

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

**TLAKOVĚ LITÉ SLITINY HOŘČÍKU
JAKO PERSPEKTIVNÍ MATERIÁL PRO
AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Aleš Lanc
VEDOUCÍ PRÁCE: Doc. Dr. Ing. Libor Beneš

2007

UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY
DEPARTMENT OF TRANSPORT MEANS

**DIE CASTING OF MAGNESIUM ALLOYS AS THE
ADVANCED TECHNOLOGIES AND MATERIALS
FOR AUTOMOBILE INDUSTRY**

BACHELOR WORK

AUTHOR: Aleš Lanc
SERVISOR: Doc. Dr. Ing. Libor Beneš

2007

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/200Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30.2. 2007

Aleš Lanc

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem lidem, kteří mi při tvorbě mé bakalářské práce pomohli, hlavně pak panu Doc. Dr. Ing. Liboru Beneši, za poskytnutí studijních materiálů, pomoc v laboratořích a motivaci ke studiu.

Abstrakt

Tato práce je rozdělena do sedmi kapitol. První pojednává o slévárenských slitinách používaných v automobilové dopravě. Druhá kapitola se zabývá hořčíkem, hořčíkovými slitinami a jejími vlastnostmi. Ve třetí kapitole se zabývám technologií tlakového lití a používanými stroji pro tlakové lití. Čtvrtá kapitola je věnována porovnání Mg slitin s ostatními konstrukčními materiály. Pátá kapitola popisuje zkoušky kvality odlitků. V šesté kapitole je experimentální posouzení litého disku z hořčíkové slitiny. Závěrečná sedmá kapitola je věnována hodnocení a analýzám vybraného vzorku.

Obsah:

1. Úvod Chyba! Záložka není definována.
2. Přehled slévárenských slitin používaných v automobilové dopravě Chyba! Záložka není definována.
 - 2.1 Hliník a jeho slitiny..... Chyba! Záložka není definována.
 - 2.1.1 Označování hliníku a jeho slitin Chyba! Záložka není definována.
 - 2.1.2 Přehled hliníkových slitin pro tváření..... Chyba! Záložka není definována.
 - 2.1.3 Mechanické vlastnosti..... Chyba! Záložka není definována.
 - 2.2 Použití slitin hliníku na konstrukční prvky silničních vozidel ... Chyba! Záložka není definována.
 - 2.2.1 Hliníkové karosérie vozů Audi A2 a A8 Chyba! Záložka není definována.
 - 2.2.2 Hliníková kola – materiál a povrchová úprava..... Chyba! Záložka není definována.
 - 2.2.3 Písty Chyba! Záložka není definována.
 - 2.3 Slévárenské slitiny železa Chyba! Záložka není definována.
 - 2.3.1 Ocel na odlitky..... Chyba! Záložka není definována.
 - 2.3.2 Tvrzená litina Chyba! Záložka není definována.
 - 2.3.3 Šedá litina Chyba! Záložka není definována.
 - 2.3.4 Tvárná litina..... Chyba! Záložka není definována.
 - 2.3.5 Temperovaná litina Chyba! Záložka není definována.
 - 2.4 Slévárenské slitiny neželezných kovů Chyba! Záložka není definována.
3. Hořčík Chyba! Záložka není definována.
 - 3.1 Základní fyzikálně-chemické vlastnosti Chyba! Záložka není definována.
 - 3.2 Výroba hořčíku Chyba! Záložka není definována.
 - 3.3 Hořčíkové slitiny..... Chyba! Záložka není definována.
4. Tlakové lití..... Chyba! Záložka není definována.
 - 4.1 Vybrané slévárenské slitiny pro tlakové lití..... Chyba! Záložka není definována.
 - 4.2 Stroje pro tlakové lití Chyba! Záložka není definována.
5. Porovnání s ostatními konstrukčními materiály a výhody použití Mg Chyba! Záložka není definována.
6. Zkoušky kvality odlitků lze rozdělit..... Chyba! Záložka není definována.
 - 6.1 Druhy zkoušek Chyba! Záložka není definována.
 - 6.1.1 Statická zkouška tahem..... Chyba! Záložka není definována.
 - 6.1.2 Zkoušky tvrdosti Chyba! Záložka není definována.
7. Experimentální posouzení..... Chyba! Záložka není definována.
 - 7.1 Interní recyklace vratného materiálu hořčíku Chyba! Záložka není definována.
 - 7.1.1 Hořčíkový odpad..... Chyba! Záložka není definována.
 - 7.1.2 Redukce glykolů v odpadní vodě u tlakového lití Chyba! Záložka není definována.
 - 7.1.3 Tavení slitin hořčíku Chyba! Záložka není definována.
 - 7.1.4 Orientační náklady Chyba! Záložka není definována.
 - 7.2 Materiálové posouzení disku kola ze slitiny Mg ... Chyba! Záložka není definována.
8. Závěr Chyba! Záložka není definována.
 - Seznam literatury Chyba! Záložka není definována.

1. Úvod

V konstrukci silničních dopravních prostředků se dnes začíná více používat hořčík. Jedním z hlavních důvodů je snižování hmotnosti celého automobilu. Dále se používá na výrobu automobilových kol z lehkých slitin, dekorativních prvků v interiéru a exteriéru, kostry automobilových sedaček, bloku motoru vozidla a další. Důležitou vlastností je recyklovatelnost. Díky současným potřebám automobilového průmyslu vyrábět vozidla s vyváženou životností všech jeho konstrukčních částí, dochází v dnešní době k zavádění součástí i celých konstrukčních skupin z hořčíkových slitin. V neposlední řadě je zde snaha splnit nároky na ekonomický a ekologický provoz všech silničních dopravních prostředků.

Cílem mojí práce je tuto problematiku prostudovat v potřebném rozsahu. V teoretické části mé práce se zabývám slitinami hořčíku a jejich užitím v automobilovém průmyslu, parametry slitin a technologií lití Mg.

V praktické části se věnuji zkouškám vybraného vzorku z firmy BEZ MOTORY a.s. V této firmě jsme prováděli zkoušky na litém disku kola.. Tento vzorek byl zkoumán a naměřené hodnoty zpracovány. Na disku byla provedena zkouška tvrdosti podle Brinella a RTG. Poté bylo otestováno chemické složení materiálu. Dále jsme prováděli tahové a lomové zkoušky na tyčích, které byly vyrobeny z kusu. Z naměřených hodnot byly vyvozeny závěry a odpovídající hodnocení.

2. Přehled slévárenských slitin používaných v automobilové dopravě

2.1 Hliník a jeho slitiny

Slitiny hliníku jsou druhým nejpoužívanějším materiálem na konstrukční prvky. Před nimi jsou oceli. Surovinou pro výrobu hliníku je minerál bauxit, v čistém stavu oxid hlinitý. Z taveniny tohoto oxidu ve směsi s kryolitem se elektrolyticky získává kovový hliník. Výroba hliníku byla patentována v roce 1886 a od roku 1890 zahájena výroba v průmyslovém měřítku. V roce 1906 byla vyvinuta první slitina hliníku, známá jako duralinium (AlCu4Mg). Znamenala převrat ve stavbě letadel a vzducholodí. Dnešní základní řada nejvíce používaných slitin hliníku je celosvětově unifikována a v podstatě dokončena. K přednostem slitin hliníku lze počítat zejména nízkou měrnou hmotnost (2470 až 2890 kg/m³) a poměrně dobrou pevnost ($R_m=90$ až 670 MPa), což znamená, že měrné pevnostní charakteristiky některých slitin jsou hliníku jsou srovnatelné s obdobnými charakteristikami ocelí. Pokud neobsahují měď, velmi dobře odolávají korozi v atmosféře a látkám kyselé povahy. Odolnost slitin hliníku proti působení alkalických látek je naopak malá. Dobře se svařují v ochranné atmosféře, mají dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, jsou vyráběny v širokém sortimentu hutních produktů a vratný odpad se poměrně snadno zpracovává. Nedostatkem slitin hliníku je jejich nízká tvrdost a tedy snadné zhmoždění povrchu zpracovávaného materiálu a výrobku, obtížné třískové obrábění a mechanické leštění měkkých slitin (materiál se maže). Slitiny hliníku mohou být napadeny elektrochemickou korozí, jsou-li v konstrukci ve vodivém styku s ostatními kovy a slitinami s výjimkou zinku a kadmia.

2.1.1 Označování hliníku a jeho slitin

- **Označování hliníku a slitin hliníku pro tváření dle ČSN EN 573-1 až 3**

Tyto normy platí pro tvářené výrobky a ingoty určené ke tváření. Jsou označovány písmeny EN AW a čtyřmi číslicemi. Číselné označení lze doplnit i chemickým označením, např. EN AW-5052 [AlMg2.5].

V čtyřmístném číselném označení udává první ze čtyř číslic skupinu slitin a podle hlavních slitinových prvků:

řada 1000 – Al minimálně 99,00% a více

řada 3000 – slitina AlMn

řada 5000 – slitina AlMg

řada 7000 – slitina AlZn

řada 2000 – slitina AlCu

řada 4000 – slitina AlSi

řada 6000 – slitina AlMgSi

řada 8000 – slitina Al s různými prvky

- **Označování slitin hliníku na odlitky podle ČSN EN 1706**

Tato norma platí pro odlitky a stanoví označování písmeny EN AC a pěti číslicemi. Číselné označení lze doplnit i chemickým označením, např. EN AC-21000[AlCu4MgTi].

První z pěti číslic v pětimístném číselném označení udává skupinu slitin stejně jako u slitin pro tváření podle hlavních slitinových prvků.

řada 10000 – Al minimálně 99,00% a více

řada 30000 – slitina AlMn

řada 50000 – slitina AlMg

řada 70000 – slitina AlZn

řada 20000 – slitina AlCu

řada 40000 – slitina AlSi

řada 60000 – slitina AlMgSi

řada 80000 – slitina Al s různými prvky

2.1.2 Přehled hliníkových slitin pro tváření

Hliníkové slitiny pro tváření lze zařadit podle EN 573-1 do těchto skupin, včetně hliníku čistoty minimálně 99,00% a výše.

Hlavní legující prvky	Označení série
Hliník čistoty minimálně 99,00%	1000
Měď	2000
Mangan	3000
Křemík	4000
Hořčík	5000
Hořčík a křemík	6000
Zinek	7000
Jiné prvky	8000

Tab. 1: Rozdělení sérií hlavních legujících prvků

Je nutno zdůraznit, že u všech slitin jednotlivých sérií lze měnit široké spektrum mechanických, fyzikálních i chemických vlastností přesným chemickým složením, technologickými parametry tváření a tepelným zpracováním.

Od všech těchto slitin se prioritně požaduje dobrá schopnost ke tváření jak za tepla, tak i za studena. Díky moderním technologickým zařízením a know – how se dnes aplikuje pro tváření i slitiny, které se dříve používaly pouze na výrobu odlitků. Jako příklad lze uvést

slitiny s vysokým obsahem Si, které částečně nahrazují automatové slitiny a donedávna byly ještě aplikovány výlučně jako slévárenské slitiny.

Aplikace hliníku čistoty minimálně 99,00% (série 1000) je především v oblastech, kde se požadují vysoké hodnoty fyzikálních vlastností, a to vysoká elektrická a tepelná vodivost a také vysoká odolnost vůči korozi. Jedná se o elektrotechnický a chemický průmysl, energetiku, architekturu a obalovou techniku.

U slitin série 2000 je hlavním legujícím prvkem Cu, sekundárním je Mg. Slitiny jsou tepelně zpracovatelné a v tomto stavu lze u nich dosáhnout maximálních pevnostních vlastností. Jejich odolnost vůči korozi je špatná a může dojít k interkrystalické korozi. Z uvedeného důvodu plechy ze slitiny série 2000 jsou plátovány fóliemi buď z Al vysoké čistoty, nebo některou ze slitin série 6000. Tím se dosáhne vysoké odolnosti vůči korozi.

Slitiny série 3000 nejsou tepelně zpracovatelné. Efektivní zvýšení pevnostních vlastností cca o 20% proti sérii 1000 je do obsahu cca 1,5%Mn. Jejich aplikace je především v oblasti výměníků tepla a v architektuře.

Slitiny série 4000 většinou nejsou tepelně zpracovatelné. Slitiny s vysokým obsahem Si (do 12%) se aplikují při sváření – svářecí dráty. Při eloxování má jejich povrch tmavě šedivou barvu.

Hlavním legujícím prvkem slitin série 5000 je Mg. Ten je z hlediska substitučního zpevnění a matrice daleko efektivnější než Mn (cca 0,8% Mg je ekvivalentní cca 1,25% Mn).

U slitin série 6000 je z hlediska pevnostních vlastností důležité množství intermetalické fáze Mg_2Si , díky které jsou slitiny tepelně zpracovatelné a mají určitou analogii se samokalitelnými ocelmi – jsou samokalitelné. Charakteristickou vlastností je jejich výborná schopnost ke tváření, svařitelnosti, odolnosti vůči korozi, mechanická obrobitelnost při středních pevnostních vlastnostech. Hlavní aplikace je v komponentech pro dopravu, segmentech mostních konstrukcí, architektuře a v oblasti sportovních výrobků, např. rámy jízdních kol.

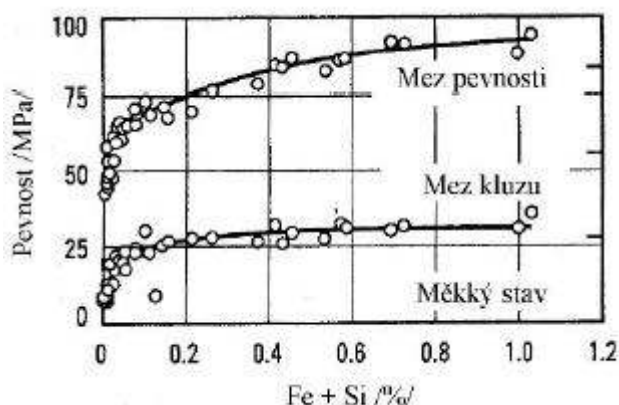
Pro sérii 7000 je hlavním legujícím prvkem zinek v množství 1 až 8%. Za přítomnosti Mg tyto slitiny po tepelném zpracování dosahují nejvyšších pevnostních vlastností ze všech hliníkových slitin. Obvykle jako další legující prvky mohou být přítomny Cu a Cr. Při maximálních pevnostních vlastnostech mají slitiny špatnou odolnost vůči korozi. Tepelným zpracováním, přestárnutím, lze zvýšit korozní odolnost za cenu nižších hodnot pevnostních vlastností. Hlavní využití je zatím v letectví a automobilovém průmyslu.

2.1.3 Mechanické vlastnosti

Zkoušky tvrdosti jsou oblíbené a výhodné z hlediska relativní jednoduchosti provedení a velmi často vedou k rychlému získání výsledku bez nutnosti odběru zvláštního vzorku spojeného s výrobou zkušebního tělesa, jak je tomu u zkoušky tahem nebo u vrubové houževnatosti. U hliníku a jeho slitin se velmi často používá měření tvrdosti podle Brinella. Tyto hodnoty jsou obvykle uváděny i ve výrobových normách. Tvrdost podle Brinella se pohybuje od hodnoty 15 v případě čistého hliníku až po 140 u vysokopecní vytvrzovací slitiny typu Al-Zn-Mg-Cu. V oblasti výzkumu se častěji používá měření podle Vickerse, a to ať už se jedná o běžná měření při větších zatíženích, nebo její varianty v oblasti mikrotvrdosti pro studium vlivu strukturních parametrů na mechanické vlastnosti.

Nejčastěji používanou zkouškou pro zjištění mechanických charakteristik je zkouška tahem. Při této zkoušce se obvykle určují meze pevnosti R_m , meze $R_{p0.2}$ a tažnosti A , popřípadě kontrakce Z .

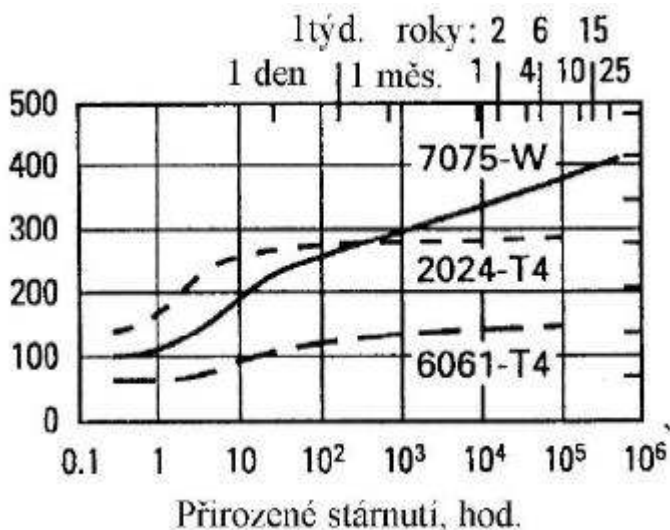
Obecně lze říci, že pevnosti s rostoucím obsahem legujících prvků rostou. Z uvedených obrázků (viz obr. 1 Vliv obsahu Fe+Si na zvýšení pevnostních hodnot hliníku) vyplývají zásadní rozdíly mezi tvářenými a slévárenskými slitinami. Slévárenské slitiny mají většinou větší celkový obsah prvků a nižší mez pevnosti, což je způsobeno tím, že litá struktura je na rozdíl od struktury pro tvářené hrubozrnná, nehomogenní z hlediska chemického složení (makro a mikroodmíšení) a je pórovitá. Výrazné rozdíly mezi jednotlivými slitinami v úrovni a velikosti rozptylu pevnosti jsou dány různou povahou zpevnění. Ke zpevnění může dojít tvářením, legujícími prvky rozpuštěnými v tuhém roztoku (u slitin Al-Mg a Al-Mn), nebo precipitací u vytvrzovatelných slitin (např. slitiny typu Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg-Cu).



Obr. 1: Vliv obsahu Fe+Si na zvýšení pevnostních hodnot hliníku [1]

Nejúčinnějšího zpevnění se dosahuje u hliníkových slitin precipitačním zpevněním při tepelném zpracování, které se sestává z rozpouštěcího žhání, ochlazování a přirozeného nebo umělého stárnutí.

K tomuto způsobu zpevnění jsou vhodné základní systémy Al-Mg-Si (slitiny řady6xxx), Al-Cu-Mg (2xxx) a Al-Zn-Mg-Cu (7xxx). U slévárenských slitin jsou to opět slitiny s hlavním legujícím prvkem Cu (například slitina 2006.0), Si (356.0) a Zn (712.0), ke kterým se legují obvykle další prvky. K těmto základním systémům lze legovat další prvky, které se precipitačního zpevnění zúčastňují a mění nejen mechanické vlastnosti, ale i vlastnosti únavové, lomové, korozní a technologické. Jedná se zejména o prvky Li(do 2%), Ag a Sc (v desetinách procenta).



Obr. 2: Změny $R_{p0.2}$ v průběhu přirozeného stárnutí typických vytvrzovatelných slitin hliníku [1]

2.2 Použití slitin hliníku na konstrukční prvky silničních vozidel

2.2.1 Hliníkové karosérie vozů Audi A2 a A8

První automobily s hliníkovou karosérií a prostorovým rámem jsou Audi A2 a A8. Jde o vysoce pevnou strukturu, u níž je každý plošný díl integrovanou součástí nosné konstrukce. Díky velmi pevným hliníkovým plechům se hliníková karosérie vyznačuje extrémně vysokou tuhostí a tedy i nadprůměrnou bezpečností při nárazech. Karosérie má nižší hmotnost o desítky až stovky kilogramů. Např. Audi A2 váží 895kg a je tedy o zhruba 150kg lehčí než srovnatelné vozy stejné třídy s konvenční ocelovou karosérií. Z toho vyplývají přednosti pro řidiče: vyšší bezpečnost, lepší jízdní dynamika, lepší ovladatelnost vozu, snadnější opravy a nižší spotřeba paliva. Také z ekologického pohledu poskytuje hliník jisté výhody: díky nižší hmotnosti a vysoké recyklovatelnosti se použitá výrobní energie kompenzuje už po ujetí přibližně 60 000 km.

- **Prostorový rám ASF**

Prostorový rám Audi Space Frame byl poprvé použit u luxusního vozu Audi A8 z roku 1994. Je to první konstrukce, u které se uplatnil prostorový rám. Je to velký pokrok k výrobě lehkých a zároveň vysoce pevných karosérií. Nižší pohotovostní hmotnost vozu až o 40% oproti moderním ocelovým karosériím. To se příznivě projeví na spotřebě paliva a lepší dynamice vozu. Koncepce prostorového rámu ASF zároveň zvyšuje bezpečnost vozidla při kolizích

2.2.1 Hliníková kola – materiál a povrchová úprava

Litá kola se vyrábějí z lehkých slitin hliníku nebo hořčíku. Jejich základní a nejvýhodnější vlastností je nízká hmotnost. Kola jsou nejčastěji jednodílná (monoblok). Mohou být také dvojdílná nebo dokonce vícedílná. Povrchová úprava se provádí lakováním barvou. Kvalitní kola jsou pak upravena komaxitovou tvrzenou barvou.

Vysoce lesklý povrch některých kol je vytvořen nástřikem speciální barvou se sloučeninami kovu. Tato technologie je ale o něco dražší, což se projeví i a koncové ceně disku.

Při výrobě hliníkových kol se používá hliníková slitina typu Al-Si11-Mg a Al-Si7-Mg. Obsahující vedle hliníku křemík (6,5 až 11,2%), hořčík 0,10 až 0,32%) a malé množství dalších legujících prvků max. do 0,1%. Dále je využívána přísada Al-Ti5B1. Jde o přísadu obsahující titan a bór.

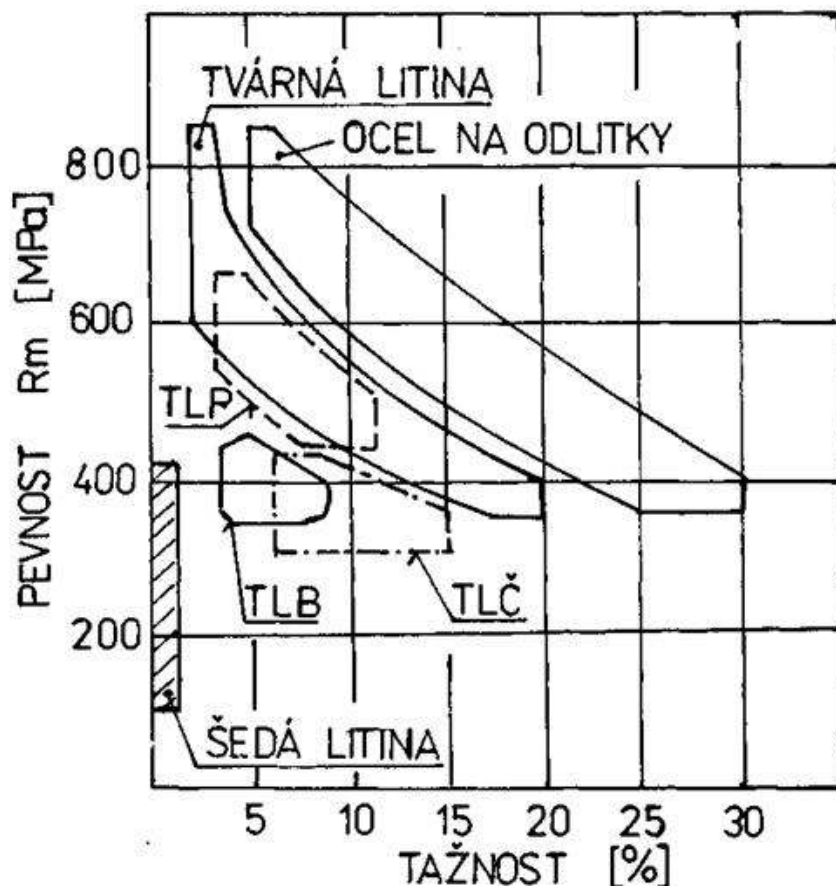
2.2.2 Písty

Materiálem používaným na výrobu pístů jsou nejčastěji hliníkové slitiny. (Slitiny hořčíku se používají jen u závodních motorů, jejichž výroba je velmi drahá a dá se zdůvodnit nižší měrnou hustotou hořčíkových slitin). Počet a množství legujících prvků se liší podle účelu použití pístu. Slitiny s vysokým obsahem křemíku mají velmi dobré vlastnosti ohledně pevnosti a kluzných vlastností a jsou určeny pro písty kované. Mají také menší tepelnou roztažnost. Z tohoto pohledu se rozlišují písty s obsahem křemíku do 13% (min. 11%) a nad 13% (max. 18%). První skupina se používá pro zážehové a druhá skupina pro vznětové motory. Všechny písty mají tvarované dno, zkonstruované tak, aby docházelo k nejlepšímu spalování paliva a nízkým emisím. Těleso pístu vytváří správnou koncentraci a rozmístění směsi vzduchu a paliva v momentě spalování. V závislosti na motoru může být píst celohliníkový, nebo může mít ocelové dno a hliníkový plášť. Hliník šetří hmotnost a má vynikající tepelnou vodivost, ocelové dno se používá tam, kde je zapotřebí zvýšené pevnosti k odolání vysokým spalovacím tlakům.

2.3 Slévárenské slitiny železa

Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu odlitků jsou slitiny železa. Mají mnoho výborných vlastností např. nízké náklady na výrobu a dobré zvládnutí technologie lití.

Slitiny jsou na bázi železa s dalšími přísadami např. křemík, mangan, chrom, nikl, ale hlavní přísadou je uhlík. Podle obsahu uhlíku je dělíme na ocel a litinu. Ocel má maximálně 2% uhlíku a litina nad 2% . Obvykle 2,5 až 4% uhlíku. Nesmíme opomenout vliv nečistot, (fosfor, síra). Mechanická pevnost v tahu a tažnost slévárenských slitin železa jsou schématicky na obr. 3.



Obr. 3: Mechanická pevnost a tažnost slévárenských slitin železa [2]

2.3.1 Ocel na odlitky

Pro výrobu ocelových odlitků se nejčastěji používá uhlíkových ocelí s obsahem uhlíku do 0,5%. Obvykle mají feriticko-perlitickou strukturu. Mez kluzu je 200 – 350 MPa a mez pevnosti je 370 – 700 MPa. Ocel se oproti litinám vyznačuje vyšší plasticitou a houževnatostí. Je dobře svařitelná.

Používá se pro více namáhané strojní součásti a součásti elektrických strojů.

2.3.2 Tvrzená litina

Tvrzená litina se vyrábí litím šedé litiny do pískových forem kombinovaných kovovými chladítky. Při rychlém ochlazení taveniny v místě dotyku s kovovou částí formy dochází k tuhnutí v metastabilní soustavě. Zbytek taveniny tuhne pomalu jako šedá litina. V důsledku rychlého ochlazení se může v základní hmotě vyskytovat martenzit.

Z tvrzené litiny se vyrábějí odlitky namáhané otěrem, např. ventilová zdvihátka, vagónová kola, atd.

2.3.3 Šedá litina

Je to slitina železa s křemíkem a uhlíkem. Uhlík se vyskytuje ve struktuře ve větším množství jako grafit a v menším jako cementit. Na strukturu má hlavní vliv rychlost ochlazování při tuhnutí a další přísady např. Mn, Cr, Ni atd. Šedé litiny dělíme podle obsahu uhlíku na podeutektické, eutektické a nadeutektické. Na vylučování uhlíku má významný vliv rychlost ochlazování při tuhnutí taveniny a rychlost přechodu eutektoidní teploty. Čím rychlejší je ochlazování, tím větší část uhlíku je vázána ve formě karbidů. Litiny s volně vyloučeným uhlíkem (grafitem) nazýváme šedé a litiny s vázaným uhlíkem nazýváme bílé.

2.3.3 Tvárná litina

Tvárná litina je jako [šedá litina](#) a [ocel slitina železa s uhlíkem](#). Obsah uhlíku je vyšší než 2,06%. Uhlík je zde vyloučen ve formě [grafitu](#). Kovová základní hmota je v závislosti na chemickém složení [feritická](#) až [perlitická](#). Základní kovovou hmotu je možno, podobně jako u [oceli](#), tepelně zpracovávat (kalení, žíhání, zušlechťování ap.) a lze tak ovlivnit základní mechanické vlastnosti tvárné litiny.

Mechanické vlastnosti jsou definovány v příslušných materiálových normách. V evropských zemích se nejvíce rozšířilo používání DIN 1693 normy. V roce 1997 byla nahrazena evropskou normou DIN EN 1563. Označení GGG, které pochází z DIN 1693 je v praxi ještě stále nejpoužívanější. Pevnost v tahu (R_m) se pohybuje mezi 330 až 800 MPa a $R_{p0.2}$ je 210 až 480 MPa.

Mimořádně dobré mechanické vlastnosti, ekonomicky výhodná výroba a dobrá opracovatelnost jsou důvody velkého rozšíření použití tvárné litiny v průmyslu. Přibližně 40-50% světové výroby je spotřebováno v [automobilovém průmyslu](#). Zde byly v posledních desetiletích postupně nahrazovány výrobně dražší kované, lisované a svařované součásti ekonomicky výhodnějšími odlitky. V současných automobilech jsou téměř všechny takzvané bezpečnostní součástky jako [závěsy kol](#), součásti řízení a dále [motorové](#) části jako [klikové hřídele](#), [ojnice](#), [vačkové hřídele](#) atd. vyráběny z tvárné litiny.

2.3.5 Temperovaná litina

Temperovaná litina je vytvořená tepelným zpracováním (tzv. [temperací](#)). Je svým složením podobná šedé litině, je však o něco tvrdší.

Hodí se všude tam, kde šedá litina je příliš křehká, ocelový výkovek zápusťkový příliš drahý a kde síla stěny odlitku nepřesahuje běžně 20mm. Užívá se jí na klíče, součásti hospodářských strojů, vagonů, kol i aut a drobné přístroje.

2.4 Slévárenské slitiny neželezných kovů

- **Slitiny mědi**

Patrně nejvýznamnější slitinou mědi je cínový [bronz](#) obsahující směs mědi, [cínu](#) a dalších prvků, např. Zn, Pb atd. Cín zvyšuje pevnost v tahu a mechanickou tvrdost. Používá se pro elektroniku, např. sběrací kroužky, segmenty kontaktů atd. Má dobré kluzné vlastnosti a odolnost proti opotřebení.

Olovené a cínoolovené bronzы jsou vhodné pro velmi namáhaná kluzná ložiska. A mají asi čtyřikrát větší tepelnou vodivost než cínové bronzы.

Manganové a niklové mosazi - přísady Mn a Ni také mosaz zpevňují a zvyšují korozní odolnost. Ale Mn zhoršuje tváritelnost, proto se jej nepřidává více jak 3%. Naproti tomu Ni ji zvyšuje, proto se jej může přidávat až 20%. Z manganové mosazi se zhotovují stahovací desky statorů a stahovací desky cívek, nosiče vinutí apod.

- **Slitiny zinku**

Převážně se používají k tlakovému lití do kovových forem. Nejdůležitější přísadou je hliník, který zvyšuje pevnost a tvrdost slitiny. Ze slitiny zinku se vyrábějí kryty motorů, kování, různé rámy, tělesa karburátorů atd.

- **Slitiny olova**

Olovo se velmi dobře slévá, ale je velmi měkké. Přidáním antimonu zvýšíme jeho tvrdost. Jedním z největších zpracovatelů olova je do současné doby průmysl, vyrábějící elektrické [akumulátory](#). Přes svoji vysokou hmotnost a obsah vysoce žíravé [kyseliny sírové](#) jsou technické parametry olovených akumulátorů natolik dobré, že ve vybavení automobilů mají stále většinové zastoupení. Pro tyto účely je využívána přibližně polovina světové produkce olova, jejich [recyklace](#) je také jedním z nejvýznamnějších zdrojů tohoto kovu.

- **Slitiny hořčíku**

V běžném životě se nejčastěji setkáme se slitinami hořčíku s [hliníkem](#), [mědí](#) a [manganem](#), které jsou známy pod názvem [dural](#). Vyznačují se značnou mechanickou pevností a současně mimořádně nízkou hustotou. Zároveň jsou i značně odolné vůči [korozi](#). Všechny tyto vlastnosti předurčují dural jako ideální materiál pro [letecký](#) a [automobilový](#) průmysl, ale užívá se i při výrobě [výtahů](#), [jízdních kol](#), lehkých žebříků ap. Další slitina hořčíku je [magnalium](#), která obsahuje 10-30% hořčíku a 70-90% hliníku.

3. Hořčík

Chemická značka hořčíku je Mg ([latinsky](#) Magnesium). Je lehký, středně tvrdý stříbrolesklý [kov](#), druhý nejlehčí z kovů alkalických zemin. Využívá se při výrobě lehkých a pevných slitin, jako redukční činidlo v organické syntéze a při pyrotechnických aplikacích.

3.1 Základní fyzikálně-chemické vlastnosti

Hořčík je středně tvrdý, lehký, tažný kov, těžší než [voda](#), vede hůře elektrický proud a teplo. Hořčík lze díky jeho dobré tažnosti snadno válcovat na plechy a dráty. Hořčík není tolik reaktivní jako další kovy alkalických zemin, a proto se neuchovává pod [petrolejem](#) nebo naftou, ale stačí nádoby se suchým [vzduchem](#). Hořčík se velmi dobře slévá s jinými kovy, ale jen málo z nich má praktické využití, protože většina snadno oxiduje.

Hořčík reaguje za normální teploty pomalu s [kyslíkem](#) a s [vodou](#). Na suchém vzduchu se postupně pokryje vrstvou [oxidu](#), která jej chrání před další oxidací, a lze jej takto uchovávat i poměrně dlouhou dobu. Při hoření hořčíku na vzduchu vzniká velmi intenzivní bílé světlo. S vodou reaguje hořčík za normální teploty velmi pomalu za vzniku hydroxidu hořečnatého. Při vyšší teplotě se hořčík slučuje velmi ochotně téměř se všemi prvky a i s některými sloučeninami - např. při hoření hořčíku v [dusíkaté](#) atmosféře vznikne nitrid hořečnatý, který se [vodou](#) rozkládá za vzniku oxidu hořečnatého a amoniaku, a při hoření hořčíku v atmosféře oxidu uhličitého vznikne oxid hořečnatý a uhlík.

Hořčík se velmi dobře rozpouští ve všech běžných kyselinách. Při jeho rozpouštění vznikají hořečnaté soli. Při rozpouštění v koncentrované [kyselině sírové](#) uniká oxid siřičitý. Při rozpouštění v kyselině dusičné se podle koncentrace tvoří vedle hořečnatých solí i další látky. Při velmi nízké koncentraci vzniká dusičnan amonný (koncentrace méně než 5%), při reakci s ředěnou kyselinou dusičnou vzniká oxid dusný (koncentrace 5%-10%), s koncentrovanější reaguje za vzniku oxidu dusnatého (koncentrace 10%-asi 50%) a s

koncentrovanou kyselinou reaguje za vzniku oxidu dusičitého (koncentrace 50%-100%). S kyselinou chlorovodíkovou a zředěnou kyselinou sírovou reaguje pouze za vzniku hořečnatých solí. S alkalickými hydroxidy hořčík nereaguje.

3.2 Výroba hořčíku

Kovový hořčík se průmyslově vyrábí obvykle elektrolýzou roztavené směsi chloridu hořečnatého a chloridu draselného. Chlorid draselný slouží jako přísada ke snížení teploty tání chloridu hořečnatého. Chlorid hořečnatý se získává z mořské vody nebo z koncentrovaných roztoků mořské soli (solanka) nebo tavením karnalitu. Při elektrolýze se na grafitové anodě uvolňuje chlór a na železné katodě hořčík (chlorid draselný se začne rozkládat až po rozložení chloridu hořečnatého). Roztavený hořčík stoupá v tavenině na povrch a sbírá se děrovanými lžícemi.

Další tzv. termický způsob, dnes stále ještě hojně využívaný, spočívá v redukci oxidu hořečnatého karbidem vápenatým nebo uhlíkem - karbotermický způsob nebo redukcí oxidu hořečnatého křemíkem- silikotermický způsob.

- Karbotermický způsob se provádí v elektrické obloukové peci při teplotě nad 2000°C, aby nedocházelo k reakci oxidu uhelnatého s parami hořčíku. Jednodušší je redukce oxidu hořečnatého karbidem vápenatým, která probíhá při teplotě 1200°C, ale jen za předpokladu nízké ceny karbidu.
- Silikotermický způsob se provádí reakcí páleného dolomitu s křemíkem nebo ferrosiliciem v ocelolitinových retortách zahřívaných na 1200°C nebo ve vysokovakuových pecích. Destilující hořčík, jehož čistota je 98-99%, kondenzuje v předchlazených nádobách.

3.3 Hořčíkové slitiny

Elektronové slitiny obsahující kromě hořčíku až 10 % hliníku, až 3 % zinku, až 2 % manganu. V některých případech jsou legovány až 1,5 % křemíku, až 2 % manganu, zirkoniem nebo prvky vzácných zemin. Podle způsobu zpracování jsou hořčíkové slitiny pro odlévání a hořčíkové slitiny pro tváření. Jejich výhodou je malá hustota (asi 1,8 g.cm⁻³), poměrně dobré mechanické vlastnosti, lepší slévatelnost a obrobitelnost než u slitin hliníkových. Jejich výroba je však obtížnější vzhledem k velké hořlavosti hořčíku. Pro

zvýšení korozní odolnosti jsou odlitky z hořčíkových slitin povrchově upravovány mořením v lázni kyseliny dusičné a dichromanu draselného. Používají se zejména v automobilovém a leteckém průmyslu.

- **Charakteristika a použití hořčíkových slitin**

AM 60A/B - slitina pro lití pod vysokým tlakem s vynikající plasticitou ve stavu -F;
používaná pro vrtule a automobilová kola

AS 41 A - slitina pro lití pod tlakem s dobrými creepovými vlastnostmi do 150°C;
používaná pro součásti automobilů

AZ 81A - slitiny pro lití do písku nebo do kokily pro všeobecné použití při výrobě

AZ 91C/E - součástí letadel, strojírenských součástek, skříní převodovek

AZ 91B/D - slitina pro lití pod tlakem pro všeobecné použití pro součástky automobilů a počítačů, řetězových pil, sportovních náčiní, kamer, promítacích přístrojů, přístrojů a příslušenství pro domácnost

EZ 33A - slitina pro lití do písku a do kokily pro použití při vysokých teplotách; výborné slévárenské vlastnosti; odolná proti creepu do 250°C a tlakově těsná; používaná v letectví a obranném průmyslu

AZ 63 - slitina pro odlévání do kokil pro tzv. obětované anody (protikorozi ochrana bojlerů, nádrží, potrubí)

4. Tlakové lití

V současné době je u nás i v zahraničí, věnovaná velká pozornost dalšímu rozvoji tlakového lití, které má stále nezastupitelnou úlohu při výrobě tenkostěnných odlitků, zejména ze slitin hliníku, hořčíku a zinku.

Tlakové lití do kovových forem je dnes rozšířeno pro mnoho technických výhod, např. možnost výroby odlitků složitých tvarů, s předlitými otvory, s vysokou rozměrovou přesností a hladkostí povrchu s minimálními přídávky na obrábění, jemnozrnnou strukturu a tím i vyššími mechanickými vlastnostmi. Nesmíme zapomenout, že má i ekonomické výhody, jako jsou menší hmotnost odlitků, vyšší využitelnost kovu a nižší pracnost dokončovacích operací. Tlakově lité odlitky mají jemnozrnnou krystalickou strukturu, což je jejich důležitá vlastnost, která úzce souvisí s rychlostí krystalizace, resp. tuhnutí odlitku. K té přispívají další dva důležité faktory: vysoká akumulární schopnost kovové formy a vysoký tlak působící na tavenu, který způsobuje její tzv. atermické podchlazení.

Při tlakovém lití lze odlévat slitiny s maximální tavicí teplotou cca do 1000°C, mají značné uplatnění především slitiny s nižší tavicí teplotou. Současně se snažíme překovávat nebo omezovat jeden z velkých nedostatků tlakově litých odlitků – porezitu, která se může objevit až po dokončovacích operacích a bývá příčinou netěsnosti odlitků. I přesto, že se vyskytuje tato nepříznivá vlastnost má tlakové lití největší uplatnění v leteckém a automobilovém průmyslu.

Současný rozvoj tlakového lití souvisí nejen s uplatňováním slévárenských vytvrditelných slitin a metodami jejich odplyňování před odléváním, vývojem a výrobou programově řízených tlakových strojů s volbou technologických parametrů, ale také s rozvojem a využitím specifických simulačních programů, které umožňují výpočty tuhnutí a chladnutí odlitků, včetně plnění forem. Programy zahrnují průběh celého výrobního cyklu, čímž se počítačová simulace stává vysoce účinným nástrojem predikce kvality tlakového odlitku.

4.1 Vybrané slévárenské slitiny pro tlakové lití

Slitiny, které se používají pro tlakové lití, musí být nejen dobře slévatelné, ale kromě vhodných mechanických vlastností musí vykazovat i dostatečnou pevnost za tepla. To umožňuje, aby tlakově lité odlitky při rychlém a brzděném smršťování ve formě nepraskaly. Ze slitin hliníku bývaly pro tlakové lití velmi používány slitiny: AlSi12, AlSi5Cu2, AlMg9, AlSi10MgMn. V současné době mají velké uplatnění slitiny AlSi9Cu3 a AlSi12Cu, popř. jejich modifikace, které se po vyjmutí z formy ochlazují ve vodě. To přispívá nejen ke stabilitě rozměrů odlitků pro následující operaci odstranění vtoku odstříháváním, ale současně se využívá následujícího efektu - tepelného zpracování - vytvrzování za normální teploty. Takto zpracovávané slitiny překonaly dříve uváděné důvody, proč nelze tlakově lité odlitky vytvrzovat. Vedle tlakových slitin hliníku, které díky metodám jejich odplyňování (např. profukování inertními plyny) doznaly značného rozvoje, se nyní začínají také uplatňovat pro tlakové lití slitiny hořčíku, které se vyznačují malou hmotností.

- Slitiny Al-Si-Cu – jedná se o nejvíce aplikované slitiny pro tlakové lití. Označovány jsou jako slitiny „pro všechny účely“. Mají velmi dobrou slévatelnost a dobré mechanické vlastnosti, ale jsou málo odolné vůči korozi.
- Slitiny Al-Mg – aplikace těchto slitin je především tam, kde se žádá vysoká odolnost

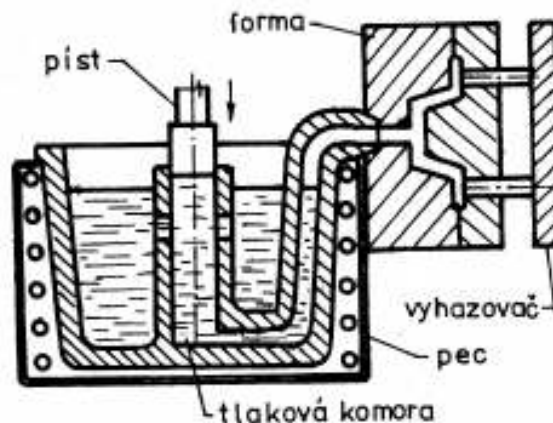
vůči korozi. Mají také vysoké pevnostní vlastnosti, vysokou tažnost, vynikající mechanickou obrobiteľnosť, dobré lomové hodnoty a nízkou specifickou hustotu. Jejich slévárenské vlastnosti jsou špatné.

- Slitiny Al-Si – mají vynikající slévateľnosť, veľmi dobrou odolnosť vůči korozi, ale špatnou mechanickou obrobiteľnosť. Jsou velice vhodné pro odlitky větších rozměrů a tenkostěnné odlitky.

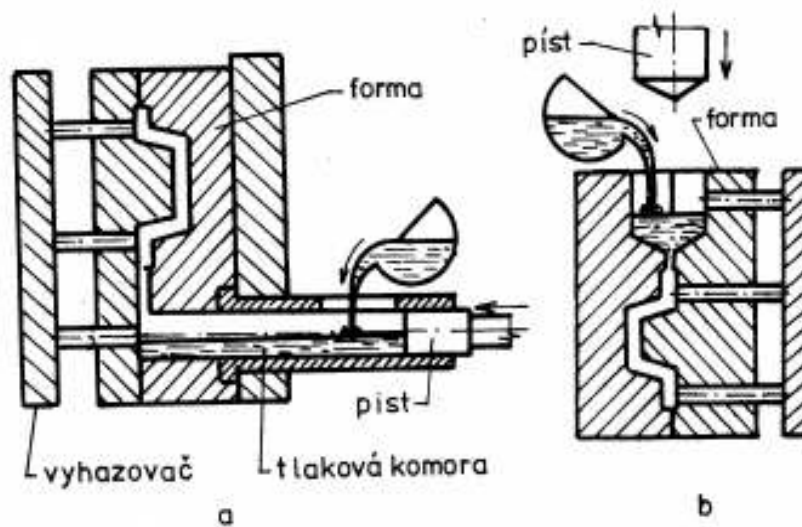
4.2 Stroje pro tlakové lití

Dnešní stroje pro tlakové lití jsou výsledkem téměř stoletého vývoje. K jejich vysoké kvalitě a výhodné konstrukci přispěla aplikace řídicích a elektronických prvků s využitím výpočetní techniky.

Ve svém vývoji doznaly konstrukce a technické provedení těchto strojů značných změn. Původní stroje s teplou tlakovou komorou dnes více nahrazují stroje se studenou tlakovou komorou.



Obr. 4: Tlakové lití s teplou komorou [7]



Obr. 5: Tlakové lití se studenou komorou [7]

Dalším pokrokovým prvkem byla konstrukce tlakových strojů s horizontální tlakovou komorou. Tato konstrukce našla ihned velké uplatnění, neboť tyto stroje dosahují vyššího pracovního výkonu, lepšího využití odlévaného kovu a současně se vyznačují jednodušším vstříkovacím systémem, resp. spolehlivostí provozu.

V současné době se vyrábějí tlakové stroje s velkou možností nastavení technologických parametrů nebo se vyznačují specifickou konstrukcí, např. pro dopravu taveniny do tlakové komory při odlévání slitin hořčíku, či speciálním systémem ovládání vakua ve formě. Také existuje možnost uplatnit i netradiční, modifikované metody vysokotlakového lití, kam se také řadí ve větším měřítku postupně zavádění metody vakuového tlakového lití, označované jako Vacural. V tomto případě tvoří tlaková forma, tlaková komora a píst uzavřený vakuový prostor a celý proces probíhá ve vakuu. Odlitky neobsahují plynovou poretitu, oxidické vměstky, a tím vykazují větší mechanické vlastnosti než odlitky vyráběné běžnou metodou tlakového lití. Nové metody tlakového lití též vyžadují speciální konstrukce a úpravy strojů pro tlakové lití. Mezi tyto metody se řadí Squeeze Casting a Semi-solid Metal Casting.

- **Squeeze Casting**

Metoda Squeeze Casting je založena na vtlačení speciálního pístku do pomocného nálitku umístěného nad materiálovým uzlem odlitku ještě v okamžiku, než ztuhne kov ve formě. Tento proces potlačuje vznik staženin nebo je rozptyluje do nepatrných velikostí, proto je vhodný při výrobě odlitků s tepelnými uzly nebo rozdílnou tloušťkou stěn. K tomuto účelu

slouží tlakový stroj se speciálním přídavným zařízením a upravenou slévárenskou formou. Tímto způsobem je vyroben pozoruhodný tlakový odlitek bloku spalovacího motoru vozidla Porsche Boxter. Odlitek je ze slitiny $AlSi9Cu3$ se zalitými vložkami z kompozitního materiálu na bázi hliníku s 25 % částic křemíku a 5 % výztužných vláken Al_2O_3 . Zpomalené plnění formy umožňuje infiltraci odlévané taveniny do povrchu vložek založených do formy s cílem dokonalého zalití.

- **Semi-solid Metal Casting**

Metoda Semi-solid Metal Casting (Thixo-Casting) je založena na tixotropním stavu a byla doplněna vytvořením speciální slitiny "Thixalloy" ($AlSi10MgCu$), která je při vlastní výrobě polotovarů plynulým odléváním navíc podrobena míchání v elektromagnetickém poli. Po ztuhnutí se vyznačuje globulárním tvarem krystalů. Při odlévání se polotovary ohřívají na teplotu $578\text{ }^{\circ}C$, tj. do polotekutého stavu, vkládají se do komory tlakového stroje a vtlačují do dutiny formy. Výsledkem je neporézní, velmi kompaktní odlitek s nepatrnými otřepy. Pro tento způsob je tlakový stroj konstrukčně přizpůsoben a současně se používá speciální zařízení pro ohřev válcového polotovaru, včetně manipulátoru k zakládání.

V současné době se výrobci tlakových strojů zaměřují na nabídky celých slévárenských komplexů - tlakových slévárenských buněk včetně začlenění robotů, manipulátorů, různých příslušenství a kontrolních prvků. Tlakové stroje se vyrábějí podle velikosti uzavírací síly.

Současně je třeba dodat, že každý výrobce má ve svém výrobním programu určitou řadu strojů. Výrobci strojů pro lití pod tlakem kladou značný důraz na přesnost výroby jednotlivých částí strojů, trvale vylepšují vybavení strojů a jejich lisovací a řídicí systémy.

Stroje s bezmultiplikátorovým lisovacím systémem s vysokotlakým pohonem a řízením pohybu tlakového pístu v odtahu pracovního válce jsou postupně nahrazovány stroji s multiplikátorem lisovacího systému, což zaručuje vysokou stabilitu nastavených parametrů lití.

Plynulé snímání nastavení polohy tlakového pístu a pracovních tlaků umožňuje vyhodnocování a regulaci nastavených parametrů lití. Je možné libovolně programovat průběh předplňovací fáze lisování. Všechny důležité parametry lití jsou vyhodnocovány a ukládány do paměťové jednotky stroje, což urychluje seřízení technologického procesu při výměně slévárenské formy.

V současné době se výrobou strojů pro tlakové lití zabývají různé firmy. U nás je výrobcem těchto strojů společnost RTS Rakovník, která vyrábí horizontální stroje o velikosti uzavírací síly 2500, 4000, 6300 a 7500 kN. Současně provádí opravy a modernizaci. Opravami a modernizací tlakových strojů se zabývá také společnost DEL, a. s., Ždár n. Sázavou. Na Slovensku je výrobcem tlakových strojů od roku 1949 firma Vihorlat Snina (jejich výrobky mají označení "originál Polák"). Určitý podíl výroby má také firma DEL Casting Humenné.

5. Porovnání s ostatními konstrukčními materiály a výhody použití Mg

Hořčík a jeho slitiny nabízí jako konstrukční materiál řadu výhod a charakteristických znaků. Automobilový průmysl začal již hořčík a jeho slitiny intenzivně používat, a to ze začátku zejména pro interiérové prvky, jako je např. středový panel, přístrojová deska, rámy sedaček, volant, konstrukce střešních oken atd. Novým trendem v oblasti používání Mg slitin v automobilovém průmyslu je snaha o zmenšení hmotnosti i ostatních částí - začaly se používat na střešní panely, sklápěcí střechy, litá či tvářená kola, sestavy pro vnitřní potrubí, víka hlav válců, olejové vany, startéry, alternátory, a dokonce bloky motorů.

Vlastností, která omezuje použití hořčíku a jeho slitin je horší korozní odolnost. Proto je nahrazován hliníkem a plasty.

Důležitou vlastností Mg slitin je, že mají nízkou hustotu. Při rozsáhlém používání se při snížené hmotnosti dosáhne snížení paliva. Experimentálně získaná data ukazují možnost celkové úspory hmotnosti přibližně 10%, což vede k úsporám paliva o řádově 20 – 30% bez drastických změn v konstrukci automobilu. Nové osobní automobily produkují průměrně 150 g/km výfukových plynů. V případě použití Mg slitin může být množství výfukových plynů redukováno na 100 - 120 g/km. Vzhledem k velkému a neustále narůstajícímu počtu automobilů může tedy dojít k výraznému poklesu produkovaného a vypouštěného CO₂ výfukovými plyny do atmosféry, což opět bude zmírňovat dopady globálního oteplování.

Hlavní výhody hořčíku a jeho slitin před ostatními materiály spočívají v aplikaci technologie tlakového lití, která nabízí velké množství ekonomických výhod. Mnohé typy součástí nemohou být s ohledem na materiálové a technologické vlastnosti vyráběny z jiných materiálů či srovnatelnou technologií.

V dnešní době je technologie tlakového lití na vysoké úrovni, ale jsou neustále snahy tuto technologii zdokonalovat a používat nové typy slitin se speciálními vlastnostmi. Ještě je řada aspektů, které je nutné zdokonalit např. vývoj odpovídajícího nástrojového materiálu pro

slitiny s vysokou teplotou tavení nebo zlepšení dokončovacích technik ve výrobě nástrojů pro velké lisovací stroje.

Technologie zpracování Mg slitin je natolik obtížná, že podle současných poznatků je nejlepší pro výrobu členitých výrobků z Mg slitin používat technologii tlakového lití či gravitační lití do pískových či kovových forem.

Klíčové výhody Mg a jeho slitin:

1. Většina Mg slitin má výbornou tekutost a zabíhavost, což je výhodné u tvarově složitých a tenkostěnných odlitků.
2. Mg slitiny mají nižší hodnoty specifického objemového tepla než slitiny Al a Zn, tzn. že odlitky z Mg slitin chladnou rychleji, což umožní zrychlení licího cyklu a tím pádem i snížení opotřebení nástroje.
3. Mg a jeho slitiny se vyznačují velmi nízkou hustotou, tzn. že stejných vtokových podmínek může být dosaženo nižšími tlaky.
4. Fe z nástroje má velmi nízkou rozpustnost v tekutých Mg slitinách, je tedy sníženo nebezpečí tzv. lepení na nástroj (nejčastěji se s tímto jevem setkáváme u Al slitin).
5. Ze všech výše uvedených výhod vyplývá hlavní výhoda - prodloužení životnosti nástroje na dvoj- až trojnásobek v porovnání se slitinami Al.

Další výhody aplikací Mg a jeho slitin

- *Spojování částí* - slévateľnosť a rozměrová stabilita Mg slitin dovoluje, aby výrobek byl vyroben jako jednodílný - je to lepší i z hlediska rovnoměrnosti struktury:
 - homogenní konstrukce;
 - zjednodušená konstrukce;
 - vyšší spolehlivost;
 - méně spojů, částí a spojovacích elementů;
 - nízké náklady (odpadají náklady na spojování a montáž);
 - méně odpadů a zmetků;
 - nižší neurčitelné náklady;
 - snazší skladování.

- *Zjednodušení konstrukce* - je možné až do jednoduché skořepiny. To je i jedna z výhod, která může vést k používání silnostěnných Mg částí místo tenkostěnných částí požadujících zvláštní vyztužení:

- větší robustnost, která prodlouží životnost a sníží počet oprav;
- větší tuhost;
- větší objemová kapacita pro stejnou velikost (nejsou potřeba výztužná žebra);
- menší hmotnost při stejné objemové kapacitě;
- hladký povrch pro dosažení lepšího vzhledu a aerodynamiky.

- *Mimořádná rozměrová stabilita* - Mg slitiny odlévané technologií tlakového lití projevují stálý a předvídatelný staženinový poměr během tuhnutí a chladnutí. Součásti z Mg slitin jsou vyjímány z nástroje s minimální deformací a minimálními zbytkovými pnutími.

1. *Vysoké výrobní tempo* - Mg a jeho slitiny rychle chladnou (nízké specifické teplo), podobně se i s menšími energetickými náklady dosáhne tekutého stavu - ve srovnání se slitinami Al. Záleží na velikosti dílu a typu technologie, obecně však platí, že některé části z Mg slitin mohou být vyrobeny až o 50 % rychleji než stejné součásti z Al slitin.

2. *Prodloužení životnosti nástroje* - díky rychlému chladnutí a nízké reaktivitě s Fe nedochází k lepení slitiny na formu a je snížen efekt tepelné únavy a eroze nástroje. Životnost nástroje se rapidně prodlouží.

Tyto faktory v kombinaci s faktem, že Mg a jeho slitiny mají pouze dvoutřetinovou hmotnost Al a jeho slitin, vedou k nárůstu používání tlakových odlitků z Mg slitin nejen v automobilovém průmyslu.

6. Zkoušky kvality odlitků lze rozdělit:

- a) Zkoušky chemické a fyzikální, které slouží ke kontrole chemického složení surovin, roztaveného kovu a hotového odlitku. K chemickému rozboru se odebírá vzorek. Vlastní zkoušky jsou nákladné a zdlouhavé a vyžadují zvláštní vybavení chemické laboratoře. Rychlejší jsou metody fyzikální analýzy, např. spektrální analýza, která umožňuje korekci chemického složení tekutého kovu v tavicí peci ještě před litím do forem.
- b) Zkoušky mechanických vlastností, např. pevnost v tahu, tlaku a ohybu, tvrdost, vrubovou houževnatost apod. Další zkoušky se zařazují podle sjednaných přejímacích podmínek.

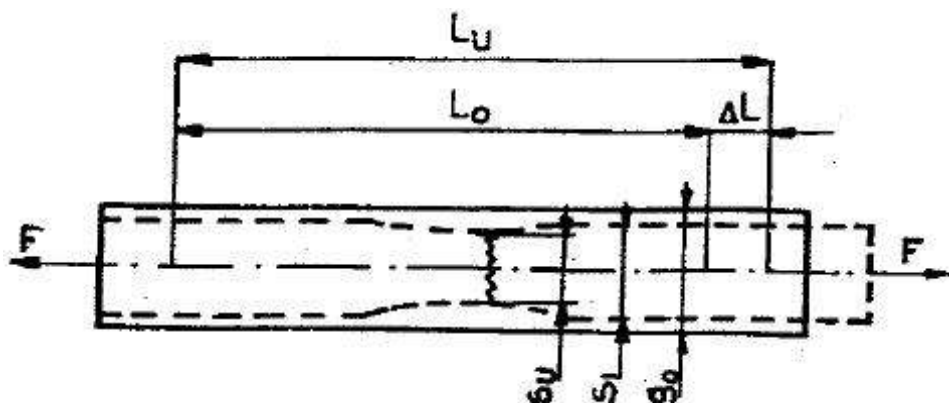
Vzorky se odebírají z hotového odlitku, nebo současným odléváním za stejných podmínek.

- c) Zkoušky nedestruktivní /defektoskopické/, tj. bez poškození hotového odlitku. Patří sem zejména zkoušky rentgenovým a gama zářením a zkoušky ultrazvukem, kterými je možno identifikovat vnitřní vady, např. praskliny, bubliny, staženiny, vměstky atd. Na zjišťování povrchových vad se dobře uplatňují zkoušky kapilární a magnetické.

6.1 Druhy zkoušek

6.1.1 Statická zkouška tahem

Je to jedna ze základních mechanických zkoušek. Dochází k jednoosé tahové napjatosti zkušební vzorku. Normalizované zkušební tyče se v průběhu zkoušek upínají do trhacího stroje, který vyvozuje zvyšující se spojitě statické zatížení až do lomu vzorku. U stroje je i zařízení na regulaci síly, vyvozené deformace a na záznam jejich vzájemné závislosti. Vzniklý pracovní diagram, spolu s charakteristickými rozměry zkušební tyče před a po deformaci a tvarem lomové plochy jsou podkladem pro hodnocení zkoušky. Získané hodnoty pevnostních i deformačních charakteristik představují důležité ukazatele mechanických vlastností zkoumaného materiálu.

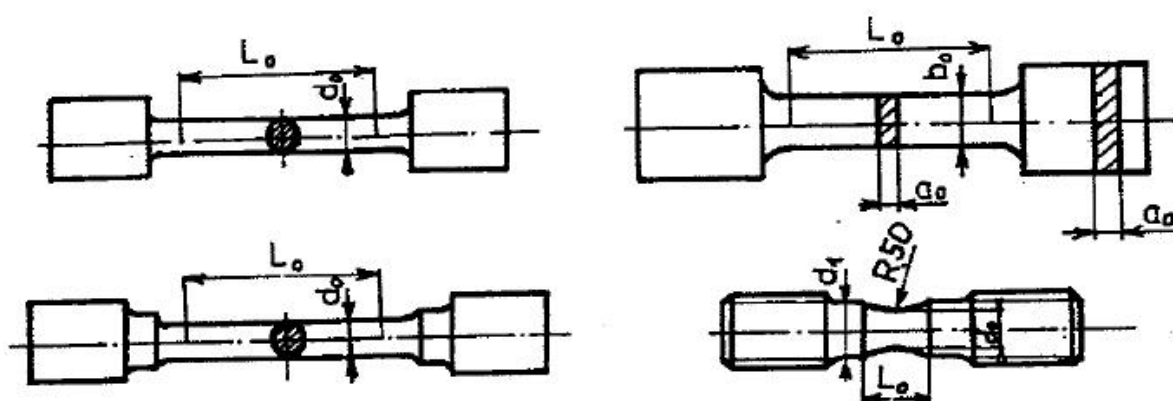


Obr. 6: Princip tahové zkoušky [6]

- **Zkušební tyče**

Rozměry, tvar a přípravu zkušebních tyčí pro tahovou zkoušku stanovují normy ČSN 0311, ČSN 42 0314 až ČSN 42 0321 a ČSN 420329 až ČSN 42 0337. Dělí se podle (Obr. 7, tab. 2)

- Průřezu na tzv. tyče ploché (obdélníkového průřezu), nebo válcové (s kruhovým průřezem), výjimečně i jiné.
- Podle poměru počáteční měřené délky L_0 a charakteristiky průřezu (d, S) na tyče krátké a dlouhé
- Podle tvaru a rozměru upínacích hlav a přechodové části z hlav do zkušební délky v závislosti od způsobu upevnění v čelistech zkušebního stroje. Používají se nejčastěji hlavy osazené, závitové, hladké.
- Podle druhu zkušebního materiálu (oceli, litiny)



Obr. 7: Příklady zkušebních tyčí pro statickou tahovou zkoušku [6]

Zkušební tyč	Pro průřez kruhový	Pro průřez čtvercový, obdélníkový, popř. jiný	Označení tažnosti
krátká	$L_0 = 5 \cdot d_0$	$L_0 = 5,65 \cdot (S_0)^{0,5}$	A_5
dlouhá	$L_0 = 10 \cdot d_0$	$L_0 = 11,3 \cdot (S_0)^{0,5}$	A_{10}

Tab. 2: Zkušební tyče [6]

• Průběh zkoušky a deformační chování materiálu

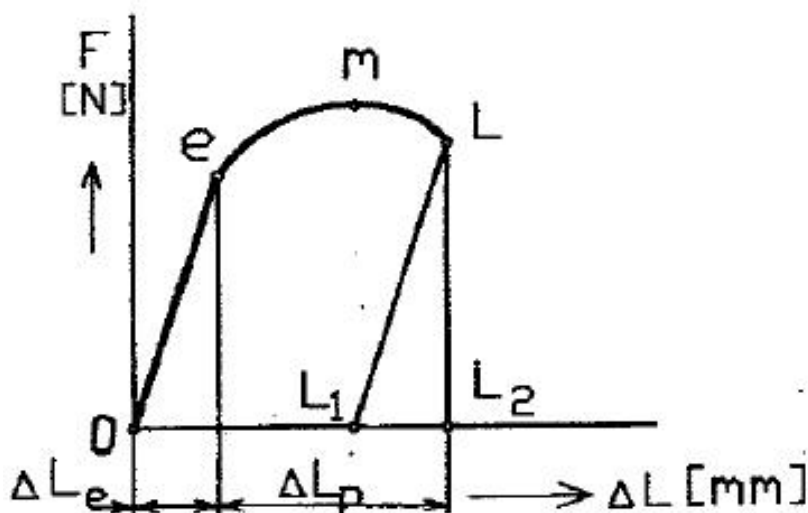
Na vzorku (zkušební tyči) se označí ryskami měřená délka L_0 , která je rozdělena u krátkých tyčí na 10 dílků a u dlouhých tyčí na 20 dílků. Po upnutí vzorku a nastavení zatěžující síly dojde k samotnému zatěžování.

Po zatížení statickou silou F dojde k absolutnímu prodloužení o hodnotu ΔL . Tvar pracovního diagramu je na obr. 8.

V první etapě deformace dochází k prodloužení elastickému – vratnému (ΔL_e), je přímo úměrné velikosti působící síly. Po překročení určité hodnoty zatěžující síly (bod „e“) se zkušební tyč prodlužuje plasticky – nevratně (ΔL_p) a celkové prodloužení je tvořeno součtem $\Delta L = \Delta L_e + \Delta L_p$. Zároveň se průřez tyče zužuje rovnoměrně po zkušební délce a v závislosti od charakteru a stavu materiálu začíná proces jeho deformačního zpevnování (popř.

změkčování) Dalším zvyšováním napětí se urychluje nárůst deformace až po hodnotu zatížení (odpovídající bodu „m“), kdy se rovnovážná deformace změní v lokální. Do tohoto okamžiku se tyč prodlužovala po celé délce rovnoměrně a napětí bylo v podstatě jednoosé. V poslední etapě deformace při zaškrcování tyče (oblast diagramu mezi body „m“,L) vzniká značný podíl příčných pnutí. Místní zúžení průřezu má za následek koncentraci všech jeho složek, rychlý pokles únosnosti materiálu až po porušení vzorku. (bod „L“).

Plocha „0-e-m-L-L2“ diagramu charakterizuje energii spotřebovanou na celkovou (elastickou i plastickou) deformaci, plocha „0-e-m-L-L1“ charakterizuje podíl energie potřebné k deformaci plastické. Veličina slouží pro hrubé posouzení houževnatosti materiálu a jeho chování při plastické deformaci.



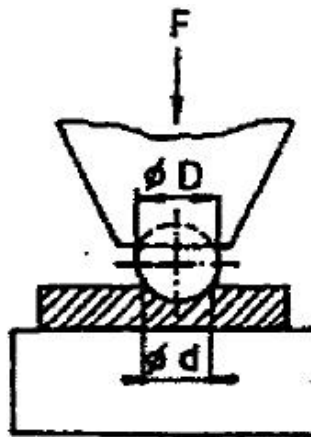
Obr. 8: Pracovní diagram tahové zkoušky [6]

6.1.2 Zkoušky tvrdosti

- **Podle Brinella**

Metoda spočívá ve vtlačování ocelové kuličky o průměru D do zkušebního tělesa (výrobku). Stálým působením síly F směřující kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu t . Po odlehčení zatížení se změří průměr d vtisku (obr. 8). Na výsledek zkoušky má vliv zejména velikost zatěžující síly pro daný průměr kuličky, doba zatížení a velikost vtisku se zřetelem na rozměry zkoušeného předmětu.

Velikost zatížení a doba, po kterou se udržuje jeho maximální hodnota se volí v závislosti od jakosti zkušební vzorku. Zatížení se stanovuje jako násobek čtverce průměru kuličky D , např. pro ocel $F=30D^2$, pro neželezné kovy a slitiny $F=10D^2$ atd. Volbu zatěžujících sil a doby působení pro různé materiály uvádí tabulka 3.



Obr. 9: Princip zkoušky podle Brinella [6]

Průměr kuličky D [mm]	Zatěžující síla F							
	[kp]	[N]	[kp]	[N]	[kp]	[N]	[kp]	[N]
10	3000	29430	1000	9800	500	4900	250	2450
5	750	7355	250	2450	125	1225	62,5	613
2,5	187,5	1840	62,5	613	31,25	306,5	15,625	153,2
2	120	1176	40	392	20	196	10	98
1	30	294	10	98	5	49	2,5	24,5
Materiál	Fe a slitiny		neželezné kovy a slitiny		lehké kovy a slitiny		Pb, Sn a kompozice	
Rozsah hodnot tvrdosti	67-450		22-315		11-158		6-78	
Doba trvalého zatížení [s]			30s pro HB (HV) > 40 60s pro HB (HV) < 40				180 s	

Tab. 3: Volba zatěžujících sil a doba působení [6]

Příprava vzorku, musí mít dostatečně rovný povrch, bez okují, nejčastěji přebroušený. Přičemž nesmí dojít k lokálnímu přehřátí nebo deformaci za studena. Tloušťka materiálu by neměla být menší než $0,6D$. U tenčího vzorku by kulička prostoupila celou tloušťkou a na výsledné tvrdosti by se projevil vliv tvrdosti podložky. Rovněž je předepsaná nejmenší vzdálenost mezi jednotlivými vtisky od okraje zkoušeného materiálu.

Hodnocení zkoušky. Průměr vtisku se měří ve dvou vzájemně kolmých směrech a uvažuje se aritmetický průměr obou měření. Rozdíl mezi hodnotami průměru jednoho vtisku nesmí převýšit 5% menšího z nich. Podmínky zkoušky (průměr kuličky a velikost zatížení) se volí s ohledem na podmínku, že průměr vtisku nemá překročit rozmezí $d=(0,26-0,6)D$.

Tvrdost je definována poměrem zatížení k ploše vytlačeného důlku.

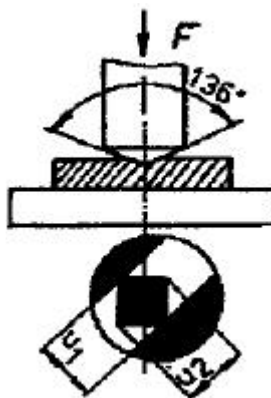
$$HB = \frac{F}{S} = \frac{0,204F}{\pi D(D - D^2 - d^2)} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Označování tvrdosti. Stanovená tvrdost má tedy rozměr napětí, ale vyjadřuje se prostým číslem – v jednotkách tvrdosti podle Brinella. Podmínky zkoušky se připojují k značce tvrdosti HB v pořadí: průměr kuličky, velikost a doba zatížení (např. HB_{5/750/10})

Rozsah použití. Zkouška tvrdosti podle Brinella je vhodná pro zkoušení kovů o tvrdosti nejvýše 450HB (viz tab. 3). Při vyšších tvrdostech je nebezpečí deformace zkušebního tělíska, pokud se výjimečně nepoužije kuličky ze slinutých karbidů. Poměrně velký rozměr vtisku Brinellovy kuličky umožňuje určit průměrnou tvrdost i nehomogenních materiálů (např. litiny), neboť vtisk zasáhne větší počet zrn. Z uvedených důvodů lze z Brinellova čísla tvrdosti též usuzovat i na pevnost materiálu.

- **Podle Vickerse**

Metoda používá jako vnikací tělísko diamantový čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136° (obr. 10). Při tomto tvaru jsou vtisky geometricky podobné i při změně zátěže síly ve velkém rozsahu. Tzn., že na rozdíl od zkoušky podle Brinella nezávisí hodnota tvrdosti na zátěžné síle. Tvrdost se stanovuje na základě střední hodnoty délky úhlopříčky „u“ odečtením z tabulek.



Obr. 10: Princip zkoušky podle Vickerse [6]

Parametry zkoušky. Obvyklá zatížení jsou od 1 do 100kp. Přednostně volíme řadu používaných zatížení 1; 2; 2,5; 3; 5; 10; 20; 30; 50 a 100kp (9,8; 19,6 ... až 980N). Doba trvalého působení zatížení se volí podobně jako při zkoušce tvrdosti podle Brinella od 10 do 180s podle tvrdosti zkoušeného materiálu (viz tab.3).

Příprava zkoušeného materiálu. Metoda vyžaduje, vzhledem k malým rozměrům vtisků pečlivou úpravu povrchu. Tloušťka vzorku nesmí být menší než dvojnásobek úhlopříčky vtisku.

Tvrdost podle Vickerse je definována:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{0,189F}{u^2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

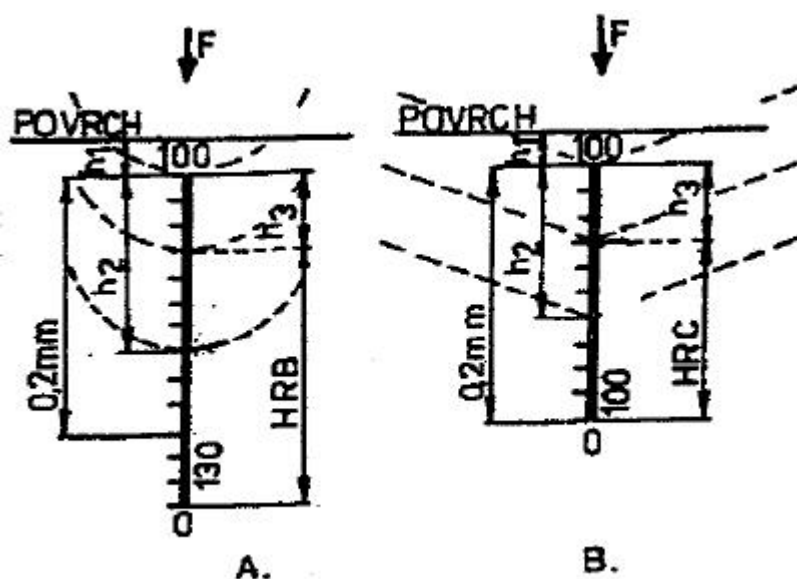
Kde za velikost úhlopříčky „u“, jako charakteristický rozměr vtisku, podobně jako u předešlé metody uvažujeme aritmetický průměr hodnot u_1 a u_2 , odečtených optickým systémem tvrdoměru (obr. 10).

Označování tvrdosti. Tvrdost podle Vickerse (např. 720), stanovaná při smluvních podmínkách ($F=294\text{N}$; tj. 30kp a doba 10-15s) se označuje: $HV=720$. Při odlišných podmínkách zkoušky se označení doplní hodnotami použitého zatížení F [kp] a doby zatížení t [s], : $HV_{50/30}=720$.

Rozsah použití. Vzhledem k materiálu identitu uvedená metoda umožňuje zkoušet materiály o vysoké tvrdosti. V porovnání z metodou podle Brinella nebo Rockwella je zkouška podle Vickerse nejpřesnější. Není vhodná pro materiály s heterogenní strukturou s relativně velkými a zároveň co do tvrdosti značně odlišnými strukturálními složkami.

- **Podle Rockwella**

Na rozdíl od předešlých metod jako kritérium tvrdosti materiálu používá hloubku vtisku. Zkušební těleso s diamantovým kuželem se zaobleným hrotem o vrcholovém úhlu 120° (tvrdost je označována HRC, HRA), nebo celkovou kalenou kuličkou o průměru $1/16''=1,587\text{mm}$ (s označením tvrdosti (HRB) se vtláčuje ve dvou etapách do povrchu zkoušeného materiálu. Postup zkoušky a způsob určení výsledné tvrdosti pro jednotlivé stupnice je na obr. 11.



Obr. 11: Schématické znázornění určování hodnoty tvrdosti podle Rockwella [6]

- a) metoda s ocelovou kuličkou
- b) metoda s použitím diamantového kuželu

V první etapě se indentor s předběžným základním zatížením $F_0=10\text{kp}$ pomalu vtlačí do hloubky vtisku h_1 . Pak se nastaví stupnice hloubkoměru do počáteční polohy a zatížení se zvýší na hodnotu předepsanou normou. Pod účinkem síly $F=F_0+F_1$ se vytvoří vtisk hloubky $h=h_1+h_2$. Po odlehčení přídavného zatížení se odečítá hodnota tvrdosti na stupnici hloubkoměru, přičemž měřítkem tvrdosti je velikost zvětšení hloubky h_3 vniknutí odpovídajícího tělesa.

Parametry zkoušky. Hodnota přídavného zatížení je stanovena podle použitého indentoru (tab. 4). Doba působení zatížení je při použití diamantového kuželu 10s, pro kuličku závisí od zkoumaného materiálu, podobně jako při zkoušce tvrdosti podle Brinella.

Příprava zkoušeného materiálu. Platí zásady jako při předešlých metodách, přičemž tloušťka zkoušené vrstvy se musí rovnat nejméně 10-ti násobku hloubky vtisku.

Hodnocení a označování tvrdosti. Tvrdost je definována rozdílem:

$$\text{HRB}=130 - h_3 \dots \text{ pro metodu s použitím kuličky}$$

$$\text{HRC}=100 - h_3 \dots \text{ pro metodu s použitím kuželového indentoru}$$

Vzhledem k tomu, že tvrdoměry jsou vybaveny indikátory s dvěma stupnicemi (100 nebo 130 dílků), hodnotu tvrdosti odečítáme přímo. Jeden stupeň tvrdosti odpovídá hloubce vtisku 0,002mm.

Označení tvrdosti obsahuje použitou stupnici, např. HRC=60 znamená tvrdost 60 jednotek podle Rockwella, stanovuje metodu s kuličkou. Označování tvrdosti, předepsanou velikost zatěžujících sil s doporučeným rozsahem použití jednotlivých metod podle tvrdosti HR udává tab. 4.

Ozn. tvrdosti	Zatížení						zkušeb. tělísko	Rozsah použití
	předběžné zatížení F_0		přídavné zatížení F_1		celkové zatížení F			
	[kp]	[N]	[kp]	[N]	[kp]	[N]		
HRB	10	98	90	883	100	981	kulička	25-100
HRC	10	98	140	1373	150	1471	kužel	20-67

Tab. 4: Metody tvrdosti podle HR [6]

7. Experimentální posouzení

Pro první experiment byl vybrán vzorek kola, který vyrobili ve firmě BEZ MOTORY a.s. v Hradci Králové. Disk je ze slitiny AZ91HP, jejíž hlavním prvkem je hořčík. Odlit byl gravitačním litím. Tato součást je určena pro firmu BBS. Disk je používán pro sportovní účely, protože jeho cena je daleko vyšší oproti diskům z hliníkových slitin. Posuzoval jsem několik faktorů: chemické složení slitiny, zkoušku tvrdosti, mikrostrukturu, RTG a lomovou zkoušku.



Obr. 12: Testovaný disk kola

7.1 Interní recyklace vratného materiálu hořčíku

Recyklace „v buňce“ (tavicí peci): Čisté nálitky mohou být roztaveny přímo v tavicích pecích. Kvůli oxidům a ostatním vměstkům je možný objem recyklace omezen. Nezbytné je zařízení pro přesnou analytickou a metalografickou kontrolu.

Recyklace „v domě“: Vratný kovový materiál (i externí šrot) se recykluje a upravuje v odděleném recyklačním provozu u slévárny. Používají se dva postupy:

- přetavení pod tavidly – přetavení kovového vratu (šrotu) Mg pod krycím plynem v peci nístějového typu, je použitelné pouze pro kovový odpad třídy 1, výhodami jsou nízké dodatečné investice a nízká spotřeba energie.
- přetavení se solí – přetavení vratu (šrotu) Mg pod krycí solí, i tento způsob lze použít ke zpracování všech druhů tříd odpadu kromě aplikovaných tavidel a břechky (neupravené), jestliže se použije třída odpadu 1 – 2, může být vyrobena slitina hořčíku o vysoké čistotě.

Oba postupy mohou produkovat housky Mg nebo roztavený kov pro tekutou vsázku. Jak při přetavení pod tavidly, tak při přetavení krycí solí se tvoří stěry (plovoucí na tavenině) a kal padající do taveniny právě tak jako rezidua se zbytkovým obsahem kovu (70 – 80 % Mg pro kal, 60 – 90 % Mg pro stěr). Pro obnovu obsahu kovu existují tři možnosti:

- přetavení s krycí solí (ve stejné nebo oddělené peci)
- přetavení v průmyslu výroby hliníku a slitin hliníku
- využití pro odsíření železa nebo oceli.

Jestliže se kovový materiál přetavuje v tavicí peci bez tavidel, pak přetavení stěrů a kalu s krycí solí vyžaduje provoz oddělené pece.

Přetavení kovových odpadů smíšených tříd se provádí přetavením s krycí solí.

Smíšený kovový odpad potřebuje předchozí úpravu. Tabulka 6 udává přehled vstupů a výstupů instalací pro předchozí úpravu.

Vstupy	Zařízení	Výstupy	Koncová technologie
- zaolejované nebo mokré třísky Mg (> 2 % oleje nebo vody)	Odstředivka	- třísky Mg (< 2 % oleje nebo vody)	
- odstředěné a všechny ostatní třísky - elektrina	Lis (teplota = 400 °C)	- lisované třísky - odsátý vzduch	separátor částic pro odpařený olej
- nálitky, špatné odlitky - stěry (bez solí, z procesu slévárny) - elektrina	Drtič (je-li to nezbytné)	- drcený materiál - prach	

Tab. 6: Vstupy a výstupy v provozu pro úpravu odpadu hořčíku [3]

Obnova kovu ze zbytku přetavovacích solí se provádí drcením za sucha, prosíváním s magnetickou separací nebo použitím mokrého systému praní. Mokrý systém produkuje frakce hořčíku a kal, který může být po odvodnění použit při výrobě hnojiv.

- **Přínosy pro životní prostředí**

Hlavním přínosem je optimalizovaná recyklace hořčíku. Interní recyklace má další přínos ve vyloučení dopravy do externího recyklačního závodu. Účinnost recyklace se zvyšuje podle specifického typu tavení.

- **Účinky na ostatní média**

Přetavení zbytků krycích solí vyžaduje použití ochranných plynů se sírou (SF₆), jejichž emise přispívají ke globálnímu oteplení.

- **Ekonomika**

Náklady na externí recyklaci se odhadují přibližně na 1 200 EUR/t v závislosti na druhu dopravy, na vzdálenosti přepravy a na místním trhu. Náklady na recyklaci ve vlastním závodě jsou 500 EUR/t, rozdíl činí 700 EUR/t. Pro slévárnu recyklující 1 500 t/rok to znamená potenciální úsporu více než jeden milion EUR za rok.

7.1.1 Hořčíkový odpad

Ve slévárně tlakového lití hořčíku je množství vratného materiálu téměř ekvivalentní množství dobrých tlakových odlitků. Asi 80 % vratného materiálu vyhovuje odpadu jakostní třídy 1 (viz tabulka 7).

Třída	Popis
Třída 1	čistý, kompaktní vrat známého složení nálitky: čisté zbytky po lisování: čisté zmetkové odlitky: čisté, bez povlaku
Třída 2	odpad z odlitků, nabarvený (částečně vložky z Fe, Al, žádné znečištění mědí a niklem)
Třída 3	nečistý celistvý kovový odpad (zaolejovaný, vlhký, znečištěný pískem, mědí, niklem, ferrosiliciem), tedy většinou odpad po použití výrobku (zlomkový materiál)
Třída 4	třísky po soustružení: suché, čisté třísky po soustružení: zaolejované, vlhké otřepty, vtoky: zaolejované, vlhké
Třída 5	stěry (z povrchu kovu)
Třída 6	struska z kelímku
Třída 7	tavidlo obsahující odpad, použitou sůl (černé stěry)
Třída 8	nekovové zbytky
Třída 9	intermetalické sloučeniny

Tab. 7: Jakostní třídy odpadu hořčíku a slitin hořčíku [3]

7.1.2 Redukce glykolů v odpadní vodě u tlakového lití

Hydraulické systémy pro tlakové lití používají směs vody a glykolu jako hydraulickou kapalinu. Úniky z hydraulického systému a následné doplňování uniklé kapaliny do vodního systému by mohly vést k přítomnosti glykolů v odpadní vodě slévárny. Odstranění glykolu není možné použitím filtrace, nebo pomocí flotace.

Používají se tyto postupy:

o destilace, nebo odpařování ve vakuu

o biologické odbourání

o vyčištěná odpadní voda se může znovu použít jako ředidlo pro uvolňovací prostředek.

Je to velice důležitý vliv pro životní prostředí. Snižuje se znečištění vody.

- Na příkladu belgické slévárny se uvádí, že je voda v procesu upravena ve vakuové odpařovací jednotce (kapacita 3 m³/den).

Do odpařovací jednotky je přiváděna znečištěná voda ze tří zdrojů:

- nadbytečný separační prostředek (shromážděný pod vysokotlakými stroji)
- unikající hydraulická kapalina z licích automatů (voda + glykol)
- voda z čištění E-filtrem.

Vakuové odpařování produkuje koláč břechky, kterou je nutné zlikvidovat, a odpadní vodu. Odpadní voda má vysoké COD a vysokou tvrdost (zásaditost), proto je vhodná pro opětovné použití jako ředidlo pro uvolňovací prostředek.

Tato technologie se týká všech nových a stávajících sléváren tlakového lití. Snižuje znečištění vody jejich opětovné použití.

7.1.3 Tavení slitin hořčíku

Pro tavení slitin hořčíku zahrnuje následující nejlepší vhodné technologie (BAT):

- použít SO₂ jako krycí plyn, nebo nahradit SF₆ pomocí SO₂ jako krycího plynu, ten se používá pro instalaci s ročním výstupem 500 tun a více.
- pro menší slévárny použít SO₂ jako krycí plyn nebo přijímat opatření k minimalizaci spotřeby SF₆ a jeho emisí. V případě použití SF₆ je hodnota spotřeby spojená s BAT 0,9 kg/t odlitků pro odlévání do forem z pískových směsí a 1,5 kg/t odlitků pro tlakové lití.

Následující emisní hodnoty jsou spojovány s výše uvedenými opatřeními BAT. Veškeré hodnoty emisí jsou uvedeny jako průměr v průběhu možného měřitelného období. Kdykoli bylo proveditelné průběžné sledování, byla použita denní průměrná hodnota. Emise unikající do vzduchu jsou založeny na standardních podmínkách, tj. 273 K, 101,3 kPa a suchý plyn.

7.1.4 Orientační náklady

Předložené údaje jsou obecné a musí být upraveny individuálně pro každý podnik. V závislosti na výrobcích a na použitém procesu se musí vzít do úvahy také náklady na separaci odpadu, který musí být shromážděn specificky pro každou slitinu a každý postup.

Dalšími faktory jsou:

- odpisy (přibližně 10 % po dobu 5 let)
- personální náklady (35 – 40 %)
- náklady na nový materiál (přibližně 30 %) jako náhrada za ztrátu materiálu (odhadem 7 %)
- náklady na energii, údržbu, náhradní díly, sůl, odpad (20 – 25 %).

Amortizace se dvěma pecemi se pohybuje v rozmezí 8 až 11 měsíců. U zařízení s kontinuálním provozem s 500 kg hořčíku za hodinu je doba amortizace o několik měsíců delší.

Optimalizací odpadu z výroby se sníží jeho množství určeného k likvidaci. V Evropě nejsou hlášeny žádné recyklující závody pracující bez tavidel, ačkoliv technologie tavení je na trhu dostupná.

7.2 Materiálové posouzení disku kola ze slitiny Mg

- Chemická analýza

Provádí se na spektrometru SPERTROLAB Jr CCD firmy SPECTRO. V případě se provádí ověření analytickým rozbořem.

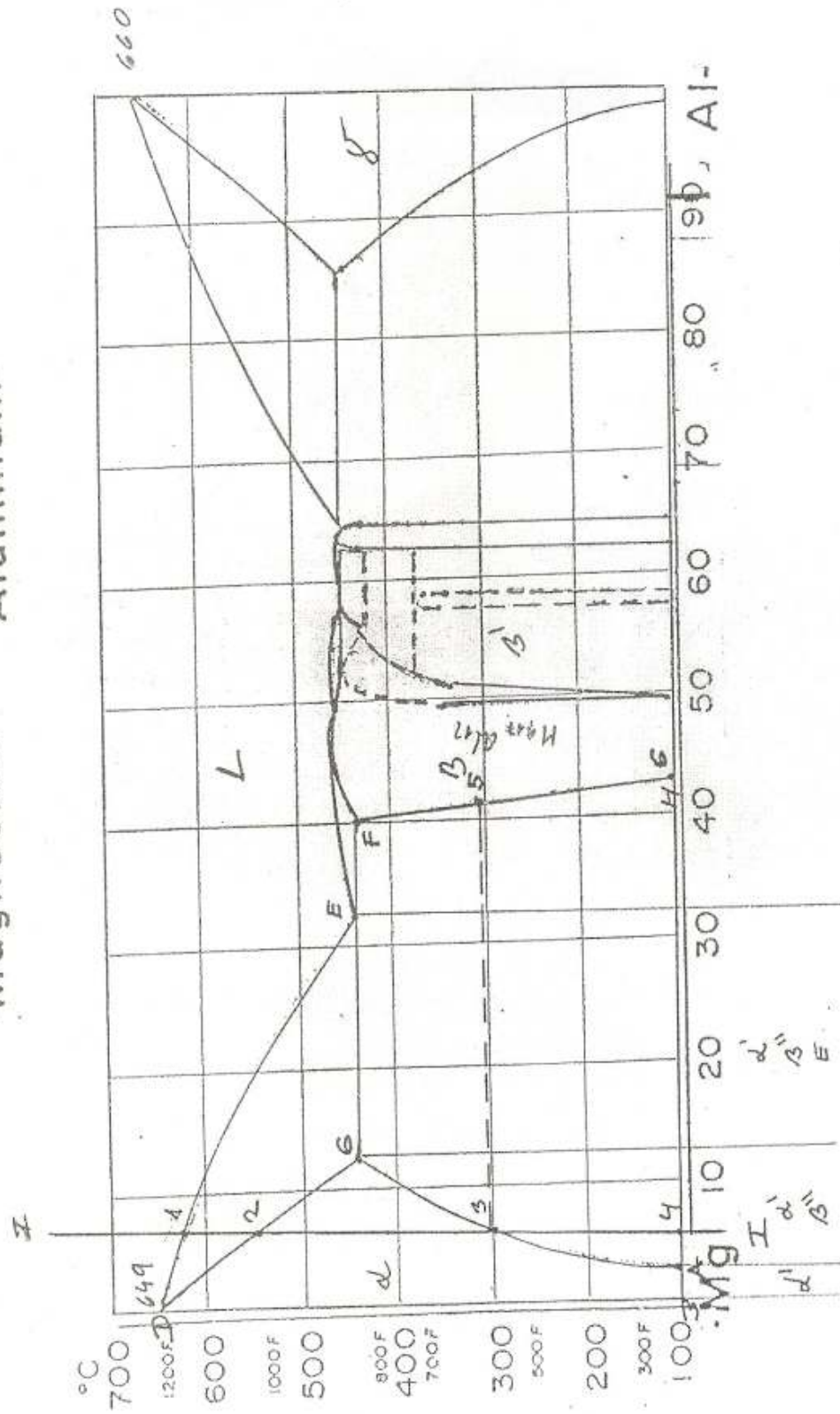
Rozbor je proveden z vyříznutého vzorku z housky.

Chemické složení slitiny AZ91HP (tab. 5)

Materiál	Objem v hmotnostních procentech
Al	8,91
Zn	0,71
Mn	0,25
Si	0,04
Cu	0,006
Fe	0,010
Mg	90,74

Tab. 5: Složení slitiny AZ91HP

Magnesium - Aluminum



Obr. 13: Rovnovážný diagram Mg - Al (bod I značí složení slitiny AZ91HP)

- Zkouška tvrdosti:

Měření se provádělo na hlavách zkušebních tyčí pro zkoušku na tvrdoměru HPO 250 kuličkou o průměru 2,5mm při zatížení 31,25 kp (306,5N).

59,8HBS

61,3HBS

- Metalografický rozbor:

Velikost zrna se hodnotí podle normy ČSN 42 0462. Optimální je velikost zrna G=2 až 4 dle síly stěny. Leptáno kyselinou šťavelovou.

Mikrostruktura vyhovuje

$G_1=4$

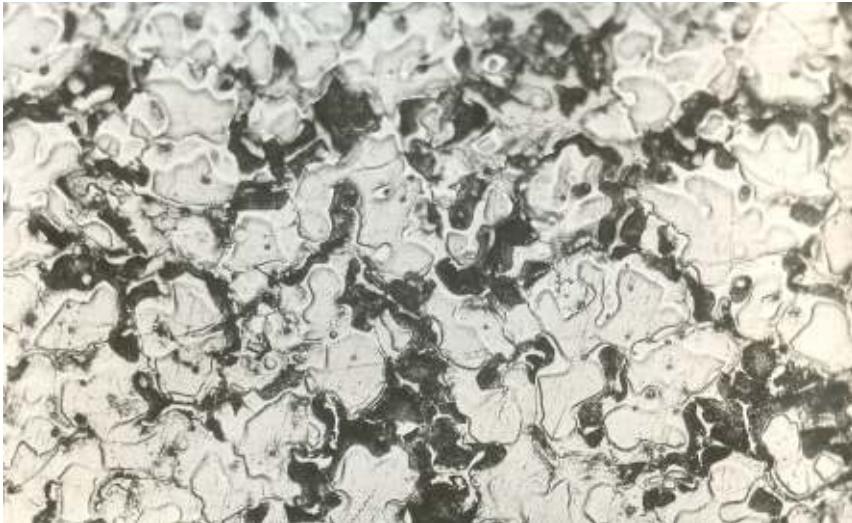
$G_2=3$



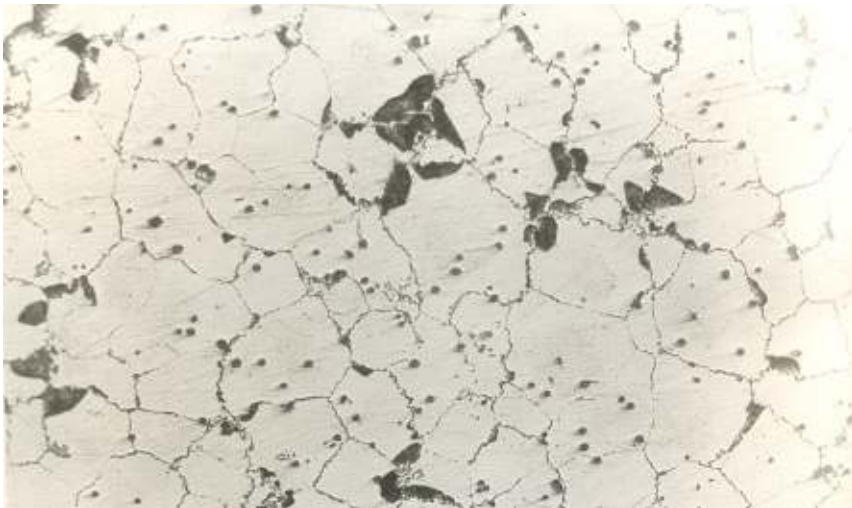
Tuhý roztok

Precipitát hliníku

Obr. 14: Bez tepelného zpracování (100x zvětšeno)



Obr. 15: Po tepelném zpracování – 18hod. žiháno (100x zvětšeno)

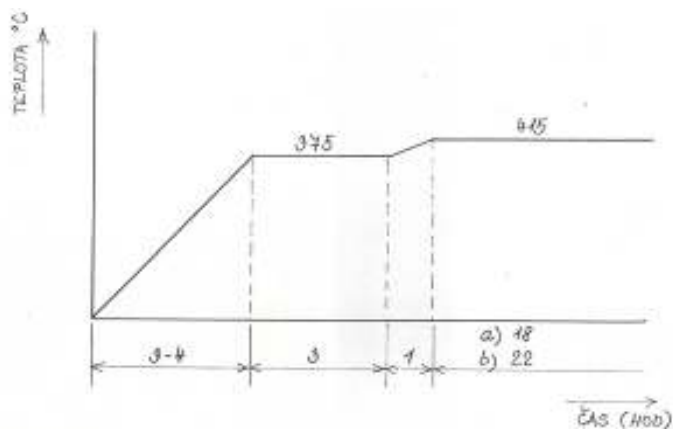


Obr. 16: Po tepelném zpracování – 22hod. žiháno (100x zvětšeno)

- Tepelné zpracování Mg slitin:

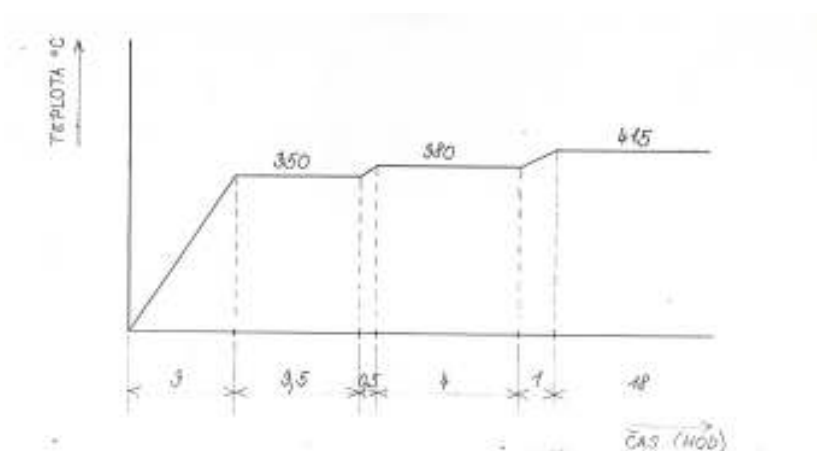
Běžné odlitky a) tenkostěnné (tl. Max. 25mm)

b) silnostěnné (tl. > 25mm)



Graf 1: Žihání pro běžné odlitky

Náročné odlitky (středky kol)



Graf 2: Žihání pro náročné odlitky

• Zkušební tyče:

Tyče byly odlity odděleně do písku. Zkušební průměr je $13 \pm 0,3$ mm. Tyče se zkoušejí v litém stavu neopracované, tepelně zpracované s příslušnými odlitky. Zkouška byla provedena na zkušebním stroji ZD 10/90. U všech zkoušek se vyhodnocuje pevnost v tahu, tažnost a mez kluzu.

Menší příruba: 275 MPa

277 MPa

286 MPa

Větší příruba: 168 MPa

164 MPa

171 MPa



Obr. 17: Zkušební tyč před a po tahové zkoušce

- Číslo tavby: 498/9

- Číslo vsázky: +28
- Lomová zkouška: jemnozrná bez nečistot a porezity.

8. Závěr

Hořčík a jeho slitiny se z počátku používaly hlavně pro letecký průmysl a pro sportovní účely závodních vozů (speciálů). V dnešní době je snaha o jeho použití pro vozidla jezdící v běžném provozu. Důvodem toho jsou jeho vlastnosti, nejdůležitější je jeho měrná hmotnost, potom odolnost proti (vůči) korozi. Ze začátku se používal hořčík jako dekorativní prvek v interiéru a exteriéru, poté se začaly dělat rámy sedaček a dnes se z něj dělají lité disky (např. BBS) pro luxusní a sportovní vozy, bloky motorů (např. BMW X5, BMW 7, Porsche). Do budoucna by se mohly z hořčíkových slitin vyrábět i karosérie. Tím by se dosáhlo velké úspory hmotnosti vozidla a též i snížení spotřeby paliva. Mělo by to příznivý vliv na životní prostředí.

Měření parametrů jakosti slitin musí probíhat během celého výrobního cyklu, tj. v průběhu tavicího procesu, na zkušebních kusech i na hotových odlitcích. Z hlediska zajištění kvality kovu a její stability jsou důležité zejména provozní zkoušky, kterými se zjistí vlastnosti slitiny ještě před odlitím do forem a popřípadě je možno provádět nutné metalurgické zásahy.

Hlavní výhody Mg slitin:

- Většina Mg slitin má výbornou tekutost a zabíhavost, což je výhodné u tvarově složitých a tenkostěnných odlitků.
- Mají nižší hodnoty specifického objemového tepla než slitiny AL a Zn, tzn. že odlitky z Mg chladnou rychleji, což umožní zrychlení lícího cyklu a snížení opotřebení nástroje.
- Mg a jeho slitiny se vyznačují velmi nízkou hustotou, tzn. že stejných vtokových podmínek může být dosaženo nižšími tlaky.
- Fe z nástroje má velmi nízkou rozpustnost v tekutých Mg slitinách, je tedy sníženo nebezpečí tzv. lepení na nástroj.

- Ze všech výše uvedených výhod vyplývá hlavní výhoda – prodloužení životnosti nástroje na dvoj- až trojnásobek v porovnání se slitinami Al.

Hlavní nevýhody:

- Náklady na energii a ochranou atmosféru nebo ochranné soli či plyny.
- Ztráty propalem činí u Mg slitin 5 až 25% . To mohou ovlivnit zaměstnanci.
- Cena Mg je vyšší než Al

Mikrostruktura lité hořčikové slitiny AZ91HP je tvořena tuhým roztokem hliníku v hořčíku a po hranicích zrn se během tuhnutí tvoří masivní intermetalická fáze $Mg_{17}Al_{12}$.

Během tváření slitiny se intermetalická fáze postupně rozpouští jednak ohřevem při procesu tváření, jednak tepelným mezizpracováním slitiny při tváření.

Největší vliv na korozní chování Mg slitiny AZ91HP má obsah železa. Železo je ve slitině přítomno ve formě intermetalických fází na bázi Al-Mn-Fe, které jsou většinou zachyceny v lamelárním eutektiku kolem fází $Mg_{17}Al_{12}$ po hranicích zrn tuhého roztoku hořčíku.

Seznam literatury

- [1] Sylaby: doc. Dr. Ing. Antonín Kříž, Sylaby k přednáškám z předmětu Strojírenské materiály, Plzeň, 2005.
- [2] Skripta: doc. Ing. Karel Štupl, Csc., doc. Ing. Alexander Košťál, Csc.: Praha, Editační středisko ČVUT, ISBN 800100456 – 2.
- [3] Nejlepší dostupné technologie : <http://www.ippc.cz/obsah/viewtopic.php?t=32>
- [4] Kniha: doc. Dr. Ing. Libor Beneš: TechMat '06. 1. vydání, Pardubice, Tiskařské středisko Univerzity Pardubice, 2006, 60 stran, ISBN 80 – 7194 – 902 – 7.
- [5] Kniha: Rienass G.: Odlitky z lehkých kovů odlévané do pískových a kovových forem, 2. část: Odlitky ze slitin hořčíku, Slévárství, 42 až 44 stran, 1997.
- [6] Sylaby: Doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D, Sylaby k přednáškám z předmětu Nauka o materiálu, Pardubice, 2005.
- [7] Sylaby: Ing. Aleš Herman, Ph.D, Sylaby k přednáškám Technologie slévání, ČVUT, Praha.
- [8] Skripta: Bouda,V.-Mach,P.-Petr,J.-Štupl,K.: Vlastnosti a technologie materiálů, FEL ČVUT 1998.

ÚDAJE PRO KNIHOVNICKOU DATABÁZI

Název práce	Tlakově lité slitiny hořčíku jako perspektivní materiál pro automobilový průmysl
Autor práce	Aleš Lanc
Obor	Dopravní prostředky – silniční vozidla
Rok obhajoby	2007
Vedoucí práce	Doc. Dr. Ing. Libor Beneš
Anotace	Práce se zabývá tlakovým litím hořčíkových slitin a jejich aplikací u silničních dopravních prostředků. V praktické části je zkoumán litý disk z hořčíkové slitiny AZ91HP. A jsou na něm dělány zkoušky: tvrdost podle Brinella, tahové zkoušky, mikrostruktura, RTG.
Klíčová slova	Hořčík, slitiny Mg, tlakové lití, tvrdost podle Brinella, Vickerse a Rockwela, tahové zkoušky, interní recyklace vratného materiálu hořčíku, hořčíkový odpad.

--	--