OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autora: **Ing. Josefa Izáka**

Název práce: **Vliv postprocessingu na strukturu a vlastnosti alternativně připravených kovových materiálů**

Pracoviště: **ÚST FSI VUT v Brně**

Školitel: **prof. Ing. Radim Kocich, Ph.D**.

Oponent: **prof. Dr. Ing. Bohuslav Mašek, Ph.D**.

1. Hodnocení aktuálnosti a významu řešeného tématu

Disertační práce se věnuje problematice aditivně vyráběných kovových materiálů. Konkrétní experimenty byly provedeny na nástrojové oceli a niklové superslitině. Zkoumán byl vliv různých metod post-processingu na jejich vlastnosti. Jde o aktuální oblast, protože aditivní technologie (SLM, PBF, DED, WAAM apod.) jsou sice již etablované, ale stále se potýkají s problémy a limitacemi, jako je např. porozita, nepříznivý stav residuálních napětí a mikrostrukturní nehomogenita a nebezpečí vzniku trhlin. Tyto nedostatky autor podrobně popisuje v teoretické části, např. v kapitolách problémy aditivní výroby a tepelného zpracování.

Výzkum rolí post-processingu je proto vysoce relevantní. Práce zkoumá nejen standardní postupy, ale zejména metodu rotačního kování (RK), které je u aditivně připravených nástrojových ocelí a superslitině zkoumáno poprvé v takovém rozsahu.

Téma je zcela v souladu s moderními trendy a má i potenciál pro technické využití, což dokládají závěry práce o možnostech použití materiálů, zejména při vysokých teplotách a v podmínkách creepového namáhání. Lze ale předpokládat, že využití aditivních metod SLM společně s vhodným postprocesingem umožní vytvářet do budoucna jinak těžko realizovatelné mikro i makrostruktury, včetně heterogenních struktur.

2. Splnění cílů disertační práce

Cíle práce jsou jasně formulovány v kapitole 1. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.

Autor vytyčil více než deset dílčích cílů, od optimalizace 3D tisku, přes konstrukci materiálového modelu, až po hodnocení residuálního napětí, creepového chování a svařitelnosti.

Celkově z textu práce a z údajů v závěru vyplývá, že autor:

- optimalizoval parametry SLM, provedl tisk vzorků s různou strukturou, porozitou a orientací,
- popsal defekty aditivně vyráběných materiálů,
- sestavil konstitutivní model (Hensel–Spittel) a s jeho využitím provedl simulace průběhu RK pomocí FEM,
- provedl detailní mikrostrukturní analýzy,
- vyhodnotil porozitu μ-CT, AM i OM metodami,
- provedl tlakové, tahové a zrychlené creepové zkoušky,
- provedl analýzy, porovnání a sumarizaci výsledků

Všechny vytýčené cíle byly splněny.

3. Originalita a přínos práce

Disertační práce přináší nové výsledky, z nichž lze jmenovat následující:

- Experimentální doložení tvorby gradientní struktury po rotačním kování u SLM materiálů
  Gradientní struktura umožňuje např. kombinovat houževnaté jádro s pevnějšími povrchovými vrstvami. To je výhoda oproti stavům po HIP, či tepelném zpracování.
- Nová data o redukci porozity a redistribuci residuálního napětí po RK
  Práce prokazuje redukci porozity u vzorků v důsledku plastické deformace metodou RK a ukazuje rozdíly mezi konvenčními a SLM stavy.
- Vytvoření reologického materiálového modelu a FEM simulace procesu RK
  Autor vytvořil kompletní konstitutivní modely dle Hensel–Spittelovy rovnice, s výbornou shodou $R^2 \geq 0.90–0.97$. Výsledky FEM simulace jsou důležitým pomocníkem pro optimalizaci procesu RK zkoumaných materiálů.
- Nové poznatky o svařitelnosti ocelí po RK
  Součástí práce jsou i poznatky o vlivu plastické deformace na zlepšení svařitelnosti, což představuje nový poznatek.
- Komplexní porovnání mechanických vlastností u materiálových systémů v různých stavech zpracování a mikrostruktury

Práce má jednoznačný vědecký, a lze předpokládat, že do budoucna i praktický přínos.

4. Metodická úroveň a kvalita experimentů

Experimentální část je rozsáhlá, precizně provedená a zahrnuje kombinace vhodných metod:

- μ-CT, OM, EBSD, XRD,
- kvazistatické tahové a tlakové zkoušky,
- ACT – akcelerovaný creep test,
- FEM simulace s využitím Forge, včetně vlastních materiálových modelů,
- analýzu residuálního napětí.

Objem experimentů je rozsáhlý a jejich interpretace je věcná a logická. Práce obsahuje dostatek mikrostrukturních snímků, tabulek a diagramů, které dokumentují zkoumanou problematiku a její výsledky.

Aplikovaná metodika odpovídá úrovni požadované pro doktorskou disertační práci.

5. Diskuse výsledků

Diskusní části práce jsou provedeny v dostatečném rozsahu a dobře zpracované. Autor správně interpretuje vývoj mikro strukturálních změn, rekrystalizace, precipitátů, vlivu teplotní expozice na vlastnosti atd.
Diskuse výsledků navazuje na literární odkazy a vyúsťuje v logický a dobře formulovaný závěr.

6. Formální a jazyková stránka práce

Struktura práce je přehledná, text je logicky uspořádán a doplněn o tabulky, diagramy a snímky.
Seznam literatury je dostatečně obsáhlý a odpovídá požadavkům na vědeckou kvalitu citací.
Menší stylistické nepřesnosti či opakování informací nemají vliv na kvalitu práce.
Práce je sepsána a editována vysokou pečlivostí.

7. Celkové hodnocení

Disertační práce Ing. Josefa Izáka je zpracována kvalitně, je experimentálně náročná a představuje odborně přínosný výzkum, který rozšiřuje poznání v oblasti aditivní výroby spojené s post-processingem kovových materiálů pomocí RK.

Autor splnil všechny stanovené cíle, dosáhl jasně formulovaných přínosů a jeho práce je bez pochyb na úrovni požadované pro udělení titulu Ph.D.

Práci doporučuji k obhajobě.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Dr. Ing. Bohuslav Mašek, Ph.D.
v Plzni, 1.12. 2025

Dotazy k obhajobě:

1) Jaké změny ve výsledcích lze očekávat při aplikaci RK na složitější geometrie, než mají použité vzorky?

2) Kde vidíte limity svého dosavadního výzkumu a uveďte jako příklad dvě konkrétní oblasti kam by bylo podle Vašeho názoru vhodné směřovat následný výzkum?