



Oponentský posudek dizertační práce

„Vliv nekonvenčních metod tepelného zpracování na užité vlastnosti vybraných nástrojových ocelí“

Autor práce: Ing. Martin Kuřík
Školitel: doc. Ing. Jana Sobotová, Ph. D
Školící pracoviště: Ústav materiálového inženýrství, Fakulta strojní, ČVUT Praha
Studijní program: Strojní inženýrství; Studijní obor: Materiálové inženýrství
Oponent: prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.
Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera

Práce je věnována problematice tepelného zpracování nástrojových ocelí vyrobených postupy práškové metalurie, zaměřuje se na specifika procesů vyvolaných nekonvenčními postupy zpracování vč. zmrazování. Téma je bezesporu velice aktuální s přesahem i do oblasti tvorby gradientních materiálů při uplatnění práškové metalurgie.

Úvodní kapitola představuje sortiment nástrojových ocelí, kategorizovaných podle aplikace. Autor uvádí některé možnosti srovnání nástrojových ocelí pro volbu k danému použití, přičemž kriticky komentuje omezené možnosti univerzálního hodnocení bez bližšího zohlednění podmínek pro konkrétní aplikace.

Rešeršní část je částečně věnována i primární metalurgii, resp. běžným postupům výroby nástrojových ocelí, vč. zařízení apod. S ohledem na dané téma jsou zdůrazněny problémy standardních metalurgických postupů, především obtížná optimalizace mikrostruktury, tj. dosažení homogenity a požadované distribuce a morfologie sekundárních fází. Prášková metalurgie je představena z pozice pozitivních rozdílů s klasickou metalurgií, zároveň jsou ale uvedeny možné problémy a vliv na užité vlastnosti.

Samostatná kapitola je věnována tepelnému zpracování nástrojových ocelí. Práce obsahuje obecný přehled používaných postupů ve standardním členění na jednotlivé kroky od austenitizace až po postupy a používaná média při ochlazování. Uvedena jsou specifika nástrojových ocelí vyhotovených práškovou metalurgií, autor rovněž diskutuje výsledky vlastních předchozích experimentů ohledně vlivu délky austenitizace, samostatně je zpracován současný stav informací na konto vlivu zmrazování. Podstatné je, že i do poměrně obecných informací autor zařadil výsledky aktuálních prací.

Tento přehled autor uzavírá konstatováním o nedostatku potřebných podkladů pro správnou volbu, resp. správnou aplikaci nástrojových ocelí připravených práškovou metalurgií. Podtrhuje nedostatečnost dat o mechanických parametrech k nástrojovým ocelím. Rovněž upozorňuje na nedostatečnost, resp. nejednoznačnost obvyklého vyjádření výsledků tepelného zpracování povrchovou tvrdostí. Rešerže vychází z velkého rozsahu literatury, vč. aktuálních prací. Seznam vlastních publikací prokazuje návaznost na předchozí práce autora.

Cíle práce jsou definovány v návaznosti na analýzu současného stavu, kdy autor jednoznačně identifikoval prostor pro výzkum, tj. potřebu definovat vhodné parametry tepelného zpracování u nástrojových ocelí pro práci za studena, vyrobených práškovou metalurgií, kdy tento typ výroby vnáší do mechanických parametrů a tím i požadavků na optimalizaci tepelného zpracování podstatná specifika. Jednotlivé dílčí cíle jsou souhrnně zaměřeny na predikci vazby mezi tepelným zpracováním a mechanickou odezvou konkrétní varianty oceli připravené práškovou metalurgií.

Postup řešení, použité metody

Použití experimentálních metod je definováno přímo v dílčích cílech práce, což dává jasnou informaci o celkovém pojetí výzkumu. Práce vychází ze strukturních analýz vlivu variantních postupů tepelného zpracování. Z mechanických parametrů jsou zařazeny dva rozhodující parametry u dané aplikace – odolnost proti opotřebení testuje metodou Pin-on-disk, životnost nástroje pomocí standardní únavové zkoušky.

Těžištěm výzkumu jsou experimentální analýzy dvou variant nástrojových ocelí, připravených práškovou metalurgií: oceli ASP 2005 jako alternativy k ASP 2023; volba ocelí vycházela z konkrétní praktické aplikace.

Jedna sada vzorků představovala standardně používanou technologii tepelného zpracování (dále TZ), ostatní série vzorků byly podrobeny variantnímu zpracování s rozdíly v parametrech kalení, v zařazení zmrazování i v parametrech popouštění. Vzhledem ke značné variabilitě testovaných postupů je v práci vhodně zařazen přehledný diagram spolu s označením vzorků prezentujících jednotlivé postupy.

Vyhodnocení vlivu variantních postupů TZ bylo provedeno srovnáním tvrdosti, odolnosti proti opotřebení, a únavové pevnosti ve srovnání počtu cyklů do porušení při definovaném zatížení. U každé z uvedených zkoušek je detailně popsána příprava vzorků i parametry zkoušky a hodnocení, to umožňuje návaznost na provedené analýzy.

Strukturní analýza je zaměřena na kvantitativní vyhodnocení karbidické fáze, což je vedle podílu zbytkového austenitu bezpochyby rozhodující strukturní efekt testovaných variant tepelného zpracování. Identifikace karbidů se opírá o kombinaci EDS analýz a srovnání s výsledky jiných autorů u odpovídajících typů ocelí; autor správně poukazuje na limity detektability u použité metody analýz. Částečně svou interpretaci podporuje o analýzu změn obsahu legujících prvků matrice, jako indikaci rozpouštění vs. tvorby karbidů, což se ale nepotvrdilo u všech variant (kupř. u precipitace velice jemných karbidů v průběhu zmrazování oceli ASP 2005 - Tab.12, obr.74 str.86).

Autor u vyhodnocení zjištěných vlivů výšky austenitizace a zmrazování diskutuje pravděpodobný vliv zbytkového austenitu a zmiňuje vhodnost RTG analýzy. Uvedenou analýzu, popř. EBSD považují za velice vhodné k doplnění v rámci navazujících prací. Tyto údaje by podstatně upřesnily interpretaci výsledků – se změnami zbytkového austenitu rovněž možnosti přerozdělení uhlíku ve vazbě na tvorbu sekundárních fází. Autor správně konstatuje obtížnost interpretace některých výsledků, kupř. rozlišení etapy tvorby jednotlivých typů karbidů, co je podstatné pro posouzení jejich vlivu na hodnocené mechanické parametry.

Pozitivní je, že autor se nedopouští ve svých závěrech zjednodušení a v některých otázkách ponechává diskuzi otevřenou, kupř. otázku vzniku jemných karbidů v průběhu popouštění a v průběhu zmrazování, rozlišitelných na prezentovaných snímcích. Autor v návrhu na pokračování výzkumu uvádí nutnost stanovení zbytkového austenitu.

Hodnocení opotřebení vychází z vyhodnocení úbytku podle reliéfu zatěžovaného povrchu; sledován je i záznam tečné síly, to umožnilo propojit vyhodnocení odolnosti proti opotřebení spolu se součinitelem tření. Ke kvalitě zpracování přispívá i to, že autor výsledky neprezentuje izolovaně, ale zjištěné rozdíly diskutuje ve vazbě na pozorované strukturní rozdíly.

U zkoušky únavy autor uvádí, že parametry zkoušky byly voleny pro přiblížení reálnému namáhání materiálu. Podle cílů práce bylo záměrem simulovat dynamické namáhání razníku. Použit byl míjivý cyklus zatížení v tahu. V průběhu únavových zkoušek byl řešen problém přídavného ohybového momentu v souvislosti s nesouosostí upnutí a diskutován vliv na rozptyl naměřených hodnot únavové pevnosti testovaných variant TZ. Problém byl úspěšně řešen změnou upnutí vzorků. Vzhledem k tomu, že jsou uvedeny konkrétní hodnoty ohybového momentu a ty jsou zohledněny u vyhodnocení výsledků únavových zkoušek, bylo by vhodné doplnit některé údaje - uvést způsob měření, zdůvodnění orientace ohybové složky zatížení, hodnotu uvést v napětí pro možnost přímého porovnání s osovým napětím apod..

Výsledky a přínos disertační práce

Disertační práce obsahuje původní výsledky experimentálního výzkumu, které mají nesporné praktické využití. V propojení použitých metod hodnocení jsou tyto výsledky rovněž přínosem v poznání vyvolaných procesů v širším měřítku. K tomu přispívá diskuze každého experimentálně vyvolaného efektu – v propojení kvantitativního hodnocení strukturních rozdílů a mechanické odezvy materiálu a ve srovnání s aktuálními výsledky jiných autorů.

Práce nejenom přináší konkrétní výsledky u testovaných variant tepelného zpracování, ale na základě zkušenosti s použitými metodami a nutnosti řešit problémy u použitých metod zkoušek navrhuje řešení a vhodná doporučení pro předmětný typ materiálů (kupř. vhodnost podélného broušení u zkoušky únavy, limity odečtu profilu poškození u zkoušky opotřebení).

Formální úroveň práce

Práce má vysokou úroveň zpracování, vyzvednout chci kvalitní dokumentaci u referenčních výsledků strukturních analýz a grafickou prezentaci výsledků. K přehlednosti přispívá postup zpracování výsledků; autor samostatně u každé použité metody hodnocení prezentuje vliv teploty a vliv zmrazování. Propojení jednotlivých parametrů (kupř. hodnoty tvrdosti uvedeny přímo do snímků mikrostruktury) ulehčují orientaci v testovaných variantách TZ. Vhodné by bylo přímo do popisku obrázků mikrostruktury doplnit vysvětlivky použitých označení (zkratek).

Kvantitativní vyhodnocení karbidických fází je přehledně prezentováno formou histogramů, které jsou efektivním nástrojem k posouzení rozdílů u testovaných variant TZ. Grafické vyjádření plošného podílu jednotlivých velikostních tříd karbidů vůči celkové ploše částečně potlačuje rozdíly precipitace jemných karbidů.

Dotazy a připomínky k práci

Kromě výše uvedených poznámek mám k obhajobě práce následující dotazy a náměty do diskuse:

- (1) Únavové zkoušky byly provedeny na vzorcích s velice malým testovaným průměrem (3mm), zjištěna byla zvýšená citlivost na stav povrchu, která je tím zvýrazněna, obzvláště v situaci kdy je tendence interkrystalické precipitace karbidů. V této souvislosti je otázkou, zda není vhodné použití větší průměr?
- (2) Z výsledků vyplývá, že zmrazování u testovaných režimů tepelného zpracování nemá podstatný vliv na koeficient tření ani u jedné z ocelí (obr.92, 93 str.99, 100). Zvýšení odolnosti proti opotřebení bylo zjištěno pouze u oceli ASP 2005 v případě aust.teploty 1100°C. V závěrech se uvádí že „Ve všech sledovaných případech mělo zmrazování pozitivní vliv na odolnost proti opotřebení ve srovnání s nezmrazenými vzorky“. Do jaké míry lze tento závěr zobecnit pro nástrojové oceli daného typu?
- (3) Struktura oceli ASP2023 po kompletním TZ tj. včetně zmrazování a popouštění naznačuje tendenci formování interkrystalických jemných (až „fóliových“) karbidů. Jedná se o akceptovatelný stav struktury? Rovněž se zvyšující se aust. teplotou byla se zhrubnutím struktury zjištěna i tendence interkrystalického růstu karbidů.
Jaká doporučení, popř. limity z toho lze vyvodit pro optimalizaci technologie TZ?
- (4) Jsou vhodné rázové zkoušky s ohledem na namáhání razníku i známky interkrystalické precipitace karbidů? Jsou k dispozici limity, popř. srovnání tohoto parametru u dané aplikace?

5. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že cíle práce byly kompletně splněny. Práce přináší konkrétní a původní výsledky, které mají nesporné praktické uplatnění a jsou příspěvkem k poznání v dané oblasti.

Na základě výše uvedeného **doporučuji** práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit **Ing. Martinu Kuříkovi** titul Ph.D. v daném studijním oboru.

V Pardubicích, 31.1. 2022