Recenze

Doktorské disertační práce Ing. Zuzany Andršové

Nedestruktivní strukturoskopie izotermicky kalených litin

Studijní program: P2301 Strojní inženýrství

Obor: 3911V011 Materiálové inženýrství

Školitel: Doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc

Recenzent: Doc. Ing. Antonín Mores, CSc

ÚVOD

Izotermicky kalené litiny jsou oborem, který je ve světě dosti rozšířený (USA), u nás však stále není ve slévárenské oblasti stálý výrobce. Přesto se objevují 3 slévárny, které se těmto zajímavým a perspektivním oborem aspoň sporadicky zabývají.
V úvodu disertační práce autorka logicky začíná shrnutím různých základních informací, které jsou nutné pro pochopení podstaty získání izotermicky kalených litin. Základní strukturní charakteristika těchto litin, to je proces izotermické přeměny, výskyt horního ausferitu, výskyt spodního ausferitu, výskyt zbytkového austenitu, IRA diagram, vliv legujících prvků jsou výstižně a podrobně zpracovány s použitím velkého množství literárních údajů. Za mimořádně cenné a lze říci i objevné jsou údaje o izotermicky kalené litině s lupínkovým grafitem (AGI) a izotermicky kalené litině s červíkovitým grafitem. (AVGI). Totéž platí i pro kapitolu 1.3.4 o aplikaci izotermicky kalených litinách, pouze malé upozornění- recenzent práce se domnívá, že ve firmě AXI Semily není slévárna.
Poznámka k názvům litin.
V roce 2012 byly vydána norma ČSN EN 1564 Slévárenství- Ausferitická litina s kuličkovým grafitem. Lze tedy předpokládat, že izotermicky kalené LLG a LČV budou nazývány rovněž ausferitickými litinami. (zatím tyto normy nebyly vydány)
K vlivu dlouhodobého žíhání litin na teploty 450- 500°C a na teploty 550°C- 600°C- viz dotaz na konci tohoto posudku.
Úvodní teoretická kapitola je velmi přehledná a plně odpovídá jako jasné a vyčerpávající východisko ke kapitolám o ultrazvukové strukturuskopii litin, která vychází z tradic tohoto oboru na TUL. TU v Liberci v současné době získala mezi slévárenskými odborníky výbornou pověst v oblasti kontroly struktury odlitků a hlavně v oblasti nodularity u odlitků z litiny s kuličkovým grafitem (LKG) a identifikace ledeburitu (nepřípustné místní zákalky) u odlitků z litiny s lupínkovým grafitem (LLG).
Principy ultrazvukové struktuuroskopie a magnetické strukturoskopie jsou v předložené práci velmi jasně vysvětleny, zvlášť cenná je skutečnost, že je zde směřováno od obecného k izotermicky kaleným litinám.
Magnetická strukturoskopie litin s využitím magnetické skvrny, měření zbytkového magnetismu mikrostruktur litin a praktické využití přístrojů řady DOMENA k měření tvrdosti, pevnostních vlastností, hloubky prokalení, hloubky oduhličení, je ve slévárenské praxi sléváren v ČR u důležitých odlitků již v mnoha případech nezbytné, Přístroj TELIT

shrnuje všechny tyto možnosti. Toto vše je známo v oblasti odlitků z LKG a odlitků z LLG, autorka dizertace správně uvažuje použití těchto nedestruktivních metod také pro ADI, AGI, AGVI.

Po detailním a podrobném přehledu stávajících destruktivních metod následuje podrobná kapitola o zpevňování povrchu izotermicky kalených litin pomocí kuličkování. K této velice pěkně zpracované kapitole o mechanickém principu kuličkování mám dotaz za tímto posudkem ke strukturním změnám, ke kterým dochází při zpevňování povrchu ADI kuličkováním.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Jako výchozí materiály byly použity LLG, LKG a LČV. Litina s červíkovitým grafitem byla zvolena navíc jako varianta „SiMo", vyrobena byla pomocí sníženého množství modifikátoru s Mg. Je nutno ocenit, že byla provedena dokonalá izotermická kalení všech těchto materiálů při třech různých izotermických teplotách a při různých dobách výdrží na teplotách.

Tento mimořádně rozsáhlý soubor zkoušek byl zpracován do přehledných tabulek s detailním popisem. Byly provedeny zkoušky destruktivní i nedestruktivní. Naprosto precizně byly provedeny prověrky struktur.

Za velmi zajímavé je možno považovat izotermicky kalené litiny s lupínkovým grafitem. Jako zásadní je ve výsledcích vidět obsah zbytkového austenitu ve struktuře po izotermickém kalení. Obsah zbytkového austenitu je u všech 3 typů grafitických litin po izotermickém kalení přibližně shodný a nezávisí tudíž na tvaru grafitu.

K tabulkám 2.2.7.1 a 2.2.7.2 a 2.2.7.3 na str. 133- viz dotaz na autorku dizertace.

Podobně podrobně byly provedeny i nedestruktivní měření- ultrazvukové zkoušky a magnetická měření pomocí zjištění zbytkové magnetizace všech materiálů. Velmi zajímavé jsou výsledky dosažené při výdržích na teplotách 240, 310 a 400°C

Z diskuze výsledků akustických metod měření bylo zjištění, že kontrola grafitu je nejpřesnější v litém stavu, kdy tvar, velikost a rozložení částic grafitu mají podstatný vliv na výsledné vlastnosti po izotermickém kalení a tím i na celkový vliv vzniklé ausferitické matrice.

Diskuzí výsledků magnetických měření, kdy podle intenzity remanentního magnetického pole byly prověřovány obsahy zbytkového austenitu, přítomnost martenzitu, nebo karbidů, vyplynulo, že jsou ovlivněny dobou austenitizace. Z těchto závislostí bylo zpracováno velké množství grafů a rovnic s vysokými korelačními koeficienty.

Ke zjištěným hodnotám oduhličení- str. 191 – asi 0,5 mm, bych dodal, že je u litin běžné i bez žíhání- vlivem např. slévárenského nátěru na slévárenských formách a jádrech na bázi grafitu. Takové oduhličení považujeme za běžné.

Poznámka k teoretické části

Domnívám se, že rozsah této disertační práce je tak rozsáhlý, že někdy ztrácí tato práce na přehlednosti. To nijak nesnižuje její hodnotu, výsledky, grafy a rovnice plně odpovídají zadanému tématu.

Přesto se domnívám, že obsah této práce včetně rozsahu zkoušek by stačil na 2 úspěšné disertační práce.

Doplňující otázky

1) Ke str. 24. Zde je uvedeno, že při dlouhodobých žíháních na teploty 450- 500°C a na 550- 600°C dochází nejdříve ke sferoidizaci perlitického cementitu, později k vylou-čení grafitu- to vše pod teplotou 723°C.- vysvětlení, úvaha

2) Tváření za studena včetně kuličkování iniciuje přeměnu zbytkového austenitu na martenzit- jak to probíhá, vysvětlení, úvaha

3) Výsledky tahových zkoušek u AVGI a ADI se dosti přibližují, výsledky AGI jsou podstatně nižší, to je tak velký vliv grafitu GI a GII u AGI a grafitu GIII u AVGI? Na mechanické vlastnosti ? (v hodnotách Rm obrovské rozdíly, v hodnotách A5 rozdíly malé.) - úvaha

4) Jsou již v ČR provozní využití odlitků z AGI a AVGI ? AGI se uplatňuje v cizině u kterých odlitků ?

Závěrem je nutné velmi ocenit, jak disertantka řešila tento mimořádně obtížný a časově náročný úkol se mnoha experimenty hlavně v oblasti možností použití tepelných režimů austenitických litin AGI, AGIV, ADI, prověřování výsledků destruktivními metodami a velmi náročnému srovnání s výsledky dosaženými prověřením nedestruktivními metodami a velmi podrobných kritických rozborů. Vysoce kladně je nutné hodnotit i dílčí závěry k jednotlivým experimentům. Nutno zdůraznit, že izotermické kalené litiny jsou v ČR nepříliš rozšířené, předložená práce svými novými poznatky přispěje ke změně tohoto stavu.
Mimořádně kladně hodnotím i teoretickou část práce- tato část se nejen vyrovná některým učebnicím a skriptům, ale je předčí.
V předložené práci nejsou žádné věcné a pravopisné chyby, je napsána čtivě- oponent považuje tuto práci za jednu z nejlepších ve slévárenském oboru.
Doktorandka ve své práci dokázala, že umí výzkumně a vědecky pracovat, doporučuji tuto doktorskou práci k obhajobě a aby po odpovědích na výše uvedené dotazy a obhájení této práce, byl jí udělen titul doktor (PhD) v oboru, ve kterém byla tato práce předložena.

Praha 9.10.2014

Doc. Ing. Antonín Mores, CSc

Oponentský posudek

doktorské disertační práce Ing. Zuzany Andršové

„Nedestruktivní strukturoskopie izotermicky kalených litin"

Školitel: doc. Ing. Břetislav Skrbek , CSc.

Studijní program: P2301 Strojní inženýrství

Obor: 3911V011 Materiálové inženýrství.

Autorka se ve své disertační práci zabývá nedestruktivní diagnostikou izotermicky kalených litinových odlitků.

Práce má rozsah 223 stran, 175 obrázků, 82 tabulek a 47 stran příloh.

Téma disertace je aktuální, především s ohledem na stále nízké využití tohoto materiálu v tuzemském průmyslu v porovnání s vyspělými ekonomikami.

V teoretické části práce je proveden literární rozbor výroby, vlastností, aplikací a nedestruktivních zkoušek izotermicky kalených litin, včetně popisu procesů souvisejících s řízeným zpevňováním jejich povrchů.

Práce je velmi obsáhlá v teoretické i experimentální části. V experimentální části doktorské práce jsou charakterizovány tři typy litin použité pro izotermické kalení a postupy přípravy zkušebních vzorků. Použitá metodika experimentů je optimální, vzhledem zadaným cílům práce. Autorka prokázala, že ovládá vědecké metody práce. Poznatky uvedené v experimentální části práce přispějí k rozšíření poznání vědního oboru a mohou být úspěšně využity v praxi.

K disertační práci mám tyto připomínky a otázky:

Na s. 127 je uvedeno, že kvalitativní a kvantitativní RTG fázová analýza pro stanovení obsahu zbytkového austenitu (Az) byla nahrazena obrazovou analýzou. Pro porovnání jsou

v tab. 2.2.5.1 až 2.2.5.4 uvedeny hodnoty Az stanovené XRD fázovou analýzou, které jsou téměř shodné s obrazovou analýzou. Je možné obrazovou analýzou zcela nahradit RTG fázovou analýzu? S jakou přesností?

s. 153 proč byly pro experimenty použity jako výchozí materiál litiny s červíkovitým grafitem (LČG - LVG) s nevyhovující mikrostrukturou, když je, jak je uvedeno na s. 165, … v tomto případě izotermické kalení zbytečné?

s. 161 proč byly do vyhodnocení zahrnuty izotermicky kalené litiny s obsahem martenzitu, který je nežádoucí (nepřípustnou) strukturou v ausferitických litinách?

s. 175 Definujte „počáteční modul pružnosti E_0“a stanovení materiálové konstanty „K“.

s. 176. S jakou přesností lze rozlišit strukturní složky (F, M, M+dAF, dAF, sAF, hAF) po TZ, pomocí E_0 a dE_{0TZ}, když rozdíly v naměřených hodnotách počátečního modulu pružnosti E_0 jsou v řádu jednotek GPa (Obr. 2.4.2.2.1 a tab. 2.4.2.2.1 - nesprávné označení 2. sloupce tabulky)?

Úroveň zpracování tématu a interpretace výsledků vlastních experimentů svědčí o autorčině velmi dobré znalosti řešené problematiky.

Cíle práce byly splněny a práce splňuje podmínky disertačního řízení podle zákona o vysokých školách, proto doporučuji, aby byla předložena Komisi pro obhajoby doktorských prací Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci k obhajobě.

V Ostravě 17. 10. 2014

doc. Ing. Jiří Hampl, Ph.D.

Oponentský posudek na disertační práci

Ing. Zuzana Andršová

Nedestrukturní strukturoskopie izotermicky kalených litin

V předložené disertační práci sledovala autorka Ing. Zuzana Andršová vlastnosti tří druhů grafitických litin, a to litin s kuličkovým, červíkovitým (vermikulárním) a lupínkovým grafitem, které byly tepelně zpracovány izotermickým kalením. Hlavní pozornost byla zaměřena jednak na souvislost mezi podmínkami režimu tepelného zpracování, výslednou strukturou a mechanickými i technologickými vlastnostmi těchto materiálů, jednak na možnosti využití vybraných strukturoskopických metod, při kontrole a popisu struktury, zvláště s ohledem na potřeby technické praxe.

Námět práce byl podle mého názoru zvolen vhodně, protože použití všech tří druhů grafitických litin se v celosvětovém měřítku neustále zvyšuje, a to nejen v automobilovém průmyslu, ale i v celé řadě dalších odvětví, zvláště na součásti, které jsou v provozu vystaveny dynamickému zatěžování.

Oponovaná disertační práce je rozdělena na část teoretickou (kapitoly 1.1 až 1.7) a praktickou (kapitoly 2.1 až 2.5), která obsahuje vlastní experimenty. Práce je dále vybavená bohatou přílohou, která je navíc doplněna o výsledky prováděné na dodatečně dodaných vzorcích.

V teoretické části (podkapitola 1.3) popsala autorka nejprve jednotlivé druhy studovaných grafitických litin (LKG, LVG, LLG), se zaměřením na jejich výrobu, chemické složení, tvar a rozložení grafitu a strukturu matrice. Dále popisuje možnosti tepelného zpracování s důrazem na izotermické kalení. V celé této části je též diskutována pro jednotlivé druhy litin souvislost mezi výslednou strukturou a mechanickými, případně technologickými vlastnostmi.

V navazující části (podkapitola 1.4) jsou popsány vybrané nedestruktivní strukturoskopické metody (ultrazvuková a magnetická), které jsou uvažované pro analýzu jednak struktury kovové matrice, jednak tvaru, velikosti částic a rozložení grafitu. Hlavní pozornost je zaměřena na možnosti a výhody jednotlivých metod a zejména na jejich využití v provozu.

V části (podkapitola 1.5) se autorka zaměřila na popis metod zkoušení mechanických vlastností (zkouška tahem, ohybem), které jsou doplněny zkouškami mikrotvrdosti a metalografickou analýzou pomocí světelné a rastrovací světelné mikroskopie.

V závěrečné části této kapitoly (podkapitola 1.6) je popsána problematika řízeného zpevňování povrchu grafitických litin se zaměřením na technologii kuličkování.

V celé této části (podkapitoly 1.3 až 1.7) je text vhodně doplněn obrázky, diagramy, schematy a tabulkami, které usnadňují pochopení dané problematiky.

O zodpovědném přístupu autorky práce svědčí odpovídající množství prostudovaných literárních pramenů (celkem 94 odkazů), takže je možné konstatovat, že tato část je zpracována vyčerpávajícím způsobem.

K této části práce mám následující připomínky a dotazy:

1. V celé práci jsou nejednotně používána smluvní označení pro některé veličiny, např. mez pevnosti – Rm, správně R_m, atd.
2. Str. 11. HB – podle nové normy HBW, případně podle předchozí normy i HBS.
3. Str. 12. R_e – smluvní mez kluzu, má být výrazná mez kluzu.
4. Str. 85. Hrot trhliny - vhodnější a užívanější název je čelo trhliny.
5. Str. 100, Lit. [33]. Vysokopecní varianta – ADI, má být vysokopevná varianta - ADI.

1. Co je to rázová houževnatost KC, viz str. 24? Jaká mechanická vlastnost se nejčastěji používá pro stanovení tranzitní teploty a v jakém rozmezí hodnot se přibližně pohybuje u ADI?
2. V dřívějších pracích (např. práce prof. Dorazila a kol.) se struktura izotermicky kalených litin označovala jako bainit, v novějších jako ausferit. Může autorka vysvětlit případné rozdíly mezi těmito strukturami, viz např. obr. 1.3.2.3. na str. 34?

V druhé, tj. v praktické části práce, se autorka nejprve zaměřila na vstupní rozbor chemického složení zkoumaných materiálů, které byly odlity ve firmě FOCAM Olomouc, případně ve firmě Heunisch Brno, a dále na přípravu vzorků pro metalografickou analýzu.

V další části práce byla pozornost věnována podmínkám tepelného zpracování. Při izotermickém kalení byl zkoumán jednak vliv austenitizační prodlevy (teplota čas), tak zvláště vliv transformační teploty na výslednou strukturu matrice, potažmo i na mechanické vlastnosti, přičemž výsledky experimentů jsou uvedeny v příslušných tabulkách. Všechny tyto zkoušky byly následně doplněny stanovením obsahu zbytkového (stabilizovaného) austenitu a velmi pečlivě provedenou metalografickou analýzou, viz např. velice zdařilé snímky na str. 121 až 125. Velmi zajímavé výsledky získala autorky i v oblasti nedestruktivní strukturní analýzy, jak při použití akustických, tak i magnetických metod.

Při těchto experimentech získala autorka mnoho původních výsledků, které značně rozšiřují dosavadní znalosti o vlivu režimu izotermického kalení na strukturu i mechanické vlastnosti zkoumaných materiálů, dále ukázala též na možnosti strukturoskopických metod. Konkrétní výsledky (např. zkrácení doby austenitizace dle požadavku fy TEDOM, viz str. 220) mohou být využity technology i konstruktéry v technické praxi.

I v této části práce, včetně bohaté přílohy, je text vhodně doplněn fotografiemi, diagramy, tabulkami i metalografickými snímky, které názorně dokumentují studovanou problematiku.

Dotaz k této části práce:

1. Jaké konkrétní podmínky (teplota, čas) izotermického kalení by autorka navrhla pro jednotlivé druhy grafitických litin?
2. Která ze studovaných strukturoskopických metod, i s uvážením celkové ekonomické náročnosti a požadavků na speciální výrobní zařízení, je pro použití v praxi nejvhodnější?

Diskuse a závěry

V závěru práce autorka jednak velmi široce diskutuje dosažené výsledky, jednak konstatuje nejdůležitější závěry. Diskuse je vedena na dobré úrovni a jednotlivé závěry jsou vhodně formulovány.

Teze disertační práce

Teze disertační práce jsou zpracovány na kvalitní úrovni a splňují podmínky stanovené příslušnou směrnicí. Jsou napsány věcně a poskytují dobrý přehled o nejdůležitějších výsledcích získaných autorkou ve zvolené oblasti výzkumu.

Celkové shrnutí

Na závěr je možno konstatovat, že práce má velmi vysokou odbornou úroveň a přináší celou řadu původních poznatků o tepelném zpracování, výsledné struktuře a mechanických i technologických vlastnostech zkoumaných grafitických litin. Dále ukazuje na možnosti vybraných nedestruktivních strukturoskopických metod. Mnohé tyto poznatky jsou přínosem pro vědu a zejména pro průmyslovou praxi.

Z těchto důvodů a dále vzhledem k tomu, že autorka prokázala způsobilost k vědecké práci, **doporučuji**, aby paní Ing. Zuzaně Andršové byl po úspěšném obhájení udělen titul Ph.D.

V Brně dne 6.10. 2014

prof. Ing. Stanislav Věchet, CSc.
Vysoké učení technické v Brně
FSI - ÚMVI
Technická 2896/2
616 69 BRNO