



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

SLITINY HOŘČÍKU A JEJICH APLIKACE VE VELOPRŮMYSLU

MAGNESIUM ALLOYS AND THEIR APPLICATIONS IN THE BICYCLE INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VLADIMÍR HROUDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. KAREL NĚMEC, PH.D.

Abstrakt

Bakalářská práce shrnuje základní informace o hořčíku a jeho slitinách. Uvedeny jsou mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Je popsáno rozdělení slitin včetně chemického zpracování. Práce zahrnuje porovnání hořčíku s ostatními materiály a udává přehled o jejich použití ve velkopřemyslu.

Klíčová slova

Hořčík, slitiny hořčíku, velkopřemysl

Abstrakt

This bachelor's thesis summarizes the basic information on magnesium and its alloys. It describes the mechanical, physical and chemical properties. It informs of classification alloys and chemical processing. It informs of comparison magnesium and other materials and of their use in bicycle industry.

Key words

Magnesium, magnesium alloys, bicycle industry

Bibliografická citace

HROUDA, V. *Slitiny hořčíku a jejich aplikace ve veloprůmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci vypracoval samostatně s použitím pramenů a odborné literatury, které jsou uvedeny v seznamu literatury.“

V Brně 25. května 2010

.....

Vladimír Hrouda

Poděkování

Tímto chci poděkovat Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. za jeho vřelý přístup, náměty, rady a vedení
mojí bakalářské práce.

Obsah

1.	Úvod	6
2.	Hořík	7
2.2.	Mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti	7
2.3.	Oblasti využití hoříku	9
3.	Hoříkové slitiny	10
3.1.	Klasifikace hoříkových slitin	10
3.1.1.	Hoříkové lité slitiny	11
3.1.2.	Tvářené slitiny	13
3.2.	Tepelné zpracování hoříkových slitin	14
3.2.1.	Využití slitin hoříku	15
4.	Využití hoříku a jeho slitin ve veloprůmyslu	17
4.1.	Jízdní kolo a jeho komponenty	17
4.1.2.	Porovnání vlastností hoříku a jeho slitin vzhledem k ostatním konstrukčním materiálům	20
4.2.1.	Odpružené vidlice	23
4.2.2.	Rohy na koncích řidítek	23
4.2.3.	Kotoučové brzdy	24
4.2.4.	Lyžiny cyklistických sedel	24
4.2.5.	Nášlapné pedály	25
4.2.6.	Zapletená kola	25
5.	Závěr	27
6.	Seznam použitých zdrojů	28

1. Úvod

Jízdní kola a jejich komponenty se v současnosti vyrábí z nejrůznějších materiálů. Nejpoužívanějšími jsou ocel, slitiny hliníku, hořčíku, titanu a kompozity. I přes obrovský nárůst aplikace různých materiálů ve veloprůmyslu, zůstává hořčík jediným materiálem, který cyklistu obklopuje ze všech stran. Hořčík cyklistovi pomáhá nejen nízkou hmotností součástí z něj vyrobených, ale také v potravinových doplňcích jako látka zabraňující křečím.

V minulosti byla pro výrobu kol nejběžněji používaným materiálem ocel, což bylo způsobeno hlavně cenovou dostupností tohoto materiálu. Nevýhodou však byla vyšší hmotnost a horší schopnost útlumu vibrací, a tak postupně docházelo k používání dalších kovových materiálů, hlavně hliníkových slitin. Tyto slitiny však nevynikají dobrým útlumem vibrací, a proto se ve veloprůmyslu používají titanové a hořčíkové slitiny a v dnešní době i kompozity. Titanové slitiny mají velmi nízkou hmotnost, ale při jejich zpracování musíme zvládnout složité technologické postupy, což činí tento materiál poměrně drahým, a ačkoliv tyto slitiny poskytují poměrně dobrý jízdní komfort, hlavně pro jejich vyšší cenu se u většiny jízdních kol s tímto materiálem moc často nesetkáváme.

V současnosti jsou hlavním fenoménem kompozitní materiály, jejichž velmi dobré pevnostní charakteristiky ve spojení s nízkou hmotností a dobrým útlumem činí tyto slitiny neoddiskutovatelně nejlepším konstrukčním materiálem pro jízdní kola a jejich komponenty.

Pro většinu lidí však při koupi jízdního kola nebo některých jeho komponentů představuje nezanedbatelnou položku výsledná cena, a tak slitiny hořčíku představují zajímavou alternativu, protože je to víceméně jediný materiál, který nabízí podobné užitečné vlastnosti jako kompozitní materiály, tedy vysokou tuhost a zároveň dobrou schopnost útlumu vibrací.

2. Hořčík

Již staří Řekové věřili, že „magnesia alba“, což je sůl hořčíku z regionu Magnesia v Řecku, má léčivou sílu. Hořčík byl však oficiálně objeven až v roce 1808, kdy tak učinil britský chemik Sir Humphrey Davy.

Je chemickým prvkem periodické tabulky mající chemickou značku Mg (latinsky Magnesium), je velmi lehký (2/3 měrné hmotnosti hliníku), středně tvrdý, tažný, stříbrolesklý kov [1]. Bývá často nesprávně zařazován mezi kovy alkalických zemin, ačkoliv je méně reaktivní a tudíž se nemusí uchovávat pod petrolejem nebo naftou, k jeho uchování nám postačí nádoby se suchým vzduchem. Je třetím nejhojnějším prvkem přítomným v mořské vodě a osmý nejčastěji se vyskytující prvek na Zemi, který představuje přibližně 2% hmotnosti zemské kůry a 0,1% hmotnosti oceánů. Je obsažen i ve velkých slaných jezerech - v Mrtvém moři na hranici Izraele s Jordánskem, a také ve Velkém Solném jezeře v Utahu v USA. Jeho zásoby jsou prakticky neomezené. Díky svému hojnému výskytu v mořské vodě představuje světová roční produkce přibližně 800 000 tun hořčíkových slitin a jeho spotřeba neustále stoupá.

2.1. Výroba

Kovový hořčík získáváme elektrolýzou roztavené směsi chloridu hořečnatého a chloridu draselného, který má funkci přísady ke snížení teploty tání chloridu hořečnatého. Chlorid hořečnatý získáváme z mořské vody nebo z koncentrovaných mořských solí (solanka) případně tavením karnalitu. Během elektrolýzy dochází k uvolňování chloru (na grafitové anodě) a hořčíku (na železné katodě). Chlorid draselný se začne rozkládat až po rozložení chloridu hořečnatého. Roztavený hořčík, který postupně dojde až na povrch taveniny sbíráme děrovanými lžicemi.

Dalším možným způsobem získání hořčíku je tzv. termický způsob spočívající v redukcí oxidu hořečnatého karbidem vápenatým nebo uhlíkem-karbotermický způsob. Případně redukcí oxidu hořečnatého křemíkem-silikotermický způsob.

Mezi hlavní přednosti hořčíku patří vysoká pevnost, vysoká tepelná vodivost, vysoká rozměrová stálost a nízká hmotnost.

Hlavními nedostatky zabraňujícími jeho většího rozšíření jsou špatná korozní odolnost, nízká odolnost proti creepu, malá odolnost proti opotřebení a vysoká reaktivita.

2.2. Mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti

Hořčík je charakteristický tím, že je horším vodičem elektrického proudu a tepla než voda (je také těžší). I když je pevnost v tahu technicky čistého hořčíku vyšší než pevnost v tahu technicky čistého hliníku (190 MPa oproti 80 MPa), jeho konstrukční využití je poměrně nízké [1]. Hlavním důvodem je jeho nepoužitelnost pro přenos zátěžných sil. Díky své hexagonální mřížce je velmi špatně tvárný za studena, protože má pouze jednu skluzovou rovinu. (3 aktivní skluzové systémy) Nejčastějším využitím čistého hořčíku je jeho použití jako redukčního činidla při výrobě titanu a pro modifikaci tvárné litiny. Velké množství hořčíku se používá také při výrobě slitin hliníku, zvláště slitin mající dobrou odolnost proti korozi (řada Al-Mg a řada Al-Mg-Si). V neposlední řadě se hořčík využívá ve formě hořčíkových slitin.

Tab.1.: Vlastnosti čistého hořčíku

Krystalická mřížka	HCP
Atomové číslo	12
Stabilní izotopy	24, 25, 26
Elektronová konfigurace	[Ne] 3s ²
Atomový poloměr	0,162 nm
Atomová hmotnost	24,31
Měrná hmotnost	1,738 g.cm ⁻³
Teplota tání	650 °C
Teplota varu	1090°C
Skupenské teplo tání	372 kJ.kg ⁻¹
Měrná tepelná kapacita při 20°C	1,03 kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Tepelná vodivost	155W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Lineární tepelná roztažnost (20-100°C)	26*10 ⁻⁶ K ⁻¹
Součinitel stahování při tuhnutí	4,2%
Elektronegativita	1,31
Tvrдость	40 HB
Mez kluzu	69 – 105 MPa
Mez pevnosti	165 – 205 MPa
Tažnost	5 – 8 %
Poissonovo číslo	0,35
Modul pružnosti v tahu	16,3 GPa

Hořčík má tu výhodu, že ho můžeme velmi snadno slévat s ostatními kovy, ale kvůli tomu, že většina z nich je charakteristická snadnou oxidací, je jejich praktické využití poměrně malé. Za normální teploty reaguje pomalu s vodou a kyslíkem. Na suchém vzduchu dojde k postupnému pokrytí tenkou vrstvou oxidu, jejíž hlavní funkcí je zabránění další oxidace, a tak jej můžeme uchovávat relativně dlouhou dobu. Výsledkem hoření hořčíku na vzduchu je velmi intenzivní bílé světlo. Za normální teploty reaguje s vodou velmi pomalu za vzniku hydroxidu hořečnatého. Při vyšších teplotách dochází ke slučování s téměř všemi prvky a i s některými sloučeninami. Například při hoření v dusíkaté atmosféře dojde ke vzniku nitridu hořečnatého, jenž se vodou rozloží za vzniku oxidu hořečnatého a amoniaku. Při hoření hořčíku v atmosféře oxidu uhličitého nám vzniká oxid hořečnatý a uhlík.

Velmi snadno se rozpouští v nejrůznějších kyselinách za vzniku hořečnatých solí. Pokud se rozpouští v kyselině sírové-potom vzniká oxid siřičitý. Při rozpouštění v kyselině dusičné podle koncentrace vznikají vedle hořečnatých solí i další látky. Pokud je koncentrace velmi nízká, vzniká dusičnan amonný (koncentrace nižší než 5%). Pokud reaguje s ředěnou kyselinou dusičnou, vzniká oxid dusný (koncentrace 5-10%), při větší koncentraci reaguje za vzniku oxidu dusnatého, s koncentrovanou kyselinou reaguje za vzniku oxidu dusičitého (koncentrace 50-100%). S kyselinou chlorovodíkovou a s ředěnou kyselinou sírovou reaguje pouze za vzniku hořečnatých solí. Naopak, hořčík nereaguje s alkalickými hydroxidy.

2.3. Oblasti využití hořčíku

- 1) Automobilový průmysl- kliková skříň převodovky, plechy (slitina ZE10)
- 2) Letecký a kosmický průmysl- přístrojové skříně (Mg-Li), Mg kompozity dobře tlumí vibrace (vysoká pevnost a creepová odolnost)
- 3) Legující prvek v hliníkových slitinách
- 4) Odstranění síry z ocelí
- 5) Dezoxidant v neželezných kovech
- 6) K výrobě tvárných litin
- 7) Mg prášky pro chemikálie
- 8) Šicí stroje, řetězové pily, sportovní potřeby, schránky na počítače, mobilní telefony
- 9) Pyrotechnika-velmi energetické palivo pro rakety
- 10) Jako tělní implantáty-pro nízkou hmotnost a dobrou biosnášenlivost [2]

Použití primárního hořčíku v roce 2001:

- 1) 39% na legování Al slitin
- 2) 38% na výrobu Mg slitin, hlavně pro přesné tlakové odlitky
- 3) 13% na odsíření surového železa směsí prášku Mg + CaO
- 4) 10% legování slitin neželezných kovů, pyrotechnika, ostatní

Využití hořčíku

Při reakci hořčíku s kyslíkem dochází k uvolnění velkého množství tepla (můžeme tak dosáhnout teplot přesahujících 2000°C) a k intenzivnímu světelnému záření. Může být použit při nejrůznějších pyrotechnických aplikacích, kde zastává funkci startéru. Mezi nejznámější pyrotechnické aplikace patří tzv. bengálské ohně. Hořčík zde zvětšuje plamen a zesiluje intenzitu. Může být také použit ve formě pilin za účelem vyvolání jiskřivého efektu připomínající prskavku. V minulosti se při fotografování používaly směsi práškového hořčíku s okysličovadlem (KClO_3 , KClO_4) za účelem vyvolání fotografického blesku. Výhodou tohoto použití je, že se v závislosti na množství hořčíku dosáhne téměř neomezeného světelného efektu, a tak se i dnes používá tento způsob vyvolání blesku při fotografování velkých podzemních místností. Pro osvětlovací účely slouží hořčíkovou krupicí nebo šupinky.

Při hoření dochází ke vzniku UV záření, a tak bychom se neměli bez ochranných pomůcek (brýlí) dívat přímo do plamene. Ve směsích velmi jemně práškového hořčíku (pudr) s okysličovadly je hoření tak rychlé, že může nastat výbuch. Charakteristická je poměrně nízká teplota vzplanutí, čehož se pochopitelně hojně využívá při nejrůznějších pyrotechnických aplikacích.



Obr.1.: Hoření hořčíku

3. Hořčíkové slitiny

Mezi největší přednosti těchto slitin patří nízká měrná hmotnost (1760 až 1990 kg.m⁻³), poměrně vysoká měrná pevnost, kterou můžeme porovnat s podobnými charakteristikami slitin hliníku nebo řady ocelí, výborná obrobitelnost a velmi dobrá schopnost tlumení vibrací. Mezi nedostatky těchto slitin patří obtížnější a tedy nákladnější výroba a zpracování oproti slitinám hliníku. Hlavní podíl na tom má vysoká reaktivita hořčíku za vyšších teplot, malá tvárnost za nižších teplot a pomalá rychlost difuzních pochodů při tepelném zpracování. K dalším nedostatkům patří sklon k intenzivní elektrokorozí při kontaktu s většinou kovů a slitin. Oproti slitinám hliníku mají Mg slitiny obtížnější svařitelnost, nízkou pevnost ve stříhu (R_{ms}=120 až 150 MPa), nízkou nárazovou práci (K_U= 1,2 až 1,4 J), nízkou tvrdost, nízký modul pružnosti v tahu (E= 42 až 44 GPa) a také špatnou odolnost proti opotřebení. [3]

Tyto slitiny jsou zpracovávány (podobně jako hliníkové slitiny) technologiemi tváření a technologiemi odlévání. Více se však používají Mg slitiny na odlitky, je to způsobeno hlavně díky obtížnému tváření. Porovnáme-li chemické složení slitin pro tváření a pro odlitky, zjistíme, že v něm není žádný podstatný rozdíl.

3.1. Klasifikace hořčíkových slitin

Hořčíkové slitiny můžeme dělit podle způsobu výroby-např. na volné lití, tlakové lití, kování, protlačování, válcování. Značení hlavních legujících prvků v hořčíkatých slitinách je uvedeno v tab.2:

Tab.2.: Označení prvků v Mg slitinách

Písmeno	Legující prvek
A	hliník (Al)
C	měď (Cu)
E	kovy vzácných zemin (RE)
H	thorium (Th)
K	zirkonium (Zr)
L	lithium (Li)
M	mangan (Mn)
Q	stříbro (Ag)
S	křemík (Si)
W	ytrium (Y)
Z	zinek (Zn)
X	vápník (Ca)
J	stroncium (Sr)

Příklad značení dle tab. 2.:

Označení slitiny AZ81 znamená, že slitina obsahuje 8% Al a 1% Zn. Celkové složení se uvádí čísla zaokrouhlenými na celá. Pro upřesnění mohou být uvedena další písmena, např. AZ81 A, B,.....E, která označují stupeň čistoty slitiny. Následující informace o zpracování slitin najdeme za pomlčkou - dle tab.3:

Tab.3.: Označení zpracování slitin

Hlavní rozdělení	
F	podle technologie výroby
O	žíhaná rekrytalizovaná (je kované produkty)
H	deformačně zpevněné
T	tepelně zpracované
W	rozpuštěcí žíhání
Podskupina H	
H1, plus 1 nebo více číslic	deformačně zpevněná slitina
H2, plus 1 nebo více číslic	deformačně zpevněná a částečně žíhaná
H3, plus 1 nebo více číslic	deformačně zpevněná a stabilizovaná
Podskupina T	
T1	ochlazování a přirozené stárnutí
T2	žíhání (jen produkty lité)
T3	rozpuštěcí žíhání a deformace za studena
T4	rozpuštěcí žíhání
T5	ochlazení a umělé stárnutí
T6	rozpuštěcí žíhání a umělé stárnutí
T7	rozpuštěcí žíhání a stabilizace
T8	rozpuštěcí žíhání, deformace za studena a umělé stárnutí
T9	rozpuštěcí žíhání, umělé stárnutí a deformace za studena
T10	ochlazení, umělé stárnutí a deformace za studena

Příklad označení: AZ81A-T6, AZ31B-H24

Pozn. Tab.2, Tab.3 [citovány – http://katedry.fmmi.vsb.cz/637/soubory/KovyI_Mg.pdf]

3.1.1. Hořčíkové lité slitiny

Většinu odlitků vyrábíme tlakovým litím, které má tu výhodu, že ho můžeme použít i u tvarově složitých výrobků, pro které je charakteristický vysoký stupeň produktivity a vysoká rozměrová přesnost výrobků.

Slitiny Mg-Al-Zn

Jedná se o nejpoužívanější slitiny ze všech slitin hořčíku. Největší podíl na zpevnění má hliník, jehož zastoupení se pohybuje v rozmezí 2 až 9hm%. Zinek, jehož zastoupení je v rozmezí 0,5 až 3%, má na zpevnění podstatně menší vliv.

Hliník má při eutektické teplotě (437°C) relativně vysokou maximální rozpustnost 12,7 hm% (rozpustnost klesá až na 1hm% při pokojové teplotě) a podílí se tak na substitučním **zpevnění tuhého roztoku**. Hliník přispívá ke zlepšení slévárenských vlastností, protože snižuje míru smršťování slitiny během tuhnutí. Důležitá je také jeho schopnost-ochranný účinek oxidu hlinitého na povrchu výrobku.

Zinek má v hořčíku dobrou rozpustnost, ale jeho zastoupení není moc velké, protože nadměrný obsah zinku by negativně působil na úkor houževnatosti slitiny. Největší množství tlakově litých odlitků je v Česku produkováno ze slitiny **MgA18Zn1** (ČSN 42 4911). Americké značení ekvivalentní slitiny je AZ81, ruské značení ML5. Daná slitina má

minimální tloušťku stěny odlitků 3 až 4 mm a maximální pracovní teplota pro dlouhodobou funkci v zatíženém stavu je 150°C

Kromě této slitiny je v menším množství možno odlévat i MgAl₆Zn₃ a MgAl₉Zn₁ o vyšší čistotě.

Změna rozpustnosti hliníku a zinku v hořčíku umožňuje jejich tepelné zpracování. Za nejvhodnější se považují slitiny s 7 až 9hm% hliníku. Obvyklý způsob zpracování je homogenizační žihání (380-415°C) a následné ochlazení na vzduchu.

Potřebujeme-li slitinu použitelnou za vyšších teplot a tím pádem s dobrou odolností proti tečení, docílíme tak přidáním prvků vzácných zemin, křemíku, vápníku.

Slitiny Mg-Zn-Zr

Tyto slitiny se vyznačují vyššími hodnotami meze kluzu, vysokou pevností a také dobrou houževnatostí. Je to způsobeno přítomností zinku (který je ve slitinách do 4hm%), zatímco přítomnost zirkonu zjemňuje zrna. Zvyšování pevnosti můžeme dosáhnout i vytvrzováním. Tyto slitiny patří k nejpevnějším, protože jejich pevnost v tahu dosahuje až 350 MPa. Dále je pro tyto slitiny charakteristické, že mají menší citlivost mechanických vlastností vzhledem k tloušťce stěny odlitků a menší sklon k mikropórovitosti. Zlepšení slévárenských vlastností proti binárním slitinám Mg-Zn dosáhneme přidáním **lanthanoidů**, důležité je především omezení sklonu ke vzniku trhlin za tepla. V silově zatíženém stavu jsou konstrukčně použitelné do 200°C.

Slitiny Mg-Zn-Zr-Nd

Tyto slitiny obsahují neodym, který má za následek, že pevnostní charakteristiky klesají s rostoucí teplotou pomaleji než je ostatních slitin hořčíku. V silově zatíženém stavu jsou konstrukčně použitelné do 250°C.

Slitiny Mg-Zn-Zr-PVZ

Ve slitinách jsou přítomny prvky vzácných zemin, které tvoří součást ceriového směšného kovu, který obsahuje nejméně 45% ceru. Vlastnosti těchto slitin jsou srovnatelné s vlastnostmi slitin obsahující neodym. Jejich mechanické vlastnosti se za normální teploty nijak výrazně neliší oproti hodnotám ostatních Mg slitin. V silově zatíženém stavu jsou konstrukčně použitelné do 250°C.

Slitiny Mg-Zn-Zr-Th

Pro tyto slitiny obsahující thorium (maximální obsah thoria je 3hm%) je charakteristické, že patří ke slitinám s nejvyšší žárupevností ze všech hořčikatých slitin. Vyznačují se vysokou mezí kluzu a také relativně vysokou pevností při zvýšených teplotách a také vysokou mezí tečení, což je předurčuje k použití při vyšších teplotách. Hlavní nevýhodou těchto slitin je vysoká cena, čímž se jejich praktické použití zužuje pouze na vojenské letectví nebo kosmonautiku. V silově zatíženém stavu jsou konstrukčně použitelné do 350-400°C.

3.1.2. Tvářené slitiny

Následující operace musejí být prováděny za vyšších teplot:

- 1) Válcování - provádíme v rozmezí teplot 400-450°C.
- 2) Protlačování - provádíme v rozmezí teplot 375-380°C.
- 3) Kování - provádíme v rozmezí teplot 360-380°C.

Slitiny Mg-Li

Tyto slitiny s přísadou lithia (jehož měrná hmotnost je 530 kg.m⁻³) patří k novějším Mg slitinám, ale jejich vlastnosti ještě nebyly zcela prozkoumány. Díky přítomnosti lithia mají slitiny nižší měrnou hmotnost (1350 až 1650 kg.m⁻³) než čistý hořčík (1750 kg.m⁻³). A právě nízká měrná hmotnost je základním předpokladem využití těchto slitin jako konstrukčních materiálů v leteckém průmyslu.

Lithium způsobuje změnu krystalické povahy. Pokud je obsah Li nízký, potom ve struktuře převládá tuhý roztok na bázi Mg s hexagonální mřížkou. Pokud je obsah Li vyšší než 5hm%, začne se objevovat fáze beta s kubickou prostorově centrovanou mřížkou. Při zastoupení Li nad 11hm%, fáze beta zcela dominuje. Kubická struktura (po přeměně s hexagonální) má za následek zvýšení tvárnosti slitin. Pokud jsou slitiny legovány i dalšími prvky (Al, Zn, Cd, PVZ), můžeme je využít jako konstrukční materiály i přesto, že s rostoucí zastoupením Li pevnost slitin klesá.

Vyznačují se dobrou odolností vůči korozi, jsou svařitelné, ale jsou nevhodné pro využití za vyšších teplot.

Slitiny Mg-Sm (samarium) a Mg-Er (erbium)

Tyto slitiny se řadí mezi vývojové materiály, jejichž vlastnosti ještě nebyly zcela prozkoumány. Ale díky již známým vlastnostem těchto slitin nacházejí uplatnění především v raketové a letecké technice, jaderné energetice, ale také v optické technice. Jejich využití je také v automobilovém průmyslu.

Slitiny Mg-Sc

Tyto slitiny vynikají dobrou odolností proti creepu (teplota tavení Sc je 1541°C). Tuto fenomenální vlastnost ještě zlepšuje legování dalšími prvky Nd, La, Ce.

3.2. Tepelné zpracování hořčíkových slitin

V hořčíkových slitinách probíhají difuzní pochody oproti hliníkovým slitinám mnohem pomaleji, a tak je při tepelném zpracování nutná mnohem delší výdrž na teplotách (až 16 hodin). Odlitky těchto slitin se tepelně zpracovávají výhradně v elektricky komorových nebo vakuových pecích. V těchto pecích se teplota reguluje automaticky (s přesností $\pm 5^\circ\text{C}$) a jsou charakteristické nuceným oběhem do atmosféry. Abychom zamezili oxidaci, je vhodné používat atmosféru vzduch obsahující 0,7hm% až 1hm% oxidu siřičitého. Způsob tepelného zpracování je vždy závislý na konkrétním typu slitiny respektive na konečných požadovaných vlastnostech.

Homogenizační žihání

Provádíme za účelem zlepšení pevnostních a tvárnostních charakteristik odlitků, čehož dosáhneme díky odstranění nepravidelného zastoupení přísadových prvků ve slitině. Např. kvůli velkému množství částic sloučeniny Mg_4Al_3 (které se vyloučily po hranicích zrn tuhého roztoku alfa) je elektron MgAl_8Zn_1 v litém stavu křehký. Po ochlazení odlitku z teploty homogenizačního žihání tvoří strukturu homogenní tuhý roztok alfa s malým množstvím nerozpuštěných fází-hlavně částic manganu.

Žihání na snížení vnitřního pnutí

Provádíme za účelem snížení vnitřního pnutí vyvolaného předcházející operací. Provádí se při teplotách 235 až 290°C .

Rekrystalizační žihání

Provádíme pouze jako mezioperaci při tváření hořčíkových slitin za studena-což se týká menší části slitin. Provádí se při teplotách 250 až 350°C . Při vyšších teplotách dochází ke zhoršení mechanických vlastností a k hrubnutí zrna.

Vytvrzování

Provádíme pouze u slitin, u kterých je nárůst pevnosti dostatečně velký. Vytvrzování se skládá z rozpouštěcího ohřevu (který není nutný některých typů slitin) a z umělého stárnutí. Slitiny se mohou ochlazovat volně na vzduchu nebo ve vřelé vodě.

Tab.3.: Tepelné zpracování MgAl_8Zn_1 s ochlazováním na vzduchu

Stav	Teplota [$^\circ\text{C}$]	Doba [h]	$\text{Rp}_{0,2}$ [Mpa]	Rm [Mpa]	A_{10} [%]	Z [%]
Litý stav			95	170	3	4
Homogenizační žihání	410-420	8-16	85	260	8	10
Homogenizační žihání	410-420	8-16				
+ stárnutí	170-205	16	120	260	3	8

3.2.1. Využití slitin hořčíku

Slitiny hořčíku byly poprvé použity jako konstrukční materiál před již na počátku minulého století, ale z nejrůznějších důvodů nedošlo postupem času k většímu rozšíření. Jsou velmi vhodné ve vojenském letectví, v kosmickém průmyslu a všude tam, kde se součástky otáčejí vysokou rychlostí a kdy je potřeba snížením hmotnosti snížit setrvačné síly. Postupem času byly pro zlepšování mechanických vlastností čistého hořčíku vyvíjeny nejrůznější slitiny, které se vyznačují vyšší pevností při zachování předních vlastností čistého hořčíku. Uplatnění těchto slitin spočívá v domácích potřebách-například šicí stroje, ruční nástroje(řetězové pily), elektrotechnický průmysl(mobilní telefony). Nejstarší aplikací hořčíkové slitiny bylo její použití v klikové skříně a skříně převodovky v automobilu Volkswagen Brouk.

Automobilový průmysl

Původně se začal hořčík a jeho slitiny používat v automobilovém průmyslu zejména pro interiérové prvky-např. přístrojová deska, rámy sedaček, volant, středový panel, konstrukce střešních oken atd. V současnosti se začínají používat i pro ostatní součásti automobilu-sklápěcí střechy, střešní panely, soustavy pro vnitřní potrubí, olejové vany, víka hlav válců, startéry, alternátory, litá či tvářená kola. Hlavním momentem využití hořčíku a jeho slitin nejen v automobilovém, ale i v leteckém nebo spotřebním průmyslu bude, až se vývojářům technologií podaří zlepšit jeho korozní odolnost. Hlavním důvodem používání hořčíkových slitin v automobilovém průmyslu je jeho nízká hmotnost, která souvisí se sníženou spotřebou paliva. Experimenty prokázaly, že celková hmotnostní úspora může být až 10%, a s tím související úspora paliva řádově 20-30% ani by došlo k výraznějším změnám týkající se konstrukce automobilu. Je známo, že průměrné hodnoty výfukových plynů se u nových automobilů pohybují v rozmezí 140 až 160 g/km. Při použití Mg slitin by došlo ke snížení množství výfukových plynů na 100 až 120 g/km. Protože se celosvětově počet automobilů neustále zvyšuje, mohlo by dojít k výraznějšímu poklesu vyprodukovaného a vypouštěného množství CO₂ výfukovými plyny do atmosféry, a tato skutečnost by zmírnila důsledky globálního oteplování (Kjótský protokol). Využitím Mg slitin v důsledku snižování produkce škodlivých látek se zabývá tzv. enviromentální legislativa. V současnosti se v Severní Americe zabývají vývojářské týmy použitím hořčíku a jeho slitin za účelem výroby rodinného automobilu se spotřebou paliva nižší než 2,9 l/100km. Na tomto projektu spolupracují konstruktéři aut, univerzity, národní laboratoře a v poslední řadě také vláda USA.

Kvůli zabývání se výrobou součástí z hořčíkových slitin založili australští vědci strategickou alianci s Německem, přičemž nejdůležitějším cílem vytvoření této aliance je provedení potenciálního nákladového odhadu pro výrobu bloku motoru z Mg slitin. Dalším úkolem je určení vhodného typu hořčíkové slitiny pro blok motoru, otestování prototypů a zavedení této technologie do hromadné výroby. Celkový odhad spotřeby pro tuto hromadnou výrobu je 7000 t/rok Mg slitin. Cílem této aliance během následujících deseti let je vývin bloků motorů pro řadu osobních automobilů. Hlavní výhodou aplikace Mg a jeho slitin oproti ostatním materiálům je aplikace tlakového lití, protože tato technologie poskytuje velké množství ekonomických výhod, protože některé druhy součástí nemohou být s ohledem na materiálové a technologické vlastnosti vyráběny z jiných materiálů ani žádnou jinou srovnatelnou technologií.

Světová expanze výroby hořčíku

Hlavním důvodem vzestupu výroby je stále vzrůstající uplatnění hořčíku a jeho slitin v automobilovém průmyslu, ale také díky tomu, že vzrůstá výroba hliníku, kde se hořčík používá k legování. Hořčík se také využívá jako reaktivní látka při odsíření surového železa. Jeho výroba reprezentuje určitý druh technologicko – ekonomické vyspělosti dané země.

Tab.4.:

Světová produkce primárního hořčíku (1000 t):

Stát	1996	1998	2000	2002
USA	142	117	74	74
Brazílie	9	9	9	9
Kanada	42	57	55	107
Čína	60	120	195	205
Izrael	-	25	25	34
Indie	1	1,5	1	1
Francie	10	16	17	-
Norsko	35	49	50	20
Srbsko	1	3	2	4
Ukrajina	8	6	2	10
Rusko	51	53	40	62
Kazachstán	12	15	10	15
Celkem	371	485	480	541

V roce 1996 měly USA dominantní postavení v produkci hořčíku, ale během následujících šesti let byly předstíženy Kanadou, ale hlavně nepřehlédnutelným zvýšením produkce v Číně.

4. Využití hořčíku a jeho slitin ve veloprůmyslu

4.1. Jízdní kolo a jeho komponenty

Jízdní kolo se skládá z mnoha jednotlivých součástí, kdy některé součásti mají větší a některé menší význam na chování jízdního kola jako celku.

Srdce každého jízdního kola představuje rám. Právě na rám bychom měli směřovat nejvyšší pozornost při koupi jízdního kola. Kvalita rámu by měla být přinejmenším stejně vysoká (nejlépe však vyšší) jako kvalita ostatních součástí jízdního kola. Pokud vlastnime kolo s nekvalitním rámem, byť osazeným těmi nejlepšími komponentami, celkový výsledek projevu tohoto kola bude horší než kola s kvalitnějším rámem a méně kvalitními komponentami. Na tuto skutečnost by měli zvláště pamatovat lidé neustále vylepšující své kolo lepšími a lepšími komponentami, protože při tomto trendu se dříve nebo později stane, že právě rám bude tím nejméně kvalitním místem kola. Většina rámu bývá vyrobena z jednoho druhu konstrukčního materiálu - ocel, hliníkové slitiny atd. Mezi hlavní propagátory rámu ze slitin hořčíku patří firma Merida, která začala s produkcí rámu MTB kol, v současnosti se z hořčíku vyrábí i rámy kol silničních. Někteří výrobci se snaží použít i dva druhy materiálu na výrobu jednoho rámu. Průkopníkem této filozofie je koncern Trek, který vyrábí silniční rámy za použití hliníkových slitin a kompozitů. Velká část rámu je vyrobena z hliníkových slitin, z kompozitu bývá většinou jen zadní stavba, jejíž hlavním cílem je zvýšení jízdního komfortu pro jezdce. Cena těchto rámu je přibližně patnáct tisíc korun a cenově jsou mnohem dostupnější než celokarbonové rámy začínající na čtyřiceti tisících korun. Uvedené ceny platí výhradně pro silniční rámy Trek.

Další velmi významnou část kola představuje přední vidlice, na jejíž výběr bychom se měli zvláště u horských kola náležitě soustředit. Právě horská vidlice bývá velmi častou součástí, kde je využito hořčíkových slitin. U silničních kol se nejčastěji setkáváme výhradně s vidlicemi z karbonu, což je dáno hlavně dobrou schopností útlumu vibrací ve spojení s nízkou hmotností.

Pohon jízdního kola je umožněn díky řetězu, jehož poloha na kazetě zadního kola se mění pomocí přehazovačky, a ke změně polohy na převodnicích nám pomáhá přesmykač. Na těchto součástkách se s použitím hořčíkových slitin prakticky nesetkáváme. Různou kombinací převodníků a jednotlivých pastorků kazety docílíme požadovaného převodového poměru. Kazeta horského kola obsahuje nejčastěji devět pastorků, zatímco u nejnovějších kazet kol silničních se setkáváme dokonce s jedenácti pastorky. Kliky horských kol obsahují zpravidla trojčepový převodník, zatímco u silničních kol se kromě trojčepového převodníku můžeme setkat i s dvojčepovým. Dvojčepový převodník se vyrábí buď s klasickým počtem zubů 53 a 39, nebo jako provedení compact - nejčastěji s počty zubů 50 a 34. Toto provedení se snaží skloubit výhody trojčepového převodníku a dvojčepového převodníku, a proto se u značné části hobby jezdců těší značné oblibě. Nevýhodou tohoto systému je však velký rozdíl počtu zubů jednotlivých převodníků, kdy pro zachování podobného převodového poměru, který jsme měli před přeřazením, musíme změnit polohu řetězu na kazetě často i o více než 3 pastorky. A nejen kvůli této skutečnosti většina závodníků používá většinou dvojčepový převodník s klasickým počtem zubů.

Velký význam na celkový projev jízdního kola mají zapletená kola. Více o zapletených kolech a jejich vlivu jako rotačních součástí bude pojednáno dále. Při výběru zapletených kol bychom si měli dát pozor (hlavně u silničních kol) na velmi „tvrdé“ sety kol poskytující minimální jízdní komfort. O brzdění zapletených kol se starají ráfkové nebo kotoučové brzdy (zvláště u horských kol), u kterých se můžeme setkat s použitím hořčíkových slitin. Dalšími částmi jízdního kola je v přední části představec spojující řídítka s hlavovou trubicí (část rámu), v zadní části kola se setkáváme se sedlovkou spojující sedlo se sedlovou trubicí (část rámu).

Výrobci jízdních kol se snaží o dosažení co nejnižší hmotnosti jízdního kola, čehož většinou dosáhnou aplikací kvalitnějších (pevnějších) materiálů. Vyskytuje se však velké množství firem, jejichž kola (především závodní) nesplňují dostatečně bezpečnostní požadavky. Tento problém se týká přibližně 70% všech závodních kol, nejčastějším problémem je nedostatečně pevný rám, zapletená kola nebo představec. Mezi roky 2000 a 2005 bylo praskání představců u profesionálních jezdců velmi častým jevem. Aby se zamezilo výrobě málo bezpečných kol, zavedla mezinárodní cyklistická unie minimální váhu závodního kola 6,8kg. Některé profesionální týmy žádaly mezinárodní cyklistickou unii o snížení této hranice, protože jejich konstruktéři jsou přesvědčeni, že jsou schopni vyrobit bezpečné kolo vážící kolem 6 kg, ale se svými námitkami neuspěli a minimální váha kola zůstává na hodnotě 6,8kg. Profesionální týmy však tuto skutečnost obešly zajímavým způsobem. Jejich kola váží např. 6,2 kg, ale právě na tato kola jsou namontovány měřiče výkonu (nejčastěji PowerTap) integrované do náboje zadního kola, přičemž právě tyto měřiče váží kolem 700 gramů (váha platí pro kompletní sadu), a tak se výsledná váha kola dostane nad požadovanou hranici 6,8kg. Použití měřičů výkonu jako součást jízdního kola mezinárodní cyklistická unie odsouhlasila.

Známou značkou jízdních kol preferující bezpečnost je italská firma De Rosa. Rámy těchto kol jsou navrhovány na dvojnásobek průměrné váhy cyklisty, tj. $2 \cdot 75 = 150$ kg.



Obr.2.: Silniční kolo De Rosa Magnesium

Při výběru jízdního kola je výběr materiálu rámu a dalších komponentů až druhořadý. Nejdůležitějším faktorem zůstává správná velikost rámu, respektive správná geometrie. Pokud bychom měli jinou velikost rámu než je naše skutečná velikost, docílíme toho, že budou zapojovány jiné svalové skupiny než ty, které se „normálně“ podílejí na pohybu cyklisty vpřed. V případě menší velikosti rámu nadměrně zatěžíme svaly dolních končetin a v případě větší velikosti jsou nadměrně zatěžovány zádové svaly, obojí vede k předčasnému vytvoření svalových disbalancí (které jsou zvláště pro cyklisty typické), bolesti postižených partií, což je právě způsobeno jejich přetěžováním. Správnou velikostí rámu, respektive správným nastavením posedu se v České republice zabývá firma Duratec zahrnující tuto problematiku do programu FOG systém. Tato metodika spočívá v měření fyzických parametrů jedince (délka horních i dolních končetin, šířka ramen, přesné změření velikosti chodidel...), na jejichž základě si zákazník může buď nechat vyrobit rám a další součásti kola na míru (většina výrobců rámu prodává rámy ve velikostech po dvou centimetrech, Duratec vyrábí rámy ve velikostech po jednom centimetru) nebo si „v rámci možností“ nechat nastavit „ideální“ posed na svém stávajícím kole. Nastavení posedu nezahrnuje jen správnou polohu sedla, ale také správné nastavení pozice kufrů na tretrách, správné nastavení řídítek (samozřejmě vhodné šířky) jak v podélném tak svislém směru. Na základě změřených parametrů cyklisty nabízí firma Duratec tři druhy posedu-turistický, sportovní, profesionální. Cena měření včetně nastavení ideálního posedu činí dva tisíce devět set korun.

V tuzemsku se nastavením posedu zabývá jen firma Duratec, zatímco celosvětovým průkopníkem správného posedu na kole je firma Specialized, která tuto problematiku zahrnuje pod pojmem Specialized body geometry. Specialized je ve správném posedu na kole o pomyslný krok, respektive dva kroky dále než firma Duratec. Označení Body Geometry nezahrnuje jen správnou polohu sedla, řídítek či nastavení kufrů na tretrách. Specialized se oproti Duratecu zabývá všemi místy kontaktu cyklisty s jízdním kolem. V první řadě se jedná o výrobu anatomických sedel (většinou s otvorem), jež umožňují lepší průtok krve a zabraňující případným zdravotním komplikacím způsobeným nedostatečným prokrvením sedacích partií. Specialized navrhuje i anatomická řídítka i anatomické rukavice, zabraňující „skřípnutí“ nervu v dlani ruky, speciální anatomické kraťasy respektive jejich vložky. Nejrozšířenějším produktem Body Geometry jsou speciální tretry, které jsou charakteristické mírným vykloněním tretry (jako kompromisní řešení je možno koupit anatomické vložky do treter), které spolu s anatomickými vložkami napomáhá k mírnému vyklonění nohy, což má za následek optimální polohu kostí nejen v kotníku, ale i v oblasti kolenního a kyčelního kloubu. Firma Specialized prodává nejen jízdní kola, ale v podstatě všechny cyklistické potřeby (helmy, tretry, brýle, sedla), a tak je náskok této firmy oproti Duratecu způsobem řádově vyšším finančním kapitálem.

Podle mého názoru je správný posed na kole nutností pro všechny cyklisty-lépe sedět, lépe jet. U amatérských cyklistů trávících stovky hodin ročně je ideálně nastavený posed neoddiskutovatelnou záležitostí, ale i u turisticky zaměřených cyklistů majících roční objem kilometrů kolem pěti tisíc, je podle mého názoru ideální posed také na místě, ať už z důvodu lepšího pocitu při jízdě nebo kvůli zmírnění svalových disbalancí.

4.1.1. Počátky použití slitin hořčíku ve veloprůmyslu

Ve veloprůmyslu dochází stále častěji k aplikaci hořčíku a jeho slitin na rámy kol. V nedávné minulosti se výrobou ráků z hořčíku a jeho slitin z tuzemských značek zabývala pouze firma Autor, ale kvůli následnému nástupu karbonových vláken představující vhodnější konstrukční materiál, se výroba těchto ráků omezila. V současnosti se výroba ráků z hořčíku a jeho slitin znovu rozšiřuje. Hlavním výrobcem a distributorem magnesiových ráků je značka Merida, disponující jak velkým prostorem, tak i dostupnými prostředky potřebných pro vyvíjení nových technologií. Pozitivní možností je i testování prestižním profesionálním týmem Merida-Multivan. Výrobě ráků z Mg a jeho slitin předcházela mnohaletá příprava, vysoké náklady na vývoj a náročné zkoušky. Merida je už celých 30 let průkopníkem nových technologií a je typická tím, že její výrobky obsahují nejrůznější novinky k docílení co možná nejlepších konečných vlastností. Výrobou Mg ráků Merida reaguje na stále se zvyšující se poptávku po lehkých a současně funkčních materiálech. Některé materiály se v současnosti již přibližují své hranici fyzikálních možností a cena se tudíž neúměrně zvyšuje. Problém je samozřejmě v tom, že za tuto hranici se již dále jít nedá. U oceli, hliníkových slitin, titanu, uhlíkových kompozitů již nelze dále zlepšovat poměr mezi pevností a hmotností. Již není možné vyrobit výrazně lehčí rám, který by splňoval používaná pevnostní a bezpečnostní kritéria. Jedinou možnou alternativou vedoucí z této patové situace je použití jiného materiálu-Mg a jeho slitin.

Ne svém nejdražším rámu nesoucím označení Magnesium Pro používá technologii zvanou Shotgun, která spočívá v tom, že spodní i horní rámové trubky jsou kapkovitého průřezu, který tvarem připomíná brokovnici. Použití zprofilování trubek by mělo lépe odolávat namáhání oproti klasicky tvarovaným trubkám (kruhového průřezu). Klasickým vylepšením Meridy je podvaření spodní rámové trubky poctivým (tlustým, masivním) plátem, který zlepšuje ovládání kola zvláště ve sjezdech. Naopak velmi dobrým vylepšením svědčící o tom,

že vývojáři věnují pozornost i těm nejmenším detailům je těsnění mezi sedlovkou a sedlovou objímkou. Mg rámy od Meridy jsou charakteristické použitými dvojitými svary, které jsou dobře rozeznatelné díky široké „svarové housence“.

Hlavní výhodou výrobků Merida z Mg a jeho slitin je poměrně nízká cena, jíž budou schopny ostatní firmy jen těžko konkurovat.

4.1.2. Porovnání vlastností hořčíku a jeho slitin vzhledem k ostatním konstrukčním materiálům

Ocel - hlavní výhodou ráků vyrobených z oceli je jejich poměrně dobrá schopnost pohlcovat vibrace a nízká cena. Nedostatky představuje vysoká hmotnost a nižší tuhost ráků. Pro potlačení špatných vlastností ráků z nelegované oceli dochází k použití oceli legovaných.

Nejčastěji používanou legovanou ocel představuje zušlechtěná ocel s přísadou chromu a molybdenu (Cr-Mo). Hlavní předností této slitiny je její vysoká pevnost, díky níž můžeme používat tenčí profily trubek. To má samozřejmě ve finále za následek nižší hmotnost celého ráku. Není překvapením, že rostoucí kvalita těchto slitin je úměrná výsledné ceně.

Nejdostupnějšími ráky jsou ty z nelegované oceli, označované zkratkou Hi-ten. Naopak na opačném konci cenového žebříčku se nachází produkty např. italské firmy Columbus.

Jedním z nejznámějších výrobců trubek pro ocelové ráky z kvalitních legovaných ocelí je firma Columbus. Trubky tohoto výrobce používá při výrobě ráků mnoho světoznámých výrobců kol, jako jsou Cinelli nebo Colnago. Nejpevnější oceli používané pro výrobu rákových trubek obsahují kromě přísady chromu a molybdenu ještě nikl a rák z tohoto materiálu pak má výbornou pevnost a tuhost při relativně nízké hmotnosti. Předností této slitiny je také vlastnost, že je dobře svařitelná a dobře odolává vůči nejrůznějším tepelným a chemickým vlivům. Firma Cinelli dovedla využití ocelí ve velkopřmyslu téměř k dokonalosti a její produkty patří k absolutní špičce. Následující rák (z dané slitiny) mimochodem na veletrhu Design v Koreji získal velmi prestižní ocenění IF Internacional Forum Design pro nejhezčí rákový set. Pro představu - hmotnost daného ráku velikosti M je 1450 g, což je hodnota jen cca o 20-30% vyšší než u špičkových ráků ze slitin hliníku, titanu či hořčíku vzhledem k rákům vyrobených z hořčíku a jeho slitin, které ale mají výrazně nižší měrnou hmotnost.



Obr.3.: Rám silničního kola z oceli

Hliník - neoddiskutovatelnou předností slitin hliníku je jejich nízká hmotnost a dobrá boční tuhost rámu. Nevýhodou naopak představuje téměř nulová pružnost a také vyšší cena oproti ocelím (ale samozřejmě nižší než u aplikace Mg slitin). U rámu vyrobených z hliníkových slitin výslednou vlastnost ovlivňuje profilace (tvarování) příslušných trubek. Rámy ze slitin hliníku nesou běžně označení alu a dále jsou označeny dle konkrétního typu - např. 6061, 7005 nebo 7020. Dalšími doplňkovými označeními mohou být obchodní názvy, jako např. solux, alkou, alutron, atd.. Výsledná váha a cena rámu se pohybuje v širokém intervalu, protože závisí na použití různých druhů slitin z hliníku a hlavně jejich rozličném zpracování a technologii výroby.

Titan - hlavní přednost tohoto materiálu představuje relativně nízká měrná hmotnost, vysoká měrná pevnost, dobrá schopnost pohlcovat vibrace a velmi dobrá odolnost vůči korozi. Za hlavní nedostatek lze označit jeho vysokou cenu, dále pak obtížnou zpracovatelnost a nízkou tuhost, kterou je nutno zvyšovat konstrukčními úpravami. Výrobou součástí z titanu se věnuje jen určitý okruh firem mající zkušenosti s tímto materiálem, především z leteckého průmyslu. Výsledné vlastnosti výrobku jsou velmi podmíněné právě zkušeností výrobce s tímto materiálem. Pro součásti z titanu je charakteristické, že se nejedná o žádné velkosériové výrobky, většinou se titanové rámy vyrábějí ručně a v malém počtu, díky čemuž výsledná cena šplhá velmi vysoko.



Obr.4.: Rám horského kola vyrobený z titanu

Hořčík - oproti titanu je častěji používán i ve velkovýrobě. Hlavní předností je dobrá pevnost, nízká hmotnost a hlavně vysoký komfort jízdy způsobený dobrou schopností pohlcovat vibrace u Mg slitin. Hlavní nevýhodou těchto materiálů je nízká odolnost vůči korozi a vyšší cena v porovnání s ocelovými rámy a rámy ze slitin hliníku.

První výhodou hořčíku oproti hliníku je jeho nižší hmotnost. Díky své nižší měrné hmotnosti je hořčík o 34% lehčí než hliník. Jejich společnou vlastností je, že se v čistém stavu v přírodě téměř nevyskytují. Výhodou je, že Mg slitiny můžeme ovlivňovat, a tak dosahujeme požadovaných vlastností. Jeho trubky představují vhodný konstrukční materiál určený pro stavbu rámu jízdních kol - především kvůli nízké hmotnosti. Srovnání s ostatními konstrukčními materiály je zřejmé z následující tabulky relativní hmotnosti kovů.

Tab.5.: Vlastnosti jednotlivých materiálů:

Materiál	Jednotková hmotnost	Jednotkový objem
Hořčík- Mg	23	100
Hliník-Al	35	100
Titan- Ti	58	100
Ocel CrMo	100	100

Druhou výhodou je pevnost v poměru k tuhosti rámu (i když zde je rozdíl hořčíku a hliníku poměrně malý).

Při použití hořčíku můžeme používat silnější trubky společně s větším průměrem trubky oproti ostatním konstrukčním materiálům, což bude mít za následek výrazné zvýšení pevnosti rámu. Z předešlého je zřejmé, že se zvětšujícím se průměrem trubky a současně její tloušťky pevnost a tuhost konstrukce roste. Z následující tabulky je zřejmé, že hořčík v ohledu použití šířky trubek a jejich tloušťek jasně dominuje nad ostatními konstrukčními materiály.

Tab.6.: Vlastnosti jednotlivých materiálů:

Materiál	Průměr trubky (mm)	Tloušťka stěny (mm)
Hořčík-Mg	60	2,5
Hliník-Al	50	1,95
Titan-Ti	40	1,5
Ocel -CrMo	34	1

Třetí významnou výhodou hořčíku (oproti hliníku) je dobrá schopnost tlumení vibrací a nárazů. Ve schopnosti tlumení nárazů, které jsou koncentrovány na malou plochu, je hořčík výborný, protože si dlouhodobě zachovává mechanické vlastnosti. Stárnutí materiálu není způsobeno zatížením-jako je tomu např. u oceli a hliníku. Hlavním praktickým pozitivem rámu z hořčíku je tedy jeho odolnost vůči pádům. V pohlcování nárazů je hořčík bezpečně nejlepší. Následující tabulka zachycuje porovnání vlastností hořčíku a hliníku pohlcovat nárazy při nižším a vysokém zatížení.

Tab.7.: Vlastnosti jednotlivých materiálů:

Materiál	5000 psi	15000 psi
Hořčík-Mg	25%	53%
Hliník-Al	1%	4%

Skandium - rámy s tímto označením jsou vyrobeny ze slitin hliníku s přísadou scandia. Hlavním důvodem využití přísady scandia je nárůst pevnosti a životnosti (díky zjemnění zrna), zejména v místě svarových spojů. To se samozřejmě může pozitivně projevit i nižší výslednou hmotností oproti běžným hliníkovým ráům bez přísady scandia. Výhodou je i vyšší komfort jízdy- Svými výslednými vlastnostmi se scandiové rámy podobají hořčíkovým ráům, jejich nedostatkem je zejména poměrně vysoká cena.

Karbon - hlavní předností tohoto kompozitního materiálu na bázi uhlíkových vláken je vysoká pevnost a současně velmi nízká hmotnost dané konstrukce. Tento materiál vznikne kladením jednotlivých vrstev tkaniny z uhlíkových vláken a pojidla do speciálních forem. Následuje spékání při tlaku a vysátém vzduchu. Díky tomuto způsobu výroby můžeme přidávat a ubírat materiál dle potřeby, což má za následek právě vysokou výslednou pevnost dané konstrukce v místech, kde je rám nejvíce namáhán. Dětskými nemocemi v počátcích

používání karbonu byla nízká životnost a možnost praskání konstrukce. Avšak díky vývoji technologií a zpracování při výrobě byla tato negativa téměř zcela potlačena a rámy z karbonu se stávají leadery ve světovém pelotonu. Hlavní stávající nevýhodou zůstává vyšší cena, ale díky stále se zvyšující sériovosti výroby můžeme očekávat postupné snižování ceny na rozumnou úroveň. Stejně jako Cinelli stojí na samotném vrcholu zpracování rámu z oceli, tak mezi premianty ohledně práce s karbonem patří např. firma Trek. Trek má se zpracováním karbonu dlouholeté zkušenosti a své produkty (hlavně rámy) dovedl k dokonalosti. Jeho špičkové rámy nesou označení OCLV, což znamená minimalizaci vzduchových bublin v matrici rámu pod 1%, čímž se docílí ještě větší pevnosti dané konstrukce. V nabídce jsou rámy tří druhů měrných hmotností - 120, 110 a extrémní hodnota 55, určená zvláště pro vrcholový sport. Označení znamená výslednou váhu v gramech na jeden čtvereční metr karbonové tkaniny. Samozřejmě platí, že čím nižší měrná hmotnost, tím vyšší cena.

4.2. Komponenty z Mg slitin

4.2.1. Odpružené vidlice

Druhý nejčastějším místem po rámu kol jsou, kde se se slitinami hořiku setkáme, jsou odpružené vidlice. Odpružených vidlic, u nichž je užito Mg slitin, je mnohem více než rámu kol. Zatímco rámy jsou vyrobeny pouze z hořčíkových slitin, u odpružených vidlic je hořčík použit pouze na určitých místech vidlice, konkrétně jen u vnější nohy vidlice. Vnitřní nohy uvedené vidlice jsou vyrobeny z duralu, na výrobu krku vidlice byla použita ocel. Zobrazená vidlice má celkovou hmotnost 1560 gramů a přibližná cena je 8000 Kč.



konstr. vnějších nohou: magnesium Reverse Arch
konstr. vnitřních nohou: dural 30 mm
konstr. korunky/krku: dural / ocel 1 1/8

Obr.5.: Přední odpružená vidlice

4.2.2. Rohy na koncích řídítek

Dalším místem na kole, kde se využívá Mg slitin, jsou rohy na konci řídítek. Někteří výrobci kol je montují jako „sériovou výbavu kola“, protože jejich hlavním přínosem je možnost více variant úchopu a tím zabránění poněkud strnulých horních partií těla, k čemuž může docházet zvláště při mnohahodinových jízdách. Použitím speciálních ergonomických gripů se pozitivní účinek rohů ještě zvyšuje.

Obr.6.: Rohy na koncích řídítek



Vyobrazené rohy s gripy (speciálně navržené pro optimální průtok krve dlaněmi jezdce a zároveň řešící problém s podrážděním nervů) testovali špičkoví profesionální jezdci při závodu Transalp Challenge a byly tak vystaveny těm nejtěžším možným podmínkám. Hlavním důvodem aplikace Mg slitin je jejich příznivá hmotnost.

4.2.3. Kotoučové brzdy



Velmi častého použití Mg slitin se dostává u kotoučových brzd, zvláště u modelů střední a vyšší střední třídy. Vyobrazená hydraulická kotoučová brzda Magura Marta SL disponuje automatickým nastavením vzdálenosti detiček a kotouče, jehož průměr činí 160mm nebo 180mm. Třmen brzdy je z magnesia, zatímco páka brzdy byla zhotovena z karbonu. Při nízké hmotnosti (hmotnost setu činí 312 gramů) vynikají brzdy především vysokou brzdou účinností.

Obr.7.: Kotoučové brzdy

4.2.4. Lyžiny cyklistických sedel



Důkazem toho, že použití Mg slitin je u cyklistických komponentů velmi rozšířené, je jejich použití u cyklistických sedel. Zde však procentuálně není zastoupení těchto slitin nejvyšší, protože z magnesia jsou vyrobeny pouze lyžiny sedla. Oproti levnějším modelům mající lyžiny vyrobeny nejčastěji z CrMo je přínosná nižší hmotnost magnesia. Vyobrazené sedlo: Fizik Gobi Magnesium.

Obr.8.: Cyklistické sedlo

4.2.5. Nášlapné pedály

Uplatnění Mg slitin sice není u nášlapných pedálů příliš rozšířené, nicméně někteří výrobci jako např. Crankbrothers jej využívají. Vyobrazený pedál disponuje platformou z magnesia v kombinaci s karbonovými vlákny (většina výrobců uplatňuje tělo pedálu spíše z karbonu, samozřejmě se to týká jen kvalitnějších modelů).



Osa je kovaná z CrMo oceli, pružina je z nerezové oceli. Výsledkem aplikace karbonu v kombinaci s Mg slitinami je nízká hmotnost (hmotnost páru je 354 g). U tohoto pedálu využívá Crankbrothers speciální čtyřhraný nášlapný systém, který má jednu zcela zásadní výhodu, kdy hmotnost je rovnoměrně rozložena a je znemožněno zanesení pedálu např. bahnem. O jednoznačné funkčnosti těchto pedálů svědčí jejich několikaleté používání při nejextrémnějším závodě planety Iditarod Trail Invitational.

Obr.9.: Nášlapný pedál

4.2.6. Zapletená kola

Největší podíl na celkovém chování kola nese bezesporu rám. Ale hned za ním jsou nejdůležitějším prvkem zapletená kola, jejichž hmotnost je velmi důležitá, protože hmotnost rotačních součástí se na kole projeví 3 až 4 krát více než na statických částech. To znamená, že požadovaných vlastností můžeme dosáhnout dvěma způsoby - buď snížíme hmotnost rámu např. o 300 až 400 gramů nebo snížíme hmotnost rotačních součástí o 100 gramů. Nejtěžšími rotačními součástmi jsou kola, a tak se u snižování hmotnosti soustředíme právě na ně, protože zde můžeme docílit nejvyšší hmotnostní úspory (je poněkud zcestné snažit se snižovat hmotnost např. u kazety, kde docílíme maximální hmotnostní úspory řádově desítky gramů.)



Obr.10.: Zapletená kola URSUS



Obr.11.: Zapletená kola American Classic

Největší procentuální podíl hmotnosti zapletených kol je soustředěn v ráfcích, a tak právě zde dochází k užití Mg slitin, i když zatím ne příliš často. Magnesia bývá využíváno kvůli jeho hmotnosti, která je nižší než u hliníku, a zároveň kvůli jeho lepší odolnosti oproti ráfkům z karbonu. Nezanedbatelnou vlastností je dobrá absorpce vibrací a rázů, které přicházejí od silnice. Většina výrobců zapletených setů kol vyrábí ráfky buď z hliníkových slitin nebo z karbonu, jen několik firem, jako Američan Classic, Reynolds, URSUS MG využívá Mg slitiny. Jednotliví výrobci využívají těchto slitin v ráfku v různém procentuálním zastoupení. Američan Classic využívá 92% , zatímco u zapletených kol URSUS se zastoupení Mg slitin blíží téměř absolutní možné hranici jejich použití 96%. Díky tomuto procentuálním zastoupení se hmotnost oproti ráfku z hliníku snížila o 30% a v porovnání oproti ocelovému ráfku dokonce o 75%. Nelze pominout vysokou pevnost v tahu a o hodně vyšší stálost materiálů oproti ostatním materiálům doposud používaných pro výrobu ráfků. Aby se zabránilo erozi a nadměrnému opotřebení, musela být použita speciální povrchová úprava DELTA 8, jejíž princip spočívá v působení dvoupólového elektrického proudu díky kterému se změní počáteční povrch na povrch keramické povahy. A právě díky použití této technologie se tato kola řadí na absolutní vrchol mezi koly u nichž jsou použity MG slitiny.

5. Závěr

Cílem této práce bylo zpracování přehledu hořčíku a jeho slitin včetně jejich použití. Byly popsány mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti hořčíku a jejich slitin, zmíněna byla i výroba hořčíku. Dále byl zpracován přehled o využití Mg slitin v cyklistickém průmyslu, včetně jejich porovnání s ostatními konstrukčními materiály.

Mezi hlavní přednosti hořčíku z pohledu veloprůmyslu patří:

- relativně vysoká měrná pevnost
- nízká měrná hmotnost
- dobré tlumící schopnosti

Hlavními nedostatky, zabraňujícími jeho většího rozšíření jsou:

- špatná korozní odolnost
- nízká odolnost proti opotřebení
- obtížné zpracování (vysoká reaktivita)

Použití hořčíku a jeho slitin ve veloprůmyslu je díky svým specifickým mechanickým vlastnostem poměrně široké. Hlavním důvodem pro aplikace Mg slitin pro rámy kol je dobrá schopnost útlumu vibrací a nízká měrná hmotnost. Výhodou tohoto materiálu oproti dnes stále častěji používaným kompozitům a též oproti slitinám titanu je větší cenová dostupnost. Oproti slitinám hliníku hovoří zejména lepší schopnost tlumit vibrace. V porovnání s ocelmi je zřejmou výhodou výrazně nižší měrná hmotnost.

6. Seznam použitých zdrojů

- [1] Sedláček, V.: Neželezné kovy a slitiny. 1. vyd., Praha: SNTL, 1979.398 s.
- [2] Ptáček, L., Ustohal, V.: Slitiny hořčíku a jejich využití. In. Metal 98. Ostrava, s 45-49
- [3] Ptáček, L.: Nauka o materiálu 2.2. citace-str 206, opr.a rozš. Vyd., Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80- 7204-248-3
- [4] Vojtěch, D.: Kovové materiály. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2006. 136 s. ISBN 80-7080-600-1
- [5] Internetové stránky společnosti Velo <www.ivelo.cz>
- [6] Internetové stránky společnosti Kupkolo.cz <www.kupkolo.cz>
- [7] Internetové stránky společnosti Mojekolo.cz <www.mojekolo.cz>
- [8] Internetové stránky společnosti XCR Svorada Sport Centrum <www.xcr.cz>
- [9] XCR Svorada Sport Centrum – komponenty/silniční/zapletená kola [online]. 24.2. 2009 [citované dne 2010-23-5]. Dostupné z: <http://www.xcr.cz/shop/produkt-9-3750-ursus-mgmagnesium.html>
- [10] Kupkolo – komponenty/silniční/zapletená kola [online]. 16.3. 2009.[citované dne 2010-23-5]. Dostupné z: http://www.kupkolo.cz/produkty/kola-mavic-shimano-fulcrum_70/Zapletena-kola_55/american-classic_282/Zapletena-silnicni-kola-American-Classic-Magnesium_2342.html
- [11] 123 Kolo-výprodej-sedla [online]. 19.5. 2010. [citované dne 2010-23-5]. Dostupné z: <http://123kolo.cz/index.php?detail=1894>
- [12] Kola Radotín-Eshop-pedály-MTB [online]. 14.1. 2009. [citované dne 2010-23-5]. Dostupné z: <http://eshop.kola-radotin.cz/naslapne-pedaly-crankbrothers-acid-2-09-bila/>
- [13] Sport23 – Eshop-odpružené vidlice[online]. 26.4.2009. [citované dne 2010-23-5]. Dostupné z: <http://www.sport23.cz/odpruzena-vidlice-sr-suntour-26-28-6-255-rux-tripple-cerna-2008>
- [14] Cyklo-čtrnáctideník [online]. 28.12.2009 [citované dne 2010-23-5]. Dostupné z: http://cykl.cz/media/pdf2008/Cykloservis%202008_15.pdf
- [15] Ivelo-servis-tipy-rady-aktuálně[online]. 22.3.2010 [citované dne 2010-23-5]. Dospuné z: <http://www.ivelo.cz/servis-tipy-rady/aktualne-zpravodajstvi/technika/oceneni-pro-cinelli-a-columbus/>