

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Ing. Václav Potácel

**TECHNOLOGICKÉ ASPEKTY STRUKTURY POVRCHU
PŘI DOKONČOVACÍM OBRÁBĚNÍ**

TECHNOLOGICAL STANDPOINTS OF SURFACE TEXTURE
AT FINISH MACHINING

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Strojírenská technologie
Školitel: Doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
Oponenti: Prof. Ing. Oldřich Bilík, CSc.
Prof. Ing. Jan Mádl, CSc.
Doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.
Datum obhajoby: 22. dubna 2004

Klíčová slova

dokončovací obrábění, geometrická struktura povrchu, drsnost povrchu, řezné podmínky

Key words

finishing, geometric surface structure, surface roughness, cutting conditions

Místo uložení

Ústav strojírenské technologie, VUT FSI v Brně

© Václav Potácel, 2004

ISBN 80-214-2691-8

ISSN 1213-4198

OBSAH PRÁCE

1	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	5
1.1	Dokončovací metody obrábění	6
1.2	Drsnost povrchu	7
1.2.1	<i>Teoretické hodnoty parametrů drsnosti povrchu</i>	8
1.2.2	<i>Skutečné hodnoty parametrů drsnosti</i>	11
1.2.3	<i>Měření parametrů drsnosti povrchu</i>	11
1.3	Závislost parametrů struktury povrchu na technologických podmínkách	12
2	CÍL PRÁCE	14
3	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	15
3.1	Návrh metodiky volby řezných podmínek	15
3.2	Podmínky a výsledky měření	15
4	ZÁVĚR	21
5	SUMMARY	22
5.1	Current issues concerning these problems	22
5.2	Main results of the work	22
5.3	Conclusion	23
6	LITERATURA	24
7	ŽIVOTOPIS AUTORA	26

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Hlavním úkolem technologie obrábění je především zajištění optimálního využití moderní výrobní techniky automatizovaných, ale i konvenčních obráběcích strojů, využitím výkonných nástrojových materiálů a progresivních konstrukcí nástrojů za optimálních řezných podmínek. Optimální využití moderní výrobní techniky znamená komplexní zajištění intenzifikace řezného procesu spolu se zajištěním základních kvalitativních požadavků kladených na obrobek. Zavádění nákladných číslicově řízených obráběcích strojů, center a integrovaných výrobních úseků si vyžaduje stanovení optimálních řezných podmínek s cílem dosáhnout maximální hospodárnosti a efektivnosti výroby. Jakost povrchu, přesnost rozměru a tvaru, hospodárnost, úběr a výrobní náklady jsou závislé především na vstupních údajích řezného procesu týkajících se: obrobku (materiál, obrobitelnost, tvar, kvalita povrchu), pracovních podmínek (posuv, řezná rychlost, hloubky třísky úběru), nástroje (druh, ostření, životnost) a stroje.

Otázkám studia vlivu jakosti obrobené plochy na funkční vlastnosti je věnována stále větší pozornost a zdá se, že aplikace vlastností povrchové vrstvy na opotřebení má stejný význam jako např. mazání. Význam znalostí jakosti povrchové vrstvy je možné vidět v tom, že znalost podmínek vzájemného styku dvou ploch při jejich vzájemném relativním pohybu povede k předurčení a řízení jejich tvarové přesnosti, drsnosti povrchu, velikosti zpevnění, velikosti a směru zbytkových napětí apod. Je zřejmé, že pod pojmem jakost povrchu z hlediska technologie výroby je třeba chápat nejen přesnost rozměrů, drsnost povrchu, přesnost geometrického tvaru a polohy, ale je také nutné sledovat chemické a fyzikální změny vlastností materiálu v povrchové vrstvě obrobené součásti, vzniklých v důsledku vlastního procesu řezání. Všichni činitelé ovlivňující jakost povrchové vrstvy jsou totiž úzce svázány s technologickými výrobními procesy, které jsou používány při výrobě a dokončování součástí. Z tohoto hlediska se jeví jako nutné provádět komplexní rozbor technologických operací, které se podílejí na vytváření funkčních vlastností součástí.

Struktura povrchu obrobené plochy patří mezi základní kvalitativní požadavky strojních součástí, a proto je kladen velký důraz na specifikaci jednotlivých parametrů popisujících povrch součástí. Při posuzování nově vzniklého povrchu je nutné vycházet z toho, že obrábění je řezný proces, jehož podstatou je proces plastické deformace, která ovlivňuje jakost povrchové vrstvy. Vlastnosti realizované povrchové vrstvy určují životnost a spolehlivost součástí, zvláště těch, které pracují za extrémních podmínek zatěžování. Z těchto důvodů je nutné mít k dispozici informace o způsobu ovlivňování stavu povrchové vrstvy, která vzniká po technologických operacích obrábění a možnosti zabezpečení její konstantní vlastnosti. Strukturu povrchu obrobené plochy lze identifikovat celou řadou charakteristik (normalizovaných i nenormalizovaných), z nichž prozatím pro praxi

mají rozhodující význam parametry drsnosti povrchu. Funkční požadavky na drsnost povrchu obrobené plochy jsou specifikovány v příslušné výrobní dokumentaci.

1.1 DOKONČOVACÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Obrábění je výrobní proces, při kterém polotovar dostává požadovaný tvar odstraňováním nežádoucího materiálu. Vedle základních způsobů obrábění, které odstraňují materiál formou třísek, lze používat ještě další způsoby, při kterých však dochází k oddělování materiálu jiným způsobem, než je řezný proces.

V technologii obrábění se používají čtyři skupiny metod, které se od sebe liší některými charakteristickými znaky a řeznými podmínkami. Tyto zvláštnosti jsou pro každou skupinu metod typické. Mají rozhodující vliv na stavbu obráběcího stroje, stav obrobku a nástroje, skladbu technologického procesu a metodiku obrábění.

Dělíme je na [14]:

1. Metody obrábění nástroji s definovanou geometrií
2. Přesné a dokončovací metody obrábění
3. Nekonenční metody obrábění
4. Úpravy obrobených ploch

Disertační práce je zaměřena na dokončovací metody obrábění s definovanou geometrií nástroje, především na:

Jemné soustružení

Jednobřítým nástrojem různého provedení se zhotovují součástky válcovitého, kuželovitého nebo obecného tvaru. Z mnoha hledisek je soustružení nejjednodušší formou obrábění kovů a je také nejčastěji používaným řezným procesem. Proto také bylo vybráno jako reprezentativní způsob obrábění, na kterém byly vysvětleny jednotlivé pojmy a odvozeny vzorce pro výpočet teoretických hodnot vybraných parametrů drsnosti povrchu. Jemné soustružení je považováno za ekonomicky výhodnou a produktivní metodu dokončovacího obrábění. Příklad na obrábění se obvykle při jemném soustružení odebrává na jeden záběr, a proto se dosahuje tímto soustružením vysoké rozměrové a tvarové přesnosti a kvality povrchu při minimálních nákladech. Jemným soustružením lze dosáhnout povrchů 5. až 7. třídy přesnosti ISO a drsnosti povrchu $Ra = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$.

Jemné frézování

Frézování je druhým nejpoužívanějším způsobem obrábění, při kterém každý břit – zub víceklínového nástroje – frézy odebrává část materiálu ve formě samostatné třísky, přičemž zuby frézy oddělují postupně krátké třísky proměnlivé tloušťky. Výhody současného frézování se projevují ve vysokém výkonu obrábění, vynikající jakosti obrobeného povrchu, velké přesnosti rozměrů a flexibilitě při obrábění tvarově složitých obrobků. Frézování se vyvíjí ve stále univerzálnější metodu

obrábění, což je důsledek rostoucí mnohostrannosti použití obráběcích strojů, řídicích systémů a řezných nástrojů. Frézování lze rozdělit obdobně jako soustružení na hrubování, střední obrábění (semifinish) a jemné frézování (finish). Jemným frézováním lze dosáhnout přesnosti až IT 5 a drsnosti $Ra = 0,4-1,6 \mu\text{m}$.

1.2 DRSNOST POVRCHU

Výrobní procesy, zejména pak obrábění, svým tepelným a silovým působením vyvolávají výrazné změny stavu a vlastností v povrchové vrstvě součásti. Z těchto skutečností vychází nutnost hodnocení povrchové vrstvy z hlediska jejich funkčních vlastností. Jedním z komplexních kritérií pro posouzení vhodnosti celé součásti je její provozní spolehlivost, která v sobě zahrnuje otázky životnosti, opravitelnosti, odolnosti proti opotřebení, odolnosti proti koroznímu napadení apod. Libovolná technologická metoda, použitá při realizaci povrchu, zanechává nerovnosti. Nerovnosti na povrchu představují prostorový útvar, který by bylo obtížné posuzovat. Problém posuzování nerovnosti (struktury povrchu) se řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. V rovině řezu se získá profil, který je základním zdrojem informace pro posuzování struktury povrchu.

Struktura povrchu je členěna na složky podle rozteče příslušných nerovností. Dle normy ČSN EN ISO 4287 [17] se jedná o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu (R-parametr), složku nazvanou vlnitost (W-parametr) a složku s největší roztečí nerovností určenou základním profilem (P-parametr). Profil se stává základním zdrojem informací o měřeném povrchu.

Vlastnosti struktury obrobené plochy patří k základním parametrům strojírenských součástí. Povrch obrobené plochy lze identifikovat celou řadou charakteristik, z nichž pro praxi mají rozhodující význam parametry drsnosti povrchu. Funkční požadavky na drsnost povrchu obrobené plochy jsou specifikovány v příslušné výrobní dokumentaci. Drsnost (mikrogeometrie) povrchu lze definovat zjednodušeně jako souhrn nerovností s relativně malými vzdálenostmi, které obvykle obsahují nerovnosti, vzniklé následkem použité metody výroby a/nebo jiných vlivů. Drsnost se hodnotí v řezech kolmých a podélných vzhledem k pohybu řezného nástroje, vytvářejícího obrobenou plochu.

Dnešní hodnocení drsnosti povrchu předepisuje norma ČSN EN ISO 4287 [17] resp. ČSN EN ISO 4288 [18] vydané v roce 1999. V této novelizované normě došlo ke sjednocení s normami ISO a EN, tím došlo i ke změnám v názvosloví, značení a pohledu na součást. O tom napovídá už název této sady norem „Geometrické požadavky na výrobky (GPS)“.

1.2.1 Teoretické hodnoty parametrů drsnosti povrchu

Teoretická drsnost povrchu je určována na základě předpokladů, že obráběný materiál je absolutně nedeformovatelný, že ostří nástroje tvoří geometrické čáry a že systém Stroj-Nástroj-Obrobek (SNO) je absolutně tuhý. K určení teoretické, resp. geometrické drsnosti (max. výšce nerovností) se pak užívá výpočtových vzorců, odpovídajících schématům kinematiky odebrání třísky. Tyto vzorce slouží pro základní orientaci při řízení vzájemných poměrů hodnot řezných podmínek a geometrie břitu nástroje s cílem dosažení žádané hodnoty drsnosti povrchu. Z nich také vyplývají obecně platné závěry ke snižování teoretické geometrické drsnosti povrchu. Pro názornost a zjednodušení vlastních výpočtů jsou v disertační práci odvozeny vybrané teoretické hodnoty parametrů drsnosti pro jemné soustružení.







Jemné soustružení

Obrobený povrch je vytvořen jako výsledek geometrické a kinematické reprodukce špičky nástroje. Hřebínek na obrobeném povrchu je výsledkem geometrické reprodukce, závislé na tvaru špičky nástroje a na rychlosti pohybu nástroje vzhledem k součásti. Kromě toho, je-li ostří zubaté, reprodukuje se i zuby. Pro další výpočty budeme předpokládat, že za podmínek užití nástroje není ostří zubaté, nebo že zuby jsou tak malé vzhledem k výsledné drsnosti povrchu, že lze jejich vliv zanedbat. Proto bude dále uvažován nástroj s definovanou geometrií. Pro provedení analýzy jsou uvažovány pouze vrcholy a prohlubně profilu drsnosti.

Při soustružení mohou tedy nastat dva základní možné případy geometrické a kinematické reprodukce v závislosti na poloměru zaoblení špičky nástroje:

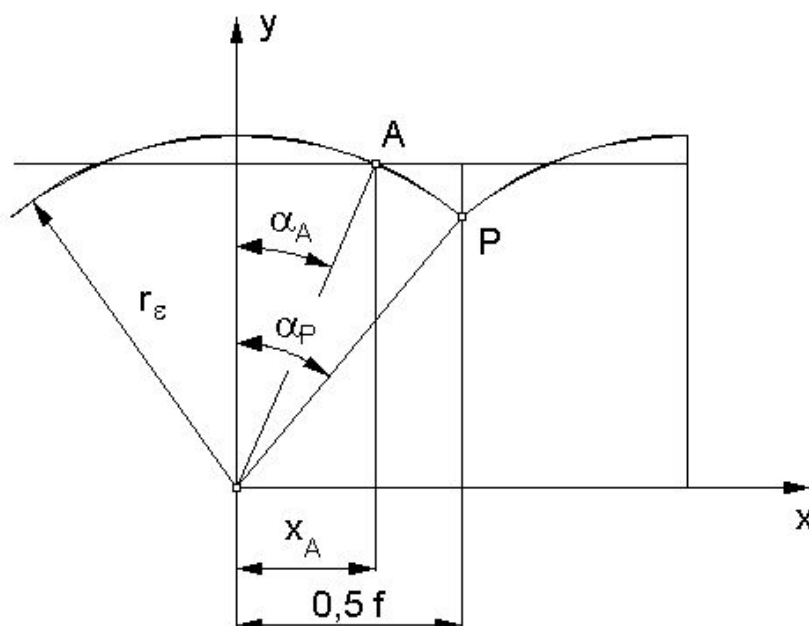
1. Drsnost povrchu je tvořena nožem s přímkovým hlavním a vedlejším ostřím bez poloměru špičky nástroje – což má pouze teoretický význam.
2. Drsnost povrchu je tvořena nástrojem s nenulovým poloměrem špičky nástroje. Zde mohou nastat tři další možné případy reprodukce:
 - I. stopy po obrábění vznikají pouze z části poloměru špičky nástroje bez záběru hlavního a vedlejšího ostří. První typ reprodukce se také někdy nazývá obloukový,
 - II. stopy po nástroji jsou tvořeny obloukem špičky s přímočarou částí ostří. Druhý typ reprodukce se také někdy nazývá obloukový a přímý,
 - III. stopy po nástroji jsou tvořeny špičkou nástroje a přímými částmi špičky nástroje. Třetí typ reprodukce se také někdy nazývá přímočarý.

Vzhledem k prakticky používaným rozsahům posuvu je možno říci, že I. a II. typ reprodukce bude v praxi převažovat. Tabulka 1.1 obsahuje vzorce pro výpočet teoretické hodnoty největší výšky profilu Rz_i pro jednotlivé druhy reprodukce.

Pro	Typ	Rz_t
$\chi_r > \chi_r'$		$r_\varepsilon - 0,5\sqrt{4r_\varepsilon^2 - f^2}$
		$f\left(\frac{\sin^2 \chi_r}{2} - \sin^2 \chi_r * \sqrt{\frac{2r_\varepsilon}{f * \sin \chi_r} - 1}\right) + 2r_\varepsilon \sin^2\left(\frac{\chi_r}{2}\right)$
		$f \frac{\sin \chi_r \sin \chi_r'}{\sin(\chi_r + \chi_r')} - r_\varepsilon \left[\frac{\sin \chi_r + \sin \chi_r'}{\sin(\chi_r + \chi_r')} - 1 \right]$
$\chi_r < \chi_r'$		$r_\varepsilon - 0,5\sqrt{4r_\varepsilon^2 - f^2}$
		$f\left(\frac{\sin^2 \chi_r}{2} - \sin^2 \chi_r * \sqrt{\frac{2r_\varepsilon}{f * \sin \chi_r} - 1}\right) + 2r_\varepsilon \sin^2\left(\frac{\chi_r}{2}\right)$
		$f \frac{\sin \chi_r \sin \chi_r'}{\sin(\chi_r + \chi_r')} - r_\varepsilon \left[\frac{\sin \chi_r + \sin \chi_r'}{\sin(\chi_r + \chi_r')} - 1 \right]$

Tab. 1.1 Vzorce pro výpočet Rz_t pro jednotlivé typy reprodukce špičky nástroje

Při jemném soustružení se vychází z modelu, kdy drsnost povrchu je vytvořena nástrojem o poloměru špičky r_ε bez vlivu hlavního a vedlejšího ostří tj. I. typ reprodukce (Obr. 1.1).



Obr. 1.1 Schéma tvaru obrobené plochy vytvořeného jemným soustružením

Pro tento případ lze tedy použít následující odvozené vzorce pro výpočet teoretických hodnot Ra_t :

$$Ra_t = \frac{10^3 \cdot r_\varepsilon^2 (2\alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{f}$$

$$\alpha_A = \arccos \left[\frac{r_\varepsilon}{f} \left(\arcsin \frac{f}{2r_\varepsilon} + \frac{f}{4r_\varepsilon^2} \sqrt{4r_\varepsilon^2 - f^2} \right) \right]$$

Z analýzy předchozích vzorců je jasné, že:

- když úhly nastavení klesají, klesá také teoretická průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra_t , zatímco mezní posuvy rostou,
- když klesá poloměr špičky, největší výška profilu vzrůstá a hodnoty limitních posuvů se snižují.

Jemné frézování

Obrobený povrch je vytvořen jako výsledek geometrické a kinematické reprodukce nástroje v závislosti na hloubce řezu. Pro jemné frézování tvarových dílců se používají tzv. kopírovací frézy. Ty lze rozdělit podle tvaru na stopkové nebo kulové.

Pro vlastní výpočet teoretických hodnot parametrů drsnosti povrchu budeme opět předpokládat, že ostří není zubaté, nebo že zuby jsou tak malé vzhledem k výsledné drsnosti povrchu, že jejich vliv lze zanedbat.

Stopková fréza

$$Rz_t = a \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{a_e^2}{4 \cdot a^2}} \right) \quad \text{kde} \quad a = \frac{1}{2} D - r_\varepsilon + r_\varepsilon \cdot \sin \varphi$$

Kulová fréza

$$Rz_t = r_\varepsilon \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a_e^2}{4 \cdot r_\varepsilon^2}} \right) \quad \text{kde} \quad r_\varepsilon = \frac{D}{2}$$

Při jemném frézování se vychází opět ze stejného modelu jako při jemném soustružení, kdy drsnost povrchu je vytvořena nástrojem o poloměru špičky r_ε (D) bez vlivu hlavního a vedlejšího ostří tj. I. typu reprodukce. Proto pro výpočet průměrné aritmetické úchylky posuzovaného profilu Ra_t bude platit obdobný vzorec jako pro jemné soustružení.

1.2.2 Skutečné hodnoty parametrů drsnosti

Teoreticky dosažitelnou jakost obrobeného povrchu lze pro procesy frézování a soustružení vypočítat (viz. předcházející kapitola). Výsledek výpočtu je výchozím bodem pro určení, jaké jakosti povrchu může být za ideálních podmínek dosaženo. Skutečný výsledek je ovlivňován velkým počtem faktorů, které se v procesu obrábění vyskytují.

Rozhodující faktory ve vztahu k řeznému nástroji: [14]

- stabilita,
- vyložení,
- geometrie břitu,
- materiál obrobku,
- opotřebení břitu nástroje,
- řezné podmínky,
- utváření třísky,
- teplota na břitu při obrábění.

Rozhodující faktory, vztahující se k obráběcímu stroji:

- stabilita,
- prostředí obrábění,
- chladicí kapalina,
- technický stav,
- příkon a tuhost.

Rozhodující faktory, vztahující se k obrobku:

- stabilita,
- druh materiálu, způsob tepelného zpracování, zpevňování za studena, atd.,
- konstrukce,
- charakter polotovaru (přídavky na obrábění, ostřiny, kovací kůra, atd.),
- předcházející proces obrábění,
- tolerance rozměrů a tvarů,
- struktura obrobeného povrchu.

1.2.3 Měření parametrů drsnosti povrchu

Pro hodnocení drsnosti povrchu obrobené plochy výrobků a pro kvantitativní měření charakteristik drsnosti povrchu byl vyvinut velký počet kontrolních metod a měřících přístrojů založených na různých fyzikálních principech a vyráběných různými výrobci.

Pro praktické zjišťování hodnot charakteristik drsnosti povrchu existuje řada metod, z nichž zatím nejdokonalejší je metoda dotyková, využívající ostrého hrotu, který se v daném směru posouvá po povrchu a umožňuje získat informace o jeho profilu. Metoda umožňuje zjišťovat číselné hodnoty normalizovaných

i nenormalizovaných charakteristik drsnosti povrchu. Realizaci metody zabezpečuje dotykový profilometr, který se skládá z mechanické a elektronické části. Při vlastním hodnocení sejmutého profilu formou číselných hodnot parametrů struktury povrchu se uplatňují základny tvořené použitým typem filtru, který slouží k oddělení frekvenčních složek nerovnosti profilu.

K objektivnímu určení číselných hodnot parametrů drsnosti povrchu je nezbytně nutné dodržovat určité podmínky, které vyplývají ze základních vlastností posuzovaného povrchu. Při hodnocení drsnosti povrchu není potřeba vymezovat vlnitost povrchu a úchyly tvaru odděleně, lze oddělit obě složky společně. Reálné (omezené) možnosti filtrů a zejména neznalost mezních hodnot vlnových délek jednotlivých složek signálu činí objektivní měření drsnosti povrchu obtížné.

Pro praktické měření hodnot parametrů drsnosti povrchu je nezbytně správně volit základní délku (cut-off) tak, aby zahrnovala dostatečný počet nerovností profilu charakterizujících jeho drsnost a vyloučila ovlivnění nerovnostmi s větší roztečí nepříslušející drsnosti. Pro srovnatelnost výsledků měření jsou hodnoty základní délky určeny normou. K získání dostatečně přesných hodnot parametrů drsnosti povrchu se doporučuje volit vyhodnocovanou délku jako několikanásobek základní délky. V normě ČSN EN ISO 4288 jsou uvedeny hodnoty pro volbu základních a vyhodnocovaných délek podle hodnot parametrů drsnosti povrchu periodických a neperiodických profilů. Při kontrole povrchů s dosud neznámou hodnotou drsnosti povrchu je nutno předem zvolit vhodnou základní délku podle odhadu drsnosti (podle zkušenosti nebo srovnáním se vzorkem) a při opakovaném měření volbu upřesnit.

Podle pravidel normy ČSN EN ISO 4288 se provede kontrola homogenity povrchu. Je-li struktura povrchu homogenní, hodnoty parametrů určených z celého povrchu měřeného vzorku nebo obrobku budou používány pro porovnání s hodnotami uvedenými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci s uplatněním pravidla 16% nebo pravidla maxima.

1.3 ZÁVISLOST PARAMETRŮ STRUKTURY POVRCHU NA TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNKÁCH

Na výslednou strukturu obráběného povrchu působí řada vlivů, spojených s podmínkami výroby součástí. Výška, tvar, charakter rozložení a směr nerovností často závisí na zvolené metodě a na podmínkách obrábění, na podmínkách chlazení, resp. mazání, na chemickém složení a struktuře obráběného materiálu, na typu a stavu použitého strojního zařízení apod. Struktura povrchu je jiná při soustružení, při frézování atd. Rozdílnost je patrná jednak v charakteru profilových křivek, jednak ve velikosti pozorovaných charakteristik.

Struktura povrchu více závisí na řezných podmínkách jak na geometrii řezné části nástroje. Geometrickým tvarem řezného klínu nože nelze dosáhnout větší změny

v struktuře povrchu. Takovéto změny se dosáhnou pouze změnou řezných podmínek nebo úhlu nastavení.

Jedním z nejpodstatnějších faktorů, ovlivňujících rozvoj plastické deformace, je *řezná rychlost* v_c . Při velmi malých řezných rychlostech, kdy se nárůstek ještě netvoří, nelze pozorovat znatelné nerovnosti povrchu. Při zvyšování řezné rychlosti, v oblasti tvorby nárůstku, vzrůstá rozměr nerovností a podle druhu obráběného materiálu může drsnost povrchu mnohokrát převýšit svoji výchozí hodnotu. Při dalším zvyšování řezné rychlosti, kdy nárůstek mizí a hloubka plastické deformace se zmenšuje, snižuje se postupně drsnost povrchu a dosahuje svoji minimální hodnotu, blízkou hodnotě teoretické. Vzhledem k tomu, že oblast řezných rychlostí, kdy dochází k nárůstu drsnosti, se moc nepoužívá, nebude v dalším zpracování uvažován vliv řezné rychlosti na změnu drsnosti.

Tvar závislosti Rz na v_c se mění se změnou *posuvu* f . Zvýšením posuvu se maximum křivky posune doleva. Svědčí o menším vlivu řezných rychlostí na mikronerovnost při větších posuvech. Vliv posuvu je spojen nejen s geometrickými příčinami tvorby výsledné geometrie povrchu, ale i ve značné míře podmiňuje elastické a plastické deformace v povrchové vrstvě. Se snižujícím se posuvem klesají hodnoty parametrů drsnosti.

Veličina Rz je nepřímo úměrná *poloměru špičky* r_ϵ . Se zvyšujícím se poloměrem špičky se rychle snižuje výška nerovnosti. Ze vzorců pro výpočet teoretických hodnot parametrů drsnosti a literatury [1] vyplývá, že se zvyšováním poloměru špičky r_ϵ dochází ke snižování hodnot parametrů drsnosti Ra a Rz exponenciálně. To však neznamená, že se poloměr špičky může bezmyšlenkovitě zvyšovat. Je známo, že poloměr špičky podstatně ovlivňuje chvění. Poloměr špičky má dvojitý účinek: působí na utváření třísky a ovlivňuje zatížení břitu.

Při soustružení načisto určuje poloměr špičky nože společně s rychlostí posuvu výslednou strukturu obrobeného povrchu součásti. Největší podíl práce při obrábění načisto vykonává špička nože. Ze součinnosti poloměru špičky nože a posuvu při obrábění načisto je možno vydedukovat, že posuv by měl být zvolen tak, aby nepřesáhl určitou hodnotu nutnou k docílení uspokojivé struktury obrobeného povrchu. Jako směrný údaj se doporučuje: posuv = maximálně 1/3 poloměru špičky.

Zmenšováním *úhlů nastavení hlavního a vedlejšího ostří* se zmenšuje také Rz , a to v pásmu větších posuvů, při nižších posuvech ztrácí vliv úhlů nastavení význam. Další nástrojové uhly břitu nemají ve většině případů podstatný vliv na výslednou strukturu povrchu.

Hloubka třísky úběru nemá na drsnost povrchu praktický vliv, kdežto *otupení nože* se podstatně projevuje na struktuře povrchu. Závislost změny Rz při otupování nože z RO vyjadřuje plynulá křivka, ale pro nože z SK a keramiky je to nepravidelně lomená čára z důvodu vylamování částic. *Obráběný materiál* má značný vliv na výšku a charakter nerovností obrobeného povrchu. Plastičtější a houževnatější materiály dávají hrubé, drsné povrchy.

2 CÍL PRÁCE

Dosažená drsnost povrchu je velmi důležitá a to nejen z hlediska „vzhledu“, ale většinou také z hlediska dalšího funkčního použití výrobku. Proto by měl technolog dobře navrhnout sled operací a přitom brát zřetel i na volbu přídavek pro jednotlivé výrobní operace. K určení sledu operací mu slouží výrobní dokumentace. Sledovaná drsnost bývá v naprosté většině tuzemských i zahraničních podniků reprezentována značkou drsnosti a hodnotou Ra . Technolog se tedy musí „spokojit pouze“ s drsností udanou pro celou součást v pravém horním rohu popř. zpřesněné drsnosti pro danou plochu součástky. Podle tvaru a těchto předepsaných hodnot musí zvolit především poslední operaci, kterou je dosaženo požadovaného výsledného povrchu. Nesmí však opomenout správně určit i předcházející operace a jejich přídávky. Je tedy zřejmé, že bezchybně navržená technologie vede k uspokojení zákazníka s finálním výrobkem.

Pro navrženou dokončovací metodu obrábění je potom nutno navrhnout potřebné řezné podmínky. Tyto podmínky jsou navrhovány s ohledem na strojní park, používané nástroje podniku a obráběný materiál. Řezné podmínky jsou definovány v tabulkách, katalozích či jiné dostupné literatuře. Ale v žádné z nich technolog nenajde odpověď na otázku „Jaké řezné podmínky je nutno předepsat pro požadovanou drsnost povrchu?“. Tabulky či grafy, z kterých by bylo možno rychle určit podmínky obráběcího procesu v praxi chybí. V současnosti se tyto podmínky většinou určují především intuitivně z předchozích zkušeností.

Cílem disertační práce je tedy právě řešení problematiky určení řezných podmínek v závislosti na požadované drsnosti povrchu. Ta bývá udávána ve výrobní dokumentaci a ze strany zákazníka a posléze také konstruktéra dochází u součástí ke zvyšování jejich přesnosti a tvarové složitosti. K dosažení snižující se předepsané přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu je tedy nutno použít nových efektivnějších strojů a nástrojů. S tím plně souvisí správná volba technologie výroby součástí. Je nutno velmi dbát na optimální volbu řezných podmínek a řezných nástrojů pro jednotlivé výrobní operace. U většiny součástí má největší vliv na konečnou jakost poslední tzv. dokončovací operace. Z těchto důvodů byla práce zaměřena na dokončovací metody obrábění, především na jemné soustružení a frézování.

V práci byly navrženy dvě možné metodiky určování řezných podmínek pro danou drsnost povrchu u jemného soustružení a následně bylo provedeno ověření při jemném frézování. První metodika spočívá ve vytvoření grafické závislosti skutečných hodnot parametrů drsnosti Ra a Rz na posuvu pro daný materiál a poloměr špičky nástroje. Druhá metodika vychází z předpokladu určité závislosti teoretické a skutečné hodnoty parametru drsnosti.

Cílem práce také bylo experimentální ověření možné náhrady broušení jemným soustružením a frézováním.

3 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

3.1 NÁVRH METODIKY VOLBY ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Každý výrobek určený pro spotřebitele projde určitým sledem výrobních i nevýrobních operací, než se k němu dostane. Na výrobky jsou kladeny určité požadavky nejen z hlediska účelu použití, ale i jakosti. Tyto požadavky jsou v prvním sledu výrobních operací předepsány v dokumentaci. Podle vyhotovené dokumentace probíhá vlastní výroba, jejímž výsledkem je finální výrobek. Ve výrobní dokumentaci bývá vždy specifikován tvarový vzhled součásti, z jakého materiálu a v jaké přesnosti má být součást vyrobena a také drsnost výsledného povrchu. Technolog dle dodané dokumentace navrhne postup výrobních operací a předá ho výrobě nebo „programátorům“ na zpracování programů pro CNC stroje s nutnou volbou řezných podmínek.

Jak již bylo uvedeno, v praxi chybí možnost volby řezných podmínek v závislosti na daném parametru drsnosti. Možnosti, jak tento problém řešit, lze vidět v nalezení vhodné metodiky pro vytvoření tabulek nebo grafů pro jejich volbu.

Návrh nové metodiky byl proveden pro jemné soustružení ocelí. K tomuto účelu byly realizovány experimenty při zvolených řezných podmínkách na materiálech různých tříd obrobitelnosti.

Lze navrhnout dvě možné metodiky určování řezných podmínek v závislosti na požadované drsnosti:

1. Byly vytvořeny grafické závislosti $f = f(Ra)$ popř. $f = f(Rz)$ pro jednotlivé materiály. Do těchto grafů jsou zaneseny experimentálně zjištěné hodnoty a informativně také vypočtené teoretické hodnoty parametrů drsnosti povrchu. Pomocí regresní analýzy byla vytvořena křivka, která nejlépe vystihuje trend naměřených hodnot. Z takto sestrojených grafů je možno odečíst posuv nástroje dle požadované drsnosti předepsané ve výrobní dokumentaci.
2. Byly vytvořeny grafické nebo tabulkové závislosti $Ra = f(Ra_t)$ popř. $Rz = f(Rz_t)$. Pomocí regresní analýzy sestrojená křivka a rovnice udávají poměr mezi skutečnými a teoretickými hodnotami vybraných parametrů drsnosti povrchu pro jednotlivé materiály. Z rovnice křivky funkce $Ra = f(Ra_t)$ popř. $Rz = f(Rz_t)$ pro daný materiál byla vytvořena tabulka dosažitelných hodnot drsnosti v závislosti na posuvu pro daný úhel sklonu hlavního i vedlejšího ostří pro různé poloměry špičky nástroje.

3.2 PODMÍNKY A VÝSLEDKY MĚŘENÍ

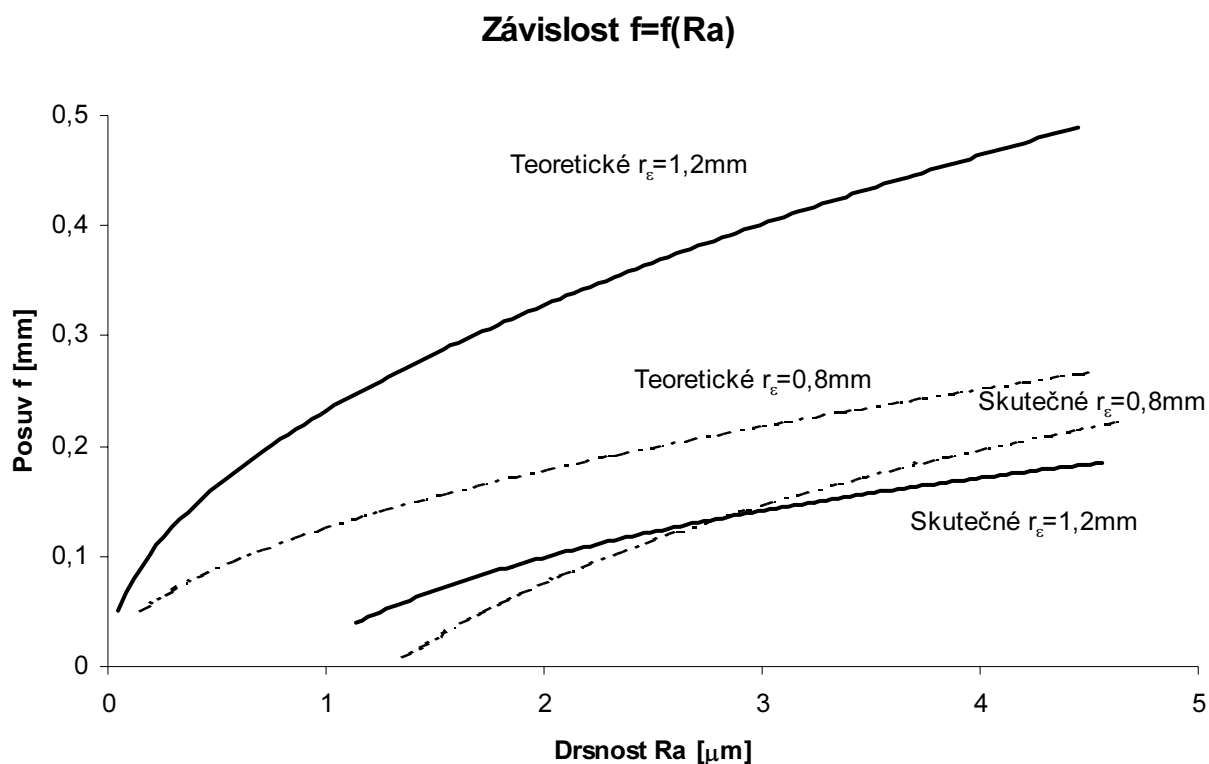
Pro ověření navržených metodik budou použity experimentálně zjištěné hodnoty parametrů drsnosti při jemném soustružení. Přesnost zjištěných závislostí bude omezena malým počtem měření a anomáliemi vzniklými při vlastním experimentu.

Jemné soustružení

Praktické zkoušky pro měření a vyhodnocení drsnosti povrchu při jemném soustružení byly provedeny na čtyřech materiálech (12 020, 12 050, 13 240, 14 331) různých tříd obrobitelnosti při proměnlivých technologických podmínkách řezného procesu. Konstantním parametrem obrábění byla zvolena hloubka třísky úběru, za proměnnou byla zvolena řezná rychlost, posuv a poloměr špičky nástroje. Vlastní praktické zkoušky byly provedeny na hrotovém soustruhu s plynulou regulací otáček vřetene SV 18R nástrojem s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutého karbidu fa Pramet Šumperk s mechanickým upnutím destičky.

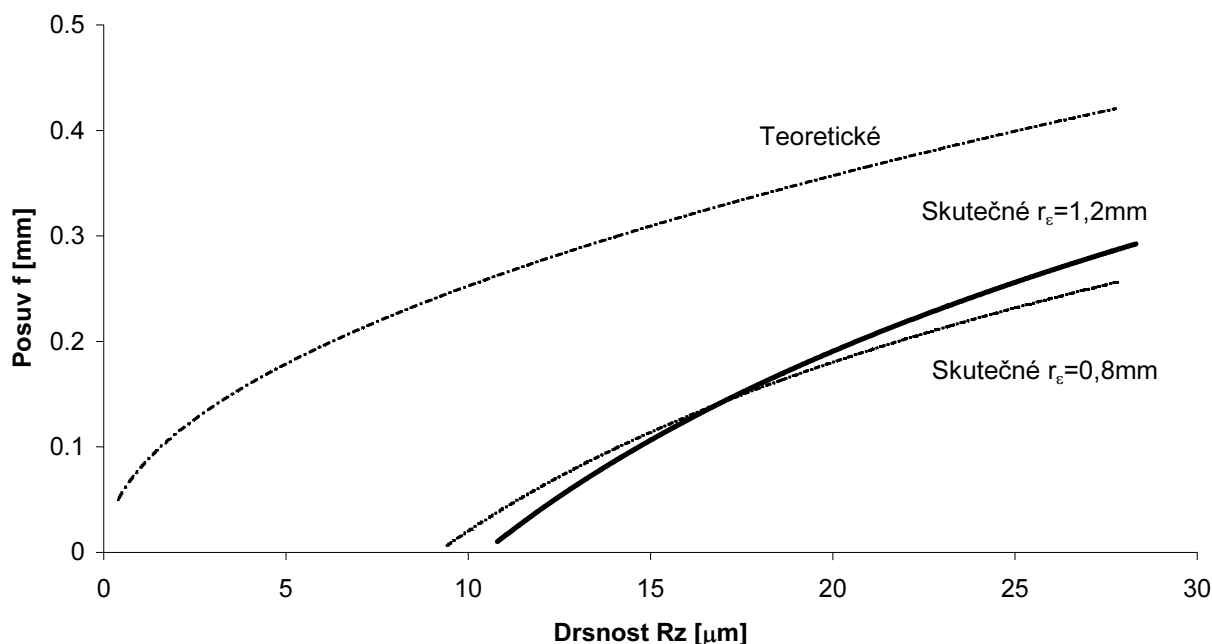
Metodika vlastního měření vybraných parametrů drsnosti povrchu byla převzata z normy ČSN EN ISO 4288 [18]. Před dalším zpracováním je však nutné ověřit, zda se opravdu jedná o I.typ reprodukce, kdy stopy po obrábění vznikají pouze poloměrem špičky nástroje. Měření bylo provedeno na dotykovém profilometru (Surtronic 3+ - fa Rank Taylor Hobson) umožňující měření a statistické vyhodnocení několika různých parametrů drsnosti. Tento přístroj byl napojen na PC s tiskárnou s možností tisku grafů a tabulek.

Pro první navrženou metodiku byly z naměřených hodnot vytvořeny grafické závislosti $f = f(Ra)$ a $f = f(Rz)$ pro jednotlivé materiály (na obr. 3.1 a 3.2 zobrazeny pouze grafy pro vybraný materiál 14 331.3). Z těchto grafů lze jednoduchým způsobem určit pro požadovanou drsnost odpovídající posuv řezného nástroje a následně také řeznou rychlost pomocí katalogu.



Obr. 3.1 Grafická závislost $f = f(Ra)$ pro materiál 14 331.3 pro soustružení

Závislost $f=f(Rz)$



Obr. 3.2 Grafická závislost $f = f(Rz)$ pro materiál 14 331.3 pro soustružení

Při druhé metodice určování řezných podmínek mohou být vytvořeny buď grafické závislosti nebo tabulky regresních křivek nejlépe vystihujících závislost $Ra = f(Ra_t)$ a $Rz = f(Rz_t)$ pro jednotlivé r_ϵ . Ze zkoušených regresních analýz nejlépe vystihuje hledanou závislost lineární regresní křivka. Dosahovaný stupeň závislosti tzv. korelační koeficient byl u všech rovnic větší než 0,9 tj. 90%. Pokud bychom chtěli docílit většího koeficientu korelace, bylo by nutno provést více měření pro daný materiál s případnou možností eliminace odlehlých hodnot. Do zjištěných rovnic regresních křivek lze nyní dosadit za teoretické hodnoty Ra_t a Rz_t . Výsledkem budou požadované závislosti $Ra = f(r_\epsilon, f)$ popř. $Rz = f(r_\epsilon, f)$.

r_ϵ [mm]	Drsnost Ra [μm]									
	Posuv f [mm]									
	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
0,8	3,77	3,92	4,12	4,37	4,99	5,80	7,06	8,60	10,44	12,57
1,2	4,08	4,23	4,41	4,64	5,23	5,98	7,16	8,60	10,31	12,29
	Drsnost Rz [μm]									
0,8	24,30	24,99	25,88	26,97	29,75	33,34	38,96	45,86	54,07	63,61
1,2	23,50	24,32	25,38	26,68	29,99	34,26	40,92	49,09	58,77	69,97

Tab. 3.1 Skutečné hodnoty Ra a Rz pro materiál 12 050.1 pro soustružení

r_ϵ [mm]	Drsnost Ra [μm]										
	Posuv f [mm]										
	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	
0,8	1,75	1,83	1,92	2,04	2,34	2,73	3,34	4,08	4,97	6,00	
1,2	1,54	1,65	1,78	1,94	2,36	2,90	3,74	4,77	5,98	7,39	
	Drsnost Rz [μm]										
	0,8	16,69	17,33	18,15	19,15	21,70	24,99	30,16	36,50	44,04	52,80
	1,2	11,37	11,88	12,54	13,35	15,41	18,06	22,21	27,29	33,32	40,29

Tab. 3.2 Skutečné hodnoty Ra a Rz pro materiál 13 240.3 pro soustružení

r_ϵ [mm]	Drsnost Ra [μm]										
	Posuv f [mm]										
	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	
0,8	1,89	2,05	2,26	2,52	3,17	4,01	5,32	6,93	8,85	11,07	
1,2	1,52	1,74	2,02	2,37	3,25	4,39	6,17	8,35	10,93	13,92	
	Drsnost Rz [μm]										
	0,8	12,61	13,21	13,98	14,92	17,32	20,41	25,25	31,20	38,28	46,51
	1,2	12,76	13,18	13,72	14,38	16,06	18,23	21,61	25,76	30,67	36,36

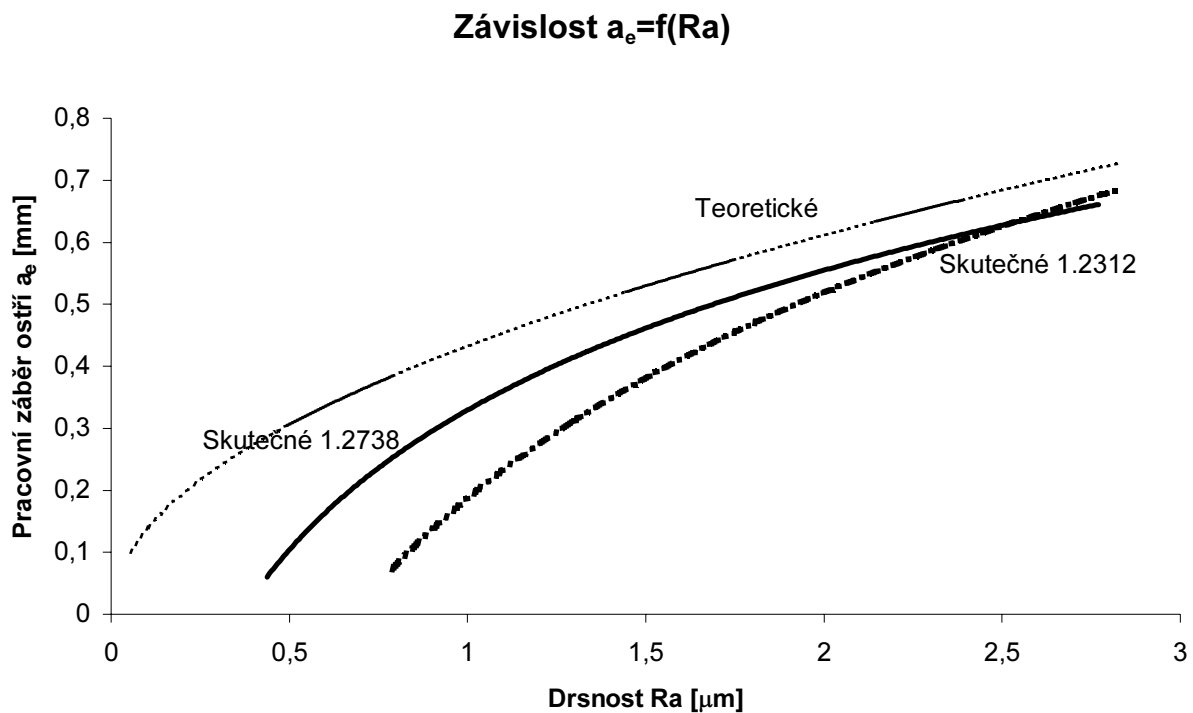
Tab. 3.3 Skutečné hodnoty Ra a Rz pro materiál 14 331.3 pro soustružení

Jemné frézování

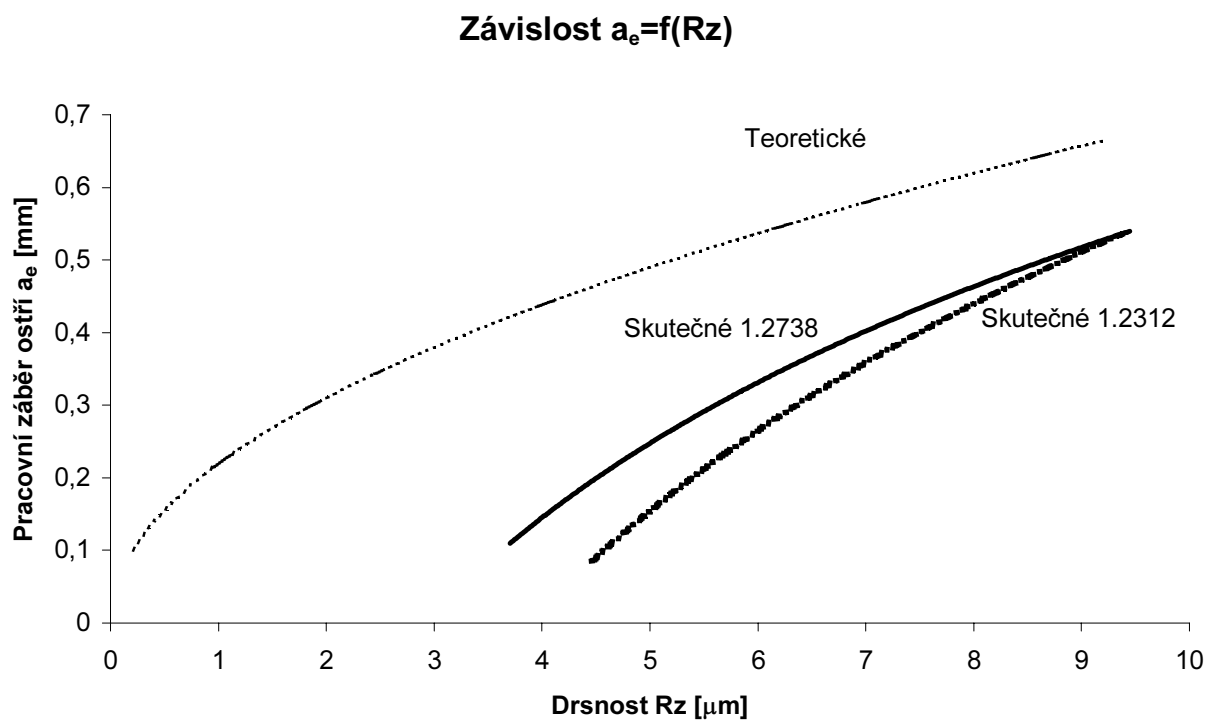
Praktické zkoušky pro měření a vyhodnocení drsnosti povrchu při jemném frézování byly provedeny na dvou nástrojových zušlechtěných ocelích (1.2312, 1.2738) při proměnlivých technologických podmínkách řezného procesu. Konstantním parametrem obrábění byla zvolena šířka záběru ostří a otáčky nástroje, za proměnnou byla stanovena posuvová rychlost a pracovní záběr ostří. Pro experiment byl zvolen stroj firmy CINCINATTI typ ARROWS-1000 s řídicím systémem ACRAMATIC-2100 firmy SIEMENS a jako nástroj kulová kopírovací fréza od firmy FETTE osazená břitovou destičkou z SK s povlakem TiAlN.

Metodika měření vybraných parametrů drsnosti povrchu byla stejně jako u soustružení převzata z normy ČSN EN ISO 4288 [18]. Měření bylo provedeno na dotykovém elektronickém profilometru -Perthometr M2 - fa MAHR GmbH .

Provedený experiment při jemném frézování a zjištěné hodnoty parametrů drsnosti sloužily k ověření navržených metodik. Pro první metodiku byly sestrojeny grafické závislosti $a_e = f(Ra)$ a $a_e = f(Rz)$ pro oba použité materiály (obr.3.3 a 3.4).



Obr. 3.3 Grafická závislost $a_e = f(Ra)$ pro frézování



Obr. 3.4 Grafická závislost $a_e = f(Rz)$ pro frézování

Pro druhou metodiku určování řezných podmínek byly vytvořeny tabulky s rovnicemi regresních křivek pro oba zkoušené materiály a následně tabulky se skutečnými hodnotami Ra a Rz (Tab. 3.4).

Materiál	Drsnost Ra [μm]									
	Pracovní záběr ostří a_e [mm]									
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1.2312	0,83	0,86	0,92	1,00	1,10	1,23	1,38	1,55	1,75	1,97
1.2738	0,45	0,49	0,55	0,64	0,76	0,90	1,07	1,26	1,48	1,72
	Drsnost Rz [μm]									
1.2312	4,67	4,80	5,01	5,32	5,71	6,19	6,75	7,40	8,14	8,96
1.2738	3,71	3,86	4,11	4,46	4,91	5,46	6,12	6,87	7,72	8,68

Tab. 3.4 Skutečné hodnoty Ra a Rz pro frézování

Ověření navržených metodik bylo provedeno zvolením hodnoty průměrné aritmetické úchytky $Ra = 1\mu\text{m}$. Z grafu i tabulky byly odečteny hodnoty a_e materiálu 1.2738. Ze zjištěných hodnot bylo zřejmé, že rozdíl mezi oběma hodnotami je minimální, tudíž u obou navržených metodik docházíme k prakticky stejným výsledkům - $a_e = 0,325\text{mm}$. Za těchto řezných podmínek bylo provedeno opětovné frézování a následné měření s výsledným bodovým odhadem aritmetického průměru z pěti měření $0,91\mu\text{m}$, což je hodnota menší než požadovaná průměrná aritmetická úchytky ($Ra = 1\mu\text{m}$).

Zkouška tedy potvrdila, že pomocí obou zvolených metodik lze určit potřebnou hodnotu pracovního záběru ostří při frézování zvoleného materiálu. Ostatní řezné podmínky pro obrábění (v_c, v_f, f) lze vyhledat pomocí tabulek uvedených v katalogu použitého řezného nástroje.

4 ZÁVĚR

Práce byla zaměřena na řešení problematiky predikce řezných podmínek v závislosti na požadované drsnosti povrchu. Byl proveden návrh dvou různých metodik, s následným praktickým ověřením pomocí experimentu při jemném soustružení a frézování.

První metodika spočívá v experimentálním zjištění skutečných hodnot parametrů drsnosti Ra a Rz pro daný materiál a poloměr špičky nástroje. Pomocí zjištěných hodnot byly vytvořeny grafické závislosti $f = f(Ra)$ a $f = f(Rz)$, ze kterých lze jednoduchým způsobem zjistit posuv nástroje pro požadovanou drsnost povrchu.

Druhá metodika vychází z předpokladu určité závislosti teoretické a skutečné hodnoty parametru drsnosti. Teoretické hodnoty parametrů drsnosti Ra a Rz byly odvozeny pro I. typ reprodukce nástroje tzv. obloukový - výsledný povrch tvoří pouze poloměr špičky nástroje bez záběru hlavního a vedlejšího ostří. Vzniklé závislosti mezi naměřenými a teoretickými hodnotami mohou být vyjádřeny pomocí regresních rovnic. Dosazením vypočtených teoretických hodnot do těchto rovnic lze vytvořit tabulky skutečných hodnot Ra a Rz v závislosti na posuvu. Z nich je poté možno určit posuv nástroje pro požadovanou drsnost povrchu.

Pro použití v praxi se jeví jako výhodnější druhá navržená metodika, u které lze i při malém počtu měření zjistit rovnicí udávající hledanou závislost. Z následně vytvořených tabulek je možno snadno určit odpovídající posuv při soustružení popř. pracovní záběr ostří při frézování. Takovéto tabulky by měly být vytvořeny pro všechny etalonové materiály a pro ostatní materiály zjištěny opravné koeficienty.

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti při jemném soustružení jsou příliš vysoké a nejeví se jako možná náhrada soustružení za broušení. Je to především způsobeno vznikem nárůstku při experimentu a starším typem použitého soustruhu. Naopak u jemného frézování na CNC frézce lze plně uvažovat o možnosti náhrady za broušení. Výhodné je také to, že frézováním lze vytvářet tvarově složitější součásti. Pokud bychom chtěli u frézování docílit ještě nižších hodnot parametrů drsnosti, jsou zde dvě možná řešení. První spočívá v rozdělení posledního přídávku na minimálně dva, z toho ten úplně poslední by se pohyboval v setinách milimetru. Druhá možnost snížení hodnot je pomocí tvorby dvou programů, které frézují daný tvar navzájem kolmo nebo pod jiným úhlem. Oba dva způsoby eliminují otlacení nástroje především při obrábění tvrdých materiálů. U obou zlepšení drsnosti je však nutno počítat s nárůstem strojního času.

Přínos této disertační práce je možno spatřovat v navržených metodikách pro rychlou orientaci nejen technologů popř. programátorů při volbě řezných podmínek v závislosti na požadované drsnosti povrchu.

5 SUMMARY

5.1 CURRENT ISSUES CONCERNING THESE PROBLEMS

The main target of cutting technology is in particular assuring of optimal utilization of modern manufacturing technology of computerized, but also conventional cutting tools by utilization of efficient tooling material and progressive constructions of tools at optimal cutting conditions. Optimal utilization of modern manufacturing technology signify comprehensive assuring of cutting process away along with assuring basic demands on workpiece quality. Structure of tooled surface belongs among basic quality demands of machine parts therefore there is laid stress on specification of particular parameters describing surface structure of workpiece. When evaluating the newly-formed surface it is necessary to result from the matter that machining is cutting process whose principle is process of plastic deformation that impacts quality of surface layer. Structure of tooled surface can be identified by number of characteristics however in practise have the parameters of surface roughness the decisive importance. Functional requirements on surface roughness of machined piece are specified in respective documentation.

In nowadays is the evaluation of surface roughness specified in standard ČSN EN ISO 4287 event. ČSN EN ISO 4288 issued in year 1999. In this amended standard are integrated ISO and EN standards, thereupon has changed also terminology, marking and view of piece. About that suggests also name of this set of standards “Geometric demands on products (GPS)”.

5.2 MAIN RESULTS OF THE WORK

According to the form and specified values has to be selected mainly the last operation by which will be achieved the required final surface. For the proposed finishing method is than essential to determine requisite cutting conditions. These conditions are proposed in consideration of machinery, used tools of company and machined material. Cutting conditions are defined in figures, catalogues or another available literature. Nevertheless in any of them cannot a production engineer find the answer on following question: “Which cutting conditions is necessary to prescribe for achieving required surface roughness?”. Figures or graphs which would enable to define quickly the conditions of cutting process have been missing in the practice.

Possibilities how to solve this problem can be seen in finding a suitable procedure for generating the figures or graphs for their selection. For this purpose were realized experiments at selected cutting conditions on materials of various machinability grades.

Were proposed two possible methods for defining of cutting conditions in dependence on required roughness:

1. Creating of graphical dependency of real values $f = f(Ra)$ eventually $f = f(Rz)$ for particular materials.
2. Creating of graphical or tabular dependency $Ra = f(Ra_t)$ eventually $Rz = f(Rz_t)$.

Through the use of regressive analyse were for both methods created curves (quadratics) that describe in the best way the tendency of measured values.

For proposing of methods were used experimentally ascertained values of roughness parameters obtained by fine turning on four materials of various machinability grades. As a constant parameter of turning was selected the chip depth of reduction, as a variable parameter was selected the cutting speed, feed and a radius of tool tip. Procedure of respective measuring of selected roughness parameters was undertaken from the standard ČSN EN ISO 4288.

Verification of proposed procedures was performed at fine turning respectively by selection of value of average arithmetic variety $Ra = 1\mu\text{m}$. From the graph and figure were ascertained necessary cutting conditions and the experiment was performed. The test proved that through the use of both methodics can be defined necessary value of working cut of edge at cutting of selected material.

5.3 CONCLUSION

This work targeted the solution of problems with prediction of cutting conditions in dependence on required surface roughness. A proposal of two different procedures was carried out with subsequent practical verification by means of experiment at fine turning and milling.

For use in practise seems to be more convenient the second of proposed procedures – it is possible to make out quadratics indicative of inquired dependency even at small number of measuring. From subsequently created figures can be easily defined corresponding feed at turning eventually working cut of edge at machining. Figures like that shall be created for all etalon materials and for other materials shall be made out correcting coefficients.

Measured values of roughness parameters at fine turning are too high and do not appear as a contingent replacement of turning for grinding. This is namely caused by creation of built-up edge when carrying out the experiment and the older type of used turning machine. On the contrary at fine milling on CNC machine can be fully thought of contingent replacement for grinding. There is also advantageous the fact that by milling can be created shapely much more complicated parts.

Benefit of this thesis can be seen in proposed methodics for quick orientation of not only production engineers event.programmers when selecting cutting conditions in dependency on required surface roughness.

6 LITERATURA

- [1] BENEŠ, V. - MRKVICA, M. *Teorie řezných nástrojů*. Skriptum ČVUT Praha, 1990
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. – 1.díl Fyzikálně mechanické zákonitosti procesu obrábění*. Skriptum VŠB TU Ostrava, 1994
- [3] BUDA, J. - BÉKÉS, J. *Teoretické základy obrabania kovov*. 1.vyd. Alfa Bratislava, 1977
- [4] BUMBÁLEK, B. – ODVODY, V. – OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. 1.vyd. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1989
- [5] BUMBÁLEK, B. - OŠŤÁDAL, B. - FILIP, M. - SVOBODA, E. *Typologie povrchu vyrobených různými metodami obrábění*. VZ, VÚ Brno, 1985
- [6] FIALA, J. – BEBR, A. – MATOŠKA, Z. *Strojnické tabulky – díl 1 – Materiály pro strojírenskou výrobu*. SNTL Praha, 1990
- [7] KARAFIÁTOVÁ, S. – LANGER, I. *Technologie soustružení*. Fragment Havlíčkův Brod, 1998
- [8] KOČMAN, K. – PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Akademické nakladatelství CERM Brno, 2001
- [9] LIEMERT, G. *Obrábění*. SNTL Praha, 1974
- [10] MÁDL, J. *Teorie obrábění*. Skriptum ČVUT Praha, 1989
- [11] MÁDL, J. – KVASNIČKA, I. *Optimalizace obráběcího procesu*. Skriptum ČVUT Praha, 1998
- [12] MRKVICA, M. *Obrábění I. Obrábění nástroji s geometricky definovaným břitem*. Skriptum VŠB TU Ostrava, 1993
- [13] PERNIKÁŘ, J. – TYKAL, M. – VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie – část metrologie*. Skriptum VUT FSI Brno, 2001
- [14] Sandvik Coromant. *Příručka obrábění – kniha pro praktiky*. Scienta, 1997
- [15] ŠIKULOVÁ, M. – KARPÍŠEK, Z. *Matematika IV. – Pravděpodobnost a matematická statistika*. Skriptum VUT FS Brno, 1987
- [16] ČSN EN ISO 3274: 1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů. Praha: Český normalizační institut, 1999. 18s.

- [17] ČSN EN ISO 4287: 1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrch. Praha: Český normalizační institut, 1999. 22 s.
- [18] ČSN EN ISO 4288: 1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu.. Praha: Český normalizační institut, 1999. 15 s.
- [19] ČSN EN ISO 11562: 1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Metrologické charakteristiky fázově korigovaných filtrů. Praha: Český normalizační institut, 1999. 11 s.
- [20] ČSN EN ISO 13565-1: 1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření. Praha: Český normalizační institut, 1999. 10 s.
- [21] ČSN EN ISO 13565-2: 1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 2: Výškové charakteristiky využívající křivku lineárního materiálového poměru. Praha: Český normalizační institut, 1999. 10 s.

7 ŽIVOTOPIS AUTORA

Jméno: Václav POTÁCEL, Ing.

Datum narození: 16.září 1972

Místo narození: Bruntál, okres Bruntál

Vzdělání: 1999- Alfaplastik a.s. Bruntál
pracovník CAD-CAM
1996-1999 VUT FSI Brno
Externí doktorand při Ústavu strojírenské technologie,
1991-1996 VUT FS Brno
Ústav strojírenské technologie, odbor strojírenská
technologie, specializace obrábění, téma diplomové práce:
Konstruování řezných nástrojů pro soustružení v systému
CAD
1986-1990 SPŠ Bruntál
Obor strojírenská technologie

Praxe v oboru:

VUT FS Brno - pedagogická činnost - vedení cvičení: Technologie II., 2.ročník

Alfaplastik Bruntál

- konstrukce a návrh technologie výroby forem pro vstřikování plastů
- programování CNC frézovacích strojů
- elektrojiskrové obrábění (návrh a výroba elektrod)

Vědecký a odborný profil:

Publikace na seminářích a konferencích:

Prokop, J. – Potácel, V. *Parametry drsnosti povrchu obrobené plochy při jemném soustružení jako funkce řezných podmínek.* In.: Sborník, 6. Mezinárodní konference CO-MAT-TECH '98, ISBN 80-227-1112-8, str. 596-601, 22-23.Oktober 1998, Slovensko, Trnava

Potácel, V. *Hodnocení drsnosti obrobeného povrchu při jemném soustružení.* Strojírenská výroba 3/98, str. 13-17, UJEP Ústí nad Labem, 1998

Prokop, J. – Potácel, V. *Predikce parametrů drsnosti povrchu obrobené plochy při jemném soustružení.* Strojírenská technologie 2/99, ročník IV., 1999

Grant:

Bumbálek, B. – Bumbálek, L. – Potácel, V. *Hospodárná drsnost povrchu součástí a jejich určování při optimalizaci řezných podmínek obrábění materiálů v různých třídách obrobitelnosti.* Reg. Č. 101/96/1525, listopad 1998