

## OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: **Vliv nekonvenčních metod tepelného zpracování na užité vlastnosti vybraných nástrojových ocelí**

Doktorand: **Ing. Martin Kuřík**

Pracoviště: **Ústav materiálového inženýrství, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze**

Oponent: **prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE**

Pracoviště: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie, Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni**

Posudek byl vypracován na základě dopisu Č. j.: 174/12921/O/2023 o jmenování oponentem disertační práce Ing. Martina Kuříka ze dne 8.1.2023.

V oponentském posudku se na základě pokynů pro vypracování vyjadřují k:

- a) Dosažení v disertaci stanoveného cíle.
- b) Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky.
- c) Teoretický přínos disertační práce.
- d) Praktický přínos disertační práce.
- e) Vhodnost použitých metod řešení.
- f) Způsob, jak byly použité metody aplikovány.
- g) Zda doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru.
- h) Formální úroveň práce.
- i) Doporučení či nedoporučení k obhajobě.

Disertační práce se věnuje nástrojovým ocelím, které byly připraveny práškovou metalurgií. Autor práce Ing. Martin Kuřík uvádí, že zkoumá vliv vybraných parametrů tepelného zpracování na užité vlastnosti dvou ocelí (ASP 2023; ASP 2005). Z vybraných parametrů TZ je sledována teplota austenitizace, kryogenní zpracování (zde je zkoušeno pouze z hlediska zařazení, tj. není proveden jeho hlubší výzkum), rovněž jsou voleny odlišné teploty popouštění. Sleduje se dopad uvedených parametrů na vlastnosti obou experimentálních práškových, nástrojových ocelí.

Disertační práce obsahuje 6 popisných kapitol. Úvodní část je poměrně krátká, nicméně obsahuje potřebné informace, které zachycují nejen obsah disertační práce, ale také popisují motiv experimentálního programu. Ve druhé rešeršní kapitole jsou popsány nástrojové oceli. Tato teoretická kapitola popisuje jednotlivé druhy, jejich rozdělení a také metalurgickou výrobu, která je více vztažena na následnou práškovou metalurgii. Dále je popsáno tepelné zpracování nástrojových ocelí a jeho dopady na výsledné vlastnosti. Pozornost je věnována stádiím tepelného zpracování, která jsou důležitá pro výsledné vlastnosti nástrojových konvenčních i práškových ocelí. Tento popis zahrnuje také kryogenní zpracování. Poslední částí této poměrně široké kapitoly je popis volby nástrojové oceli pro práci za studena. Pro lepší přehlednost měla být tato kapitola rozdělena do více samostatných kapitol a také měla být více i po vědecké stránce zaměřena na jednotlivé faktory, které jsou důležité v procesu zpracování nástrojových ocelí. Jako příklad lze uvést skutečnost, že při klasické metalurgii přechází nečistoty do hlavové a patní části ingotu, která je následně oddělena. Hlavová část se používá jako manipulační čep, je překována elektroda a následně probíhá její přetavení. Ve společnosti Poldi Kladno se z následného ingotu použila pouze určitá část, která vykazovala největší čistotu. Tento postup byl ekonomicky nerentabilní. Na druhou stranu běžnými technologickými

postupy bylo dosaženo požadované vysoké čistoty. V případě práškové metalurgie veškerá tavenina vstupující do procesu se přenáší i svým složením do vytvořeného prášku. Z tohoto důvodu je nutná uvedená čistota a metalurgické procesy. Další opomíjenou skutečností, která není sledována odborníky i výrobci práškové oceli, je přínos tváření. Rovněž tato disertační práce kopíruje tuto absenci a nepopisuje přínos plastické deformace za účelem nejen větší kompaktnosti, ale také iniciace procesů, které jinak nemohou nastat v důsledku chybějící vnitřní energie. Autor popisuje jednotlivé procesy opotřebení, nicméně s těmito informacemi dále nepracuje. Rešeršní část se tak omezuje pouze na úzkou část informací, které jsou sice pro vlastní experiment důležité, ale zůstává tak celá řada dalších potřebných informací bez povšimnutí. Jako příklad lze uvést, pro nástrojové oceli nezbytnou strukturní část, karbidy. Zde doporučuji knihu autora H. J. Goldschmidt a jeho publikaci Interstitial Alloys (ISBN: 978-1-4899-5882-2 <https://www.sciencedirect.com/book/9781483200705/interstitial-alloys>). V této rozsáhlé publikaci jsou velmi podrobně popsány karbidy z hlediska jejich vzniku a stability. Právě ve vazbě na tepelné zpracování a popis strukturního stavu a predikce chování jsou tyto chybějící informace v práci z mého pohledu jistým nedostatkem.

Ve třetí kapitole na straně 55 jsou cíle disertační práce. Tyto cíle jsou jasně stanoveny, jsou dobře kontrolovatelné a již v tomto bodě lze uvést, že byly splněny. Na druhou stranu není úplně jasné, z jaké rešeršní podstaty vycházely a proč byly zvoleny zkoušky únavy, které jsou pro nástrojovou ocel těžko proveditelné a dosažené výsledky obtížně interpretovatelné, a naopak chybí jiné zkoušky, např. třibodový ohyb nebo zkouška rázem v ohybu.

Praktická část následuje popisem použitých ocelí, přípravy vzorků a jejich tepelné zpracování. To je uvedeno přehledně v tabulce doplněno vhodným popisem TZ. Bohužel chybí provázanost na rešeršní část, z které by vycházely použité parametry. Rovněž by bylo vhodné zachovat určitou posloupnost sledovaných proměnných. Mění se jak teplota austenitizace, tak i tlak ochlazovacího plynu (tj. rychlost ochlazení), popouštěcí teploty a kryogenní zpracování bez dostatečného popuštění. Jedná se o velké množství proměnných na malém množství vzorků. Autor i z tohoto důvodu měl odůvodnit tento záměr, a to ve vazbě na rešerši, popř. vlastní předchozí experimenty.

Následuje kapitola popisu experimentu, avšak tato kapitola nepopisuje experiment, ale popisuje provedené analýzy a uvádí jejich výsledky. Experimentem se rozumí tepelné zpracování, následné analýzy již dokumentují dopad na sledované vlastnosti. Diskuse výsledků je vždy na konci popisu provedeného měření. To se vztahuje na daný úzký soubor výsledků. Vhodné by bylo zařadit širší popis a diskusi výsledků a prokázání i některých protichůdných výsledků, jejichž cennost spočívá v dokumentaci nepřesnosti měření, nebo nedostatečných možností měření, popř. i chybné začlenění analýzy či pro velké množství proměnných parametrů nedostatečný popis procesu.

Poslední popisnou kapitolou je závěr. Je stručný, výstižný a kdyby předcházela širší ucelená diskuse výsledků, byl by odpovídající disertační práci. Kladně hodnotím uvedení dalších analýz, které by bylo vhodné v pokračujících činnostech vykonat. Je jasné, že disertační práce nemůže najít vysvětlení a odpovědi na všechny otázky, naopak je to nekončící proces, proto je důležité zakončení tímto způsobem.

Další kapitolou je seznam citovaných zdrojů. Je použito 127 zdrojů převážně článků dostupných na internetu. Autor uvádí i srovnání dosažených výsledků s publikačními zdroji. V tomto směru mohl být více odvážný a dovolit si i konfrontaci s citovanými výsledky. Jak již bylo uvedeno v oblasti práškové metalurgie a výroby práškové oceli je celá řada skutečností, které zůstávají bez povšimnutí a v praxi se pak řeší dopad této absence. Za seznamem obrázků a zkratk je velmi důležitá kapitola obsahující publikační činnost autora. Ze seznamu vyplývá, že svoje výsledky spolu s kolektivem autorů publikuje, což je velkým přínosem nejen pro doktoranda, ale i pro širší odbornou komunitu.

a) Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Stanovené cíle byly dosaženy. Jsou přehledně stanoveny a dávají tak možnost kontroly plnění. Z dosažených cílů vyplývají další směry výzkumu, které jsou rovněž vhodně uvedeny. Jedinou výhradu lze mít ke slabšímu propojení rešeršní části a následnému experimentálnímu programu, který měl jasně reagovat na uvedenou teoretickou studii.

b) Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Již pro množství citovaných zdrojů, ale i kolektiv na pracovišti doktoranda a jeho širší spolupráci s dalšími odborníky reaguje disertační práce na aktuální témata současnosti. Jak již bylo uvedeno, měl být také zahrnut proces tváření za tepla za účelem rozbití karbidů a homogenizace. Rovněž se měla pozornost věnovat nedostatkům práškové metalurgie.

c) Teoretický přínos disertační práce

Rešeršní část práce se až poněkud jednostranně orientuje pouze na proces tepelného zpracování. Přesto navržený experiment tepelného zpracování pouze okrajově reaguje na uvedenou poměrně rozsáhlou rešerši. V rešeršní studii chybí více teoretického základu týkající se vzniku a stability karbidů, ale i vlivu zbytkového napětí na stabilitu zbytkového austenitu. Také mohla být větší pozornost věnována jednotlivým analytickým technikám a přesnosti (hodnověrnosti) dosažených výsledků. Postrádám zdůvodnění přínosu únavových zkoušek, které se běžně v praxi nástrojových ocelí nevyskytují. Tribologická analýza PIN-on-DISC měla být také více popsána, a to i ve vazbě na zvolené parametry, které se v praktické části ukázaly nedostatečné. S rešeršními informacemi týkající se opotřebení se dále nepracuje, přestože se jedná o velmi důležitý proces popisující ve vazbě na strukturní stav, co se v materiálu odehrává.

d) Praktický přínos disertační práce

Disertační práce, která se jednoznačně zaměřuje na proces tepelného zpracování má pro praxi velký význam. Navržený experiment i přes výše uvedené výhrady týkající se volby jednotlivých proměnných poskytuje velmi cenné poznatky, které budou dále sledovány.

e) Vhodnost použitých metod řešení

Doktorand by měl při své prezentaci podrobněji popsat s jakým záměrem volil uvedený experimentální program, a to ve vazbě na provedenou rešerši nebo požadavky praxe. Rovněž by bylo vhodné, aby se vyjádřil k výběru analytických metod, a to jak z pohledu rešeršních podkladů s konkrétními výsledky, tak i výstupy do praxe a zjištění požadovaných vlastností, které mají dopad na životnost nástrojů.

f) Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Metalografická analýza byla zvolena zcela správně i s využitím obrazové analýzy. Zde by bylo vhodné, aby byla provedena revize počtu analyzovaných zorných polí ve vazbě na sledované strukturní části (karbidy). Bylo by přínosné již v této části větší pozornost věnovat zbytkovému austenitu a využít dalších analytických metod k jeho stanovení. Použité zvětšení (10.000x) není dostatečné pro dokumentaci velmi jemných karbidů, které vznikají nejen při kryogenním zpracování, ale mohou být iniciovány i u dalších provedených režimů TZ. Měření tvrdosti bylo prováděno metodou dle Vickerse. Není jasné, jak bylo následně vztahováno k požadovaným hodnotám dle Rockwella. Další dvě analýzy (únava, tribologická analýza) mají výše popsané úskalí v požadované přesnosti. Těmto analýzám měl autor věnovat více pozornosti, a to při

jejich zařazení do experimentu, tak i výsledkům, které získal. Tribologická stopa měla být více analyzována i z hlediska charakteru poškození, který je důležitější než uvedený rozsah, a to i z toho důvodu, že nebylo sledováno poškození PIN tělíska (korundové kuličky). Únavové zkoušky nebyly z hlediska výstupů přínosem. Vhodnější by bylo zařazení teplotních cyklů (dané oceli lze použít i pro tepelně namáhané nástroje), popř. sledovat rázové únavové vlastnosti pomocí Impact testu a křehkolomové vlastnosti sledovat zkouškou rázem v ohybu.

g) Jak doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru

Doktorand realizoval rozsáhlou rešeršní studii a navrhl experimentální program s analytickými metodami jejich výstupy shrnul a podrobil diskuzi. Navrhl i další postup experimentálního vývoje a potřebných analýz. Rovněž svoje výsledky publikoval před vědeckou komunitou. Prokázal svoje znalosti v oboru materiálového inženýrství a tepelného zpracování ocelí.

h) Formální úroveň práce

Po formální stránce neshledávám žádné nedostatky. Některé převzaté snímky mohly mít lepší popis, rovněž značení vzorků ve vazbě na experimentální tepelné zpracování mohly být jednodušší formou značeny, popř. toto značení častěji připomínáno, ale jedná se o maličkosti, které nemají dopad na celkovou úroveň disertační práce.

i) Doporučení či nedoporučení k obhajobě.

Posuzovaná disertační práce autora Ing. Martina Kuříka splňuje věcné a formální kritéria pro disertační práci. Autor prokázal dostatečné teoretické a praktické znalosti, které mu umožnily získat cenné výsledky a následně je správně analyzoval a vyhodnotil.

Na základě výše uvedeného posudku **doporučuji**, aby byla tato disertační práce předložena k obhajobě před komisí daného doktorského studijního programu. Po úspěšné obhajobě doporučuji, aby byl panu Ing. Martinu Kuříkovi dle zák. č. 111/1998 Sb. § 47 **udělen titul akademické hodnosti doktor (Ph.D.)**.

#### **Otázky k obhajobě:**

- 1) Jaká je posloupná teplotní stabilita jednotlivých karbidů?
- 2) Jakými analýzami lze prokázat přítomnost zbytkového austenitu a s jakou přesností?
- 3) Jak byly stanoveny parametry tepelného zpracování a proč nebylo po kryogenním zpracování zařazeno odpovídající popouštění?

V Plzni, 12. února 2023

prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE