

Oponentský posudek disertační práce

Ve smyslu Zákona o vysokých školách České republiky č. 111/98 Sb.

Název práce: **Studie problematiky frézování feriticko-martenzitické oceli P91**

Autor práce: **Ing. Zdeněk Janda**

Předložená disertační práce se zabývá studií rovinného frézování feriticko-martenzitické oceli P91 frézovacími hlavami v režimech předdokončování a dokončování. Zmíněná ocel je specifická tím, že se jedná o korozivzdornou, žárupevnou ocel třídy 17119 mikrolegovanou vanadem, niobem, s kontrolovaným obsahem dusíku a s vysokou pevností proti tečení, tzv. creepu. Relativně vysokou mez pevnosti $R_m=330\text{MPa}$ si zachovává při teplotách kolem 600°C , což ji opravňuje pro využití v energetickém průmyslu. Tyto vlastnosti si získává mj. také tím, že precipitační reakce během tepelného zpracování způsobí vznik jemných precipitátů (částic karbidů, karbonitridů či nitridů) na hranicích zrn, subzrn a uvnitř subzrn, čímž se také přispěje ke stabilizaci jejich hranic. Z pohledu obrábění se ocel vyznačuje tím, že má vysokou houževnatost, relativně nízkou tvrdost – max. 260HB a nízkou tepelnou vodivost, tudíž se řadí mezi materiály těžkoobrobitelné s velkou citlivostí pro vznik nárůstku na břitů nástroje s následným vysokým tepelným jeho zatížením. Tuto skutečnost si autor při zpracování studie uvědomuje a na základě provedených analýz volí příslušnou metodiku zpracování dané problematiky, hlavně pak v experimentální části.

Autor rozčlenil disertační práci do 11 kapitol na 100 stranách. První čtyři kapitoly uvádí čtenáře do teoretických analýz spojených s obráběním korozivzdorných ocelí a to z pohledu vlivu obráběného materiálu-korozivzdorných ocelí, geometrie řezného nástroje, volby řezných podmínek a řezného prostředí na parametry integrity povrchu, jejímž těžištěm jsou mj. parametry jakosti obrobeného povrchu. V kapitole 5 pak autor tyto poznatky shrnuje a definuje hlavní cíl své práce, který spočívá v maximálním zanalyzování a vyhodnocení obrobitelnosti oceli EN ISO X12CrMoVNbN9-1 v režimu předdokončování a dokončování s následným transferem znalostí pro provozní frézování dělicích rovin těles parních turbín. Pro určení obrobitelnosti (kinetické, dynamické a mikrogeometrické) využívá dva typy frézovacích hlav s různými tangenciálními vyměnitelnými břitovými destičkami a odlišnými soustavami řezných materiálů substrát-tenká vrstva. Ostatní následné kapitoly s přílohami v disertační práci včetně jejího přínosu a závěru autor věnuje k plánování a popisu provedení celé řady tzv. přípravných a hlavních experimentů pro zjištění nejrůznějších závislostí sledovaných parametrů obrobitelnosti daného materiálu při rovinném frézování.

Závěrem konstatuji:

a) Zhodnocení významu disertace pro obor.

Předkládaná práce má pro obor velký význam, neboť přináší základní, dosud nikde v takové míře nepublikovaný soubor informací k tématu frézování a obrobitelnosti oceli P91, které přesahují i do praktické aplikace frézování těles parních turbín v podniku ŠKODA POWER s.r.o. Experimentálně získané poznatky nabývají na významu, pokud existuje možnost jejich konfrontace s praxí, což autor ve své práci při ověřování nasazení deklaruje. Zůstává však otázkou, do jaké míry je znalostní transfer plně naplněn, či částečně korigován např. proto, že při realizaci v praxi panují jiné provozní podmínky, než je tomu při experimentech v laboratořích. Ale i přesto je přinejmenším zřejmé, že výsledky práce ukazují minimálně směr, jakým je třeba při frézování zmíněné oceli efektivně postupovat, aby se dosáhlo požadovaných technicko-ekonomických parametrů.

b) Vyjádření k postupu řešení problému a ke splnění stanoveného cíle.

Autor postupoval při řešení problému vcelku systematicky, jednotlivé kapitoly na sebe navazují. Některé výsledky a závěry uváděné v přílohách bych však rád viděl v hlavním textu práce, naopak některé opakující se přístupy v hlavním textu bych přesunul do příloh. Rozhodně bych však ze stylistických a z jiných důvodů název kapitoly v hlavním textu nekončil přímým odkazem do přílohy, jak je to patrné např. na str. 43, ale naplnil bych zmíněnou kapitolu v hlavním textu alespoň nejdůležitějšími informacemi k příslušnému tématu. Na druhou stranu disertant dle mého mínění stanovené cíle definované v kap. 5.1 splnil, i když bych uvítal

samostatnou kapitolu věnující se podle bodu (V) shrnutí podkladů popisujících problematiku obrábění oceli P91. Dále v předložené studii problematiky frézování trochu postrádám pro praxi celkem výhodné pozorování a hodnocení tvaru třísek s následným vysvětlením mechanismů jejich utváření, včetně proběhnutých fázových transformací, což by určitě pomohlo vnést nové světlo do případných hlubších vysvětlení získaných závislostí u měřených parametrů. S ohledem na současný rozsah práce a získané poznatky však tuto absenci problematiky utváření třísek akceptuji. Podobné je to i v případě přesného vydefinování záběrových podmínek (např. vyčíslení úhlu opásání frézovacího nástroje, apod.)

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce.

Autor dospěl během řešení práce k nespočetnému množství dílčích poznatků a závěrů uvedených v kap. 8 a 9, které doplnil praktickým ověřením a statistickým vyhodnocením. Jak s dílčími, tak i s celkovým závěrem v kap. 10 a 11 mohu takřka souhlasit. Pouze výrok ohledně mikrogeometrie na str. 95, že se dnes ve většině případů sleduje pouze poloměr zaoblení ostří, bych si dovilil rozvést o další parametr, kterým je tzv. K-faktor vyjadřující symetričnost či asymetričnost břitu nástroje a který, jak z mnoha zahraničních studií vyplývá, může přímo ovlivnit trvanlivost břitu nástroje.

d) Systematičnost a formální úprava.

Disertační práce má dobrou formální úpravu s mnoha vlastními barevnými obrázky, fotografiemi a tabulkami. Rovněž obsahuje seznam obrázků, tabulek, zkratk a symbolů. Práce využívá citace z devadesáti publikačních zdrojů.

e) Vyjádření k publikacím disertanta.

Disertant je autorem či spoluautorem 24 publikací. Kromě těchto aktivit vykazuje intenzivní zapojení do vědecké komunity a uvádí půlroční zahraniční stáž na univerzitě v Odense v Dánsku.

e) Vyjádření oponenta dle zákona č.111/1998 Sb. § 47.

Práci hodnotí jako zdařilou a přínosnou a proto práci **doporučuji** k obhajobě.

Otázky:

- 1) Ve své práci se v teoretické části zabýváte mj. integritou obrobeného povrchu. Rovněž uvádíte pojem parotěsnost dělicích ploch těles parních turbín. Jak byste z pohledu integrity obrobeného povrchu technicky nadefinoval požadavky na parotěsnost dělicích ploch?
- 2) V experimentech v režimu dokončování jste zvolil axiální hloubku řezu $a_p=0,02\text{mm}$. Jaké důvody Vás k tomuto vedly a co případně může mít tato volba z hlediska řezného procesu za následky?

V Plzni, dne 11.4. 2012



Ing. Pavel Kozmín, Ph.D.

HOFMEISTER s.r.o.
Mezi Ploty 12
326 00 Plzeň

E-mail: kozmin@hofmeister.cz

Oponentní posudek disertační práce p. ing. Zdeňka Jandy

Název práce: STUDIE PROBLEMATIKY FRÉZOVÁNÍ FERITICKO-MARTENZITICKÉ OCELI P 91

Školitel: Doc. Ing. Jiří Česánek, Ph.D., Ing. Jan Řehoř, Ph.D.

Řešitel se v disertační práci dle zadání zaměřil na oblast obrábění oceli označené P91, dle EN ISO X12CrMoVNB9-1, DIN 1.4903, významného korozivzdorného materiálu pro energetiku, umožňující zvýšení energetické účinnosti moderních zařízení. Tento trend získává dnes značné uplatnění, díky současným požadavkům na možnost zvýšení provozní teploty a tlaku provozního media v elektrárnách. Stěžejním cílem práce je vědecký rozbor aplikace obrábění, zejména s ohledem na vznikající povrch, použití vhodných řezných materiálů pro předdokončování a dokončování, včetně řezných podmínek pro frézování dělicí roviny tělesa parní turbíny. Výsledky v této oblasti mají tedy značný význam pro praxi.

Po teoretickém shrnutí současných poznatků provedenou rešerší v oblasti korozivzdorných materiálů, používaných v energetice, je zhodnocena ocel P91 s příznivými užitnými vlastnostmi, ale i se zhoršenou obrobitelností. Bohužel není uvedeno porovnání tříd obrobitelnosti, ani proveden její výpočet! Jednotlivé oblasti zkoumání byly shrnuty v ucelených kapitolách, jako pravidla a doporučení pro obrábění korozivzdorných ocelí – kap.2, parametry jakosti a vlivy na obrobený povrch – kap.3. a 4. Postup a výsledky hlavních cílů práce jsou uvedeny pro předdokončování na 22 stranách a dokončování na 33 stranách v kap.8. a 9., přičemž přehled experimentálního vybavení a vlastní zpracování naměřených dat je uvedeno v přílohách v rozsahu 54 stran. Pro experiment byly využity všechny dostupné metody na fakultě, od obrábění na frézovacím centru, měření opotřebení a drsnosti, měření a vyhodnocení řezných sil. Pomocí externích pracovišť byl měřen poloměr zaoblení ostří destiček a jejich geometrie (Hofmeister), vybrány řezné materiály a doporučené řezné parametry (Ingersoll) a provedeno závěrečné ověření na obrobku (ŠKODA POWER). Velmi správně byla v kap. 8 zvolena za kritérium trvanlivost ostří, která mohla být základem pro hodnocení nákladů při obrábění různými řeznými materiály, což však v práci nebylo vyhodnoceno.

Z ověřovacích zkoušek ze 7 různých řezných materiálů byly pro předdokončovací frézování vybrány 2 nejtrvanlivější řezné materiály, které v experimentu byly testovány za proměnlivých podmínek. Závěrem byly správně vybrány optimální řezné podmínky z pohledu trvanlivosti, produktivity obrábění, silového zatížení, ale i drsnosti a sledováno bylo i povrchové zpevnění. K vyhodnocení bylo použito váhové subjektivní bodování a z toho doporučeny řezné parametry. Pro oblast dokončování byly z 8 druhů destiček vybrány 3 nejvhodnější a rozhodujícím kritériem zde byla dosažená drsnost při dané trvanlivosti. Vybrané řezné materiály byly porovnány s dosud používaným řezným materiálem u uživatele ve ŠKODA. Vždy se jednalo o tzv. hladicí destičky, kde byl optimalizován posuv. Při hodnocení byla velmi správně eliminována oblast tvoření nestabilního nárůstku v oblasti jedné zvolené řezné rychlosti. Disertant v předložené práci z různých pohledů ověřil a vyhodnotil použitelnou geometrii řezného nástroje při obrábění feriticko-martenzitické oceli. Z výsledků experimentů určil vhodnou geometrii z hlediska trvanlivosti, složek řezných sil i parametry pro dosažení odpovídající kvality obrobeného povrchu. Pokusil se též prověřit vliv posuvu a objemu odebraného materiálu na změnu nosného podílu (obr.9-11; obr.9-37), což je důležité z pohledu parotěsnosti! Pro celkové hodnocení dosažených výsledků při dokončování byl zvolen složitější způsob, který zahrnuje jak kvalitativní hledisko, tak kvantitativní stránku, protože nabylo srovnávání nástrojů provedeno za shodných podmínek (Tab.9-7; Tab.P3-3).

Konkrétním přínosem pro praxi je nalezení vhodného nástroje, který má dvojnásobnou trvanlivost proti dosud používaným.

Získané údaje z různých hledisek namáhání nástrojů jsou významným přispěním k poznání řešené problematiky a stanovené cíle disertační práce byly tím splněny.

Vyhodnocená optimální geometrie nástroje a doporučené řezné podmínky pro obrábění nového korozivzdorného materiálu jsou hlavním přínosem řešené práce pro praxi i teorii.

Předložená práce je zpracována pečlivě, jednotlivé oblasti jsou řešeny v dílčích kapitolách. Pro celkovou složitost a rozsah práce jsou další informace uvedeny v přílohách. To zpřehledňuje souhrn výsledků uvedených v základním textu, časté odvolávky na přílohy však mohou rušit úplnost informací o řešeném problému.

Přes některé nepřesnosti v textu /např. chybí příloha P-1.8, uvedená v kap.7.2/ je zpracování disertační práce na odpovídající úrovni, s množstvím názorných obrázků, vypovídajících grafů a tabulek. Celkové shrnutí informací z experimentů je správně provedeno v závěru práce v diskuzi /kap.10/ a jsou doporučena i další témata k řešení v této oblasti.

Použitá literatura obsahuje 90 pramenů informací. V autoreferátu k disertační práci jsou uvedeny publikace disertanta, kterých je více než 20 a je tedy v této oblasti velice aktivní. Některé výsledky byly prezentovány na odborných konferencích, řešitel práce je spoluautorem i 3 článků v odborných časopisech.

Doplňující otázka k obhajobě: Jak lze zjistit obrobitelnost materiálu výpočtem?

Celkově hodnotím disertační práci p.ing.Z. Jandy kladně a doporučuji ji k obhajobě.

V Plzni 4.4.2012

Zpracoval: Ing. Josef Fajt, CSc.

.....




Fakulta strojní VŠB - TU Ostrava
346, katedra obrábění a montáže

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Oponent: prof. Dr. Ing. Josef B R Y C H T A, FS VŠB – TU Ostrava

Téma práce: Studie problematiky frézování feriticko-martenzitické oceli P91

Autor: Ing. Zdeněk J A N D A

Rozbor disertační práce:

Předložená disertační práce pana Ing. Zdeňka Jandy se zabývá, jak vyplývá z jejího názvu, studiem problematiky frézování feriticko-martenzitické oceli P91. Její úvod je logicky zaměřen na korozivzdorné oceli a jejich rozdělení. Dále charakterizuje důležité oceli pro energetický průmysl a oceli žáruvzdorné. Poté uvádí současný trend zvyšování úrovně ocelí žárupevných. V úvodu velmi krátké druhé kapitoly se doktorand zmiňuje o možném porovnání obrobitelnosti korozivzdorných oceli uhlíkovými a v jejím závěru pak s pravidly a doporučením pro obrábění korozivzdorných ocelí.

Kapitola třetí pojednává o integritě a jakosti obrobeného povrchu, čtvrtá pak o parametrech jakosti a drsnosti obrobeného povrchu po obrábění. Dále pak vlivu řezného procesu na drsnost, zpevňování a mikrotvrdot. Pátá kapitola shrnuje poznatky a stanovuje cíle této práce do pěti bodů. Šestá informuje a zdůvodňuje z čeho a proč téma a cíle práce vplynuly. Další již sedmá kapitola charakterizuje experimentální studium, jeho vybavení z hlediska nástrojů a řezných materiálů, experimentálního obrobku a záběrových podmínek. Osmá kapitola stanovuje experimentální řezné podmínky pro polohrubování experimentem zkoumajícím trvanlivost, drsnost, celkové silové zatížení nástroje, efektivní řezný výkon, vliv řezných podmínek na velikost silového zatížení a zpevnění obrobeného povrchu. Kapitola devátá výše uvedené pro dokončování. Desátá přehledně a podrobně prostřednictvím diskuze shrnuje výsledky včetně přínosu pro praxi a další řešení. V jedenácté kapitole je pak obsažen závěr. Následuje pak použitá literatura a četné a precizní přílohy.

Připomínky a dotazy k předložené práci

- na str.18 v kap. 1.2.3 autor uvádí jako jednu z přísad substitučního zpevnění žárupevných ocelí prvek B, aniž by byl uveden v jinak velmi přehledném seznamu zkratk a symbolů

- v disertační práci je minimum gramatických chyb a překlepů (např. str. 37 předposlední věta)
- v disertační práci postrádám výraznější vypíchnutí přínosu pro vědu
- jak vnímá doktorand rozdíl mezi kvalitou a jakostí obrobku
- prosím o doplnění pojmu integrita obrobeného povrchu


Závěrečné zhodnocení:

- a) Téma předkládané odpovídá oboru strojírenská technologie. Způsob řešení zvolené problematiky je vhodný a aktuální zejména pro současný stav oboru.
- b) Vhodně zvolené postupy řešení, dle názoru oponenta, dovedly doktoranda ke splnění všech stanovených cílů.
- c) Výsledky disertační práce obsahují původní konkrétní přínos, čímž splňují požadavky kladené na současného disertanta.
- d) Přehlednost, systematičnost, formální úprava a jazyková úroveň předložené disertační práce je na velmi dobré úrovni.
- e) Dosavadní publikační činnost autora disertační práce prokazuje jeho aktivitu, ale i erudovanost v tomto zaměření.
- f) Oponovaná disertační práce je velmi obsáhlá, má vysokou grafickou úroveň, splňuje dle zákona č. 111/1998 Sb. § 47 kladené požadavky, její závěry jsou plně využitelné, a proto ji lze doporučit k obhajobě.

Příložený autoreferát zcela dostatečně informuje o současném stavu řešené problematiky, má zřetelně stanovený cíl, vhodně zvolenou metodiku zpracování, vypíchnuty hlavní výsledky práce, srozumitelný závěr a uvedenou vhodnou literaturu a poměrně rozsáhlou publikaci.

Z výše uvedeného plyne, že disertační práce splňuje všechny kladené požadavky. Proto ji doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu souhlasím s udělením akademického titulu Ph.D.

V Ostravě dne 12. 4. 2012

.....

prof. Dr. Ing. Josef BRYCHTA

FS VŠB-TU Ostrava, kat. 346