

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

STRUKTURA A VLASTNOSTI TLAKOVĚ LITÝCH ODLITKŮ Z HOŘČÍKOVÉ SLITINY AZ91

STRUCTURE AND PROPERTIES OF DIE-CAST AZ91 MAGNESIUM ALLOY
CASTINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JOSEF RŮŽIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL DOLEŽAL, PH.D.

BRNO 2009

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocení vlivu licích parametrů tlakově litých odlitků z hořčíkové slitiny AZ91 z hlediska dosažení optimálních mechanických vlastností, struktury a výskytu slévárenských vad.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the evaluation of the impact parameters of casting pressure casting of cast magnesium alloy AZ91 in achieving optimum mechanical properties, structure and occurrence of casting defects.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Hořčíkové slitiny AZ91, tlakové lití, struktura, mechanické vlastnosti, poretita

KEYWORDS:

Magnesium alloys AZ91, die casting, mechanical properties, gas bubble

RŮŽIČKA, J. *Vliv licích podmínek na strukturu a mechanické vlastnosti slitiny AZ 91*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 19 s.
Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Pavel Doležal, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma, “Struktura a vlastnosti vybraných hořčíkových slitin na odlitky“, vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem úplně a správně citoval. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FSI VUT v Brně.

V Brně 29.5.2009

Josef Růžička

Poděkování

Děkuji tímto zaměstnancům Ústavu materiálových věd a inženýrství, Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, jmenovitě mému vedoucímu Ing. Pavlovi Doležalovi Ph.D za cenné připomínky a rady při vypracování této bakalářské práce, celé mojí rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED PROBLEMATIKY	2
2.1 Hořčíkové slitiny	2
2.1.1 Slévárenské slitiny hořčíku	2
2.1.2 Slitiny hořčíku pro tváření	5
2.1.3 Technologie výroby	6
2.1.4 Značení Mg slitin dle ASTM a EN	8
3. CÍLE PRÁCE	10
4. EXPERIMENTÁLNÍ MATERIÁL	11
5. POUŽITÉ EXPERIMENTÁLNÍ METODY	13
5.1 Statická zkouška tahem	13
5.2 Zkouška lámavosti	13
5.3 Metalografické hodnocení	14
6. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ	15
6.1 Výsledky ze zkoušky tahem	15
6.2 Výsledky ze zkoušky lámavosti	15
6.3 Výsledky metalografického hodnocení	16
7. ZÁVĚRY	18
8. POUŽITÁ LITERATURA	19

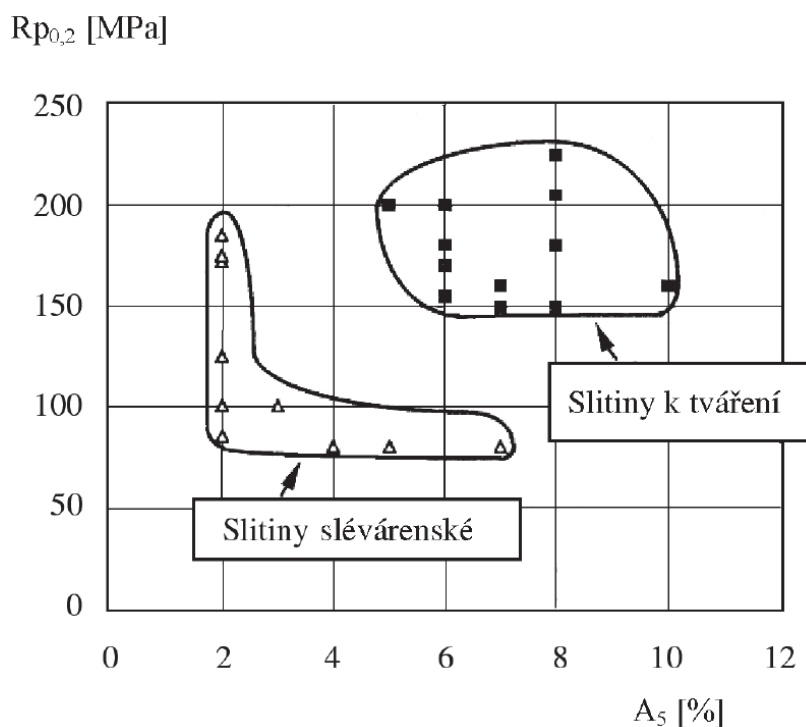
1. ÚVOD

Slitiny hořčíku mají nízkou měrnou hmotnost (1700 až 1900 kg/m³) a podobné mechanické vlastnosti jako slitiny hliníku. Jejich specifické mechanické charakteristiky jsou z tohoto pohledu výhodnější. Významnou výhodou slitin hořčíku je schopnost silné absorpce mechanických kmitů a tlumení vibrací všech frekvencí. Z tohoto důvodu se začínají nové slitiny hořčíku používat jako nejlehčí konstrukční kov v automobilovém, leteckém a železničním průmyslu. Podstatnou roli na tomto rozmachu hraje i vývoj nových a efektivnějších metod zpracování jako je metoda Squeeze casting nebo ECAP (equal channel angular pressing). Slitiny hořčíku jsou dobře slévateľné, mají nízkou teplotu tání, což zlepšuje některé další slévářenské vlastnosti. Při vhodné volbě legur se eliminuje výskyt slévářenských vad, jako jsou mikrostaženiny nebo praskliny za tepla.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED PROBLEMATIKY

2.1 Hořčíkové slitiny

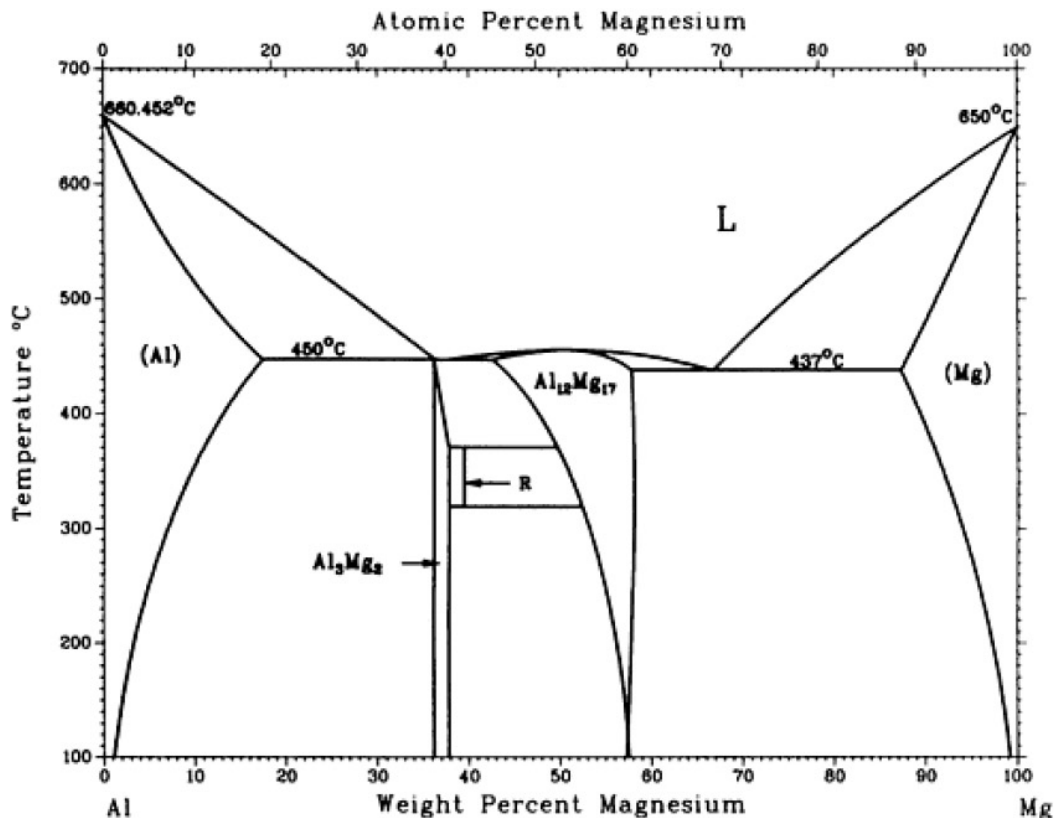
V současnosti v době světové ekonomické krize se více než jindy dostává do popředí úspora energie za současného zvýšení výkonu. Což způsobuje nutnost vyvinutí nových technologií a lehčích konstrukčních materiálů. V minulosti se nejvíce využívaly slitiny na bázi hliníku, ale v období první a druhé světové války se začaly využívat slitiny na bázi hořčíku. Největší podíl na vývoji a využívání v tehdejší době měl vývoj vojenské techniky a nukleárních zařízení [1,2]. Dnes je hořčík ve formě slitin s legujícími prvky nejlehčím průmyslově využívaným konstrukčním materiálem. Díky jeho výjimečným vlastnostem jako jsou vysoká specifická pevnost (tj. poměr mezi pevností a hmotností), schopnost tlumit vibrace a hlavně nízká hustota, je hojně využíván v automobilovém, leteckém a železničním průmyslu [3]. Nevýhodami hořčíkových slitin je jejich špatná odolnost vůči korozi, nízký elastický modul, vysoká pórovitost a omezená pevnost. Podle vžitých zvyklostí rozdělujeme slitiny hořčíku na slitiny slévárenské a slitiny pro tvářeni. Pro obtížnost tvářeni slitin hořčíku, se více používají slitiny hořčíku na odlitky. Mezi chemickým složením slitin pro tvářeni a pro odlitky není podstatný rozdíl [13].



Obr. 1. Porovnání nejvýznamnějších mechanických vlastností, mezí kluzu a tažnosti slévárenských slitin Mg a slitin pro tvářeni [13].

2.1.1 Slévárenské slitiny hořčíku

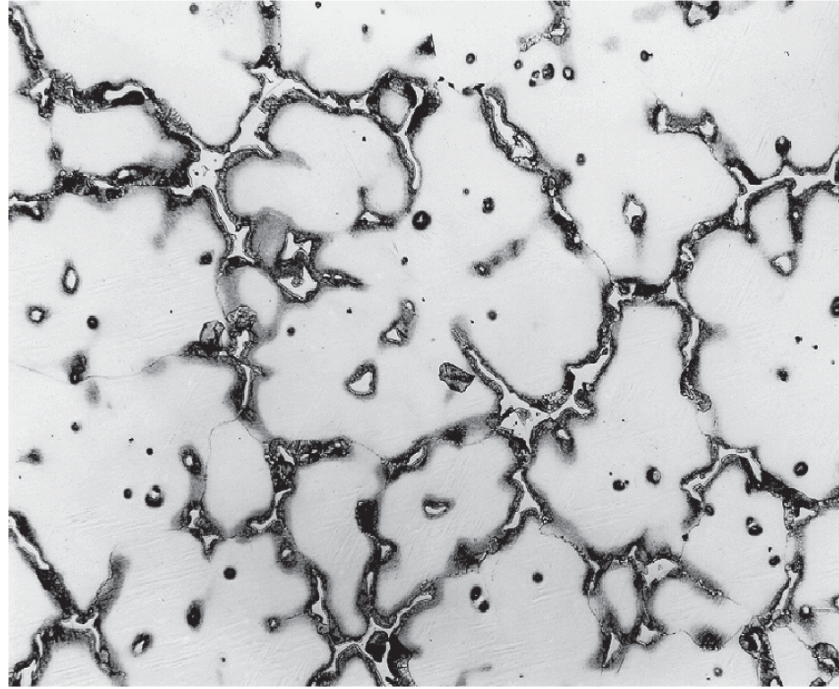
Základem slévárenských slitin hořčíku jsou binární slitiny rozšířené o další legury za účelem zlepšení technologických vlastností, mechanických vlastností nebo zvýšení odolnosti proti korozi. Takové základní systémy jsou Mg-Al, Mg-Mn a Mg-Zn, popř. Mg-Li. Další doplňkové kovy jsou Th, Zr, Si, Ag, Ti a kovy vzácných zemin (La, Ce, Nd, Pr, Sc, Gd, Y). Specifickým slévárenským problémem je vysoká hořlavost hořčíkových slitin v roztaveném stavu. Tavenina musí být chráněna vhodnou struskou nebo atmosférou, která se vyvíjí při hoření sirného květu na hladině taveniny. Plynné atmosféry jsou v současné době většinou směsí vzduchu, oxidu uhličitého a hexafluoridu síry [6].



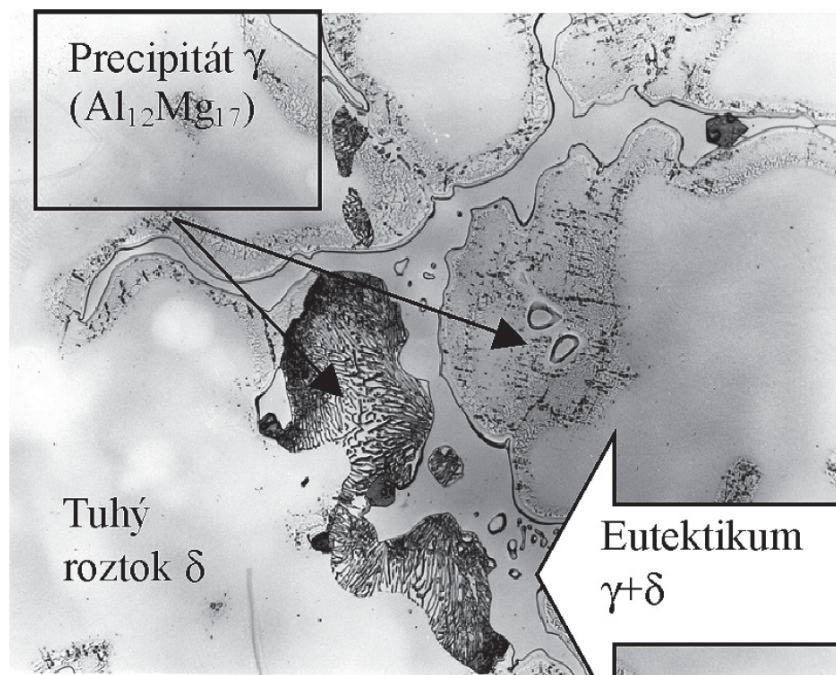
Obr. 2. Rovnovážný diagram Mg- Al [9].

Slitiny hořčíku s hliníkem

Slitiny typu Mg-Al-(Zn, Mn) jsou nejrozšířenější slitiny pro slévárenské účely. Mohou obsahovat ještě další legury (Zr, Th, Ag a Ce). Jsou nejstarší skupinou slévárenských slitin hořčíku. Jejich užité vlastnosti jsou dány existencí relativně široké oblasti tuhého roztoku δ v rovnovážném diagramu Mg-Al a možností změnit chemické složení přidáním dalších prvků. Nejrozšířenější z těchto slitin (s komerčním názvem elektron) jsou slitiny s obsahem 7 až 10 % Al. Slitiny s vyšším obsahem hliníku než 7 % jsou vytvrditelné, dochází k tvorbě diskontinuálního precipitátu fáze $Mg_{17}Al_{12}$ a bývají doplněny malým množstvím zinku a manganu. Slitiny jsou tvořeny tuhým roztokem δ , případně eutektikem ($\gamma+\delta$). Tepelné zpracování je založeno na precipitačním vytvrzování za tvorby precipitátu fáze γ ($Mg_{17}Al_{12}$) nebo se slitiny žihají rozpouštěcím žiháním. Licí struktura je uvedena na obr. 3.a,b [8]. Krystalizace vyplývá z rovnovážného diagramu uvedeného na obr. 2. Na rozpustnost hliníku v tuhém roztoku δ a na polohu eutektického bodu má vliv modifikace, rychlost ochlazování a tlak při lití [6]. Tyto parametry lze v širokých mezích ovlivňovat použitou slévárenskou technologií a je možno jich využít pro výrobu odlitků různých vlastností; např. slitina $MgAl_6Mn$ vykazuje velmi dobré mechanické vlastnosti ($R_m = 190$ až 230 MPa, $A_5 = 5$ až 8 %) a odlévají se z ní gravitačním litím do pískových forem i tlakovým litím do kokilů a disků kol pro automobily. Zinek ve slitinách Mg-Al se převážně rozpouští v hořčíku a rovněž se stává složkou precipitující fáze. Při určitém koncentračním poměru s hliníkem $Zn/Al = 1/3$ vzniká ve slitině Mg-Al-Zn intermetalická fáze T ($Mg_3Al_2Zn_3$) [5].



Obr. 3.a Struktura odlitku ze slitiny AZ 91 (100x) [5].



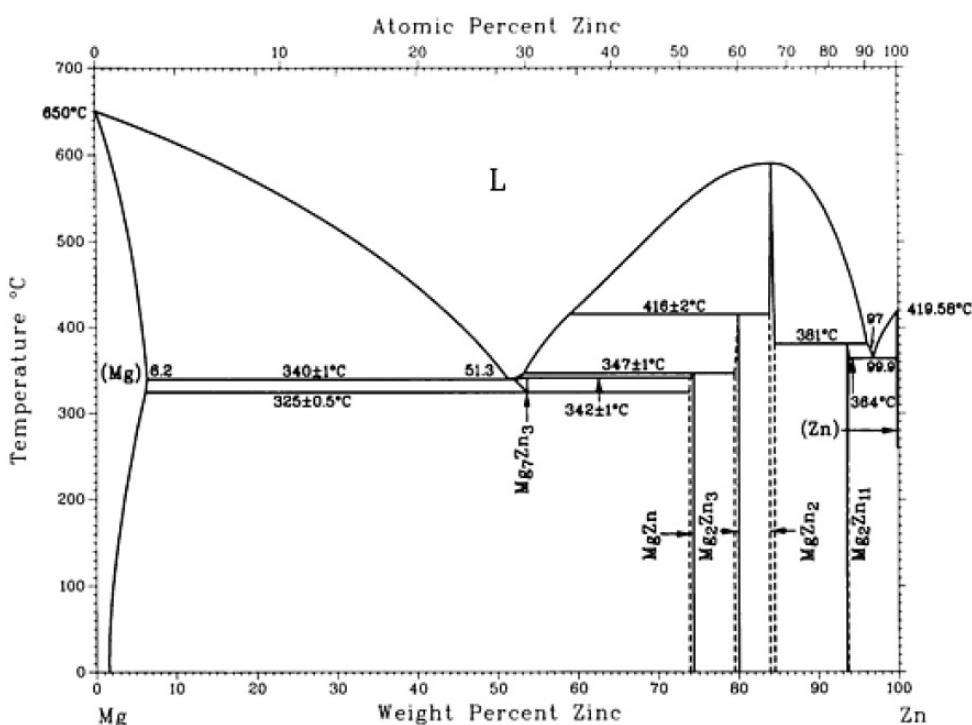
Obr. 3.b Detail z obr. 3a (400x) [5].

Slitiny hořčíku s manganem

U binárních slitin Mg-Mn dochází k výrazné změně rozpustnosti s teplotou. Pod křivkou solvu dochází k precipitaci fáze β , která je bohatá na mangan. Obsah manganu ve slitinách Mg-Mn bývá obvykle 1 až 2 %. Slitiny hořčíku s manganem mají zhoršené slévarenské vlastnosti (nižší zabíhavost, vyšší smrštivost). Jsou však svařitelné a mají vyšší odolnost proti korozi. Relativně nízké mechanické vlastnosti jsou způsobeny tendencí těchto slitin tvořit hrubé zrna v průběhu krystalizace. Zjemnění lze dosáhnout malými přídávky křemíku.

Slitiny hořčíku se zinkem

Hořčíkové slitiny se zinkem se z hlediska strukturních složek podobají slitinám s hliníkem. Obsah zinku ve slévárenských slitinách bývá v rozsahu 0,3 až 5 %. V binárním diagramu (obr. 5) je patrná změna rozpustnosti s teplotou. Pod křivkou solidu se vylučují precipitáty fáze β (Mg_7Zn_3). Slitiny se zpracovávají žháním precipitačním vytvrzováním, tj. rozpouštěcím žháním 380 °C/10 h s ochlazením ve vodě. Stárnutí se buď vynechává (vzniká pouze přesycený tuhý roztok), nebo se výjimečně zařazuje stárnutí umělé. Technické slitiny hořčíku se zinkem obsahují také mangan (z důvodu zvýšení odolnosti proti korozi) nebo zirkon, popř. ještě kovy vzácných zemin (RE). Tyto přísady výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti a zvětšují oblast použitelnosti slitin zejména k vyšším teplotám (minimálně do teploty 300 °C). Slitiny se zinkem, zirkonem a kovy vzácných zemin mají např. creepové vlastnosti lepší než žárovevné slitiny hliníku, a to při nižší měrné hmotnosti. Obsah zirkonu je volen ve všech případech 0,4 až 1 %. Jeho vliv spočívá ve výrazném zjemnění struktury, a tím ovlivnění pevnostních charakteristik [7].



Obr. 5. Rovnovázný diagram Mg-Zn [9].

2.1.2 Slitiny hořčíku pro tváření

Slitiny hořčíku krystalizují v hexagonální, těsně uspořádané soustavě a vykazují za normální teploty pouze jeden skluzový systém. Tvárnost těchto materiálů se zlepšuje nad teplotou 220 °C, kdy vstupují do funkce další skluzové systémy a kdy se projevují rekrytalizační procesy. Plastická deformace by měla být podle typu slitiny volena tak, aby teplota tváření ležela nad teplotou solidu. Nejčastějšími technologiemi tváření je protlačování profilů, válcování plechů, popř. volné nebo záпустkové kování. Tvářecí teploty tedy leží v intervalech: kování 200 až 300 °C, protlačování 300 až 400 °C a válcování 400 až 500 °C.

Slitiny můžeme podle legujících prvků rozdělit na:

- slitiny hořčíku s hliníkem a zinkem
- slitiny hořčíku s manganem
- slitiny hořčíku se zinkem a zirkonem.

Pro tvářené slitiny se nepoužívají jako legury kovy vzácných zemin. Slitiny tvoří výrazné textury a s nimi spojenou anizotropii mechanických vlastností. Deformační zpevnění lze u slitin hořčíku využít pouze v omezeném rozsahu. Slitiny s hliníkem mají obvykle přísadu zinku (do 1,5 %) a některé ještě přísadu manganu (zvyšuje odolnost proti korozi). Slitiny s manganem mají nízké mechanické vlastnosti, dobrou korozní odolnost a jsou výrobně i zpracovatelsky jednoduché. Mají dobrou tvárnost i svařitelnost. Vyrábějí se z nich výlisky a válcují plechy. Slitiny se zinkem a zirkonem mají vhodnou kombinaci legur. Zinek zvyšuje mechanické vlastnosti, zirkon zjemňuje zrna. Nejvyšší mechanické vlastnosti mají slitiny po precipitačním vytvrzení [13].

2.1.3 Technologie výroby

Přesto, že se slitiny Mg používají poměrně dlouhou dobu, technologie výroby se ještě stále vyvíjejí a zdokonalují. V postupech lití je největší překážkou homogenita struktury a spolehlivost lití. Hořčík je v roztaveném stavu velmi tekutý, dokonce více než hliník.

Způsob odlévání hořčíkových slitin lze rozdělit do tří základních metod. Mezi nejdříve využívanou metodu patří metoda lití do pískových a kovových forem (**die casting**) (obr.6.). U této metody nám nízká viskozita tekutého hořčíku a rychlost chladnutí, způsobuje pohlcování vzduchových bublin a tím i vznik množství ředin a staženin (pórovitosti). Abychom eliminovali vliv vzduchu, vznikla metoda gravitačního lití ve vakuu. Nesníží se však množství staženin. Další metodou je lití pod tlakem do kovové formy (**pressure die casting**) zobrazena na obr. 7., kdy je tuhnoucí tavenina ve formě pod tlakem. Poslední v současnosti nejpoužívanější metodou je (**squeeze casting**). Jedná se vlastně o lití pod tlakem do kovové formy, kde je ale tlak na taveninu aplikován dvoufázově. První tlak je obvykle 80 MPa po dobu 15s a následuje 140 MPa po dobu 90s. Kovová forma bývá předehřátá na teplotu 200° C a tavenina je vtačována při teplotě 700° C. Dávkovací systém přitom zůstává připevněn k formě a zajišťuje dodávání roztaveného kovu do formy. Postup technologie squeeze casting je na obr. 8. je v současnosti nejpoužívanější metodou zpracování slitin Mg [1, 2].

Výhody tlakového lití a lití metodou squeeze casting:

- vysoká produktivita
- výborná přesnost
- na rozdíl od pískové formy výborná kvalita povrchu
- jemná litá struktura

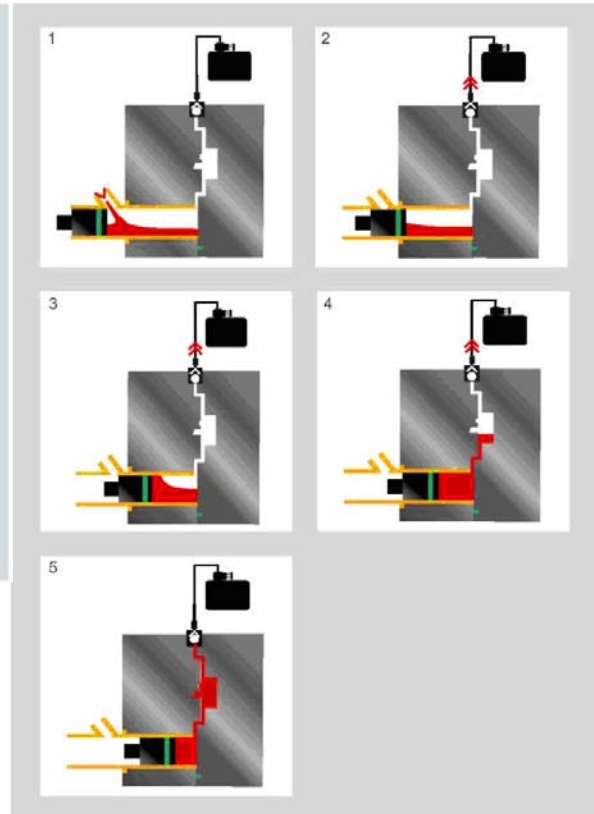
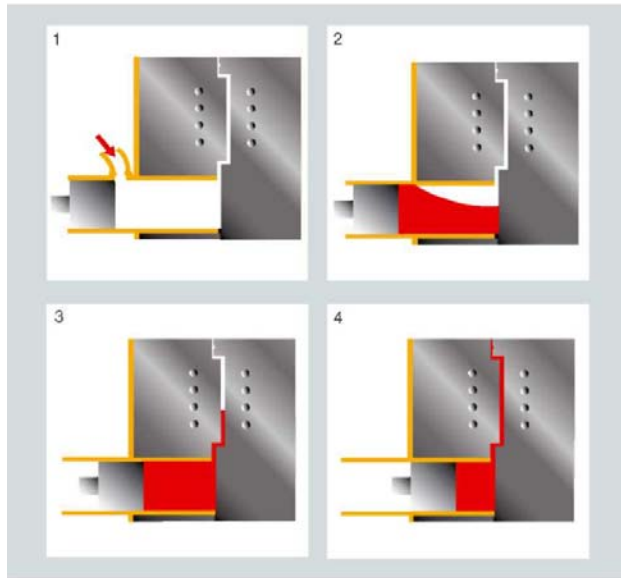
Nevýhody metody tlakového lití:

- zachycení plynných pórů
- rychlé ochlazování taveniny a tím vznik jemnozrné struktury se špatnými creepovými vlastnostmi

Postup tlakového lití

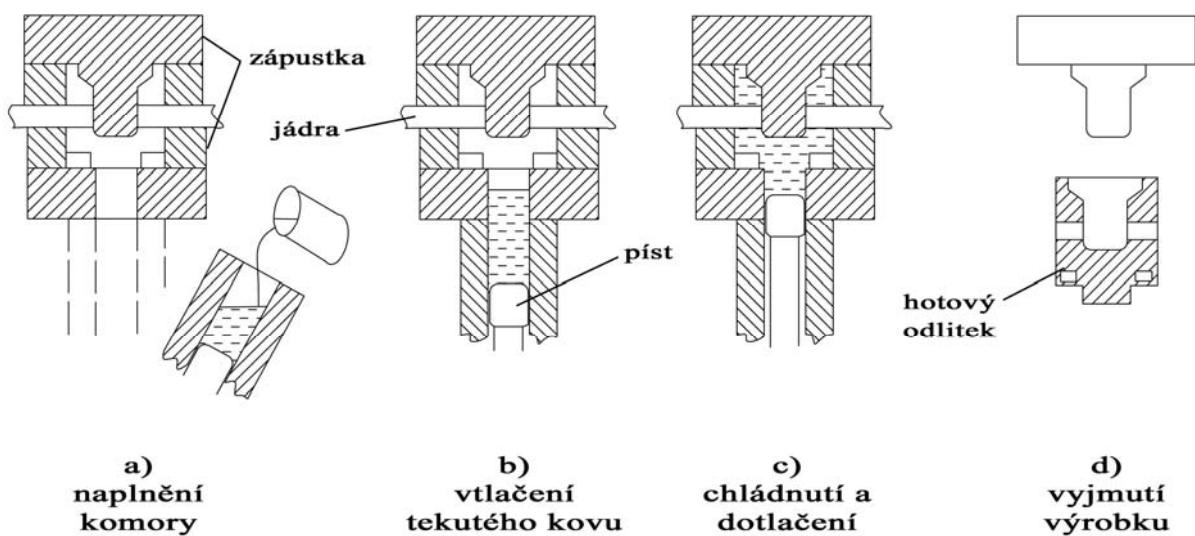
1. Naplnění komory tekutým kovem za atmosférického tlaku
2. Vytlačení kovu z komory
3. Začátek vtlačování do formy
4. Vyplnění celé formy

U lití pod tlakem ve vakuu je postup stejný jako předchozí jen s vytvořeným vakuem ve formě. Možné použít na členitější odlitky.



Obr. 6. Lití pod tlakem bez vakuu[13].

Obr. 7. Liti pod tlakem s vakuem [13].



Obr. 8. Princip metody squeeze casting [13].

2.1.4 Značení Mg slitin dle ASTM a EN

Značení dle ASTM

ASTM (American Society for Testing and Materials) je norma používaná hlavně na americkém kontinentu, ale v dnešní době globalizace se všechny normy plynule prolínají a používají souběžně. ASTM norma je mnohem více rozšířena než EN (European Norm). Vyšší frekvence používání je přímým důsledkem velkého objemu Mg slitin vyráběných na americkém kontinentu viz příklad [12].

Př.: **AZ 91 C – T6**

rozpuštěcí žíhání a umělé stárnutí
běžná čistota
dva legující prvky 9% Al, 1% Zn

Označení legujících prvků:

A ... Al
E ... kovy vzácných zemin
H ... Th
K ... Zr
M ... Mn
Q ... Ag
S ... Si
T ... Sn
Z ... Zn

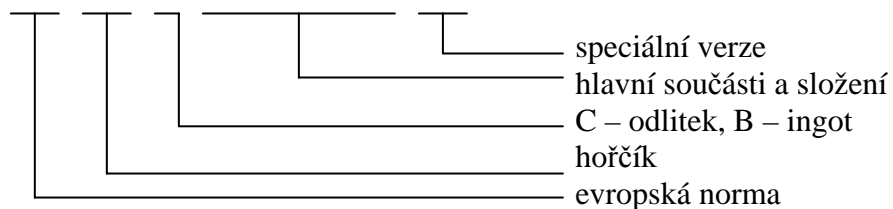
Označení stavů a tepelného zpracování:

F – podle výroby
O – žíhaný, rekrystalizovaný (u tvářených výrobků)
C – běžná čistota
D – vysoká čistota, lití pod tlakem,
E – lití do pískových forem s možností následujícího tepelného zpracování
H10 a H11 – slabě deformačně zpevněný
H23, H24 a H26 – deformačně zpevněný a částečně žíhaný
H3 – deformačně zpevněný a stabilizačně žíhaný,
T4 – rozpouštěcí žíhání
T5 – uměle stárnutý
T6 – rozpouštěcí žíhání a umělé stárnutí
T7 – rozpouštěcí žíhání a stabilizační žíhání
T8 – rozpouštěcí žíhání - deformace za studena – uměle stárnutí

Značení dle EN

EN (European Norm) je soubor norem vzniklých sloučením více původně státních norem. Mezi takovéto například patřily DIN, ČSN, atd. Stejně jako u většiny ostatních materiálů bylo označení Mg slitin pro EN normu odvozeno z původně německé DIN. viz příklad [12].

Př.: **EN M C MgAl9Zn1 (A)**



3. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je kvantitativní hodnocení vlivu licích podmínek na výslednou strukturu, mechanické vlastnosti a výskyt slévárenských vad u tlakově litých odlitků z hořčíkové slitiny AZ91.

Jednotlivé cíle práce:

- provedení a vyhodnocení statické zkoušky tahem,
- provedení a vyhodnocení statické zkoušky lámavosti,
- příprava vzorků pro světelnou mikroskopii a obrazovou analýzu,
- metalografické hodnocení odlitků,
- posouzení vlivu licích podmínek na výsledné vlastnosti odlitků.

4. EXPERIMENTÁLNÍ MATERIÁL

Jako experimentální materiál byly použity reálné odlitky ze slitiny AZ91 vyrobené metodou tlakového lití firmou Kovolit a.s. Brno-Modřice za různých podmínek lití (tab. 1). Pro porovnání dosažených vlastností byly navíc dodány dva vzorky z Německa a jeden z Izraele. Analýza chemického složení slitiny byla provedena, u výchozího materiálu (housky) a odlitku 720V, na spektrometru s doutnavým výbojem Spectrumat GDS 750 viz tab. 2.

Tab. 1. Lící podmínky odlitků

Označení tavby	Označení odlitku	Teplota taveniny [°C]	Teplota temp. Oleje [°C]	čas tuhnutí [s]	Vakuum	Modifikace
760N	760N1	760	200	5	ne	ne
	760N2					
725N	725N1	725	200	5	ne	ano
	725N2					
720V	720V1	720	200	5	ano	ne
	720V2					
700V	700V1	700	200	5	ano	ne
620N	620N1	620	200	5	ne	ano
	620N2					

Tab. 2. Chemické složení vzorků [hmot. %]

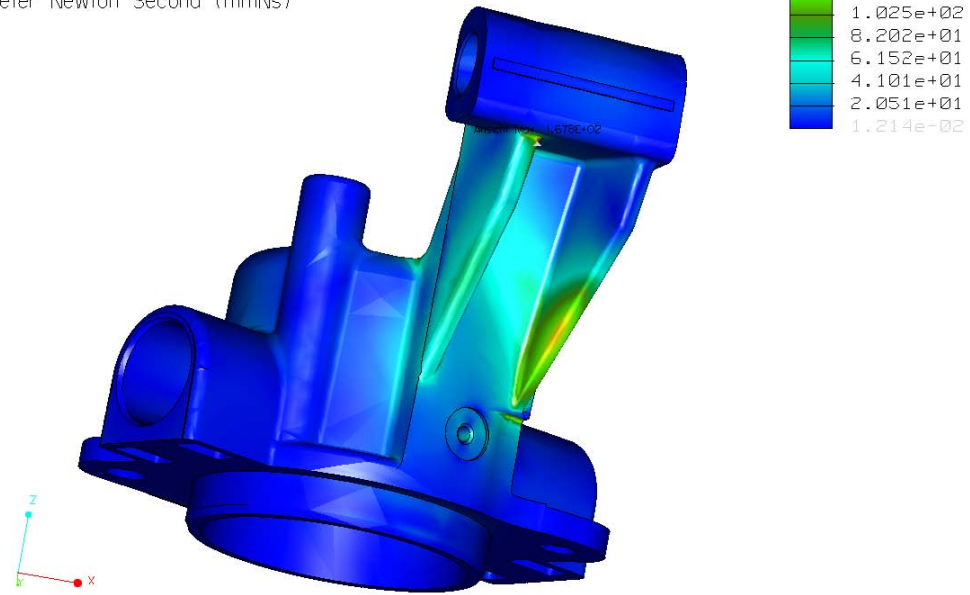
Vzorek	Al	Zn	Cu	Mn	Si	Fe	Ni	Sn	Pb	Zr	Be
Houska	8,9	0,68	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
720 V	8,4	0,66	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000

Jednotlivé odlitky byly tvořeny vtokovou soustavou a dvěma protilehlými kusy výrobku. V místě žebra části odlitku, jak je vyznačeno na obr. 9., byl odebrán vzorek pro hodnocení mechanických vlastností pomocí zkoušky tahem. Další část odlitku s protikusem byla dále využita pro hodnocení vlastností dle výpočtového modelu koncentrace napětí (obr 10.).



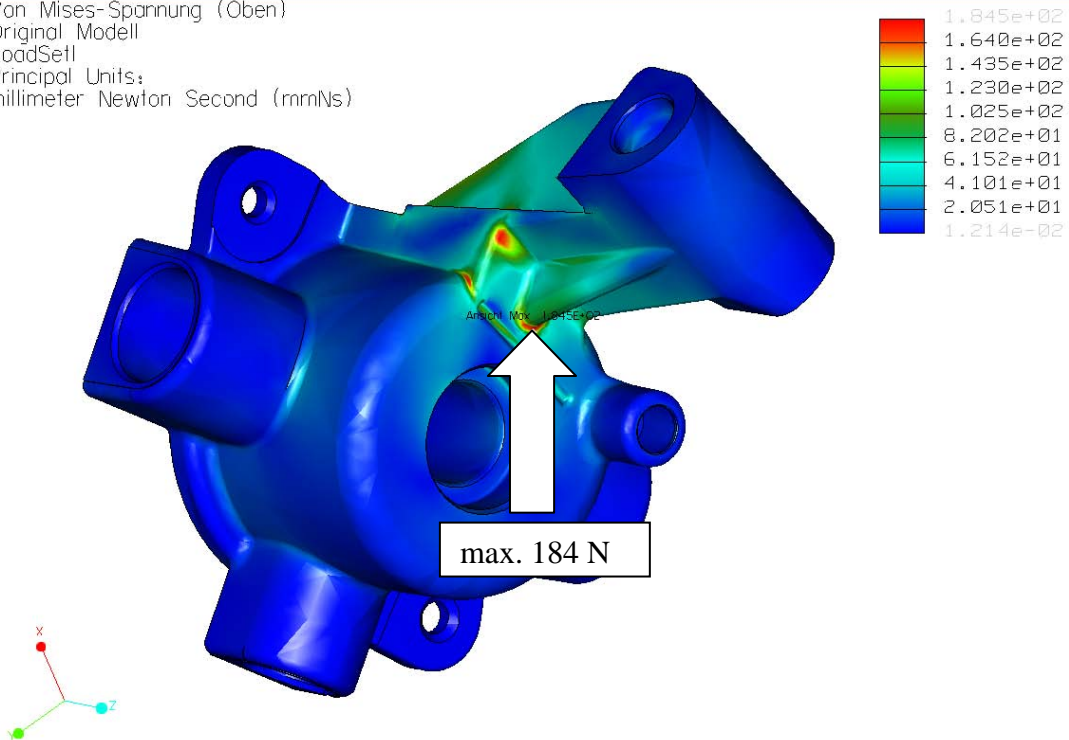
Obr. 9. Vzhled odlitku s návrhem hodnocení mechanických vlastností

Von Mises-Spannung (Oben)
Original Modell
LoadSet1
Principal Units:
millimeter Newton Second (mmNs)



Schaldeckel KOVOLIT mit neuer Geometrie 08/2004

Von Mises-Spannung (Oben)
Original Modell
LoadSet1
Principal Units:
millimeter Newton Second (mmNs)



Schaldeckel KOVOLIT mit neuer Geometrie 08/2004

Obr. 10. Modelový výpočet koncentrace napětí v odlitku s místem kritického napětí

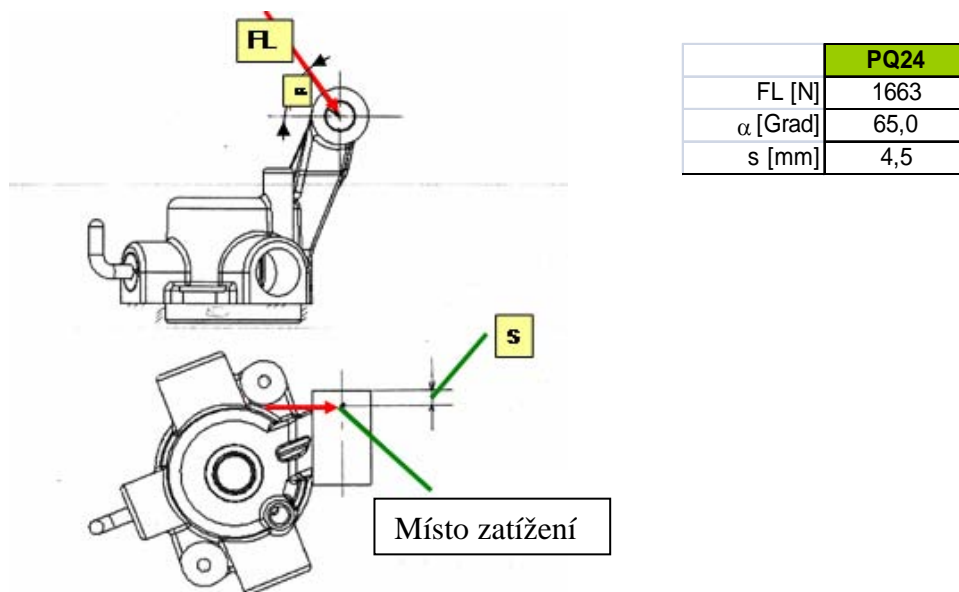
5. POUŽITÉ EXPERIMENTÁLNÍ METODY

5.1 Statická zkouška tahem

Pro porovnání základních mechanických vlastností byla navržena zkouška tahem, která byla provedena na vzorcích z jedné části odlitku. Měření bylo provedeno na stroji Zwick Z 2020.

5.2 Zkouška lámavosti

Hodnocení předepsaného zatížení odlitku dle schéma (obr. 11.), byl navrhnout a použit přípravek, umožňující provedení zkoušky s využitím zařízení pro zkoušku tahem TIRA test 2300 (obr. 12).



Obr. 11. Schéma zatížení odlitku při zkoušce lámavosti



Obr. 12. Vzhled přípravku a umístění odlitku při zkoušce lámavosti

5.3 Metalografické hodnocení

Vzorky pro metalografické hodnocení byly odebrány z místa porušení odlitku, tj. v oblasti žebra. Metalografické vzorky byly připraveny běžným způsobem, tj. broušením za mokra, leštěním diamantovými pastami a následně chemicko-mechanicky pomocí suspenze OP-U.

6. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

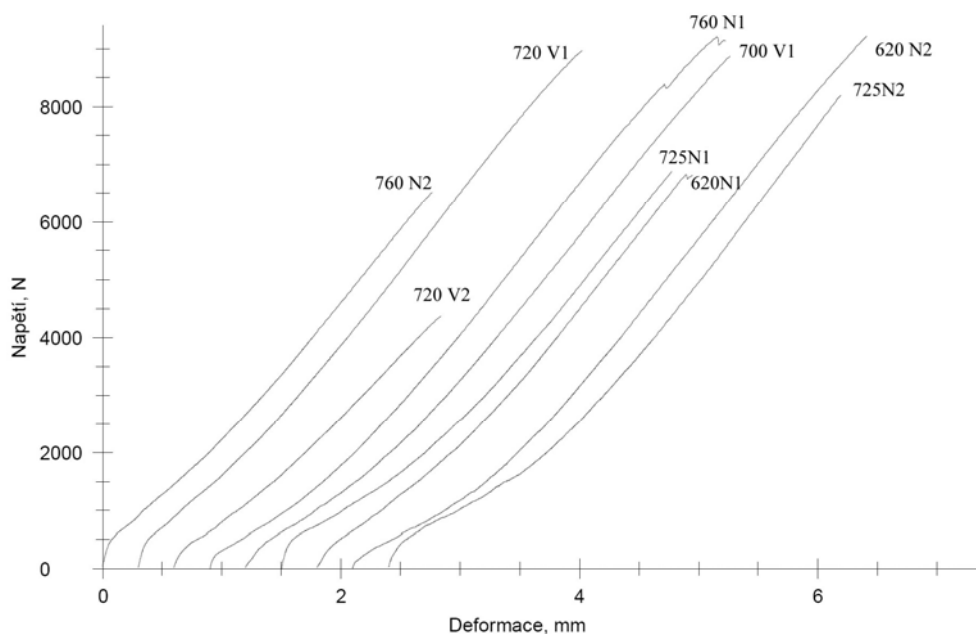
K hodnocení mechanických vlastností bylo využito 9-ti odlitků z Kovolitu Modřice, dvou odlitků z Německa a jednoho z Izraele. Pro zkoušku tahem bylo použito 9 vzorků vyrobených v Kovolitu Modřice. Pro zkoušku lámavosti byly navíc použity ještě vzorky z Německa a Izraele.

6.1 Výsledky ze zkoušky tahem

Z výsledků ze zkoušky tahem viz tab. 3. a obr. 13. je patrné, že podmínky tlakového lití nemají vliv na mechanické vlastnosti materiálu. Největší vliv u těchto vzorků mělo přítomnost slévárenských vad, které působí jako koncentrátoři napětí a tím snižují mez pevnosti R_m a mez kluzu $R_{p0,2}$.

Tab. 3. Výsledky zkoušky tahem

	Ozn. vzorku.	v-zkoušky	Šířka b_0	Tloušťka a_0	E modul	$R_{p0,2}$	R_m
Nr		mm/min	mm	mm	MPa	MPa	MPa
1	760N2	1	16	4,03	3202	9	101
2	720V1	1	15,94	4	2993	9	141
3	720 V2	1	16,03	4,01	1346	7	68
4	760 N 1	1	15,97	4,01	934	6	144
5	700 V 1	1	15,94	4	1079	8	139
6	725 N 1	1	16,03	3,84	3041	9	112
7	620 N 1	1	16,01	4,05	1295	8	105
8	620 N 2	1	15,99	4,01	607	7	144
9	725 N 2	1	15,95	3,99	1634	8	129



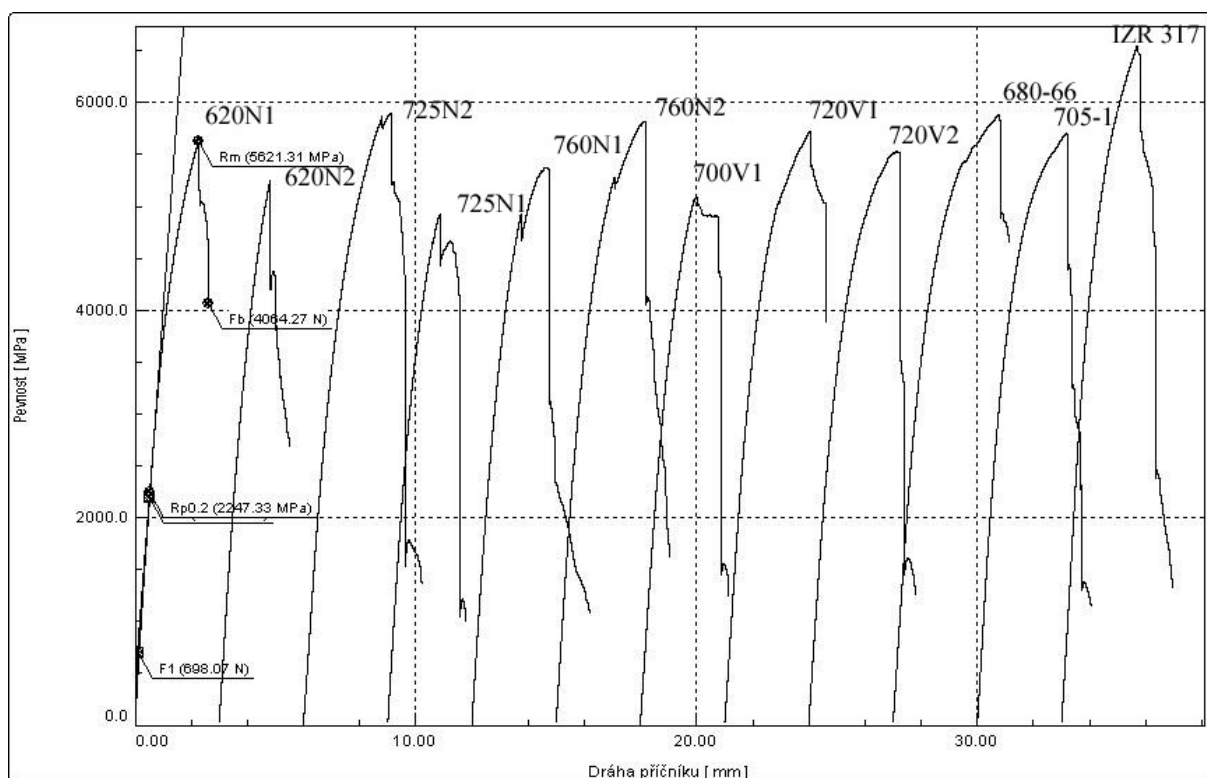
Obr. 13. Grafické znázornění výsledků ze zkoušky tahem

6.2 Výsledky ze zkoušky lámavosti

U výsledků zkoušky lámavosti viz tab.4. a obr.14. bylo zjištěno, že nejlepších napěťových charakteristik dosáhl vzorek z Izraele a nejhorších vzorek 725N1. Z výsledků je zřejmé, že lití podmínky neovlivňují ani mechanické vlastnosti při zkoušce lámavosti. Ovlivnění dosažených výsledků je dáno opět přítomností slévárenských vad, tj. zejména ředin.

Tab. 4. Výsledky ze zkoušky lámavosti

Zkouška	Číslo vzorku	F _b	R _{p0.2}	A _{max}	F _{max}	t	v
		N	MPa	%	N	sec	mm/min
1	620N1	4064,27	2247,33	226,71	5621,31	136,33	1,15
2	620N2	2679,4	1991,71	181,55	5247,25	129,91	1,16
3	725N2	1359,81	1975,49	308,24	5896,65	215,83	1,17
4	725N1	987,42	1784,76	185,14	4921,76	142,13	1,18
5	760N1	1076,95	1819,14	260,77	5373,13	211,01	1,2
6	760N2	1611,54	1839,9	317,02	5822,38	198,87	1,22
7	700V1	1232,66	1819,14	200,29	5096,22	159,04	1,18
8	720V1	3878,01	1843,15	305,21	5722,7	182,04	1,2
9	720V2	1241,74	1828,87	313,88	5532,46	190,08	1,2
10	680-66	4648,17	1826,93	377,26	5882,11	200,41	1,23
11	705-127	1142,48	1779,56	317,69	5706,38	200,55	1,21
12	Izrael 317	1315,7	2420,55	269,18	6540,19	195,45	1,22



Obr. 14. Grafické znázornění výsledků zkoušky lámavosti

6.3 Výsledky metalografického hodnocení

Pro porovnání pórovitosti vzorků byla provedena obrazová analýza, avšak protože nebylo možné rozlišit slévárenské vady od fází, byla provedena pouze kvalitativně viz obr.15a,b. Podle vzhledu lomových ploch měl nejvyšší pórovitost vzorek 720V2 a nejnižší vzorek 700V1. Z toho nám vyplývá, že i když je odlitek odléván za téměř stejných teplot a stejných podmínek, může být výsledný výskyt slévárenských vad odlišný.

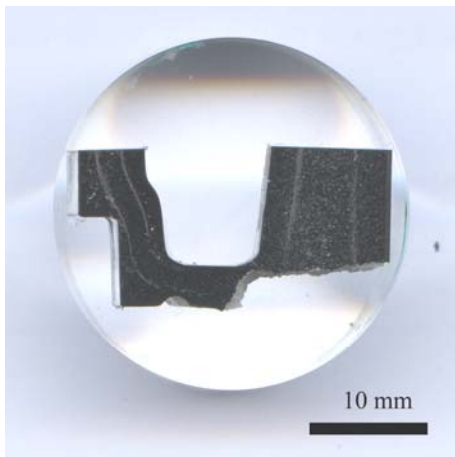


Obr.15a. Lomová plocha vzorku 720V2

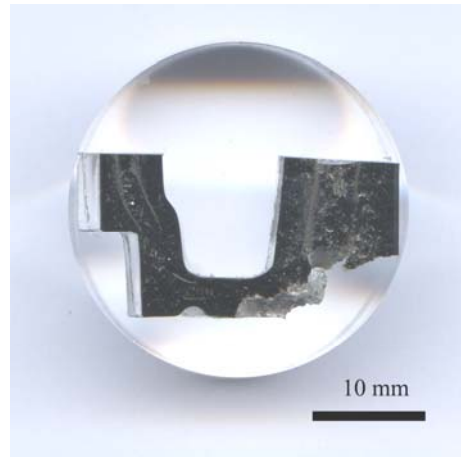


Obr.15b. Lomová plocha vzorku 700V1

Ze vzorků odebraných po zkoušce lámavosti bylo provedeno opět vizuální porovnání výskytu slévárenských vad ve struktuře - obr. 16.a,b. Vzorek 720V2 měl stejně jako u předchozího pozorování největší pórovitost a množství ředin a vzorek 700V1 měl nejmenší pórovitost a množství ředin.



Obr. 16a Makrostruktura vzorku 700V1



Obr. 16b Makrostruktura vzorku 720V2

7. ZÁVĚRY

Z měření a pozorování odlitků ze slitiny AZ91 metodou tlakového lití vyplývají tyto závěry:

Analýzou chemického složení výchozího materiálu bylo zjištěno, že houska odpovídá předepsanému chemickému složení slitině jakosti AZ91. Chemické složení odlitků se vyznačuje mírným propalem legujících prvků.

Kritické místo odlitku bylo stanoveno modelovým výpočtem. Jako kritické místo bylo stanoveno žebro odlitku.

Při zkoušce lámavosti bylo potvrzeno kritické místo odlitku. Tahová zkouška a zkouška lámavosti potvrdily, že lící podmínky, tj. teplota ani použití vakua u těchto taveb neovlivňují pevnostní charakteristiky. Nejvíce je ovlivňuje výskyt a množství slévárenských vad.

U zkoumaných odlitků vyrobených tlakovým litím se množství pórů a ředin pohybuje v procentech až desítkách procent plochy. Tyto vady nám působí jako koncentrátoři napětí a tím snižují napěťové a pevnostní charakteristiky. Příčinou může být rychlost plnění a chladnutí formy.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MORDIKE, B.L., EBERT, T. Magnesium – Properties – Application – Potention, *Materials science and engineering*, 15 April 2001, roč. 1, č. 302, s.37-45.
- [2] MORDIKE, B.L. Magnesium and Magnesium alloys, *J.JILM*, 2001. s. 2-13.
- [3] MKAI, T., YAMANOI, M., WATANABLE, H., HIGASHI, K. *Ductility enhancement in AZ31 magnesium alloys by controlling its grain structukre*, *Scripta Materiallia*, 2001 s. 89-94.
- [4] PTÁČEK, L a kol.: *Nauka o materiálu II*. 2002. aktualiz. vyd. Brno : CERM, 2002. s. 187-189..
- [5] PTÁČEK, L. Slévárenské slitiny hořčíku. *Slévárenství*. 2004, č. 2-3, s. 61-66
- [6] GÓRNY, Z.: *Odlewnicze stopy metali nieżalaznych*. Warszawa, WNT, 1992.
- [7] PÍŠEK, F.:*Nauka o materiálu I/3*. Praha, Akademia, 1973.
- [8] PTÁČEK, L. – JANDOVÁ, D. – JUŘIČKA, I.: *Sborník IV. mezinárodního metalurgického symposia*, Rájecké Teplice, Žilina, VŠDS, 1996.
- [9] *Metals Handbook*, Ohio (USA), ASM,
- [10] *Bühler - global technology partner for the food industry, chemical processing and die casting.*: [online]. 2007 [cit. 2009-05-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.buhlergroup.com/docs/48189EN.pdf>>
- [11] *The Light Metal Educational Foundation, Inc.* [online]. 23. 08. 2007 [cit. 2009-05-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.lm-foundation.or.jp/english/abstract-vol37/abstract/97>>.
- [12] *Metals Handbook*, American society for metals (USA), 1985.
- [13] PTÁČEK, L. *Hořčík - několik informací* (PowerPoint podklad pro výuku) VUT Brno, 2005.