

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Surface roughness and its impact on fatigue life
<b>Jméno autora:</b>	Bc. Tomáš Vrbata
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta strojní (FS)
<b>Katedra/ústav:</b>	Ú12105 – Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky
<b>Oponent práce:</b>	Prof. Ing. Milan Růžička, CSc.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Ú12105 – Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>průměrně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Práce se zabývá metodami měření a predikce drsnosti povrchu součástí/vzorků dle technologických parametrů a jejím vlivem na únavovou pevnost a životnost. Teoretická část popisuje základní pojmy z únavy materiálu a dále uvádí metody měření jakosti povrchu i metody jejího kvantitativního vyhodnocování při různých způsobech měření. Jsou komentovány 2D i 3D metody měření drsnosti povrchu a analyzuje se vliv metodiky na hodnocené parametry. Poté je na publikovaných literárních i vlastních experimentálních datech zkoumán vliv drsnosti povrchu na únavovou životnost. Na základě realizovaných analýz jsou doporučeny vhodné metody pro popis vlivu drsnosti na únavový život nevrubovaných součástí. Ačkoli se nejedná o teoreticky náročné téma a řešení zadání musí být postaveno zejména na zpracování experimentálních dat, sofistikované aplikované statistické a korelační analýzy a postupy umožnily diplomantovi získat pro praxi zajímavé a cenné výsledky. Ukazuje se, že ačkoli vliv jakosti povrchu patří mezi základní fenomén degradace únavových vlastností, který je zkoumán déle než jedno století, může být téma s novými přístupy vyhodnocování stále živé.</p>	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Autor si vytyčil následující cíle práce, které se ztotožňují se zadáním DP.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analýza vlivu výrobních parametrů na drsnost povrchu na základě publikovaných prací.</li> <li>2. Analýza použití a vhodnost různých parametrů popisujících drsnost povrchu.</li> <li>3. Popis technologie měření drsnosti povrchu a potenciálních problémů způsobených konkrétními přístupy</li> <li>4. Vyhodnocení únavových dat i vlastních experimentů s různými výrobními parametry včetně analýzy drsnosti povrchu.</li> <li>5. Porovnání stávajících návrhů převodu výrobních parametrů na výstupní drsnost povrchu na analýze vlastních experimentálních dat.</li> <li>6. Porovnání různých metod pro odhad únavové životnosti pro specifické drsnosti povrchu na základě únavových dat</li> <li>7. Porovnání výstupů a formulace závěrů</li> <li>8. Popis závěrů.</li> </ol> <p>Student splnil všechny body zadání. Oceňuji přehledně a rozsáhle zpracovanou řešeršní část, ve které student vytipoval a následně kvantifikoval vybrané znaky publikovaných prací v tématu (v DP práci uvádí 80 literárních zdrojů, do kvantifikace dat však vybíral 121 databázových záznamů – škoda, že databáze není přiložena k DP). Další vlastní přínos studenta k řešené problematice spočívá v analýze a porovnání různých metod 3D měřících technologií a následného zpracování měřených dat jakosti povrchu, neboť norma ISO25178 je blíže nespecifikuje. Byly realizovány čtyři série měření jakosti povrchu a stanovovány hlavní faktory 2D a 3D hodnocení, aby se zjistil účinek použité technologie měření a její parametry: vliv zvětšení objektivu, oblasti měření a vliv metody následného zpracování dat. Student dokáže získaná data a vyhodnocované parametry kriticky hodnotit a komentovat. Pro porovnávání odchylek metod zavádí relativní odchylky, které umožňují posoudit konzervativnost/nekonzervativnost postupu a kvantifikovat tuto odchylku (chybu). Z popisu realizace „vlastních“ (literárně nepřevzatých) měření jakosti povrchu, zbytkových napětí i únavových zkoušek na vzorcích není vždy jasný autorský podíl diplomanta. Bude vhodné, aby diplomant při obhajobě na vhodném místě tento podíl komentoval.</p>	

<p><b>Zvolený postup řešení</b> <i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i></p>	<p><b>správný</b></p>
<p>Student všechny potřebné a adekvátní metody a nástroje k získání a zpracování i interpretaci výsledků. Provedl a kvantifikoval výstupy rešerše k problematice. Využil statistických nástrojů, zejména pro hodnocení a porovnávání odchylek experimentálních hodnot od predikovaných a komentoval pásma inženýrsky přípustné oblasti odchylek a tím i použitelnost/nevhodnost daných metod. Volil názorné postupy zobrazení jak pomocí tabulek (s vyznačením extrémů), tak sumárních dat, resp. sloupcových a jiných grafů (včetně normalizace/relativizace porovnávaných hodnot), které vedly k přehlednosti zpracování i vyjasnění komentářů v závěrečných hodnoceních. Práce se všemi body zadání je poměrně rozsáhlá, a určitě by neměla být ještě obsažnější. Nicméně z hlediska komplexnosti současných přístupů k problematice vlivu jakosti povrchu mohl být alespoň náznakem v rešeršní části zmíněn numerický přístup MKP (analogie s hodnocením interakce mikrovrubů na povrchu dílů), kterému by stálo za úsilí věnovat např. další z diplomových témat v budoucnu.</p>	
<p><b>Odborná úroveň</b> <i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i></p>	<p><b>A - výborně</b></p>
<p>Student prokázal velmi dobrou orientaci v problematice související s hodnocením únavové pevnosti a životnosti strojních součástí, experimentálních metodách měření povrchu ale i dále při práci s datovými soubory a jejich zpracováním, včetně nástrojů statistických. Autor provedl velký počet analýz, které mezi sebou srovnává v grafech a tabulkách a vyvozuje odtud relevantní komentáře i podle mě správné závěry. Diplomant pracuje s výstupy nejen na mateřském ústavu, ale i z dalších pracovišť Na VŠB TU v Ostravě a ze stáže v Portugalsku. V poměrně rozsáhlé práci se občas sice nevyhne i drobným nepřesnostem, překlepům nebo chybným označením, které však nejsou na úkor správnosti výsledků a závěrů. Jsou komentovány v závěrečné části tohoto posudku a budou patrně upřesňovány i v odpovědích na mé dotazy.</p>	
<p><b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b> <i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i></p>	<p><b>A - výborně</b></p>
<p>Práce je psána v angličtině s velmi dobrým technickým vyjadřováním, stylisticky i strukturou je na výborné úrovni. Obsahuje všechny potřebné tabulkové přehledy publikovaných obrázků, tabulek veličin. Nemám k tomuto bodu žádné výtky a připomínky.</p>	
<p><b>Výběr zdrojů, korektnost citací</b></p>	<p><b>A - výborně</b></p>
<p><i>Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i></p>	
<p>Autor pracoval s vysokým počtem odborných článků, převážně cizojazyčných. Prokázal výbornou orientaci v literatuře a zdroje korektně cituje. Nemám k tomuto bodu žádné výtky a připomínky.</p>	
<p><b>Další komentáře a hodnocení</b></p>	
<p><i>Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.</i></p>	
<p>Cílů práce ve výtčeném tématu bylo plně dosaženo. Práce přinesla zajímavé podněty v možnostech aplikace 3D metod měření jakosti povrchu. Oceňuji pracovitost, systematickosti studenta, i schopnost kriticky zhodnotit výsledky a vyvodit adekvátní závěry. Práce by si zasloužila pokračování v dalších experimentech a analýzách s dovršením úsilí v samostatném literárním článku. Pro takové „zhodnocení“ textu DP bych rád upozornil na několik nepřesností, nebo chyb a položil i několik dotazů k obsahově.</p>	
<p>Realizované experimentální práce a jejich analýzy také ukázaly, jaká úskalí musí inženýrský postup zdolávat. Nejdiskutovanější by asi mohla být „nestálost“ technologie přípravy vzorků a výskyt „nepředvídaných“ odchylek v jakosti povrchu (ovlivnění třískou) i jeho geometrii (schůdky), které se neočekávaně propsaly do datových souborů a ovlivnily některé výsledky. Přitom unikátní příprava vzorků se jak strojovou instrumentací (neautomatický stroj), tak operátorem</p>	

(manuální práce soustružníkem), může velmi lišit od výstupů reálných dílů z revolverových automatů v sériové výrobě, pro které zejména výpočtové analýzy vlivu jakosti povrchu na životnost použijeme (např. v automobilové výrobě).

1. Jak by v tomto kontextu hodnotil student analyzované odchylky, nebo korelaci s „obráběcími parametry“ nebo „teoretickými vztahy“ sledovanými v grafech 60, 62 aj. ?
2. Bylo by zajímavé porovnat vzájemně graficky popsané analytické závislosti (dle rovnic 20...22)
3. Součinitel velikosti dle obr. 14 není kompatibilní s ostatními příklady z literatury (obr. 13, 15, 16), neboť je větší než jedna. Jak byl definován? Vysvětlete blíže „the 10-point surface height“.
4. Domnívám se, že hodnota  $R_z$  ve vztahu (25) nesouvisí s hodnotou definovanou dle DIN, jak ji uvádí odst. 2.3?
5. Kap. 2.5 uvádí řadu analytických vztahů dle různých autorů pro stanovení součinitele jakosti povrchu většinou v závislosti na parametrech drsnosti a pevnosti (platné pro oceli). Pro názornost by bylo vhodné zařadit i grafické porovnání v jednom sápoletném obrázku, např. pro nejčastější typické konstrukční parametry. Jinak lze vztahy jen obtížně porovnávat.
6. Kap. 4.2 uvádí metodiku vliv různých sledovaných parametrů na charakteristiky hodnocení kvality povrchu 3D metod. Pro vyhodnocení vlivu parametrů bylo v každém experimentu jedno měření nastaveno jako referenční a ostatní byly hodnoceny jako procentuální změna od referenční hodnoty. Protože není explicitně uveden výpočtový vztah, není zcela zřejmé, jak přistupovat k posuzování kladných, resp. záporných odchylek. Bylo by vhodné vztah pro jednoznačnost interpretace doplnit. Např. pokud posuzovaný parametr bude vůči referenčnímu nabývat vyšší hodnoty, měly by dle slovního popisu vyhodnocování vycházet záporné relativní odchylky. Zdá se mi, že prezentované výsledky vycházejí s opačným znaménkem (?).
7. Kap. 4.3 kvantifikuje vliv různých sledovaných parametrů na charakteristiky hodnocení kvality povrchu 3D metod. Odkazy na čísla obr. 28 a 29 v textu hodnocení zvětšení u konfokální metody nejsou správná a jsou zavádějící (správný je odkaz na obr 31, 32).
8. Na obr. 36 jsou srovnávány výsledky analýzy vlivu způsobu filtrace 3D analýzy s 2D kontaktní metodou (obr. 36). Jak si autor vysvětluje změnu znaménka odchylek většin parametrů při přechodu od povrchů s  $R_a=0,8$  na 1,6?
9. V tab. 6 jsou porovnávány odchylky součinitelů jakosti povrchu na mezi únavy pro literární data a to podle dříve popsaných metod uvedených v kap. 2.5. V této kapitole jsou, bohužel, v jiném pořadí a ne všechny mají samostatný odstavec; např. není nikde „nadepsána“ metoda  $R_c$ Johnson (jen data v obr 13). Orientaci to velmi ztěžuje. Nenašel jsem také nikde zdůvodněno, proč i další, v kap. 2.5 uváděné metodiky, nemohly být pro porovnání v tab. 6 použity.
10. Prosím o objasnění věty, v kontextu komentáře k tab. 6: „All methods estimated a fatigue strength higher than the actual value“ (str.63<sup>15</sup>).
11. V kap. 5.1 jsou uvedeny dva základní modely pro stanovení součinitelů velikosti. Jednoduchý základní model (Simplified model), vztažený k bázi meze únavy a logaritmický model, linearizovaný pro libovolný počet kmitů. V komentáři není však uveden uvažovaný počet kmitů pro bod na mezi statické pevnosti  $R_m$  (zda  $N=1$ ,  $\frac{1}{4}$ , 100 cyklů aj.). Velikostí tohoto parametru musí být potom ovlivněny hodnoty, porovnávané v tab. 7. Počítané odchylky v této tabulce budou také závislé, jaká konkrétní hodnota omezené životnosti (pro porovnání S-N křivek různých jakostí povrchů) byla zvolena (nedohledal jsem konkrétní životnost). Doplněte komentářem, prosím.
12. V tab. 8 a 9 autor uvádí materiálové parametry zkoušené oceli. Předpokládám, že není autorem realizovaných analýz, proto mi chybí uvedení zdroje převzatých dat. Podobně nelze rozlišit přímý podíl autora na měřeních a získání výsledků analýz zbytkových napětí popisovaných v kap. 6.1.4 (jejichž výsledky jsou pro mě značně diskutabilní), i únavových zkoušek dle kap 6.1.5. Prosím o komentář.
13. Tabulky 10 a 11 jsou chybně odvolány v textu kap. 6.1.2.
14. Obr 59, chybí zobrazení úplné legendy ke grafu (barva dat FAB029, FAB037, křivky FAB037), diskutoval bych způsob regrese dat FAD035 – regrese bodů „trojúhelníků“)
15. Graf porovnání odchylek analytických metod (popsaných v 2.4.3) podobně jako ve výše uvedeném komentáři 9, dává obtížnou orientaci v důsledku použitých a neosvětlených zkratk daných metod.
16. U grafu 65, 66 (např. pro publikování výsledků) doporučuji zmenšit rozsah (měřítko) ve stupnici napětí
17. Obr. 70 zobrazuje výsledky logaritmického modelu, nikoli jednoduchého, jak stojí v popisu obr.

Počet připomínek a dotazů je dán nikoliv snad nižší kvalitou práce nebo pečlivostí studenta, nýbrž tím, že mě téma i jeho zpracování a výsledky velmi zaujaly a věnoval jsem jim i tak trochu nadstandardní čas. Studentovi přeji úspěšné obhájení a zajímavou práci v dalším studiu nebo praxi.

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, NÁVRH KLASIFIKACE

Práce plně naplnila zadání a splnila svůj pedagogický i vědecko-výzkumný záměr. Její závěry po ověření platnosti a správnosti mohou tvořit podklad pro odbornou publikaci.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 6.2.2023

Podpis:

