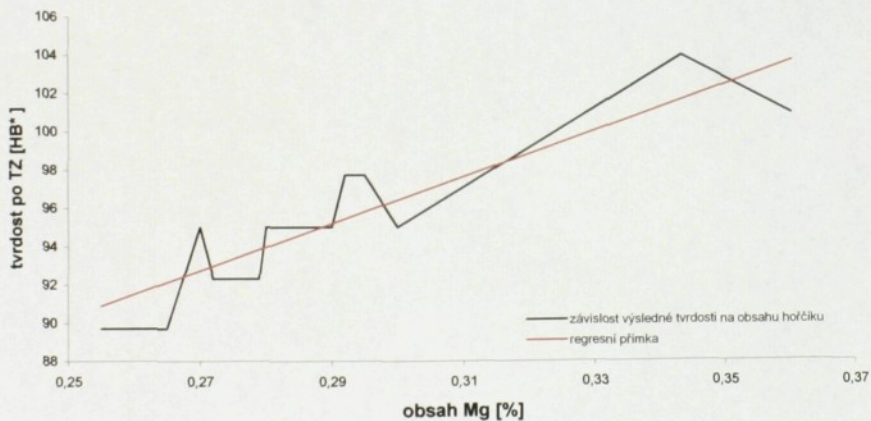
Graf 4 Závislost výsledné tvrdosti odlitku 03087026 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 525°C, 6 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 5,7 + 307,7 \cdot x$

tvrdost po TZ (8 hodin) [HB [*]]	obsah Mg [%]
89,7	0,255
89,7	0,265
95	0,27
92,3	0,272
92,3	0,279
95	0,28
95	0,284
95	0,29
95	0,29
97,7	0,292
97,7	0,295
95	0,3
104	0,343
101	0,36

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,893616	1

Tabulka 8 Obsah Mg v odlitku 03087026 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 8 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 5 Závislost výsledné tvrdosti odlitku 03087026 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 525°C, 8 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 59,6 + 122,7 \cdot x$

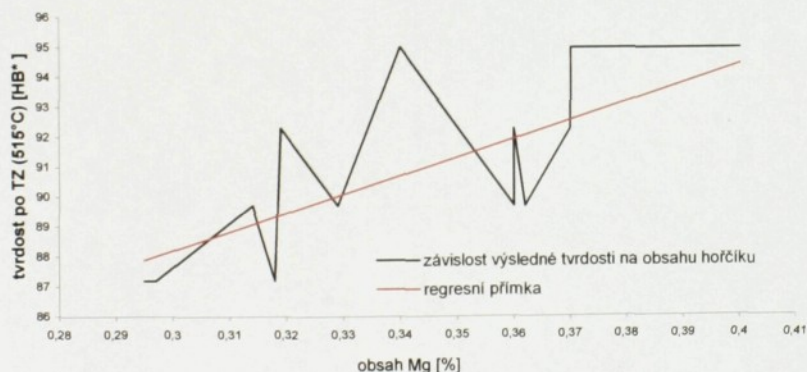
7.2 Odlitek S85525

tvrdost po TZ (515°C) [HB [*]]	obsah Mg [%]
87,2	0,295
87,2	0,297
89,7	0,314
87,2	0,318
92,3	0,319
89,7	0,329
95	0,34
89,7	0,36
89,7	0,36
92,3	0,36
89,7	0,362
92,3	0,37
95	0,37
95	0,4

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,686666465	1

Tabulka 9

Obsah Mg v odlitku S85525 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 515°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 6

Závislost výsledné tvrdosti odlitku S85525 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 515°C, 7 hodin

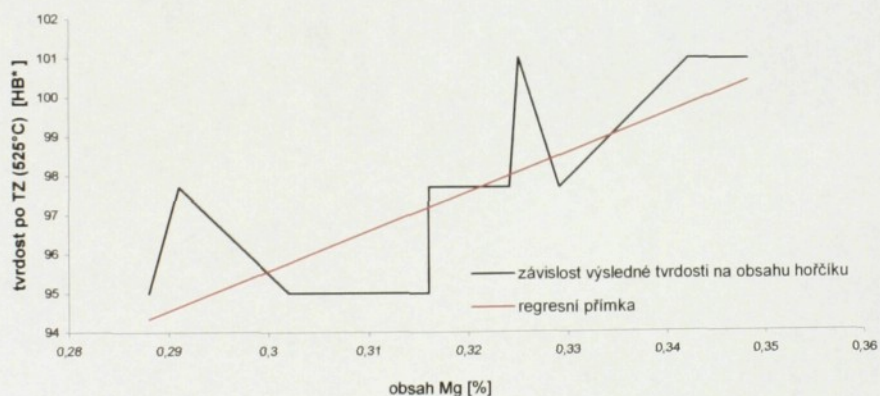
Rovnice regresní přímky: $y = 69,4 + 62,6 \cdot x$

tvrdost po TZ (525°C) [HB [*]]	obsah Mg [%]
95	0,288
97,7	0,291
95	0,302
95	0,304
95	0,313
95	0,313
95	0,316
97,7	0,316
97,7	0,322
97,7	0,324
101	0,325
97,7	0,329
101	0,342
101	0,348

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,731109529	1

Tabulka 10

Obsah Mg v odlitku S85525 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 7

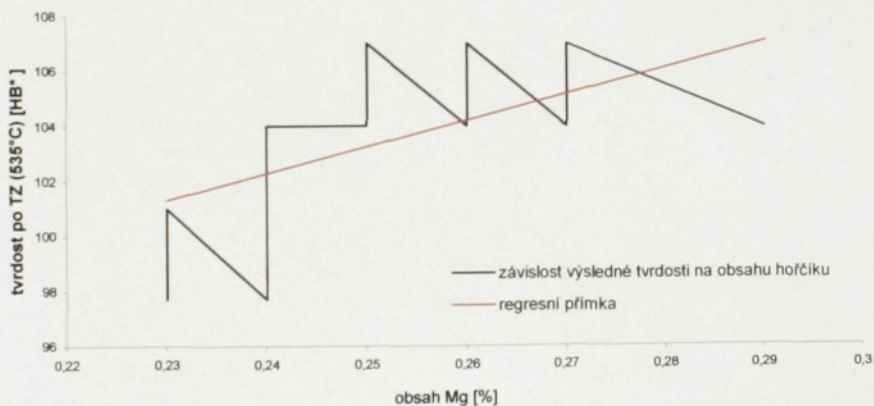
Závislost výsledné tvrdosti odlitku S85525 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 525°C, 7 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 65,1 + 101,6 \cdot x$

tvrdost po TZ (535°C) [HB ⁺]	obsah Mg [%]
97,7	0,23
101	0,23
97,7	0,24
101	0,24
104	0,24
104	0,24
104	0,24
104	0,25
107	0,25
104	0,26
107	0,26
104	0,27
107	0,27
104	0,29

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,555036056	1

Tabulka 11 Obsah Mg v odlitku S85525 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 535°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace



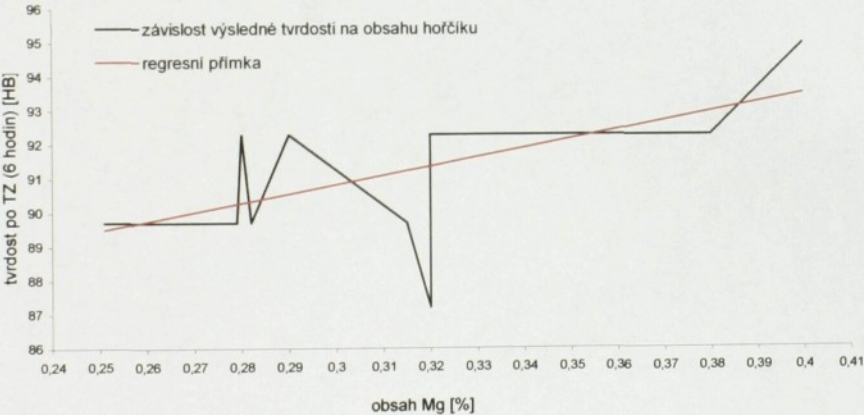
Graf 8 Závislost výsledné tvrdosti odlitku S85525 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žhání: 535°C, 7 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 79,1 + 96,6 \cdot x$

tvrdost po TZ (6 hodin)[HB ⁺]	obsah Mg [%]
89,7	0,251
89,7	0,279
92,3	0,28
89,7	0,282
92,3	0,29
89,7	0,315
87,2	0,32
92,3	0,32
92,3	0,328
92,3	0,34
92,3	0,345
92,3	0,36
92,3	0,38
95	0,4

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,587794271	1

Tabulka 12 Obsah Mg v odlitku S85525 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 6 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 9 Závislost výsledné tvrdosti odlitku S85525 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žitání: 525°C, 6 hodin

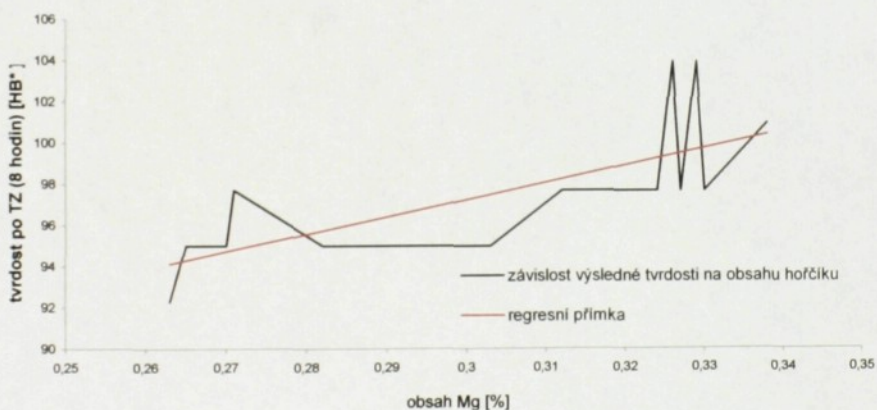
Rovnice regresní přímky: $y = 82,7 + 27 \cdot x$

tvrdost po TZ (8 hodin) [HB°]	obsah Mg [%]
92,3	0,263
95	0,265
95	0,27
97,7	0,271
95	0,282
95	0,303
97,7	0,312
97,7	0,324
104	0,326
97,7	0,327
104	0,329
97,7	0,33
97,7	0,33
101	0,338

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,710953374	1

Tabulka 13

Obsah Mg v odlitku S85525 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 8 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 10

Závislost výsledné tvrdosti odlitku S85525 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 525°C, 8 hodin

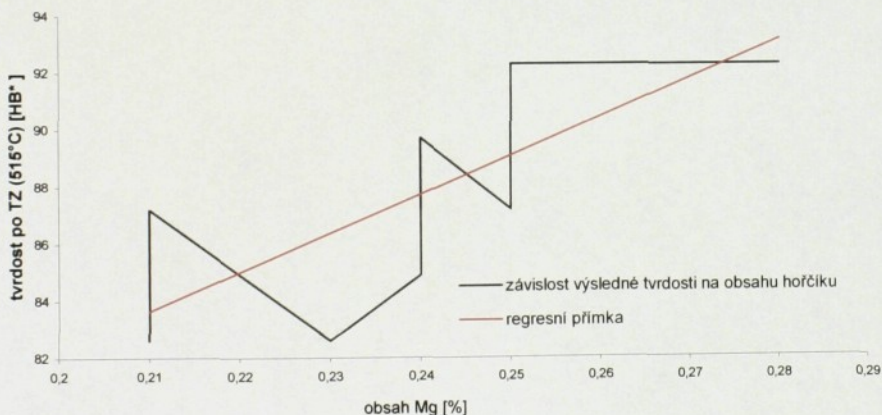
Rovnice regresní přímky: $y = 71,9 + 84,5 \cdot x$

7.3 Odlitek S91505

tvrdost po TZ (515°C) [HB°]	obsah Mg [%]
82,6	0,21
87,2	0,21
82,6	0,23
84,9	0,24
84,9	0,24
87,2	0,24
89,7	0,24
87,2	0,25
87,2	0,25
92,3	0,25
92,3	0,25
92,3	0,25
92,3	0,27
92,3	0,28

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,708108863	1

Tabulka 14 Obsah Mg v odlitku S91505 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 515°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace



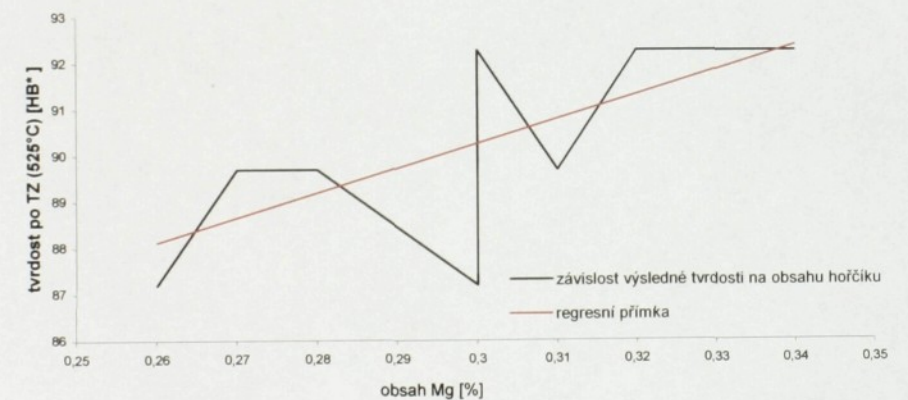
Graf 11 Závislost výsledné tvrdosti odlitku S91505 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žhání: 515°C, 7 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 55 + 136,2 \cdot x$

tvrdost po TZ (525°C) [HB°]	obsah Mg [%]
87,2	0,26
89,7	0,27
89,7	0,28
89,7	0,28
89,7	0,28
87,2	0,3
89,7	0,3
92,3	0,3
89,7	0,31
89,7	0,31
92,3	0,32
92,3	0,32
92,3	0,33
92,3	0,34

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,704213422	1

Tabulka 15 Obsah Mg v odlitku S91505 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 12 Závislost výsledné tvrdosti odlitku S91505 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 525°C, 7 hodin

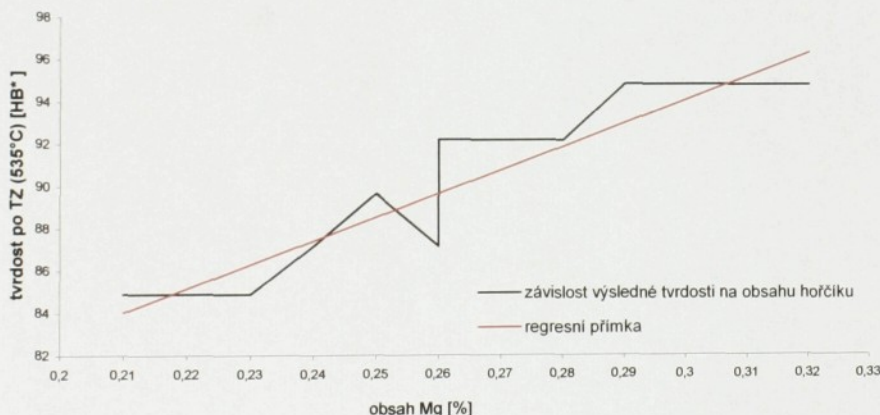
Rovnice regresní přímky: $y = 74,2 + 53,6 \cdot x$

tvrdost po TZ (535°C) [HB°]	obsah Mg [%]
84,9	0,21
84,9	0,22
84,9	0,22
84,9	0,22
84,9	0,23
87,2	0,24
87,2	0,24
89,7	0,25
87,2	0,26
89,7	0,26
92,3	0,26
92,3	0,28
95	0,29
95	0,32

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,935298874	1

Tabulka 16

Obsah Mg v odlitku S91505 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 535°C po dobu 7 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 13

Závislost výsledné tvrdosti odlitku S91505 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žíhání: 535°C, 7 hodin

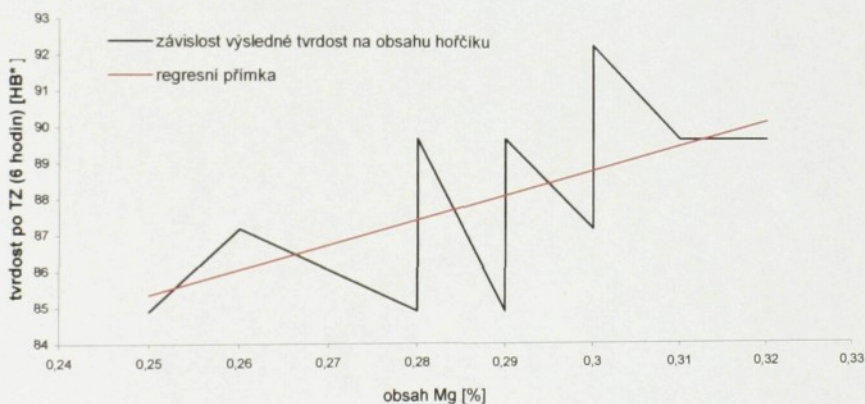
Rovnice regresní přímky: $y = 60,2 + 113,7 \cdot x$

tvrdost po TZ (6hodin) [HB [*]]	obsah Mg [%]
84,9	0,25
84,9	0,25
87,2	0,26
84,9	0,28
89,7	0,28
84,9	0,29
89,7	0,29
89,7	0,29
87,2	0,3
87,2	0,3
92,3	0,3
89,7	0,31
89,7	0,31
89,7	0,32

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,625839868	1

Tabulka 17

Obsah Mg v odlitku S91505 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 6 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 14

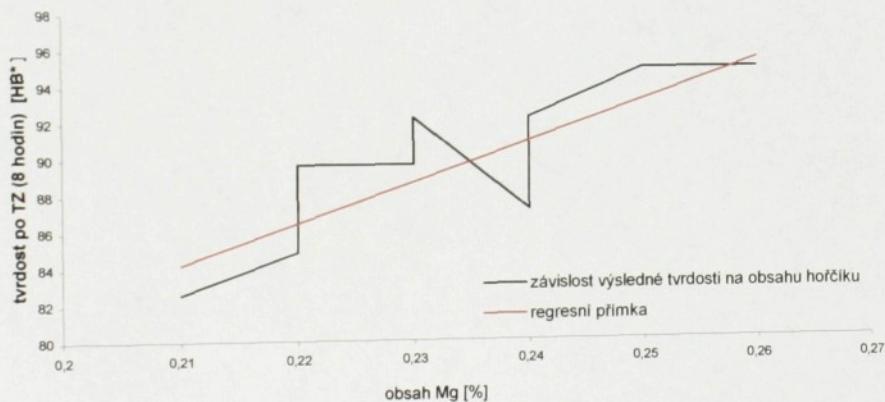
Závislost výsledné tvrdosti odlitku S91505 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žitání: 525°C, 6 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 68,1 + 69,2 \cdot x$

tvrdost po TZ (8hodin) [HB°]	obsah Mg [%]
82,6	0,21
84,9	0,22
84,9	0,22
89,7	0,22
89,7	0,23
92,3	0,23
87,2	0,24
89,7	0,24
89,7	0,24
92,3	0,24
92,3	0,24
95	0,25
95	0,26
95	0,26

	tvrdost	obsah Mg
tvrdost	1	
obsah Mg	0,852211517	1

Tabulka 18 Obsah Mg v odlitku S91505 a příslušné tvrdosti po TZ probíhající při teplotě 525°C po dobu 8 hodin a vypočítaný koeficient korelace



Graf 15 Závislost výsledné tvrdosti odlitku S91505 na obsahu hořčíku při parametrech rozpouštěcího žhání: 525°C, 8 hodin

Rovnice regresní přímky: $y = 36,9 + 225,4 \cdot x$

7.4 Porovnání obsahu Mg v etalonu a ve vzorcích

Po roztavení kovové vsázky je odlit z každé slitiny etalon, na kterém je provedena spektrální analýza. Pokud obsahy všech prvků splňují obsah daný příslušnou normou, je zahájeno lití. Během dne však dochází ke změnám chemického složení slitiny, během převozu a manipulace.

Srovnání obsahu hořčíku zjištěného v etalonu s aritmetickým průměrem hodnot změřených u jednotlivých vzorků odlitých téhož dne vidíme v následující tabulce. Uvedené vzorky nepocházejí z jedné taveniny, ale z taveb z celého dne.

datum lití	slitina	obsah Mg v etalonu [%]	obsah Mg v testovaných vzorcích [%]		
			prům.hodnota	min.hodnota	max.hodnota
5.11.2003	ČSN 42 4334	0,31	0,294	0,25	0,349
6.11.2003	ČSN 42 4334	0,3	0,279	0,25	0,36
5.11.2003	ČSN 42 4331	0,32	0,303	0,23	0,4
6.11.2003	ČSN 42 4331	0,31	0,313	0,251	0,4
11.11.2003	ČSN 42 4331	0,31	0,294	0,25	0,34
12.11.2003	ČSN 42 4331	0,29	0,243	0,21	0,32

Tabulka 19

Spočítáme-li odchylku minimální a maximální hodnoty vzorků od hodnoty etalonu, můžeme stanovit již na začátku lití pravděpodobný rozptyl obsahů Mg v odlitcích litých toho dne. Pokud takto vypočtenou průměrnou odchylku připočteme k nově zjištěnému množství Mg v etalonu a krajní meze takto vzniklého intervalu budou splňovat podmínky normy, dá se předpokládat, že všechny odlitky ten den odlité budou mít obsah Mg odpovídající normě.

Zde jsou uvedeny konkrétní hodnoty: ČSN 42 4334 (5.11)..... $0,31^{+0,039}_{-0,06}$

ČSN 42 4334 (6.11)..... $0,3^{+0,06}_{-0,05}$

ČSN 42 4331 (5.11)..... $0,32^{+0,08}_{-0,09}$

ČSN 42 4331 (6.11)..... $0,31^{+0,09}_{-0,059}$

ČSN 42 4331 (11.11)..... $0,31^{+0,03}_{-0,06}$

ČSN 42 4331 (12.11)..... $0,29^{+0,03}_{-0,08}$

Z těchto údajů lze určit průměrné hodnoty: ČSN 42 4334..... $0,305^{+0,05}_{-0,055}$

ČSN 42 4331..... $0,308^{+0,057}_{-0,072}$

Tyto výsledky však nelze brát jako určující, jedná se pouze o předpoklad. Pro ujištění je třeba provést další měření na větším statistickém souboru a v delším časovém období.

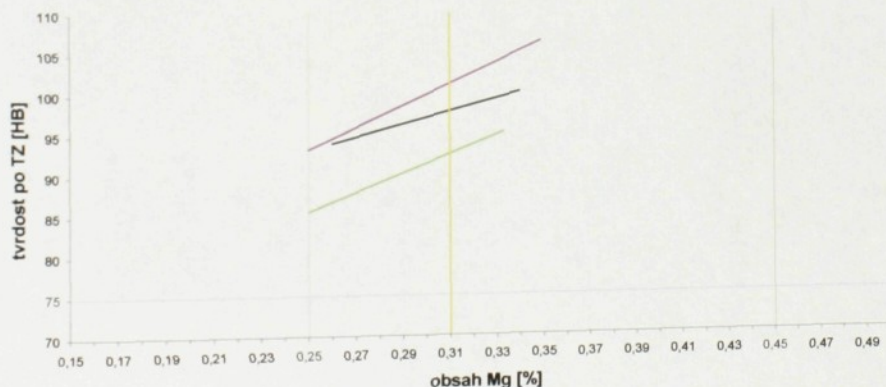
7.5 Grafické závislosti

Pro potřebné vyhodnocení závislostí byly do společných grafů vyneseny:

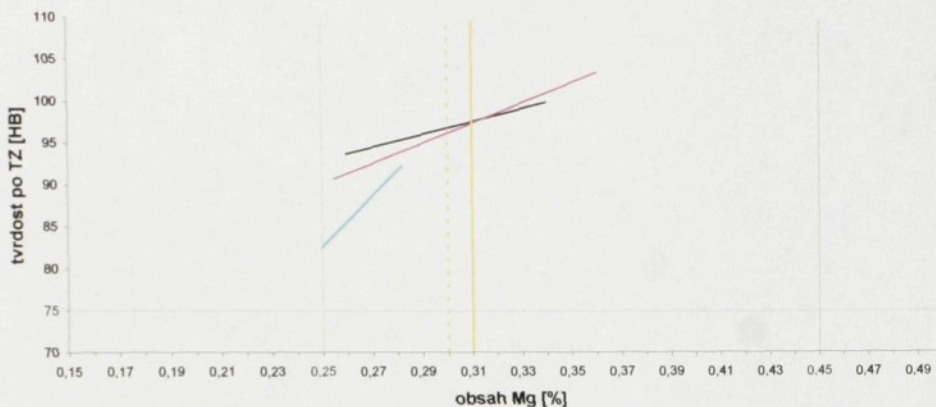
- vypočítané regresní přímky stejného typu proměnného parametru (teplota, doba rozpouštěcího žíhání)
- minimální hodnoty tvrdosti příslušných slitin po TZ dle příslušných norem
- počáteční hodnoty obsahu hořčíku v etalonu, zjištěné spektrální analýzou před zahájením lití

U všech procesů rozpouštěcího žíhání byly na základě statistické metody zjištěny lineární závislosti výsledné tvrdosti na obsahu hořčíku.

7.5.1 Odlitek 03087026



Graf 16



Graf 17

Pro přehlednost uvádím společnou legendu pro grafy 16 až 21:

- minimální hodnota obsahu Mg dle normy příslušné slitiny
- maximální hodnota obsahu Mg dle normy příslušné slitiny
- minimální hodnota tvrdosti po TZ dle normy příslušné slitiny
- hodnota obsahu Mg pro 1.den lití daného odlitku
- hodnota obsahu Mg pro 2.den lití daného odlitku
- rozpouštěcí žihání při 515°C a 7 hodinách
- rozpouštěcí žihání při 525°C a 6 hodinách
- rozpouštěcí žihání při 525°C a 7 hodinách
- rozpouštěcí žihání při 525°C a 8 hodinách
- rozpouštěcí žihání při 535°C a 7 hodinách

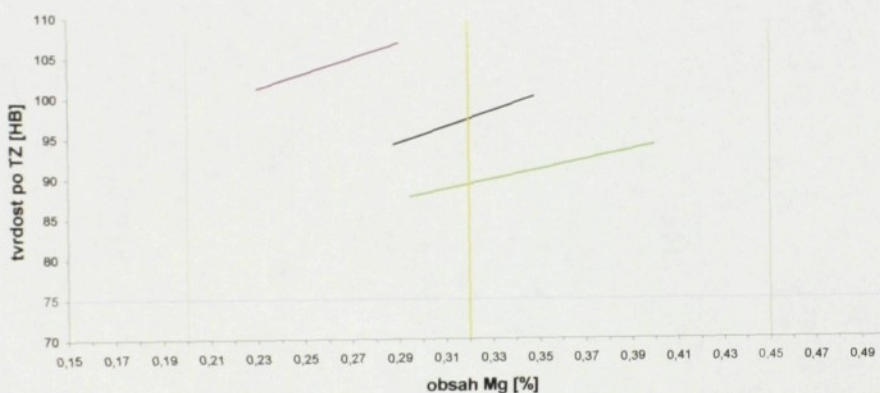
Z grafů 16, 17 vyplývá, že při počátečních hodnotách obsahu hořčíku 0,3 a 0,31% dosahuje obsah Mg v jednotlivých vzorcích hodnot 0,25 až 0,35%. Rozpouštěcím žiháním při všech navržených parametrech bylo dosaženo hodnot, které požaduje norma (min 75HB). Jelikož norma udává tvrdost měřenou za standardních podmínek, tedy $D = 10 \text{ mm}$, $F = 29430 \text{ N}$, $t = 10 \text{ s}$ [8], je vhodné brát tento údaj jako orientační.

Je možné diskutovat případy, kdy počáteční hodnota obsahu Mg bude nižší než ve zjišťovaném případě (0,3 a 0,31%) a přitom bude požadované tvrdosti rovněž

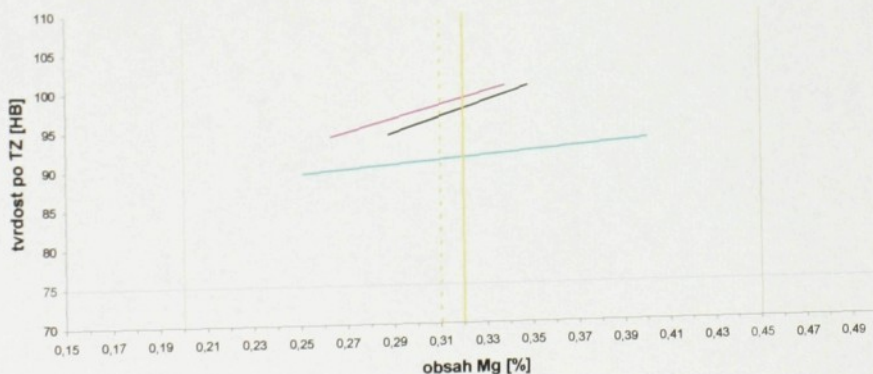
dosaženo. Popř. kdy bude dosaženo požadované tvrdosti u předem stanoveného počtu odlitků (povolený počet nevhodných odlitků).

7.5.2 Odlitek S85525

Na grafech 18,19 lze při počátečním obsahu Mg 0,31 a 0,32% pozorovat rozptyl obsahů Mg jednotlivých vzorků od 0,23 do 0,4%. Všemí provedenými procesy bylo dosaženo požadované tvrdosti dle příslušné normy (min. 75 HB).



Graf 18

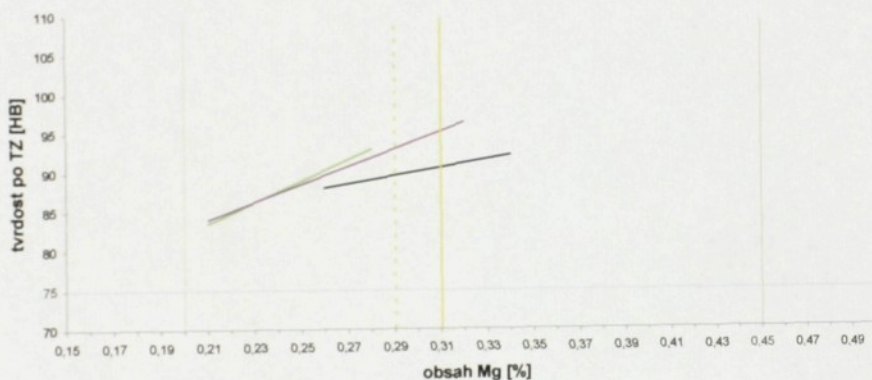


Graf 19

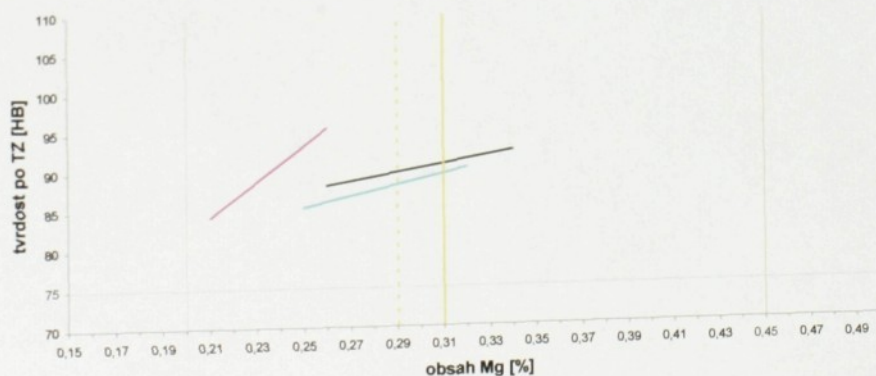
7.5.3 Odlitek S91505

Počáteční obsah Mg u tohoto odlitku činí 0,29 a 0,31%. Obsah u jednotlivých vzorků dosahuje hodnot 0,21 až 0,34%. Podmínku minimální tvrdosti po TZ 80hb splňují vzorky tepelně zpracované za všech uvedených podmínek.

Posouzením krajních hodnot intervalu obsahu hořčíku $<0,21;0,34>$ s počátečními hodnotami (hodnotami etalonu) 0,29 a 0,31%Mg a s počtem odlitků odlitých v příslušných dnech 42 ks:28 ks můžeme postihnout vliv většího počtu odlitků s nižším obsahem Mg na tvar regresní přímky a tím i na nižší hodnotu tvrdosti.



Graf 20



Graf 21

Na všech uvedených grafech lze pozorovat kolísání hodnot obsahu hořčíku vzorků v určitém rozptylu kolem hodnoty obsahu Mg etalonu. Ale jak již bylo uvedeno v kapitole 7.4, doporučuji provést další měření na větším statistickém souboru, v delším časovém období.

7.6 Diskuse ke spotřebě elektrické energie

Za předpokladu minimálního obsahu hořčíku v etalonu 0,305% (resp. 0,308%), lze zkrátit dobu rozpouštěcího žíhání na 6 hodin. Snížení teploty nevede k takové ekonomické úspoře jako při zkrácení doby. Zvýšení teploty žíhání nebo prodloužením doby trvání tohoto procesu, dojde ke zvýšení hodnot tvrdosti, ale také k navýšení provozních nákladů.

8 Závěr

Cílem této práce je zhodnocení kvality procesu tepelného zpracování ve firmě Beneš a Lát s.r.o.

Experimentálně byly stanoveny výchozí hodnoty parametrů stávajícího procesu tepelného zpracování. Pro další testování bylo rozhodnuto měnit pouze parametry rozpouštěcího žihání, ostatní fáze probíhaly za stávajících podmínek. Za proměnné veličiny byly zvoleny teplota a doba rozpouštěcího žihání, přičemž byla měněna pouze jedna z nich. Dále byl ve vzorcích sledován obsah hořčíku.

Na základě vzájemné korelace mezi obsahem hořčíku ve vzorku a tvrdostí po tepelném zpracování (při různých parametrech rozpouštěcího žihání) byly sestaveny regresní přímky. Z jejich průběhu je vidět, že požadované tvrdosti bylo dosaženo ve všech případech.

Obsah hořčíku v jednotlivých odlitcích se během dne mění. Hodnota obsahu Mg má mírně klesající tendenci. Proto doporučuji při hodnotě obsahu v etalonu nižší než 0,305% Mg (pro slitinu AC 42 100), resp. 0,308% Mg (pro ČSN 42 4331) před začátkem lití zvýšit obsah hořčíku ve slitině, tím bude zaručena požadovaná tvrdost.

Jako optimální režim tepelného zpracování vyplývající z výše uvedených zkoušek a diskuze výsledků navrhuji:

Rozpouštěcí žihání - jmenovitá teplota: $525 \pm 5^\circ\text{C}$

- doba: 7 hodin
- ochlazení: ve vodě o teplotě 40 až 60°C

Umělé stárnutí - jmenovitá teplota: $175 \pm 5^\circ\text{C}$

- doba: 8 hodin

Pro zkrácení doby rozpouštěcího žihání by bylo nutné ověřit větší statistický soubor v delším časovém období vzhledem k tomu, že zkoušky probíhaly za současné změny více proměnných.

Použitá literatura

- [1] Grígerová,T., Kořený,R., Lukáč,I.: **Zlievarenstvo neželezných kovov**, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava ve spolupráci se SNTL Praha, 1998
- [2] Ptáček,L a kol.: **Nauka o materiálu II**, Akademické nakladatelství CERM Brno, 1999
- [3] Bechný,L.: **Zlievárenská metalurgia a technológia**, Alfa Bratislava, 1990
- [4] Vilčko,J., Slovák,S.: **Zlievárenská technológia**, Alfa Bratislava ve spolupráci se SNTL Praha, 1987
- [5] Roučka,J.: **Metalurgie litin a neželezných kovů**, Ediční středisko VUT Brno, 1984
- [6] **Výzkum vlastností siluminových slitin** (výzkumná zpráva), VŠCHT, 1966
- [7] Plachý,J., Němec,M., Bednář,B.: **Teorie slévání**, Ediční středisko ČVUT Praha, 1990
- [8] Macek,K., Zuna,P. a kolektiv: **Nauka o materiálu**, Vydavatelství ČVUT Praha, 1996
- [9] Cenek,M., Jeníček,L.: **Nauka o materiálu I – Neželezné kovy**, Academia Praha, 1973
- [10] Ptáček,L.: **Slitiny hliníku na odlitky**, Slévárensství, ročník XLVII (1999), číslo 1
- [11] Macek,K., Zuna,P., Janovec,J.: **Tepelné úpravy kovových materiálů**, ČVUT Praha, 2001
- [12] **Metal Handbook** Desk Edition, ASM International, USA, 1995
- [13] Plachý,J., Němec,M., Bednář,B.: **Teorie slévání**, ČVUT Praha, 1990
- [14] Sedláček,V.: **Neželezné kovy a slitiny**, SNTL Praha, 1979
- [15] Píšek,F., Plešinger,A. a kol.: **Slévárensství II**, SNTL Praha, 1975
- [16] Horký,K.: **Základy kokilového lití** (interní literatura BaL)
- [17] Daďourek,K.: **Statistika v Excelu**, TU Liberec, 2003

PŘÍLOHY

OZNAČENÍ SLITIN HLINÍKU POUŽÍVANÝCH VE FIRMĚ "BENEŠ A. LÁT" a.s.						
CHEMICKÉ SLOŽENÍ	ČSN	DIN	ISO	DALŠÍ RŮZNÁ ZNAČENÍ		POZNÁMKY - POUŽITÍ
AlSi12Mn	424330	230	Al-Si12CuFe	EURO	NEHECKO	Výborná slevatelnost. Vhodná na tenkostěnné odlitky. Vhodná pro stýk s potraavinami. Tvrdost po odlití 45HB. Svaritelnost velmi dobrá. Tepelně se nepracovává.
			Al-Si12Fe	AC-AlSi12(Cu)	G-AlSi12	
			Al-Si12	AC-AlSi12(Fe)	G-AlSi12	
			Al-Si12Cu	AC-AlSi12(Cu)	G-AlSi12	
AlSi10MgMn	424331 slitina tlavení	239	Al-Si10Mg	EURO	NEHECKO	Výborná slevatelnost. Vhodná na složité a tenkostěnné odlitky pro středně namáhání. Vhodná pro stýk s potraavinami. Tvrdost po odlití 50HB. Požápalným zpracování BS=10HB. Svaritelnost dobrá.
			Al-Si10Mg	AC-AlSi10Mg	G-AlSi10Mg	
AlSi10CuMn	424384					Dobrá slevatelnost. Vhodná na složité tenkostěnné odlitky bez nároků na zvláštní číslo dle výrobního postupu. Méně vhodná pro stýk s potraavinami. Tvrdost po odlití 70HB. Tepelně se nepracovává. Svaritelnost dobrá. Nízká odolnost proti korozi.
AlSi9Cu3	slitina tlavení	226				Částečně samovtuhitelný (AC=47000 č.mater)
AlSi12(Cu)		231	Al-Si12Cu	EURO	NEHECKO	Mimořádně vysoká mechanická vlastnost a dobrá odolnost proti korozi. Shodně pro tenkostěnné odlitky (AC=42100 č.mater)
				AC-AlSi12(Cu)	G-AlSi12(Cu)	
AlSi7Mg0.3Te	424334	G-AlSi7Mg0.3	Al-Si7Mg	EURO	NEHECKO	Vhodné hlavně pro hydraulické komponenty (období nřez UNIPONT-90) výhledově fun Hydac
				AC-AlSi7Mg0.3	AlSi7Mg	
AlZn10Si8Mg		AlZn10Si8Mg				

03087026-1 datum lití: 7.10.2003
č. odváděcího listku: 38
homogenizace: 7./8.10.2003; 4:00-12:30
umělé stárnutí: 8.10.2003;12:30-20:00

03087026-2 datum lití: 9.10.2003
č. odváděcího listku: 34
homogenizace: 13.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 13./14.10.2003; 20:00-4:00

03087026-3 datum lití: 10.10.2003
č. odváděcího listku: 33
homogenizace: 14.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 14./15.10.2003; 20:00-4:00

03087026-4 datum lití: 13.10.2003
č. odváděcího listku: 39
homogenizace: 15.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 15./16.10.2003; 20:00-4:00

03087026-5 datum lití: 14.10.2003
č. odváděcího listku: 39
homogenizace: 15./16.10.2003; 20:00-4:00
umělé stárnutí: 16.10.2003; 4:00-12:30

S95402-1 datum lití: 13.10.2003
č. odváděcího listku: 15
homogenizace: 15.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 15./16.10.2003; 20:00-4:00

S95402-2 datum lití: 14.10.2003
č. odváděcího listku: 15
homogenizace: 15./16.10.2003; 20:00-4:00
umělé stárnutí: 16.10.2003; 4:00-12:30

S95402-3 datum lití: 15.10.2003
č. odváděcího listku: 19
homogenizace: 16./17.10.2003; 20:00-4:00
umělé stárnutí: 17.10.2003; 4:00-12:30

S95402-4 datum lití: 16.10.2003
č. odváděcího listku: 20
homogenizace: 17./18.10.2003; 20:00-4:00
umělé stárnutí: 18.10.2003; 4:00-12:30

S93639-1 datum lití: 14.10.2003
č. odváděcího listku: 8
homogenizace: 15.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 15./16.10.2003; 20:00-4:00

S93639-2 datum lití: 15.10.2003
č. odváděcího listku: 91
homogenizace: 16.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 16./17.10.2003; 20:00-4:00

S93639-3 datum lití: 16.10.2003
č. odváděcího listku: 96
homogenizace: 17.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 17./18.10.2003; 20:00-4:00

S93639-4 datum lití: 17.10.2003
č. odváděcího listku: 7
homogenizace: 18.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 19./20.10.2003; 20:00-4:00

S93639-5 datum lití: 18.10.2003
č. odváděcího listku: 7
homogenizace: 20.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 20./21.10.2003; 20:00-4:00

2112180101-1 datum lití: 14.10.2003
č. odváděcího listku: 91
homogenizace: 15.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 15./16.10.2003; 20:00-4:00

2112180101-2 datum lití: 15.10.2003
č. odváděcího listku: 22
homogenizace: 16./17.10.2003; 20:00-4:00
umělé stárnutí: 17.10.2003; 4:00-12:30

2112180101-3 datum lití: 16.10.2003
č. odváděcího listku: 23
homogenizace: 17.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 17./18.10.2003; 20:00-4:00

2112180101-4 datum lití: 17.10.2003
č. odváděcího listku: 24
homogenizace: 18.10.2003; 12:30-20:00
umělé stárnutí: 19./20.10.2003; 20:00-4:00

2112180101-5 datum lití: 18.10.2003
č. odváděcího listku: 25
homogenizace: 20./21.10.2003; 20:00-4:00
umělé stárnutí: 21.10.2003; 4:00-12:30

vzorek	doba rozpouštěcího žihání	Ø doba rozpouštěcího žihání	Ø teplota jednoho procesu rozp. žihání [°C]	Ø teplota všech procesů rozp. žihání [°C]	doba umělého stárnutí	Ø doba umělého stárnutí
03087026-1	7 hodin 10 minut	~7 hodin 15 minut	527	526	8 hodin 10 minut	~7 hodin 50 minut
03087026-2	7 hodin		527		7 hodin 30 minut	
03087026-3	6 hodin 40 minut		526		8 hodin	
03087026-4	7 hodin 40 minut		526		7 hodin 50 minut	
03087026-5	7 hodin 50 minut		526		7 hodin 50 minut	
vzorek	doba rozpouštěcího žihání	Ø doba rozpouštěcího žihání	Ø teplota jednoho procesu rozp. žihání [°C]	Ø teplota všech procesů rozp. žihání [°C]	doba umělého stárnutí	Ø doba umělého stárnutí
S95402-1	7 hodin 40 minut	~7 hodin 45 minut	526	527	7 hodin 50 minut	~7 hodin 45 minut
S95402-2	7 hodin 50 minut		526		7 hodin 50 minut	
S95402-3	8 hodin		527		6 hodin 50 minut	
S95402-4	7 hodin 30 minut		527		8 hodin 30 minut	
vzorek	doba rozpouštěcího žihání	Ø doba rozpouštěcího žihání	Ø teplota jednoho procesu rozp. žihání [°C]	Ø teplota všech procesů rozp. žihání [°C]	doba umělého stárnutí	Ø doba umělého stárnutí
S93639-1	7 hodin 40 minut	~7 hodin 15 minut	526	527	7 hodin 50 minut	~7 hodin 50 minut
S93639-2	6 hodin 30 minut		527		8 hodin	
S93639-3	7 hodin 10 minut		527		7 hodin 40 minut	
S93639-4	6 hodin 20 minut		527		9 hodin	
S93639-5	8 hodin 30 minut		526		6 hodin 50 minut	
vzorek	doba rozpouštěcího žihání	Ø doba rozpouštěcího žihání	Ø teplota jednoho procesu rozp. žihání [°C]	Ø teplota všech procesů rozp. žihání [°C]	doba umělého stárnutí	Ø doba umělého stárnutí
2112180101-1	7 hodin 40 minut	~7 hodin 10 minut	526	527	7 hodin 50 minut	~7 hodin 55 minut
2112180101-2	8 hodin		527		6 hodin 50 minut	
2112180101-3	7 hodin 10 minut		527		7 hodin 40 minut	
2112180101-4	6 hodin 20 minut		527		9 hodin	
2112180101-5	6 hodin 50 minut		527		8 hodin 10 minut	

vzorek	Ø teplota jednoho procesu umělého stárnutí [°C]	Ø teplota všech procesů umělého stárnutí [°C]	Ø tvrdost odtluku před TZ [HB]	Ø tvrdost odtluku po TZ [HB]	Ø obsah Mg v etalonu [%]	Ø obsah Mg v příslušném vzorku [%]
03087026-1	177	176	58,1	89,7	0,26	0,26
03087026-2	174		58,1	92,3	0,3	0,26
03087026-3	176		60,9	92,3	0,27	0,27
03087026-4	176		60,9	107	0,41	0,29
03087026-5	177		59,5	97,7	0,27	0,26
vzorek	Ø teplota jednoho procesu umělého stárnutí [°C]	Ø teplota všech procesů umělého stárnutí [°C]	Ø tvrdost odtluku před TZ [HB]	Ø tvrdost odtluku po TZ [HB]	Ø obsah Mg v etalonu [%]	Ø obsah Mg v příslušném vzorku [%]
S95402-1	176	171	59,5	101	0,41	0,28
S95402-2	177		59,5	101	0,29	0,27
S95402-3	167		60,2	107	0,34	0,32
S95402-4	167		60,2	104	0,35	0,41
vzorek	Ø teplota jednoho procesu umělého stárnutí [°C]	Ø teplota všech procesů umělého stárnutí [°C]	Ø tvrdost odtluku před TZ [HB]	Ø tvrdost odtluku po TZ [HB]	Ø obsah Mg v etalonu [%]	Ø obsah Mg v příslušném vzorku [%]
S93639-1	176	172	63,9	104	0,25	0,28
S93639-2	172		62,4	97,7	0,26	0,25
S93639-3	169		63,9	101	0,33	0,29
S93639-4	167		62,4	101	0,25	0,28
S93639-5	174		59,5	97,7	0,24	0,24
vzorek	Ø teplota jednoho procesu umělého stárnutí [°C]	Ø teplota všech procesů umělého stárnutí [°C]	Ø tvrdost odtluku před TZ [HB]	Ø tvrdost odtluku po TZ [HB]	Ø obsah Mg v etalonu [%]	Ø obsah Mg v příslušném vzorku [%]
2112180101-1	176	171	63,9	104	0,27	0,3
2112180101-2	169		62,4	101	0,28	0,29
2112180101-3	169		60,9	97,7	0,31	0,26
2112180101-4	167		59,5	92,3	0,22	0,24
2112180101-5	174		59,5	95	0,24	0,23

03087026

datum lití: 5.11. (42 ks)
č.odváděcího listku: 41
homogenizace při **515°C**, 7h : 10.11.; 12:30-20:00
při **525°C**, 7h : 10./11.11.; 20:00-4:00
při **535°C**, 7h : 11.11.; 12:30-20:00

datum lití: 6.11. (28 ks)
č.odváděcího listku: 41
homogenizace při 525°C, **6h** : 13.11.; 13:30-20:00
při 525°C, **8h** : 17./18.11.; 19:00-4:00

S 85505

datum lití: 5.11. (42 ks)
č.odváděcího listku: 21
homogenizace při **515°C**, 7h : 10.11.; 12:30-20:00
při **525°C**, 7h : 10./11.11.; 20:00-4:00
při **535°C**, 7h : 11.11.; 12:30-20:00

datum lití: 6.11. (28 ks)
č.odváděcího listku: 18
homogenizace při 525°C, **6h** : 13.11.; 13:30-20:00
při 525°C, **8h** : 17./18.11.; 19:00-4:00

S 91505

datum lití: 11.11. (28 ks)
č.odváděcího listku: 6
homogenizace při **515°C**, 7h : 26.11.; 12:30-20:00
při **525°C**, 7h : 12./13.11.; 20:00-4:00
při **535°C**, 7h : 24.11.; 12:30-20:00

datum lití: 12.11. (42 ks)
č.odváděcího listku: 6
homogenizace při 525°C, **6h** : 13.11.; 13:30-20:00
při 525°C, **8h** : 17./18.11.; 19:00-4:00



PRACOVNÍ KARTA

odlitek :

03087026

Kupující HYDAC	Název : KOPF MFM	Materiál AC 42 100
<u>Lití - proces G/</u>		<u>Cídění - proces I/</u>
Druh kokily : NTL	Řezání : ANO	
Počet vtoků : 1	Otryskání : NE	
Počet jader : 6	Broušení brus. pásem : ANO	
Počet otisků : 2	Broušení ručním strojkem : ANO	
Teplota kokily : 320 - 340°C	Pilování : NE	
Teplota kovu : 720 - 740°C	Ruční frézování : NE	
Doba lití : 80 s	Vyskávání : NE	
Doba tuhnutí : 80 s	Prostřih : NE	
	Vrtání : NE	
<u>Ošetření kovu - proces F/</u>	Soustružení : NE	
Rafinace : ANO		
Odplynění : NE		
Modifikace : ANO		
Zušlechťení : NE		
Zjemnění zrna : ANO - 1x po každé 1,5 hod.	<u>Čištění</u>	
	Mokrě : NE	
	Suché : NE	
<u>Postřik - separace</u>		
Druh : Dycotte 39 ESS, Dycotte 36	<u>Tepelné zpracování - proc. J/</u>	
Druh : Dycotte 34,1/3 Aqua.+2/3 Kok.	Tepelný režim : 525 ± 5°C - - - - 175 ± 5°C	
Doba obnovy : 1 x za směnu	Doba vsázky : 4-6 h - voda 20-40°C - 6-8 h	
Poznámky : Zjemnění zrna (Dursalit KFT 30) 1x po každých 50min. -100% nutné !! Modifikace materiálu po cca 50 min !!!		

Vypracoval:

	PRACOVNÍ KARTA	odlitek : S 85 525
--	---------------------------	---------------------------

Kupující KNORR HEJNICE	Název : Federdeckel	Materiál 424331.71
<u>Lití</u>		<u>Cídění</u>
Druh kokily : MECHANIZOVANÁ	Řezání : ANO	
Počet vtoků : 1	Otryskání : NE	
Počet jader : 2	Broušení brus. pásem : ANO	
Počet otisků : 2	Broušení ručním strojkem : ANO	
Teplota kokily : 320°C - 350°C	Pilování : NE	
Teplota kovu : 705°C - 715°C	Ruční frézování : NE	
Doba lití : 2s	Vysekávání : NE	
Doba tuhnutí : 1,5min	Prostřih : NE	
<u>Ošetření kovu</u>	Vrtání : NE	
	Soustružení : NE	
Rafinace : ANO	<u>Čištění</u>	
Odplynění : NE		
Modifikace : ANO		
Zušlechtění : NE		
Zjemnění zrna : ANO	Mokrý : NE	
<u>Postřik - separace</u>	Suché : NE	
Druh : Cilollin Al 223, Aquanet	<u>Tepelné zpracování</u>	
Druh : Dycotte 34 ESS	Tepelný režim : 525 ± 5°C - - - - - 175 ± 5°C	
Doba obnovy : 2x za směnu	Doba vsázky : 4 - 6h -voda 20 - 40°C - 6 - 8h	

Poznámky :

- 1) Vtok a nálitky řezat volně se stopou cca 2 - 2,5 mm - na pásové pile
- 2) Cídit stopu po nálitku a vtoku do tvaru - na pásové brusce
- 3) Cídit případné zatekliny v dělicí rovině - ruční strojek

BENEŠ a LÁT	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	odběratel: Knorr-AB Hejnice	odlítek:	S 85 525
operace: lití	výrobní středisko: slévárna Al	název výrobku: Federdeckel	listů: 1	list: 1
materiál: 424331.71	surová hmotnost: 0,32 kg	hrubá hmotnost: 0,15 kg	čas / kus: min	kusů / směna: 350 ks
úkon č.	POPIS PRÁCE			nářadí , přípravky , zařízení , poznámka
1	Očištění kokily od postřiku drátěným kartáčem	kleště		
2	Ohřátí kokily dvěma plynovými hořáky na teplotu odparu vody postřiku	ruční pánev		
3	Provedení postřiku vtok a nálitky - výmaz Steiger Woho + Dycotte 34 ESS	drátěný kartáč		
	celý tvar - Cillolin Al 223 a přerosit Aquanet			
4	Hydraulické vysunutí spodních jader			
5	Hydraulické zbavení kokily nečistot stlačeným vzduchem			
6	Hydraulické uzavření kokily			
7	Lití materiálu středem vtoku do úplného naplnění nálitky			
8	Chladnutí materiálu			
9	Hydraulické otevření kokily			
10	Hydraulické zasunutí spodních jader			
11	Vyjmutí odlitku kleštěmi za vtok			
12	Samokontrola/ z hlediska slévacenských vad/ a uložení odlitku na vozík			
	párové lití			
vypracoval dne: 18.9.03 VAT		schválil dne:		převzal dne:

	PRACOVNÍ KARTA	odlitek : S 91 505
---	---------------------------	---------------------------

Kupující Knorr - Hejnice	Název : Těleso	Materiál 424331.71
<u>Lití - proces G/</u>		<u>Cídění - proces I/</u>
Druh kokily : Mechanizovaná	Řezání : ANO	
Počet vtoků : 1	Otryskání : NE	
Počet jader : 4	Broušení brus. pásem : ANO	
Počet otisků : 1	Broušení ručním strojkem : ANO	
Teplota kokily : 310 - 330°C	Pilování : NE	
Teplota kovu : 710 - 730°C	Ruční frézování : NE	
Doba lití : 13s - 17s	Vysekávání : NE	
Doba tuhnutí : 315s - 330s	Prostřih : NE	
<u>Ošetření kovu - proces F/</u>		Vrtání : NE
		Soustružení : NE
Rafinace : ANO		
Odplynění : NE		
Modifikace : ANO	<u>Čištění</u>	
Zušlechťení : NE		
Zjemnění zrna : NE		
<u>Postřik - separace</u>		Mokrě : NE
		Suché : NE
Druh : Cilollin 223 a Aquanet	<u>Tepelné zpracování - proc. J/</u>	
Druh : Dycotte 34 ESS	Tepelný režim : 525 ± 5°C - - - - - 175 ± 5°C	
Doba obnovy : Dle potřeby	Doba vsázky : 4 - 6h -voda 20 - 40°C - 6 - 8h	

Poznámky :

- 1) Řezat vtok a nálitek.
- 2) Cídit stopu po vtoku do tvaru (pás. bruska).
- 3) Cídit stopu po nálitku od otřepů (pás. bruska).
- 4) Cídit zatekliny v dělicí rovině (ruční strojek).

Dolít bočního nálitku

BENEŠ a LÁT	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	odběratel: KNORR - Hejnice	odlítek:	S 91 505
operace: liti		výrobní středisko: slévárna Al	název výrobku: Těleso	listů: 1 list: 1
materiál: 424331.71	surová hmotnost: 3,50 kg	hrubá hmotnost: 1,64 kg	čas / kus: min	kusů / směna: 70 ks
úkon č.	POPIS PRÁCE			nářadí , přípravky , zařízení , poznámka
1	Očištění kokily od postřiku drátěným kartáčem	kleště		
2	Ohřátí kokily dvěma plynovými hořáky na teplotu odparu vody postřiku	rosenka		
3	Provedení postřiku : tvary v polovinách a trny - Cilollin 223 a Aquanet ,	ruční pánev		
	vtoková soustava - Dycote 34 EES , spodní jádron1,5 cm od R 1 Dycote 34 EES	drátěný kartáč		
4	Hydraulické vysunutí spodního jádra a vložení sítka	sítko 45mmx30mm		
5	Vyfouknutí kokily stlačeným vzduchem a hydraulické uzavření polovin			
6	Vložení bočního jádra			
7	Lití ruční pánví středem vtoku do úplného naplnění + dolití bočního nálitku			
8	Chladnutí taveniny			
9	Odpáčení bočního jádra			
10	Hydraulické otevření polovin			
11	Hydraulické vysunutí spodního jádra			
12	Vyjmutí odlitku kleštěmi za vtok			
13	Samokontrola / z hlediska slévacích vad / a uložení odlitku na vozík			
	Dolití bočního nálitku			
	párové lití			
vypracoval dne: 25. 02. 04 VAT		schválil dne: 25.02. 04		převzal dne: 25.02. 04

B a L Management jakosti	Odváděcí lístek	QMF-09-04₁
------------------------------------	------------------------	------------------------------

Materiál: AC 42100	Č. Výkresu: 03087026	Index: d	Datum liti: 6.11.03
Slévač: BELKA	Zákazník: HYDAC	Číslo pece: 44	
Číslo listku: 41 I. rauba	Poznámka: uvažovat ušlechty	č. zakázky: 23111080	

Operace:	A	B	C	D	Provedl:	Datum:
Liti:	21	X	X	X	Belka	X
Řezání / vrtání:	X				Finální	20.11
Cidění:	X				Hyd	
Kontrola:	21				Bel	25.11
Tepelné zpracování:	21					25.11
Kooperace:						

- 7. ún. 72 13.11. ve 12:30 (zkontrol.)

Legenda: A - dobré kusy B - k opravě

C - neshodné kusy

D - rozdíl

- 7. ún. 72 17.11. ve 20:00 (provoz.)

- 7. ún. 72 24.11. ve 12:30

B a L Management jakosti	Odváděcí lístek	QMF-09-04₁
------------------------------------	------------------------	------------------------------

Materiál: AC 42100	Č. Výkresu: 03087026	Index: d	Datum liti: 6.11.03
Slévač: BELKA	Zákazník: HYDAC	Číslo pece: 44	
Číslo listku: 41 I. rauba	Poznámka: uvažovat ušlechty	č. zakázky: 23111080	

Operace:	A	B	C	D	Provedl:	Datum:
Liti:	21	X	X	X	Belka	X
Řezání / vrtání:	X				Finální	20.11
Cidění:	X				Hyd	20.11
Kontrola:	21				Bel	25.11
Tepelné zpracování:	21					25.11
Kooperace:						

- 7. ún. 72 13.11. ve 12:30 (zkontrol.)

Legenda: A - dobré kusy B - k opravě

C - neshodné kusy

D - rozdíl

- 7. ún. 72 17.11. ve 20:00 (provoz.)

- 7. ún. 72 24.11. ve 12:30

BaL Management jakosti	Odváděcí listek	QMF-09-04₁
----------------------------------	------------------------	------------------------------

Materiál: <i>AL 42100</i>	Č. Výkresu: <i>03087026</i>	Index: <i>d</i>	Datum liti: <i>5.11.03</i>
Slévač: <i>RANGLOV</i>	Zákazník: <i>H4DAC</i>	Číslo pece: <i>44</i>	
Číslo listu: <i>41</i>	Poznámka: <i>Vzorky jsou dobré označeny, nepřezkoušet</i>	Č. zakázky: <i>23111080</i>	

Operace:	A	B	C	D	Provedl:	Datum:
Liti:	<i>42</i>	X	X	X		X
Řezání / vrtání:	X				<i>Kyabiniš</i>	<i>6.11</i>
Cidění:	X				<i>Kyabiniš</i>	<i>7.11</i>
Kontrola:	<i>42</i>				<i>Kyabiniš</i>	<i>12.11</i>
Tepelné zpracování:	<i>42</i>				<i>Kyabiniš</i>	<i>12.11</i>
Kooperace:						

- 14. 11. 03 10:11. ve 12:30
 Legenda: A - dobré kusy B - k opravě C - neshodné kusy D - rozdíl ±
 14. 11. 03 10:11. ve 12:00 - 14. 11. 03 11:11. ve 12:30

B a L Management jakosti	Odváděcí lístek	QMF-09-04₁
------------------------------------	------------------------	------------------------------

Materiál: 31	Č.Výkresu: S 85525	Index: 00	Datum lití: 5.11.03
Slévač: HENDRYCH	Zákazník: KONS. SKLAD	Číslo pece: 32	
Číslo listku: 21/a	Poznámka: VZORKY sm označeny barevně; nevyhazovat uhlíky	č. zakázky: 23111029	

Operace:	A	B	C	D	Provedl:	Datum:
Lití:	42	X	X	X	PTG (2) / B. K.	X
Řezání / vrtání:	X				B. K.	6.11.
Cidění:	X				duš: b, k, km, l.	ci:
Kontrola:	42				B. K.	12.11.
Teplné zpracování:	42					12.11.
Kooperace:						

Legenda:

A – dobré kusy

B – k opravě

C – neshodné kusy

D – rozdíl ±

- 14 kusů 10.11. ve 12:30

- 14 kusů 10.11. ve 20:00

- 14 kusů 11.11. ve 12

BaL Management jakosti	Odváděcí lístek	QMF-09-04₁
----------------------------------	------------------------	------------------------------

Materiál: 31	Č.Výkresu: S 85525	Index: 00	Datum lití: 6.11.03
Slévač: HENDRYCH	Zákazník: KONS. SKLAD	Číslo pece: 32	
Číslo listku: 18/a	Poznámka: VZORKY označeny barevně; nevyhazovat uhlíky prostoř	č. zakázky: 23111029	

Operace:	A	B	C	D	Provedl:	Datum:
Lití:	42	X	X	X	PTG / B. K.	X
Řezání / vrtání:	X				B. K.	8.11.
Cidění:	X				B. K.	10.11.
Kontrola:	42				B. K.	25.11.
Teplné zpracování:	42					26.11.
Kooperace:						

Legenda:

A – dobré kusy

B – k opravě

C – neshodné kusy

D – rozdíl ±

- 14 kusů 13.11. ve 12:30 (2 kusy)

- 14 kusů 17.11. ve 20:00 (prostořové)

- 14 kusů 27.11. ve 12:30

BaL Management jakosti	Odváděcí lístek	QMF-09-04 ₁
----------------------------------	------------------------	------------------------

Materiál: 31	Č. Výkresu: S 91 505	Index: E	Datum liti: 11.11.2003
Slévač: DONAT	Zákazník: KONS. SKLAD	Číslo pece: 21	
Číslo listku: 6/1	Poznámka: všechny barevné označení nevyhazovat prosím ušlechť		Č. zakázky: 23111131

Operace:	A	B	C	D	Provedl:	Datum:
Liti:	28	X	X	X		X
Řezání / vrtání:	X				<i>Provedl</i>	12.11
Cidění:	X				<i>rozíl Jurek</i>	12.11
Kontrola:	28				<i>Provedl</i>	25.11
Tepelné zpracování:	13				2	25.11
Kooperace:						

Legenda:

-14.11.12 15.11. ve 20:00
A - dobré kusy B - k opravě
-14.11.12 13.11. ve 12:30

C - neshodné kusy

D - rozdíl ±

BaL Management jakosti	Odváděcí lístek	QMF-09-04 ₁
----------------------------------	------------------------	------------------------

Materiál: 31	Č. Výkresu: S 91 505	Index: E	Datum liti: 12.11.2003
Slévač: DONAT	Zákazník: KONS. SKLAD	Číslo pece: 21	
Číslo listku: 6/1	Poznámka: všechny barevné označení prosím nevyhazovat ušlechť		Č. zakázky: 23111131

Operace:	A	B	C	D	Provedl:	Datum:
Liti:	56	X	X	X	<i>Provedl</i>	X
Řezání / vrtání:	X				<i>Kan</i>	
Cidění:	X					
Kontrola:	56				<i>Provedl</i>	13.11
Tepelné zpracování:	56				<i>Provedl</i>	17.11
Kooperace:						

-14.11.12 17.11. ve 20:00
A - dobré kusy

-14.11.12 24.11. ve 12:30
B - k opravě

C - neshodné kusy

D - rozdíl ±

(28)

PRACOVNÍ POSTUP PRO MĚŘENÍ TVRDOMĚR M

TYP: WPM c.c. 855 - 4703

(dle ČMFE 02-50)

1. Zapnout přívod el. proudu do přístroje hlavním vypínačem.
2. Položit měřený kus na stolek přístroje tak, aby byl stabilní a otáčením ručního kolečka jej přiblížit ke konusovému krytu uložení kuličky na dotek kuličky.
3. Přepnout páčku přístroje do polohy „Belasten 10 kg vorlast“
4. Po automatickém přepnutí páčky do polohy „0“ přepnout páčku přístroje do polohy „Entlasten“
5. Po automatickém přepnutí páčky do polohy „0“ odlehčit stolek a vyjmout odlitek.
6. Pomocí průměrné lupy odečíst průměr vtisku
7. Odečíst v přiložené porovnávací tabulce dle zjištěného průměru vtisku , tvrdost ve stupních HB.
8. Zapsat naměřenou hodnotu tvrdosti do sešitu s datumem měření a označením odlitku.
9. Vypnout přístroj hlavním vypínačem.

Porovnávací tabulka Ø vtisku – tvrdost HB

Ø (mm) -- HB	Ø (mm) -- HB	Ø (mm) -- HB	Ø (mm) -- HB
3,00 -- 138	3,50 -- 101	4,00 -- 76,3	4,50 -- 59,5
3,05 -- 134	3,55 -- 97,7	4,05 -- 74,3	4,55 -- 58,1
3,10 -- 129	3,60 -- 95	4,10 -- 72,4	4,60 -- 56,8
3,15 -- 125	3,65 -- 92,3	4,15 -- 70,6	4,65 -- 55,5
3,20 -- 121	3,70 -- 89,7	4,20 -- 68,8	4,70 -- 54,3
3,25 -- 117	3,75 -- 87,2	4,25 -- 67,1	4,75 -- 53,0
3,30 -- 114	3,80 -- 84,9	4,30 -- 65,5	4,80 -- 51,9
3,35 -- 110	3,85 -- 82,6	4,35 -- 63,9	4,85 -- 50,7
3,40 -- 107	3,90 -- 80,4	4,40 -- 62,4	4,90 -- 49,6
3,45 -- 104	3,95 -- 78,3	4,45 -- 60,9	4,95 -- 48,6

03087026

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (515°C)[HB]
2	54,3	0,25	87,2
1	55,5	0,258	82,6
1	56,8	0,262	87,2
1	56,8	0,27	87,2
1	58,1	0,28	89,7
2	56,8	0,283	89,7
2	56,8	0,285	89,7
1	59,5	0,295	89,7
2	58,1	0,299	92,3
2	58,1	0,303	95
2	59,5	0,308	95
1	59,5	0,31	89,7
2	59,5	0,32	95
1	60,9	0,333	92,3

S85525

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (515°C)[HB]
3	62,4	0,295	87,2
1	56,8	0,297	87,2
2	58,1	0,314	89,7
6	60,9	0,318	87,2
5	63,9	0,319	92,3
4	59,5	0,329	89,7
4	59,5	0,34	95
1	59,5	0,36	89,7
6	60,9	0,36	89,7
3	63,9	0,36	92,3
7	65,5	0,362	89,7
7	65,5	0,37	92,3
5	63,9	0,37	95
2	59,5	0,4	95

S91505

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	tvrdost po TZ (515°C)[HB]	obsah Mg [%]
2	51,9	82,6	0,21
2	51,9	87,2	0,21
3	51,9	82,6	0,23
3	53	84,9	0,24
4	53	84,9	0,24
1	55,5	87,2	0,24
1	55,5	89,7	0,24
3	54,3	87,2	0,25
4	55,5	87,2	0,25
1	55,5	92,3	0,25
1	56,8	92,3	0,25
2	56,8	92,3	0,25
3	55,5	92,3	0,27
4	59,5	92,3	0,28

03087026

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (525°C)[HB]
1	54,3	0,26	92,3
2	54,3	0,268	95
1	55,5	0,271	92,3
1	56,8	0,273	95
1	56,8	0,279	95
1	56,8	0,28	97,7
2	56,8	0,29	95
2	56,8	0,291	95
1	56,8	0,292	97,7
2	56,8	0,299	97,7
2	56,8	0,3	97,7
1	58,1	0,3	101
2	58,1	0,305	97,7
2	58,1	0,34	97,7

S85525

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (525°C)[HB]
1	56,8	0,288	95
1	56,8	0,291	97,7
4	59,5	0,302	95
5	62,4	0,304	95
4	60,9	0,313	95
5	62,4	0,313	95
3	60,9	0,316	95
7	60,9	0,316	97,7
2	63,9	0,322	97,7
6	65,5	0,324	97,7
2	63,9	0,325	101
7	65,5	0,329	97,7
6	65,5	0,342	101
3	60,9	0,348	101

S91505

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	tvrdost po TZ (525°C)[HB]	obsah Mg [%]
6	53	87,2	0,26
6	53	89,7	0,27
6	53	89,7	0,28
6	54,3	89,7	0,28
6	54,3	89,7	0,28
5	53	87,2	0,3
5	54,3	89,7	0,3
6	55,5	92,3	0,3
5	54,3	89,7	0,31
5	55,5	89,7	0,31
5	56,8	92,3	0,32
5	56,8	92,3	0,32
5	56,8	92,3	0,33
6	56,8	92,3	0,34

03087026

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (535°C)[HB]
2	54,3	0,25	92,3
1	55,5	0,267	95
1	56,8	0,272	97,7
2	55,5	0,278	95
1	58,1	0,287	101
2	56,8	0,29	97,7
2	58,1	0,306	101
1	59,5	0,31	101
2	59,5	0,31	101
1	59,5	0,314	101
2	59,5	0,32	104
1	59,5	0,324	104
2	62,4	0,343	107
1	60,9	0,349	104

S85525

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (535°C)[HB]
1	56,8	0,23	97,7
5	60,9	0,23	101
4	58,1	0,24	97,7
3	59,5	0,24	101
2	59,5	0,24	104
5	60,9	0,24	104
6	62,4	0,24	104
1	56,8	0,25	104
3	59,5	0,25	107
7	60,9	0,26	104
2	59,5	0,26	107
7	63,9	0,27	104
6	62,4	0,27	107
4	59,5	0,29	104

S91505

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	tvrdost po TZ (535°C)[HB]	obsah Mg [%]
1	51,9	84,9	0,21
2	54,3	84,9	0,22
2	54,3	84,9	0,22
2	56,8	84,9	0,22
1	56,8	84,9	0,23
3	53	87,2	0,24
2	56,8	87,2	0,24
4	54,3	89,7	0,25
3	54,3	87,2	0,26
3	55,5	89,7	0,26
4	55,5	92,3	0,26
4	56,8	92,3	0,28
3	55,5	95	0,29
4	56,8	95	0,32

03087026

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (6 hodin)[HB]
3	54,3	0,25	80,4
4	54,3	0,253	84,9
3	55	0,255	84,9
3	56,8	0,261	87,2
3	58,1	0,264	87,2
3	58,1	0,266	89,7
4	56,8	0,267	84,9
4	56,8	0,268	87,2
3	58,1	0,27	89,7
4	58,1	0,27	89,7
4	58,1	0,274	89,7
4	58,1	0,277	89,7
3	59,5	0,28	89,7
4	59,5	0,282	95

S85525

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (6 hodin)[HB]
11	60,9	0,251	89,7
10	59,5	0,279	89,7
11	60,9	0,28	92,3
12	59,5	0,282	89,7
12	62,4	0,29	92,3
13	60,9	0,315	89,7
8	59,5	0,32	87,2
10	59,5	0,32	92,3
9	60,9	0,328	92,3
8	60,9	0,34	92,3
14	60,9	0,345	92,3
9	62,4	0,36	92,3
14	60,9	0,38	92,3
13	60,9	0,4	95

S91505

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	tvrdost po TZ (6hodin)[HB]	obsah Mg [%]
6	51,9	84,9	0,25
6	51,9	84,9	0,25
6	53	87,2	0,26
5	51,9	84,9	0,28
6	54,3	89,7	0,28
5	51,9	84,9	0,29
6	53	89,7	0,29
6	54,3	89,7	0,29
5	53	87,2	0,3
5	54,3	87,2	0,3
6	55,5	92,3	0,3
5	54,3	89,7	0,31
5	55,5	89,7	0,31
5	55,5	89,7	0,32

03087026

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (8 hodin)[HB]
3	58,1	0,255	89,7
3	58,1	0,265	89,7
3	59,5	0,27	95
4	58,1	0,272	92,3
4	59,5	0,279	92,3
4	59,5	0,28	95
4	59,5	0,284	95
3	59,5	0,29	95
4	59,5	0,29	95
3	60,9	0,292	97,7
3	60,9	0,295	97,7
4	60,9	0,3	95
3	62,4	0,343	101
4	60,9	0,36	104

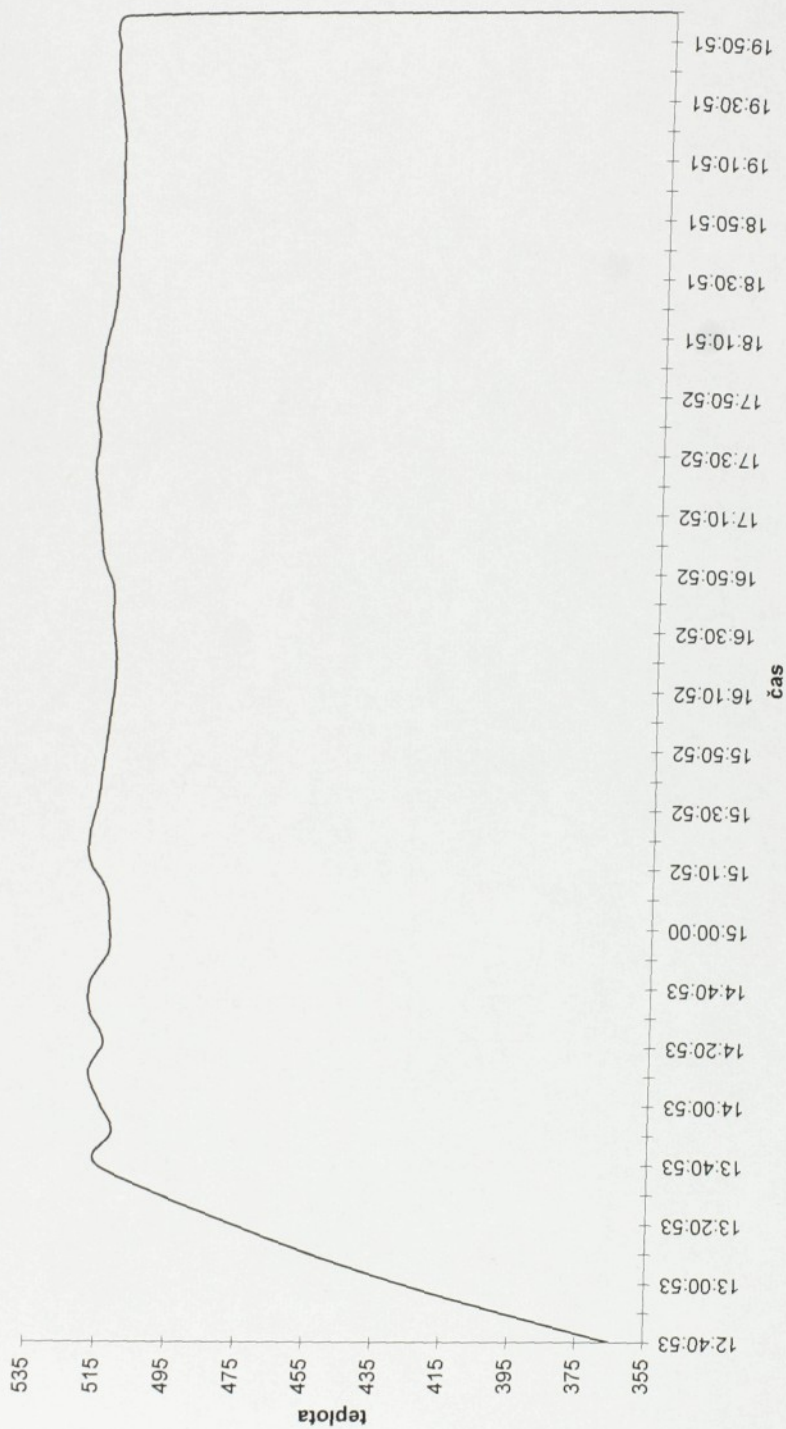
S85525

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	obsah Mg [%]	tvrdost po TZ (8 hodin)[HB]
11	59,5	0,263	92,3
11	60,9	0,265	95
10	59,5	0,27	95
10	59,5	0,271	97,7
12	62,4	0,282	95
9	59,5	0,303	95
12	62,4	0,312	97,7
13	60,9	0,324	97,7
14	59,5	0,326	104
9	62,4	0,327	97,7
14	59,5	0,329	104
8	59,5	0,33	97,7
8	62,4	0,33	97,7
13	62,4	0,338	101

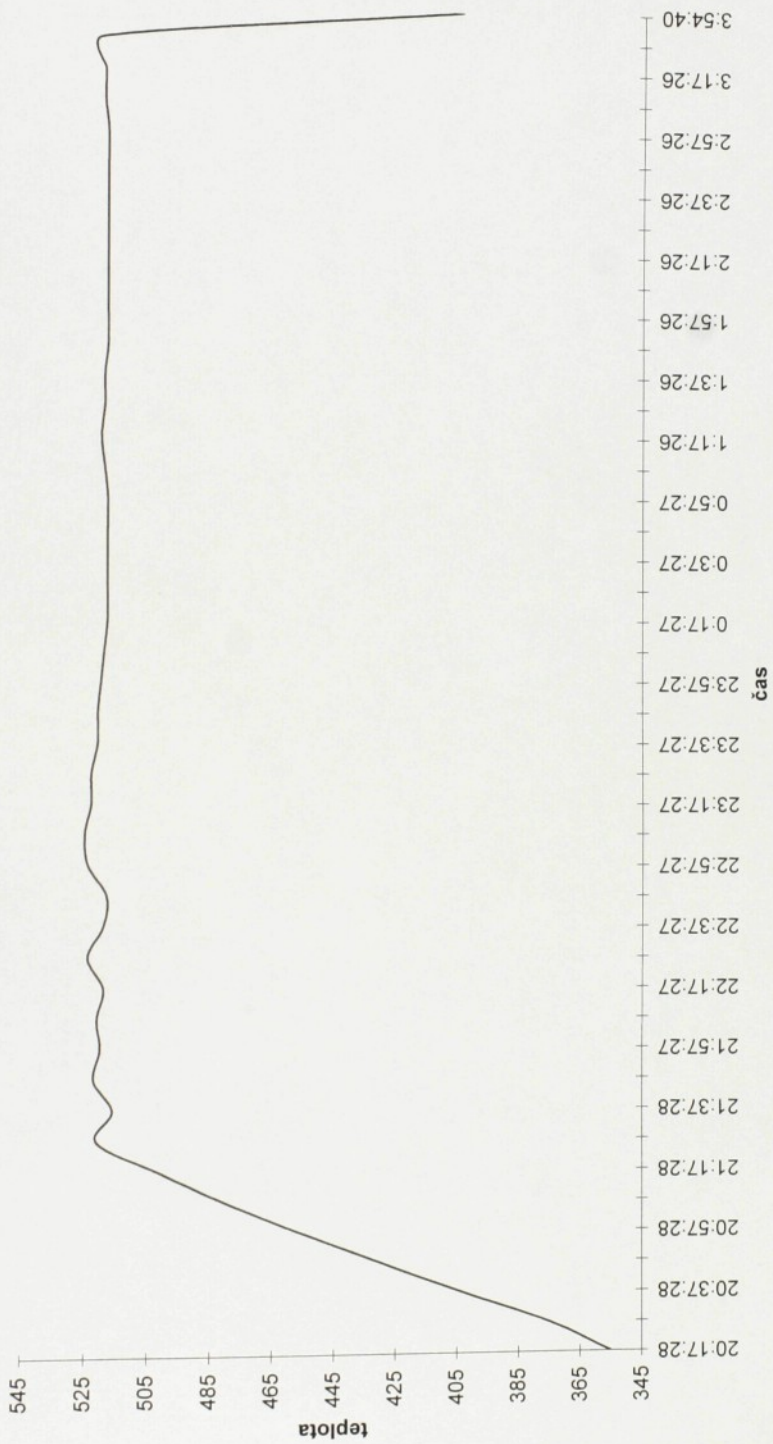
S91505

č.tavby	tvrdost před TZ [HB]	tvrdost po TZ (8 hodin)[HB]	obsah Mg [%]
1	51,9	82,6	0,21
1	53	84,9	0,22
1	54,3	84,9	0,22
2	53	89,7	0,22
1	54,3	89,7	0,23
2	54,3	92,3	0,23
3	51,9	87,2	0,24
3	53	89,7	0,24
3	53	89,7	0,24
4	53	92,3	0,24
2	54,3	92,3	0,24
2	56,8	95	0,25
4	55,5	95	0,26
4	55,5	95	0,26

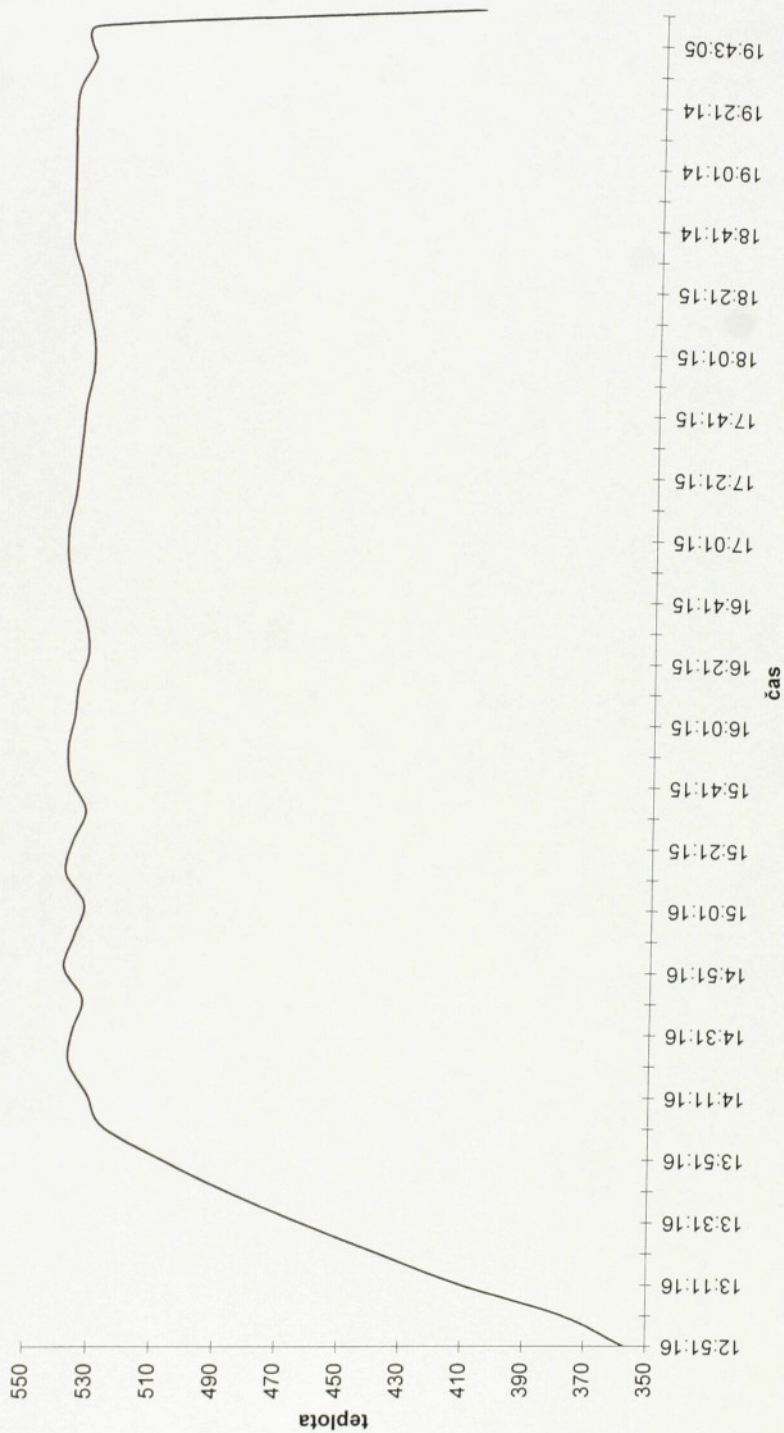
Průběh teploty během procesu homogenizace (515°C, 7 hodin - 03087026, S85525)



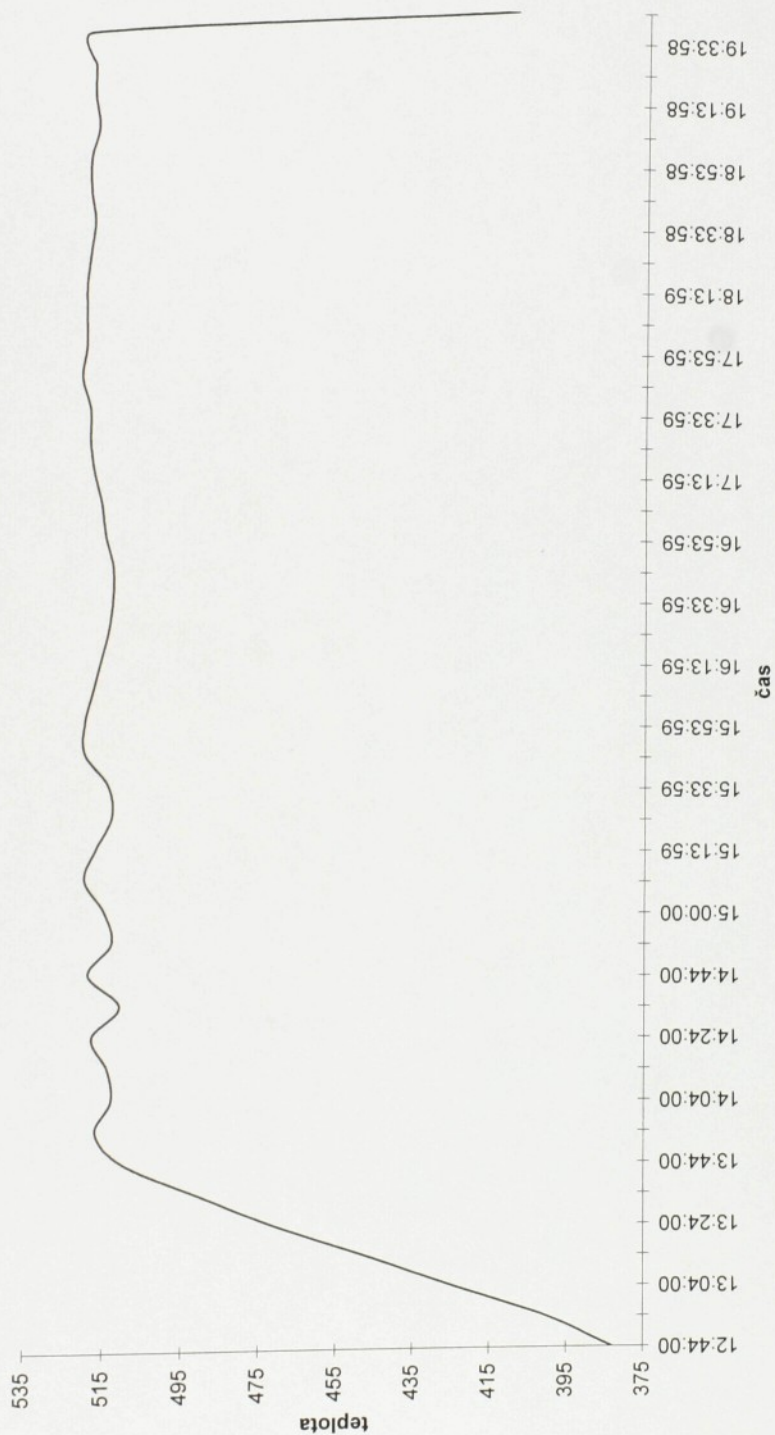
Průběh teploty během procesu homogenizace (525°C, 7 hodin - 03087026, S85525)



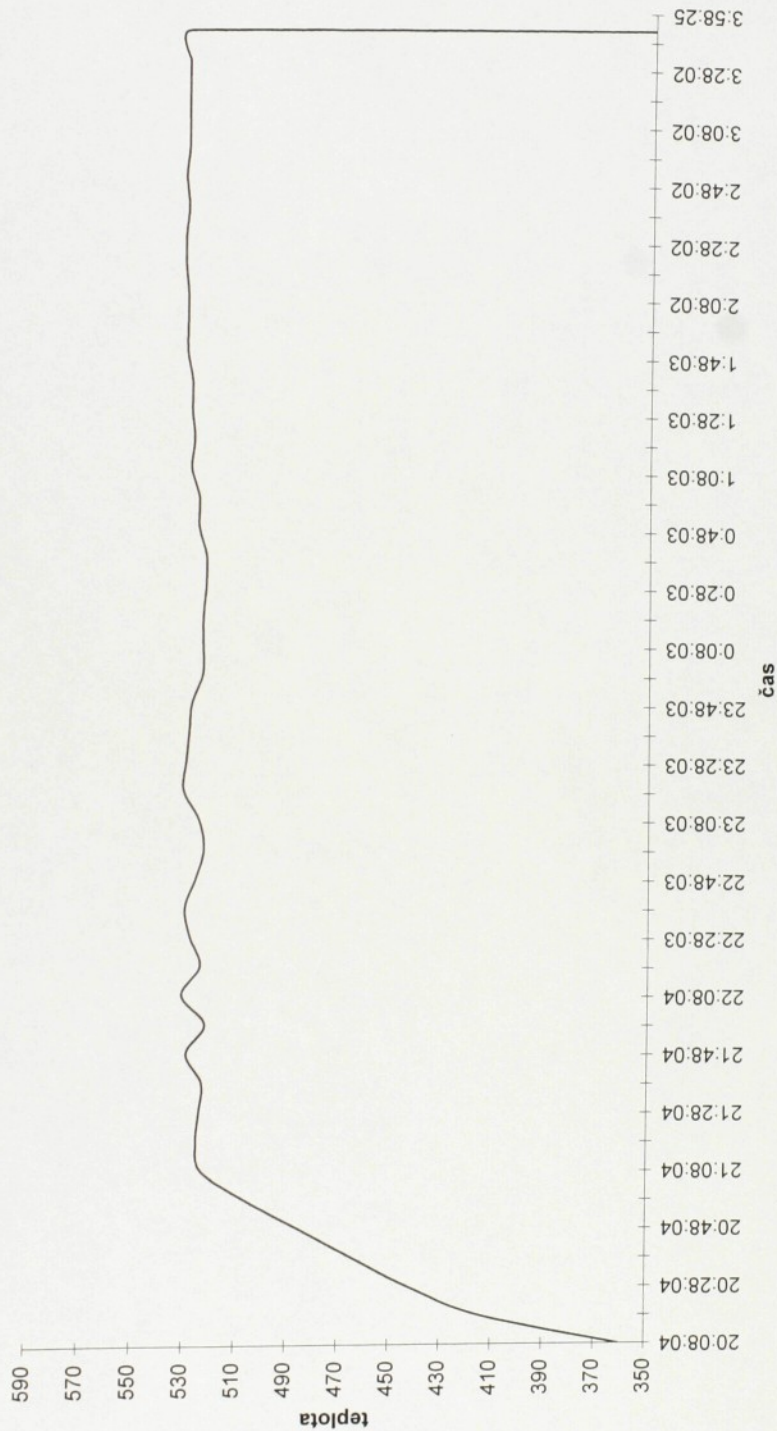
Průběh teploty během procesu homogenizace (535°C, 7 hodin - 03087026, S85525)



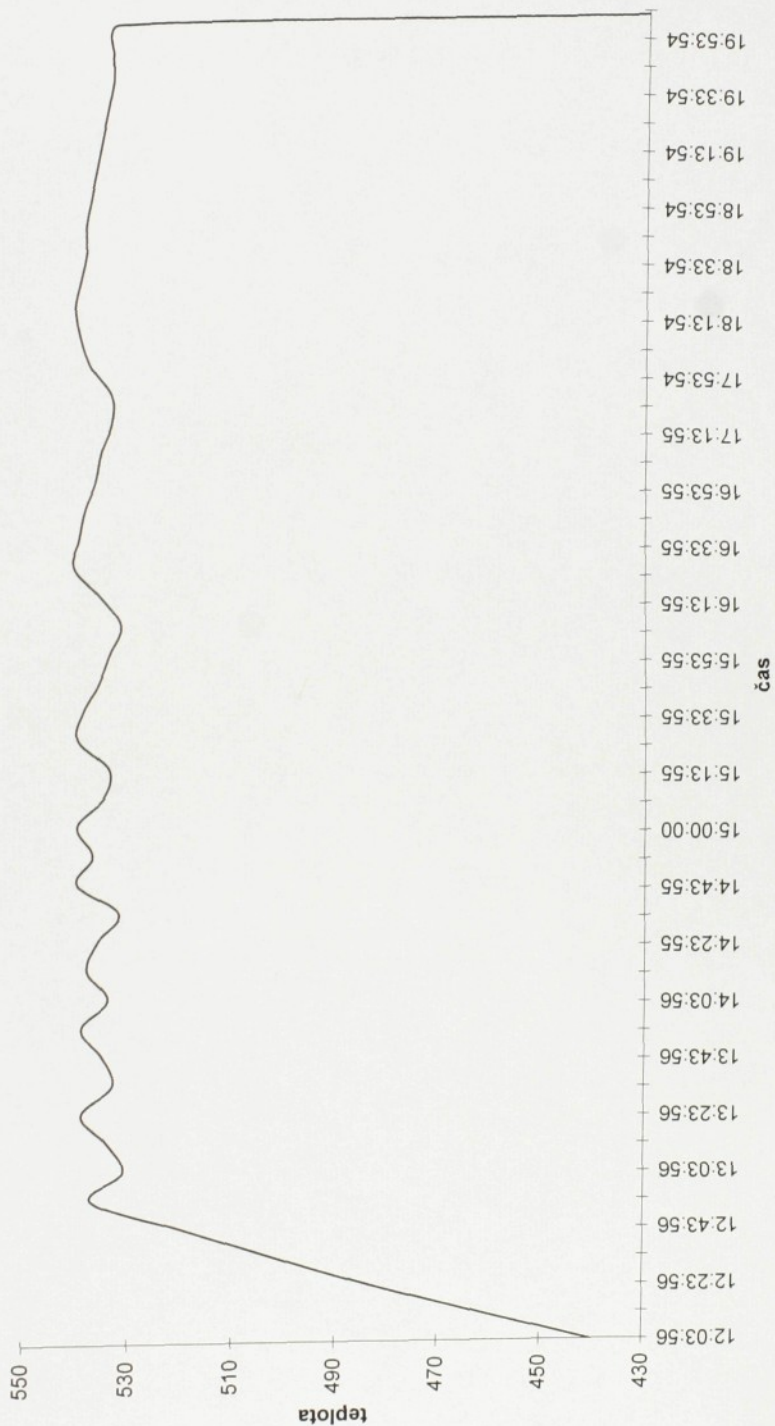
Průběh teploty během procesu homogenizace (515°C, 7 hodin - S91505)



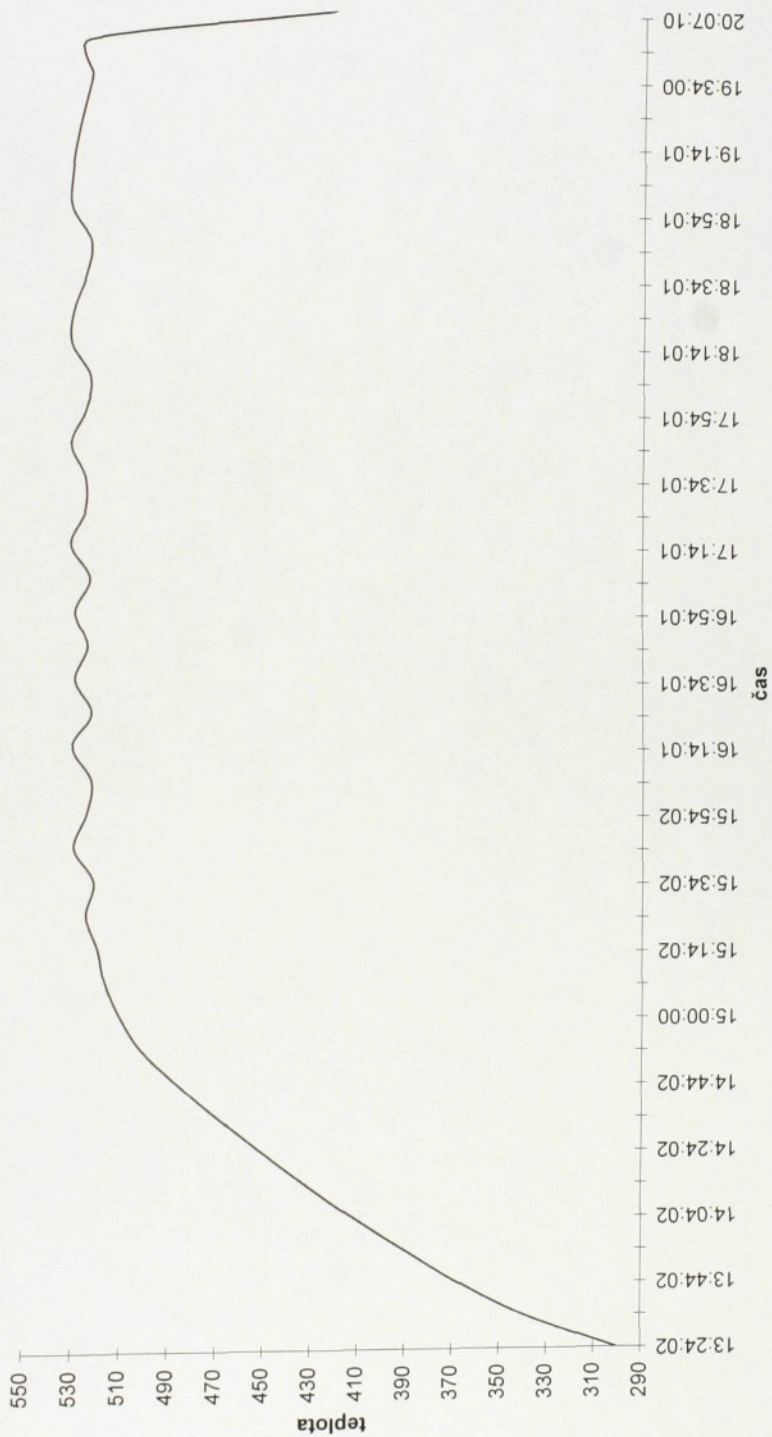
Průběh teploty během procesu homogenizace (525°C, 7 hodin - S91505)



Průběh teploty během procesu homogenizace (535°C, 7 hodin - S91505)



Průběh teploty během procesu homogenizace (525°C, 6 hodin - 03087026, S85525, S91505)



Průběh teploty během procesu homogenizace (525°C, 8 hodin - 03087026, S85525, S91505)

