

Oponentský posudek

doktorská disertace v oboru Materiálové inženýrství

Ing. Martin Kuřík

Vliv nekonvenčních metod tepelného zpracování na užité vlastnosti vybraných nástrojových ocelí

Obor doktorského studia: Materiálové inženýrství
Předložená disertace: ČVUT v Praze, Fakulta strojního inženýrství, Ústav
materiálového inženýrství
Školitel: Doc. Ing. Jana Sobotová, Ph.D. - ČVUT v Praze, FS
Oponent: Doc. RNDr. Josef Kasl, CSc. - VZÚ Plzeň

Disertační práce je zaměřena na studium vlivu tepelného zpracování na vlastnosti dvou nástrojových ocelí, a to ASP 2023 a ASP 2005, připravených práškovou metalurgií. Zlepšování užitečných vlastností materiálů přinášející jejich vyšší pracovní efektivitu, spolehlivost a životnost je neustálou výzvou pro materiálové inženýry. Dosažené výsledky by měly přispět k návrhu tepelného zpracování pro razník. **Zvolené téma práce je proto potřeba hodnotit jako aktuální a vysoce potřebné pro rozvoj našeho průmyslu.** Autor navazuje na dlouhou tradici studia těchto materiálů na svém mateřském pracovišti i na dosavadní aktivity ve své vědecké kariéře.

Práce má standardní strukturu. Má celkem 136 stran, z čehož vlastní práce zaujímá prvních 110 stran, zbytek tvoří citovaná literatura (127 prací), autorovy vlastní práce k dané problematice (5 příspěvků), seznam obrázků (108), seznam tabulek (13), a 11 příloh. Je členěna obvyklým způsobem. Obecný úvod shrnuje důvody a problémy řešené v práci. Po něm následuje obsažná teoretická část; po ní jsou v třetí kapitole specifikovány cíle disertační práce. Další kapitola představuje experimentální materiál a varianty jeho tepelného zpracování. Studovány byly dvě nástrojové oceli, a to ASP 20023 (odpovídá oceli VANADIS 23 (1.3395) a ASP2025 (1.3377), obě ve dvou šaržích. Výchozí materiály byly dodány v popuštěném stavu. Vzorky byly zakaleny ze tří resp. dvou teplot a výběrově zmrazeny, a pak ve třech fázích resp. v jedné fázi (zamražené vzorky) podrobeny žíhání. Druhá část této kapitoly popisuje použité experimentální techniky. Pátá kapitola tvoří těžiště práce. Je věnována popisu získaných experimentálních výsledků. Je zároveň spojena s diskusí výsledků, Šestá kapitola stručně shrnuje získané výsledky. Na závěry navazuje návrh pokračujících experimentů.

Práce je napsána logicky a přehledně. Zejména bych ocenil zpracování teoretické části a snahu o interpretaci dosažených výsledků a jejich vzájemné souvislosti a návaznosti na literární údaje.

Následující dílčí části oponentského posudku hodnotí disertaci podle obdrženého pokynu pro jeho vypracování.

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle práce jsou formulovány v kapitole 3:

Hlavním cílem bylo navrhnout a experimentálně ověřit tepelné zpracování, včetně fáze zmrazování, pro dvě nástrojové oceli získané technologií práškové metalurgie, ze které by

bylo možné vyrábět razníky pracující za studena. V rámci tepelného zpracování byly sledovány vlivy teploty a doby austenitizace, zamrazení a kombinovaného žíhání po kalení resp. zamrazení.

Pro vyhodnocení nejvhodnějšího technologického řešení byly vytyčeny podpůrné cíle spočívající v experimentálním vyhodnocení vybraných vlastností. Mezi ně patřilo měření tvrdosti, sledování vývoje mikrostruktury, stanovení opotřebení a odolnosti proti únavovému porušení.

Všem těmto oblastem doktorand věnoval obsáhlou pozornost. Přestože vyhodnocení míry opotřebení a zejména únavy přineslo ještě řadu nejasností zejména metodologického rázu, je na základě získaných dat možné provést zhodnocení jednotlivých technologických operací na výsledné vlastnosti.

Kvantitativně byla specifikována pouze požadovaná tvrdost materiálu. Je samozřejmě potom diskutabilní, jak vybrat nejvhodnější variantu tepelného zpracování se započtením hodnot odolnosti proti opotřebení a degradaci únavou.

Doktorand vykonal velké množství smysluplné práce, díky níž získal značné množství informací, které dokázal vyhodnotit a interpretovat. **Vcelku tedy považují naplnění cílů disertace za dosažené.**

2. Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Autor se v teoretické části opírá a cca 100 literárních citací. Teoretická část je velmi pěkně zpracována a lze konstatovat, že autor si v ní vytvořil solidní zázemí pro popis a interpretaci svých výsledků. **Doktorand prokázal, že je schopen pracovat s odbornou literaturou, najít si a zpracovat zásadní informace a získané poznatky aktivně uplatnit při výzkumné práci.**

3. Teoretický přínos disertační práce

Teoretický přínos práce lze spatřovat především v získání zkušeností s měřením resp. vyhodnocováním parametrů při zkouškách opotřebení metodou Pin on Disk a s metodikou únavových zkoušek. Na základě doktorandových poznatků je vhodnější používat měření tvaru drážek pomocí profilometru a vyhodnocovat raději hloubku drážky než její šířku. Cenné jsou i výsledky „průkopnických kroků“ při hodnocení odolnosti proti únavě materiálu, které mohou výrazně urychlit případná následná měření únavy. Jak autor vysvětluje, v případě oceli ASP2025 nebyla zkoušená teplota zmrazování – 80 °C optimální. I tento výsledek je podnětný pro další experimenty.

4. Praktický přínos disertační práce

Smyslem práce bylo zhodnotit vliv parametrů jednotlivých fází tepelného zpracování (austenitizace a kalení, zmrazení a finálního žíhání). Autor provedl hodnocení sledovaných veličin celkem u 15 mezistavů a finálních stavů. Za hlavní praktický přínos práce považují získání dat o chování studovaných dvou ocelí během všech fází tepelného zpracování, které jsou využitelné pro průmyslovou aplikaci.

5. Vhodnost použitých metod řešení

Aktivity disertanta, vedle návrhu variant tepelného zpracování a jeho realizace, spočívaly v testování tvrdosti HRC, která pak byla přepočítávána na tvrdost HV, sledování mikrostruktury pomocí světelné a řádkovací elektronové mikroskopie s využitím energiově-disperzní mikroanalýzy rtg záření, měření opotřebení a souvisejících veličin metodou Pin on Disk a měření odolnosti proti únavě materiálu. V prvních třech částech byly použity

standardní techniky. Je třeba ocenit zařazení měření únavových vlastností, které nebývá v pracích tohoto typu obvyklé.

Pro dosažení cílů práce doktorand zvolil vhodné metody dostupné na svém pracovišti. Nicméně výraznou slabinou práce je, že hodnocení mikrostruktury zůstalo na úrovni řádkovací elektronové mikroskopie. Výsledky týkající obsahu různých typů karbidů a jejich složení tak zůstaly jen na víceméně spekulativní úrovni (viz část 6). Práci by slušel rozbor substruktury provedený pomocí transmisní elektronové mikroskopie alespoň extrakčních replik. Výrazně by se tím zvýšil publikační potenciál práce.

6. Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Zvolené metody byly zvoleny vhodně zřejmě s ohledem na možnosti doktorandova pracoviště. Zkoušky únavy lze považovat za ověřovací etapu vývoje metodiky pro dané materiály.

Moje hlavní připomínka se týká hodnocení struktury materiálu z hlediska přítomnosti jednotlivých typů karbidů a přítomnosti zbytkového austenitu resp. jeho množství. Jednoznačně měla být použita transmisní elektronová mikroskopie případně v SEM EBSD. Jinak jsou typy fází jen odhadovány, totéž platí o složení karbidů. Jak si vysvětlit větu na str. 75 – „Tento předpoklad lze potvrdit pomocí RTG analýzy“. Byla provedena, nebo ne? RTG difrakční analýza izolátu by byla samozřejmě další možností, jak typy karbidů specifikovat.

I přes tuto výtku, mohu konstatovat, že **experimentální metody byly použity s přehledem a účelně a umožnily získat velký objem cenných informací.**

7. Prokázal doktorand odpovídající znalosti v daném oboru.

Studovanou problematiku technologie výroby nástrojových ocelí a měření jejich podstatných vlastností doktorand pochopil a zvládl jak realizaci experimentů, tak vyhodnocení získaných výsledků a jejich interpretaci.

Publikační aktivita doktoranda k řešené problematice zahrnuje pět prací zařazených v databázi WOS a SCOPUS.

8. Formální úroveň práce

Práce je, co se týče její struktury, dobře zpracována. Nechybí seznam tabulek a obrázků. Vhodné by bylo i doplnění i o přehled používaných zkratk a symbolů. Některé rozsáhlejší tabulky s přehledy kvantitativních výsledků a výkresy byly soustředěny do příloh. Obrázky a s drobnými výhradami i grafy jsou publikovány v dobré kvalitě. V textu se vyskytuje relativně hodně překlepů, gramatických chyb a především stylistických neobratností. Nejednotné je i používání termínů a v češtině neexistujících slov (např. difuzní – difúzní, potencionální). Na str. 58 chybí specifikace série H23_BQT, Výhrady mám i k formulaci abstraktu, který obsahuje zbytečné obecné proklamace, cíle, výčet metod, ale žádné dosažené výsledky. Tyto skutečnosti bohužel poněkud snižují hodnotu této kvalitní práce.

Protože osnova explicitně nepočítá s dotazy a připomínka oponenta, uvádím je na tomto místě. Rozsah a pestrost aktivit a zajímavé výsledky vyvolávají mnoho dotazů, z nichž vzhledem k obvykle omezenému časovému prostoru vybírám do obecné diskuse k práci jen následující:

- 1) Jaký byl interakční objem při stanovování prvkového složení metodou provádění ED mikroanalzy vůči objemu karbidů? Jakým způsobem bylo provedeno prahování (obr. 50)?

- 2) Co je přesně míněno pojmem „růst karbidů ve směru hranic zrn“?
- 3) Jaká byla frekvence zatěžování během únavových zkoušek? V tab. 7 je uvedeno 10 Hz, tomu odpovídá obr. 95, na obr. 96 však vychází 20 Hz. Proč nebylo zkoušeno více hodnot amplitudy síly? Jaký je systém značení vzorků v tabulce 11.10 a 11.11 – stejné značení vzorků, různé hodnoty počty cyklů do lomu.
- 4) V jaké fázi je výroba a praktické ověřování razníků vyrobených z této oceli/těchto ocelí?

9. Jednoznačné vyjádření oponenta k disertaci

I přes některé výše uvedené připomínky považuji disertační práci za doklad toho, že doktorand prokázal dostatečné znalosti a schopnosti tvůrčím způsobem pracovat, interpretovat a prezentovat dosažené výsledky. **Disertační práci proto doporučuji po vykonání zkoušky k obhajobě.**

V Plzni dne 22. 1. 2023