

ŠTRUKTÚRNE VLASTNOSTI GRAFITICKÝCH LIATIN

Františka PEŠLOVÁ^A, M. OBUCHOVÁ^B

^AÚstav materiálového inžinýrství – Fakulta strojní ČVUT Praha,
frantiska.peslova@fpt.tnuni.sk, Karlovo náměstí 13, Praha 2

^BKatedra materiálového inžinierstva, Fakulta priemyselných technológií v Púchove, TN
Univerzita A. Dubčeka v Trenčíne, I. Krasku 1809/34, 020 01 Púchov, SK,
e-mail: concaa1@gmail.com

Abstrakt

Práca sa zaoberá štúdiom grafitických liatin, ktorých charakter určuje morfológia, rozloženie a veľkosť vylúčeného grafitu. Tieto liatiny sú z hľadiska pevnostného radené medzi materiály, ktoré sú v praxi menej namáhané. Materiálové charakteristiky grafitických liatin bude ovplyvňovať aj kovová matrica, ktorá môže byť legovaná alebo iným spôsobom upravovaná. Výsledkom štúdia bude návrh zlepšenia štruktúrnych a materiálových vlastností tým že bude nasledovať povrchová úprava.

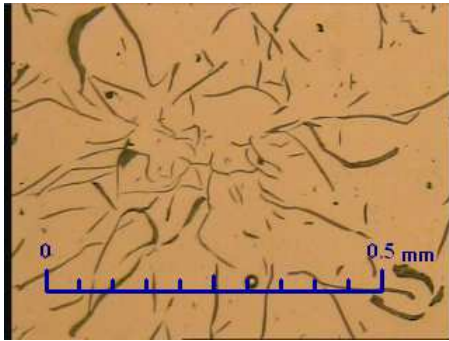
Úvod

Grafitické liatiny sa ako konštrukčný materiál používajú hlavne kvôli dobrým mechanickým vlastnostiam vzhľadom k cene materiálu. Mechanické vlastnosti sa menia v závislosti od grafitu, preto je dôležité sledovať jeho morfológiu, veľkosť, množstvo a rozloženie. Táto práca poukazuje na niektoré aspekty, ktoré budú ovplyvňovať mechanické vlastnosti grafitických liatin a s tým súvisiace možnosti ich použitia v praxi. Tvar vylúčeného grafitu je základnou prioritou pri rozdeľovaní grafitických liatin. Liatina s lupienkovým grafitom – označovaná ako sivá liatina, liatina s červíkovým grafitom – vermikulárna liatina a liatina s globulárnym grafitom – tvárna liatina. Tieto materiály sa používajú hlavne na odliatky pre automobilový a spotrebný priemysel, kde sa požaduje nižšia cena výroby. [2]

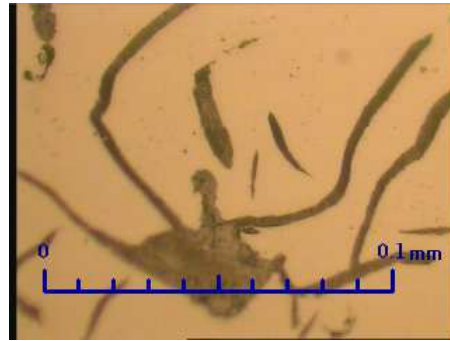
1. Štruktúra grafitických liatin

V lupienkovej morfológii má samotný grafit veľmi malú pevnosť a v štruktúre sa prejavuje veľkými vrubovými účinkami, čím sa liatina stáva materiálom s nízkymi pevnostnými charakteristikami. Ostré zakončenie lupienkov spôsobuje v ich okolí značné deformácie – napäťové stavy a teda krehkosť liatiny. Pevnosť v tlaku týchto liatin je štvornásobne a pevnosť v ohybe dvojnásobne vyššia ako pevnosť v ťahu. Grafitická liatina pôsobí pozitívne na schopnosť tlmenia ako samotného a tlmenia nárazov. Výhodou tejto grafitickej liatiny sú dobré zlievarenské vlastnosti, výborná zabiehavosť a pomerne malý sklon k zmršťovaniu.

V našom prípade grafitická liatina (sivá), ktorou sme sa podrobnejšie zaoberali má lupienkový grafit (obr. 1) s väčšími rozmermi a rozložením do tvaru ružice (obr. 2). Takýto charakter vyrobenej liatiny spôsobuje vysoké napätia a nízku húževnatosť. Táto liatina má v matrici vysoké množstvo fosforu, čo podmieňuje vznik fosfidického eutektika (obr. 3, 4), ktoré je veľmi krehké a zvyšuje náchylnosť liatiny k porušeniu. Okrem iného fosfor znižuje ťažnosť liatiny, húževnatosť a pevnosť. [1]

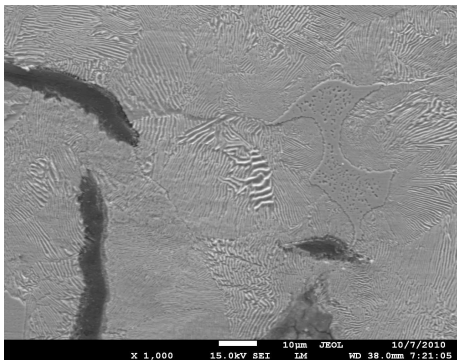


Obr. 1: Lupienkový grafit,
nenalept. zv. 100x

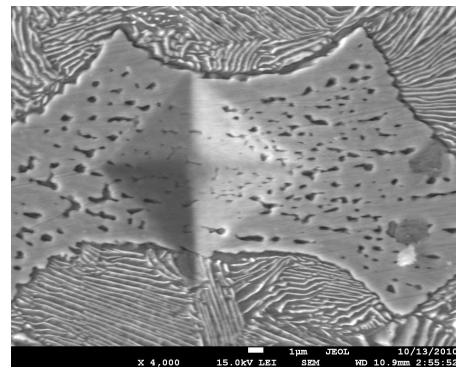


Obr. 2: Lupienkový grafit,
nenalept. zv. 500x

Vybraná vermikulárna liatina s červíkovým grafitom (obr. 5) predstavuje prechodový stav medzi sivou a tvárnou liatinou. Červíkovitý grafit má z energetického hľadiska vyhovujúcejšiu geometriu, lebo nespôsobuje vrubové účinky v štruktúre a jeho morfológiou ho predurčuje k lepšiemu zachyteniu v kovovej matici. To znamená, že je v porovnaní s guľôčkovým a lupienkovým grafitom stabilnejší. Červíkovitý grafit vzniká modifikáciou pomocou horčička alebo modifikáciou zliatinami kovov vzácnych zemín. Je to priestorovo rozvetvený útvar, avšak na rozdiel od lupienkového grafitu obsahuje zaoblené ukončenia, čo zlepšuje aj mechanické vlastnosti liatiny (zvyšuje ťažnosť a rázovú húževnatosť). Vermikulárna liatina často okrem červíkového grafitu obsahuje nedokonale zrnitý grafit (max 20% z celkového vylúčeného grafitu), čo neznižuje jej pevnostné charakteristiky. Výroba vermikulárnej liatiny s červíkovým grafitom s obsahom max 20% nedokonale (alebo pravidelne) zrnitého grafitu, je možná z podobných surovín ako tvárna liatina. Tento proces sa vysvetľuje tým, že hlavnou podstatou tejto výroby je zníženie negatívneho vplyvu nečistôt, hlavne kyslíka a síry na rozhraní tavenina – grafit v štádiu rastu grafitu. Tento vplyv na povrchové napätie je nižší ako pri raste zrnitého grafitu. Vermikulárna liatina má tiež výborné zlievarenské vlastnosti, ktoré sa približujú vlastnostiam sivej liatiny, ale má mechanické vlastnosti približujúce sa tvárnej liatine. [2,3]

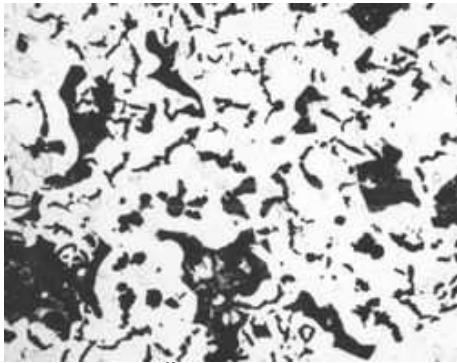


Obr. 3: Fosfidické eutektikum [1]

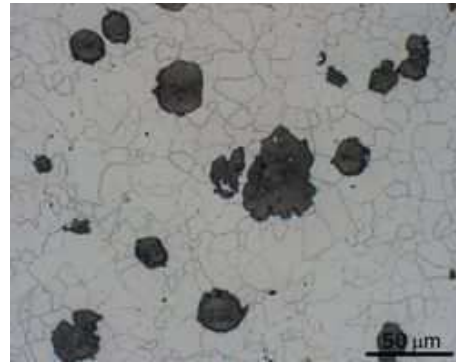


Obr. 4: Detail fosfidického eutektika [1]

Tvárna liatina s guľôčkovým grafitom (obr. 6) obsahuje grafit, ktorý sa skladá z usporiadaných kryštálov vo forme kužeľovitých špirál (obr. 7, 8) [3]. Vzniká vplyvom modifikačných látok do tekutého kovu, ktoré zvyšujú povrchové napätia na rozhraní grafit – tavenina, kryštalizáciou do tvaru s najmenším globulárnym povrchom. Taktiež je dôležité pridávať také prvky, ktoré budú znižovať obsah kyslíka, pričom eliminujú vzduchové bubliny. [8] Mechanické vlastnosti tvárnej liatiny sú blízke oceli, avšak liatina je cenovo dostupnejšia.



Obr. 5: Červíkovitý grafit, lept. Nital, zv. 100x [2]



Obr. 6: Tvárna liatina, zv. 500x [4]



Obr. 7 Guľôčkový grafit, zv. 500x [4]



Obr. 8 Guľôčkový grafit, zv. 1000x [4]

Horčík ako hlavný modifikátor používaný pri modifikácii liatiny má globularizačný efekt, odsírujúci účinok a taktiež ovplyvňuje tvar výsledného grafitu. Podľa horčíkového ekvivalentu MgE je možné zistiť, aký tvar bude mať výsledný grafit (tab. 1).

Tab. 1: Výsledný tvar grafitu vzhľadom na MgE [5,6]

MgE = %Mg – ¾ S	<0,0224	0	>0,0224
tvar grafitu	červíkovitý grafit	lupienkový grafit	guľôčkový grafit

Mechanické vlastnosti ako Rm a HB je možné pri grafitických liatinách zlepšiť pridaním prvkov, ktoré podporujú perlitizáciu a zároveň pôsobia na globulizáciu grafitových útvarov.[7] U tvárných liatinách má pri očkovaní taktiež dôležitú úlohu kyslík, ktorý môže ovplyvniť grafit. Dobré mechanické vlastnosti sa dosahujú pri hodnotách kyslíka 0,005 – 0,01%. [9] Síra nachádzajúca sa v liatine zaujíma miesto na krytalografických plochách grafitu, čím ovplyvňuje jeho rast. So zvyšovaním obsahu síry hrubne grafit. Zjemnenie lamiel grafitu je možné dosiahnuť pri hodnote 0,0012% S. [6] Okrem horčíka je na odsírenie možné použiť napríklad uhličitan sodný alebo oxid vápenatý. Vznik fosfidického eutektika (obr. 3,4) je možné eliminovať odfosforením, ktoré si vyžaduje silne oxidačné podmienky a zároveň je nutné udržať vysokú bázičnú schopnosť trosky, kvôli viazaniu sa fosforu na vápno. Vyšší obsah fosforu (už nad 0,5%) spôsobuje znižovanie ťažnosti, pevnosti a húževnatosti a zvyšovanie tvrdosti a krehkosti liatiny. Zmiernenie účinku fosforu je možné dosiahnuť aj vhodným tepelným spracovaním. [7]

Grafitické liatiny majú lepšiu tepelnú vodivosť ako ocele, čo je spôsobené prítomnosťou grafitu v štruktúre. Najvyššiu tepelnú vodivosť má sivá liatina z dôvodu rozvetvených lupienkov, ktoré sa môžu v grafitovej sústave vzájomne prepojsť.

Liatiny používané na odlievanie konštrukčných prvkov sú podľa rastúcich mechanických vlastností – pevnosť v ťahu, modul pružnosti, ťažnosť, húževnatosť - zoradené nasledovne: liatina s lupienkovým grafitom – sivá liatina, vermikulárna liatina, tvárna liatina, ocele na odliatky. Ale taktiež v tomto poradí sa zhoršujú iné mechanické vlastnosti ako je: zlievateľnosť, tepelná vodivosť, obrobitelnosť. Sivé liatiny používané na výrobu odliatkov sú rozdelené podľa mechanických vlastností do troch skupín. V prvej sú liatiny na bežné použitie s nízkou medzou pevnosti, ktoré je možné použiť na tenkostenné odliatky, kde sa vysoké mechanické vlastnosti, napr. súčasti pecí, kotlov, odliatky na smaltovanie, mreže, veká, kanálové poklopy a podobne. Do druhej skupiny patria liatiny, ktoré sú obvykle očkované ferosilícium. U týchto liatin sa zaručuje lepšia pevnosť v ťahu a tvrdosť ako v prvej skupine liatin. Používajú sa hlavne v automobilovom priemysle na motorové bloky, hlavy valcov, piesty, remenice a podobne. Do tretej skupiny patria takzvané „akostné liatiny“, ktoré majú najvyššiu pevnosť. Používajú sa hlavne na stojany lisov, obrábacích strojov, armatúry, ale tiaľ na umelecké odliatky, kde sa požaduje vysoká zabiehavosť. Vermikulárnu liatinu je možné použiť na výrobu tvarovo zložitých odliatkov, mechanicky namáhané odliatky, ktoré pracujú v podmienkach tepelných rázov hlavne v automobilovom priemysle na odliatky hláv valcov, výfukov, piestových krúžkov, kde nepostačujú mechanické vlastnosti sivej liatiny a zlievarenské vlastnosti tvárnej liatiny. Najlepšie mechanické vlastnosti z týchto troch liatina má tvárna liatina, ktorá sa používa ako alternatívna oceľ, hlavne kvôli úspore energie pri tavení a i cene materiálu. Liatina s guľôčkovým grafitom má i niekoľko iných výhod voči oceli na odliatky. Napríklad dobré klzné a mazacie vlastnosti, tlmiacu schopnosť, lepšie zlievarenské vlastnosti a ľahšiu obrobitelnosť. Tvárne liatiny sa taktiež ako sivé rozdeľujú do troch skupín podľa použitia. V prvej skupine sú liatiny na bežné použitie. Vhodné sú na odliatky, kde sa požaduje záruka mechanických vlastností a hlavne vysoké plastické hodnoty i pri nízkych teplotách. Použiť túto tvárnu liatinu je možné na hrubostenné skrine kompresorov, ložiskové skrine, telesá armatúr a podobne. V druhej skupine sa nachádzajú liatiny na bežné použitie a prácu pri nízkych teplotách. Používajú sa hlavne v automobilovom a strojárskom priemysle na vačkové a kľukové hriadele, motorové vložky, ozubené kolesá a podobne. Do tretej skupiny patria liatiny s najväčšou pevnosťou (vysokopevnostné, akostné liatiny). Používajú sa hlavne v automobilovom priemysle na odliatky, ktoré sú mechanicky a dynamicky namáhané. [2,3,4]

Záver

Stručný prehľad o grafitických liatinách slúži ako poznatková základňa, z ktorej je možné čerpať pri rozhodovaní sa v akom prípade a kedy tento materiál použiť pre konkrétne konštrukčné prvky.

Vylepšenie mechanických, chemických a fyzikálnych vlastností grafitických liatin okrem modifikácie grafitu spočíva prevažne v:

- legovaní kovovej matrice,
- tepelnom spracovaní,
- alebo povrchových úpravách.

Vzhľadom na to, že sa v súčasnosti venuje veľká pozornosť znižovaniu nákladov na výrobu súčastí, využívajú sa lacnejšie materiály, medzi ktoré nepochybne patrí aj grafitická liatina (nelegovaná a bez tepelného spracovania) s tým, že sa jej vlastnosti môžu zlepšiť povrchovou úpravou. Napríklad povlakovanie

grafitickej liatiny eliminuje prejav grafitu na povrchu a čiastočne aj znižuje vrubové účinky grafitických útvarov.

Príprava tenkých vrstiev povlakovaním CVD alebo PVD môže predĺžiť aj celkovú životnosť súčastí, ktoré sú vystavené niektorému typu opotrebenia. Z toho dôvodu bude v nasledujúcej práci venovaná pozornosť návrhu takej metodiky povlakovania, ktorá vytvorí bariéru medzi základným materiálom (podkladom) a novo vzniknutým povrchom s diametrálne rozdielnymi materiálovými vlastnosťami. Problémom môže byť adhézia povlaku v mikrolokalitách veľkých grafitických častíc, ktoré vystupujú na povrch, preto tieto častice musia byť veľmi jemné, či sa bude jednať o guľôčkový, vermikulárny alebo lupienkový grafit.

Poděkování

Příspěvek vznikl na půdě Inovačního centra a diagnostiky a aplikace materiálů na ČVUT v Praze - ICDAM (projekt OPVK CZ.2.16/3.1.00/21037).

LITERATÚRA

- [1] Pešlová, F., Anisimov, E., Obuchová, M.: Mezní stavy a porušování vližky válce motoru, Inovační centrum diagnostiky a aplikace materiálů ČVUT Praha, LMV Chemické listy 105, 2011, s. 591 - 592
- [2] Skočovský, P. – Podrábský, T.: Grafitické liatiny, 2005, Žilinská univerzita v Žiline – EDIS, ISBN 80-8070-390-6
- [3] Skočovský, P., Šiman, I.: Štruktúrna analýza liatin, 1989, Alfa, ISBN 80-05-00092-8
- [4] Podrábský, T., Pospíšilová, A.: Struktura a vlastnosti grafitických litin, VUT v Brně, FA strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství, [cit. 19.10.2012]
<http://ime.fme.vutbr.cz/files/studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=1>
- [5] Janowak, J. F. – Loper, C.: Účinky premenných faktorov pri procese na miznutí horčíka a slabnutie modularity v tekutých tvárných liatinách. Georgi publishing company, St. Sophorin, Švajčiarsko, 1974
- [6] Sagal, M: Diplomová práca – Modifikovanie liatiny modifikátormi na báze globulizačných a antiglobulizačných prvkov, Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline, 1982
- [7] Hampl, J. – Vondrák, V. – Hanus, A: Metalurgie litin – mimopecní zpravenání roztavené litiny, VŠ baňská – TU Ostrava, 2008
- [8] Oldfield, W.: Trans. amer. Foundrym soc. 79, 1971
- [9] Namai, T. – Ghaida, A.: Imono č. 1, 1969