

OPONENTNÍ POSUDEK

disertační práce

Ing. Jiřiny ŠAŠKOVÉ

Rekrystalizační chování termomechanicky zpracované oceli C 45.

Soustavný rozvoj strojírenství doprovází stále vyšší požadavky na pevnost a plastické vlastnosti materiálů. Těchto přínosů můžeme dosáhnout nejen komplexním legováním, ale také moderními technologiemi zpracování. Ke zlepšení vlastností stávajících materiálů je potřebné navrhnout a ověřit nové režimy zpracování. Jedním ze způsobů je termomechanické zpracování, které vede ke zlepšení vlastností materiálů řízením tepelně-deformačních procesů. Cílem řízeného tepelně-mechanického zpracování je získat rovnoměrnou jemnozrnnou strukturu a u oceli dosáhnout vyšší pevnosti a dobré houževnatosti. Pro dosažení předpokládaných vlastností oceli je nutné objevit vhodný poměr mezi chemickým složením oceli a jejím mechanicko-tepelným zpracováním. Vědeckovýzkumná práce má nesporný význam pro obor „Materiálového inženýrství a strojírenské metalurgie“.

Přestože cíle práce nejsou uvedeny v samostatné části, je možné je získat např. z uvedené anotace. Zde se uvádí, že cílem práce bylo ověřit, zda metody řízeného termomechanického zpracování zlepšují vlastnosti sledované oceli a zda bude kvalita tohoto levného materiálu odpovídat dražším materiálům vyšší kvality.

Celkově se disertační práce jeví nevyváženou. Příliš podrobný teoretický úvod na 85 stranách uvádí triviální základy mechanismu plastické deformace a zpevňování z poloviny minulého století a je zde sledován vliv řady faktorů, které pro vlastní experimentální práci jsou zbytečné. Na straně druhé lze pochválit šíři a podrobnost úvodu, množství prostudovaných literárních podkladů a podrobné postižení strukturních dějů, které při postupech TMZ na ocelích obecně mohou probíhat.

V experimentální části disertační práce postrádám hlubší vysvětlení zadání vlastních experimentů. Volba zvolených postupů, stanovení teplot (kalení, popouštění i TMZ) není založena na teoretickém podkladě, který by vyplýval z rozsáhlého teoretického rozboru v úvodu disertační práce. Diskuze výsledků z experimentů je jen dílčí, nejsou zde vysvětleny efekty deformace na strukturu a vlastnosti, přestože byly měřeny.

Závěry z experimentů nejsou zcela přesvědčivé a naprosto není možné porovnávat výsledky TMZ s průměrovanými hodnotami vlastností získanými po různých průbězích (teplotách 600 až 750 °C), různých časech kalení a popouštění. U oceli 12 050 chybí jednak údaje o konkrétním chemickém složení a vysvětlení, jak byl uvažován při experimentu efekt prokalitelnosti. Rozměry vzorků pro jednotlivé experimenty jsou dosti rozdílné a při kalení do oleje dají rozdílné struktury. Výchozí stav je pro perfektní experimenty i další porovnání nevhodný, vhodnější bylo nejdříve normalizovat. I přes tyto připomínky je možné s postupem řešeného problému souhlasit.

Tvrzení o zachování meze únavy po experimentálním TMZ zpracování není podloženo jedinou únavovou zkouškou. Odvolání na souvislost meze únavy a meze pevnosti je zcela obecné, realitou je značný rozptyl zmíněné korelace zvláště při vyšších pevnostech. Výsledky získané z doktorské disertační práce hodnotím kladně a většina z nich je původní s konkrétním přínosem pro technickou praxi.

Při obhajobě disertační práce žádám o vysvětlení těchto tvrzení z práce:

1. Vysvětlíte jak je možné, že v tabulce č. 12 je hodnota KV 2,8 J a jak může být hodnota KCV 30 J/cm²? (snad 3,5).
2. Obr. 100 a 101 uvádí pro TZ zcela odlišné struktury. Kde se vzala WS po kalení a popouštění na 700 °C? Co vyvolalo takovou rozdílnost ve velikosti zrna a podílu perlitu?
3. Str. 115. Čím je vyvolán velký rozdíl F a P na snímcích č. 122 a 123?


Některé formulace v disertační práci nejsou zcela přesné, některé obrázky mají popis v angličtině a na straně 100 a 101 u charakteristik pevnostních hodnot R chybí rozlišující indexy. Práce splňuje podmínky formální úpravy, členěna je přehledně a po jazykové stránce je na odpovídající úrovni. Práce s literaturou dobrá.

Disertantka publikovala řadu prací v tuzemsku a méně v zahraničí. Postrádám práce publikované v odborných časopisech.

Závěr: Disertantka odvedla mnoho kvalitní práce zejména v části literárního přehledu. Experimentální program zcela nenavázal na kvalitní úvodní část. Výsledky experimentů nejsou jednoznačně přesvědčivé v tom, že zrovna ocel 12 050 je vhodné zpracovávat komplikovanější technologií TMZ. Získané poznatky jsou přesto cenné a poskytují nové poznatky.

Disertační práci „Rekrytalizační chování termomechanicky zpracované oceli C 45“
Ing. Jiřiny Šaškové doporučuji k obhajobě dle zákona č. 111/1998 Sb. § 47 a po úspěšné
obhajobě udělit jmenované pro obor “Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“ titul
Ph.D.

V Brně 2. 1. 2012


prof. Ing. Vojtěch Hrubý, CSc.
Katedra strojírenství
Univerzita obrany v Brně

Oponentní posudek disertační práce Ing. Jiřiny Šaškové
„Rekrystalizační chování termomechanicky zpracované oceli C45“

Předložená práce má 141 stránek, včetně 151 obrázků, 15 tabulek, 69 literárních odkazů a jedné přílohy protokolů mechanických zkoušek.

- a) Problematika tepelně-mechanického zpracování, již se disertace zabývá, je v popředí pozornosti světových výzkumných pracovišť a výrobců jakostních ocelí, neboť se od něho očekává značné zvýšení mechanických vlastností především nízkolegovaných ocelí. Problematika je to moderní, ve své aplikaci ekonomicky velmi přínosná, teoreticky a technologicky značně náročná. I u nás je o TMZ u výrobců špičkových strojírenských produktů silný zájem a jeho technologie a zejména teorie nebyly dosud u nás tak rozsáhle precizovány, jak by si zasloužily. Svým zaměřením je proto disertace vítaná a správně orientovaná na ocel s širokým výrobním použitím. Především široké a fundované rozpracování teoretických základů TMZ v práci je jejím pozitivním přínosem oboru.
- b) Disertace, jak je obvyklé, je členěna na teoretickou a experimentální část. Teoretická část je mimořádně rozsáhlá, zahrnuje 84 stránek, detailní, přesný výklad vychází především z japonských prací. Rozhodující atributy TMZ, statická rekrystalizace, dynamická, resp. metadynamická rekrystalizace atd., jsou zasvěceně a srozumitelně podány a celý výklad dokazuje, že autorka problematiku důkladně prostudovala a pochopila. Uvedená literatura objektivně mapuje publikační zázemí dané problematiky a uvádí i zásadní práce, které vznikly u nás. Experimenty byly prováděny na oceli C45, která má široké použití na strojní součásti. Experimentální program je detailně popsán včetně výroby vzorků a jejich zpracování. Souběžně s praktickými experimenty byl vytvářen matematický výpočtový model. Mechanické vlastnosti byly hodnoceny klasickým způsobem (tahová zkouška, ráz v ohybu, tvrdost). Metalografie byla založena na použití světelného mikroskopu, u některých vzorků byla doplněna hodnocením na řádkovacím elektronovém mikroskopu. Součástí experimentů je i kvalifikovaný, bohatě dokumentovaný roentgenografický rozbor. Je zřejmé, že k řešení byly použity vhodné, jasně vypovídající metody na vysoké interpretační úrovni. Celá koncepce disertace respektuje vytyčený cíl a je předpokladem jeho splnění.
- c) Cílem práce bylo ověřit, zda metody řízeného termomechanického zpracování zlepší vlastnosti sledované oceli a zda bude kvalita tohoto levného materiálu odpovídat dražším materiálům vyšší kvality. Technologický postup zvolený pro serii vzorků ozn. 4 umožnil získat velmi jemné zrnno. Jemnozrnná feriticko-karbidická struktura dosažená MTZ vykazuje výhodnější vlastnosti než struktura získaná konvenčním tepelným zpracováním. Výrazně se zvyšuje mez kluzu, avšak tento posun nezhoršuje tažnost a mez únavy. U takto zjemněné struktury se též výrazně zvyšuje vrubová houževnatost. Zadaný cíl byl tudíž splněn. Je třeba zdůraznit, že optimální technologický postup byl zvolen na základě podrobně rozebraných teoretických předpokladů, které nemají však jen tento praktický efekt, ale obohacují i naši odbornou literární poznatkovou základnu. Z experimentální části si zaslouhuje zvláště ocenění metalografický rozbor, jehož vynikající interpretační schopnost názorně a přesvědčivě ilustruje přítomnost a rozložení strukturních částic v různých stádiích zpracování a logicky vysvětluje pohyby v mechanických vlastnostech.
- d) Disertace je dokladem promyšleného a systematického přístupu ke zpracování tématu. Je psána výstižným, terminologicky v zásadě správným jazykem. Jen v případě občasné náhrady předpony „sub“ (subzrnno, substruktura) předponou „pod“ bych se přimlouval za unifikaci jednotného používání v celé disertaci, i když ono „počesťování“ v tomto případě

- e) nevidím nejšťastnější. Termín „podzrno“ zní přece jen nelibozvučněji nežli „subzrno“. Disertace má vynikající formální úroveň, tiskové chyby se téměř nevyskytují. Pochvalu si zaslouží i obrazová dokumentace v experimentální části. (U obr. č. 87 by chtělo blíže vysvětlit „prahování“ feritu.) Reprodukované obrázky mikrostruktur v teoretické části disertace mají omezenou vypovídající schopnost, přesto jejich uvádění má jistý význam. Přebírané obrázky z citované literatury v této části práce mají původní anglický text, který samozřejmě poněkud znesnadňuje přesné pochopení jejich obsahu a převodu do české terminologie. Český překlad by samozřejmě znamenal velmi náročnou práci, ale to, že nebyl proveden nijak nesnižuje zásadní hodnotu této v každém případě přínosné části práce.
- f) Vlastní publikace disertantky nejsou uvedeny. Patně je předloží při vlastní obhajobě. Tato skutečnost nijak však nesnižuje hodnocení autorky předložené práce jako vyhraněné vědeckovýzkumné pracovnice s rozsáhlými a hlubokými znalostmi teoretických základů materiálového inženýrství i technologií zpracovávání ocelových materiálů, zkušebních metodik studia kovových materiálů, schopností realizovat náročné vědeckovýzkumné projekty ve studovaném oboru.
- g) Na základě výše uvedeného jednoznačně doporučuji uvedenou disertační práci k obhajobě (dle příslušného zákona) a po úspěšné obhajobě udělit Ing. Jiřině Šaškové vědeckou hodnost PhD.

8.12.2011.


Prof. Ing. Jaroslav Koutský, Dr. Sc.

Oponentní posudek disertační práce

Autorka: Ing. Jiřina Šašková

Název: Rekrytalizační chování termomechanicky zpracované oceli č. 45

Oponent: Prof. Ing. Petr ZUNA, CSc., D. Eng. h. c.

Předložená práce řeší problematiku tepelně mechanického zpracování oceli C 45 se zaměřením na rekrytalizační procesy.

Teoretická část práce je poměrně rozsáhlá. Obsahuje 84 stran textu, 59 obrázků a 4 tabulky. Zabývá se podstatou tepelně mechanického zpracování ocelí, udává základní charakteristiky plastické deformace a deformačního zpevnění, podrobně se zabývá fázovými transformacemi austenitu a jejich ovlivnění plastickou deformací a rekrytalizací, s hlavním zaměřením na finální feriticko perlitickou strukturu. Autorka prokázala, že dokáže pracovat s odbornou literaturou, využila 69 literárních pramenů. Autorka soustředila pozornost na rekrytalizační procesy v austenitické a austenitickoferitické oblasti. Teoretická část je zpracována přehledně, vychází však hlavně ze starších klasických praxí. Je zde shrnuta řada podstatných a pro vlastní práci potřebných údajů.

V textu jsou však některé nepřesnosti. Uvádím některé jako příklad.

V českém textu je třeba užívat i český popis obrázků a českou terminologii.

- Str. 11 jsou vyjmenovány zpevňovací mechanismy ne mechanismy zvyšování poruch
- Obr. 3 a 4 perlit nemůže vznikat nad A_1
- Obr. 5 jde o diagram skutečné napětí, skutečná deformace
- Str. 21 existují 3 základní transformace austenitu – perlitická, bainitická a martenzitická
- Str. 25 při teplotě 300°C nejde u hliníku a při 600°C u mědi o tváření za studena. Je třeba (i dále) jasně definovat co je tváření za tepla a co za studena
- Str. 28 je třeba vysvětlit, jaké dva hlavní průběhy existují u statické rekrytalizace
- Str. 58 jak lze vysvětlit „velké účinky na zpomalení rekrytalizace jsou obvykle způsobeny snížením precipitace“. Ve skutečnosti nitridy a karbidy precipitují na dislokacích a rekrytalizaci brzdí víc, než atomy v tuhém roztoku, blokují i imigraci hranic zrn
- Str. 63 morfologie feritu závisí i na rychlosti ochlazování (acikulární ferit), zrna feritu se nemohou měnit na subzrna, je třeba vysvětlit, jak je dosaženo zpevnění zjemněním subzrn

Vlastní experimentální část obsahuje 45 stran textu, 9 tabulek a 92 obrázků. Porovnává finální struktury a mechanické vlastnosti 4 základních zpracování vzorků z oceli C 45 a to dodaný stav, klasické kalení a 2 způsoby tepelně mechanického zpracování s následným žíháním v rozmezí teplot

600 až 750°C. Volba žíhacích teplot je vysvětlena pouze návazností na předchozí neuvedené experimenty a požadavkem na zajištění stability finální struktury. Dokovací teploty u experimentálně kovaných vzorků jsou většinou pod teplotou A_3 případně A_1 . Je třeba výši těchto teplot zdůvodnit, protože jsou v rozporu s klasickým tepelně mechanickým zpracováním, kde deformace probíhá v oblasti austenitu s následným zakalením. V práci je pečlivě popsán způsob zpracování a jsou graficky i tabelárně uvedeny výsledky mechanických zkoušek (neprovádíme zkoušku vrubové houževnatosti, ale zkoušku rázem v ohybu – str. 85) i obrázky z metalografické analýzy (lze přehlédnout drobné chyby v textu – kalící teploty 850°C, u obrázku 860°C, chyby v tabulce 13). Je však třeba větší pozornost věnovat interpretaci mikrosnímků. Např. na obr. 89 nejsou patrna deformovaná zrna, na obr. 97 není patrný sferodizovaný perlit.

U mechanických vlastností by bylo třeba věnovat větší pozornost vztahu meze pevnosti a meze kluzu. Widmanstatenova struktura nevzniká při teplotě 700°C, ale při transformaci hrubých austenitických zrn. V diskusi vzhledem k tématu práce měla být větší pozornost věnována rekrytalizačním procesům a jejich vlivu na finální strukturu. V práci chybí přehled publikací autorky. I přes tyto drobné připomínky se autorce podařilo plnit cíl práce, navrhnout technologii kování vzorků z oceli C 45 s využitím možností tepelně mechanického zpracování a dosáhnout jemnou finální feriticko perlitickou strukturu s dobrými mechanickými vlastnostmi, což je určitým přínosem pro obor.

Předložená práce plní podmínky kladené na disertační práci dle zákona č. 111/1998 Sb. §47 a proto ji doporučuji předložit k obhajobě.

Prof. Ing. Petr ZUNA

