

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÉ VLIVY NA PARAMETRY STRUKTURY POVRCHU OBROBENÉ PLOCHY

TECHNOLOGICAL INFLUENCE OVER PARAMETERS STRUCTURE TOOLED SURFACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ KUNZ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou parametrů struktury povrchu u obráběných součástí, obsahuje jejich rozdělení a popis včetně názorných obrázků. Dále práce popisuje technologické vlivy, které je nejvíce ovlivňují, doplněné podrobným popisem každého z nich. V další kapitole jsou zpracována dvě praktická měření. Obě jsou zaměřena na velikosti vybraných parametrů struktury povrchu, první měření je navíc doplněné o rozměrovou přesnost. Závěr práce je věnován teoretickým a doporučeným hodnotám a srovnání těchto hodnot s výsledky předchozích experimentů.

Klíčová slova

Struktura povrchu, parametry struktury povrchu, technologické podmínky

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the analysis of parameters structure tooled surface, it contains their division and description including schematic pictures. Next thesis describes technological influence, which they mostly affect, completed detailed description each of them. In next chapter are processed two practical measurements. Both of them are specialized on sizes of selected parameters structure surface, first measurement is in addition completed about size accuracy. End of thesis is devoted theoretical and recommended values and comparison these values with results previous experiments.

Key words

Structure surface, parameters structure surface, technological conditions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUNZ, Jiří. *Technologické vlivy na parametry struktury povrchu obrobené plochy: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 45 s., 0 příloh. doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologické vlivy na parametry struktury povrchu obrobené plochy vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

19.5.2008

.....
Jiří Kunz

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	9
1 SPECIFIKACE PARAMETRŮ STRUKTURY POVRCHU	
OBROBENÝCH PLOCH.....	10
1.1 Struktura povrchu	10
1.2 Profil nerovnosti povrchu	11
1.3 Definice parametrů struktury povrchu.....	12
1.3.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně)	13
1.3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)	15
1.3.3 Délkové parametry	16
1.3.4 Tvarové parametry	17
1.3.5 Křivky a odpovídající parametry	17
2 ANALÝZA TECHNOLOGICKÝCH VLIVŮ NA PARAMETRY	
STRUKTURY POVRCHU.....	19
2.1 Řezné podmínky.....	19
2.2 Vlastnosti obráběného materiálu	20
2.3 Geometrie bříty.....	21
2.4 Stabilita řezného procesu	23
2.5 Chlazení a mazání.....	24
3 KVANTIFIKACE REALIZOVANÝCH PARAMETRŮ STRUKTURY	
POVRCHU.....	25
3.1 Parametry struktury povrchu v závislosti na posuvu při dané VBD.....	25
3.1.1 Charakteristiky zkoušky.....	25
3.1.2 Výsledky zkoušky	26
3.1.3 Statistická interpretace výsledků	27
3.2 Parametry struktury povrchu v závislosti na posuvu a tvaru VBD	33
3.2.1 Charakteristiky zkoušky.....	33
3.2.2 Výsledky zkoušky	34

4 DOSAHOVANÉ PARAMETRY STRUKTURY POVRCHU

PŘI DANÝCH TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNKÁCH	36
4.1 Teoretické hodnoty parametrů struktury povrchu	36
4.1.1 Výpočtové vztahy pro parametry struktury povrchu při soustružení ...	36
4.1.2 Výpočtové vztahy pro parametry struktury povrchu při frézování	37
4.2 Doporučené řezné podmínky pro vybrané způsoby obrábění	38
4.3 Dosahovaná struktura povrchu a přesnost	39
4.4 Zhodnocení a porovnání výsledků měření s teoretickými hodnotami	40
Závěr	41
Seznam použitých zdrojů	42
Seznam použitých zkratk a symbolů	43

ÚVOD

Obrábění řeznými nástroji musí vzhledem k četným požadavkům kladeným na vyráběné obrobky splňovat určité předpoklady. K základním požadavkům obráběných strojírenských součástí patří vlastnosti povrchu. Struktura povrchu obrobené plochy se musí pohybovat v rozsahu určitých zadaných hodnot, které je možné na různých strojích nezávisle na času, místě a v libovolném počtu opakovaně dosahovat. Celkový stav povrchu obrobené plochy lze identifikovat několika charakteristikami, z nichž pro praxi mají rozhodující význam parametry drsnosti povrchu.

V praxi není žádný povrch dokonale rovný, i když vypadá hladce a leskle. Struktura povrchu každé plochy by se měly pohybovat v určitých zadaných mezních hodnotách. Je důležité zvolit správnou metodu obrábění, která by zajistila dostatečně kvalitní obrobenou plochu a zaručovala tak správnou funkci součásti.

Měření struktury povrchu se v současné době provádí měřícím hrotem, který snímá měřený úsek. Mimo to existují ještě další elektronické nebo optické metody pro snímání profilu povrchu.

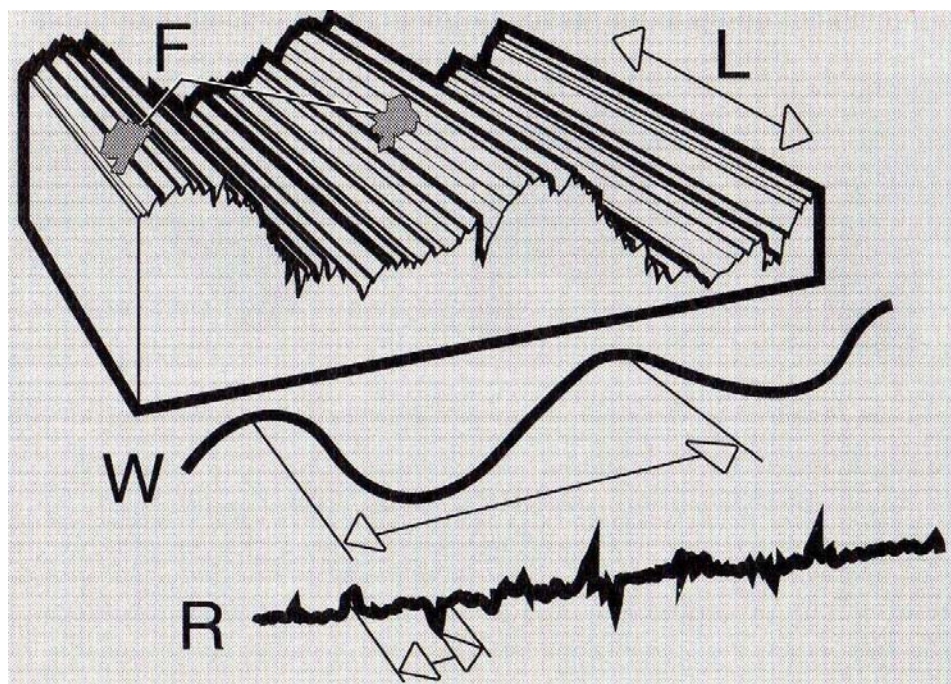
1 SPECIFIKACE PARAMETRŮ STRUKTURY POVRCHU OBROBENÝCH PLOCH

1.1 Struktura povrchu

Strukturou povrchu, dříve též nazývanou drsností povrchu, se rozumí část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností (1).

- **Mikronerovnost** - *jemná nerovnost* /*drsnost povrchu*/
- je dána stopami, které zanechává řezný nástroj, případně brusivo.
- **Makronerovnost** - *rozlehlejší periodická nerovnost* /*vlnitost povrchu*/
- nejčastěji způsobují vibrace soustavy Stroj - Nástroj - Obrobek - Prostředí.

Na jemných a hrubých strukturách povrchových ploch obráběných řeznými nástroji se projevují nepravidelnosti, které vznikly při obrábění. Velmi malé nepravidelnosti jsou označovány jako **drsnost (R)**. Pod tímto pojmem se všeobecně rozumí jemně strukturované mikrogeometrické odchylky od ideálního profilu povrchu. Tyto odchylky se určují po jednotlivých krátkých vyhodnocovacích úsecích. Dalším stupněm nepravidelností, zjišťovaných po jednotlivých porovnatelných krátkých vyhodnocovacích úsecích, je **vlnitost (w)**. Vzdálenosti nejvyšších a nejnižších bodů jsou větší než u drsnosti a odpovídajícím způsobem větší je rovněž délka testovaného úseku. Drsnost je makrogeometricky překryta vlnitostí. **Textura povrchu (L)** je uspořádání stop (rýh) po obrábění a **porušená místa (F)** jsou chyby separátně zjišťované konečnou kontrolou. Vady povrchu způsobené náhodným poškozením (rýhy) nebo vady materiálu (trhliny, póry) se do struktury povrchu nezahrnují, viz obr 1.1 (1, 2).



Obr. 1.1 Nerovnosti povrchu (2)

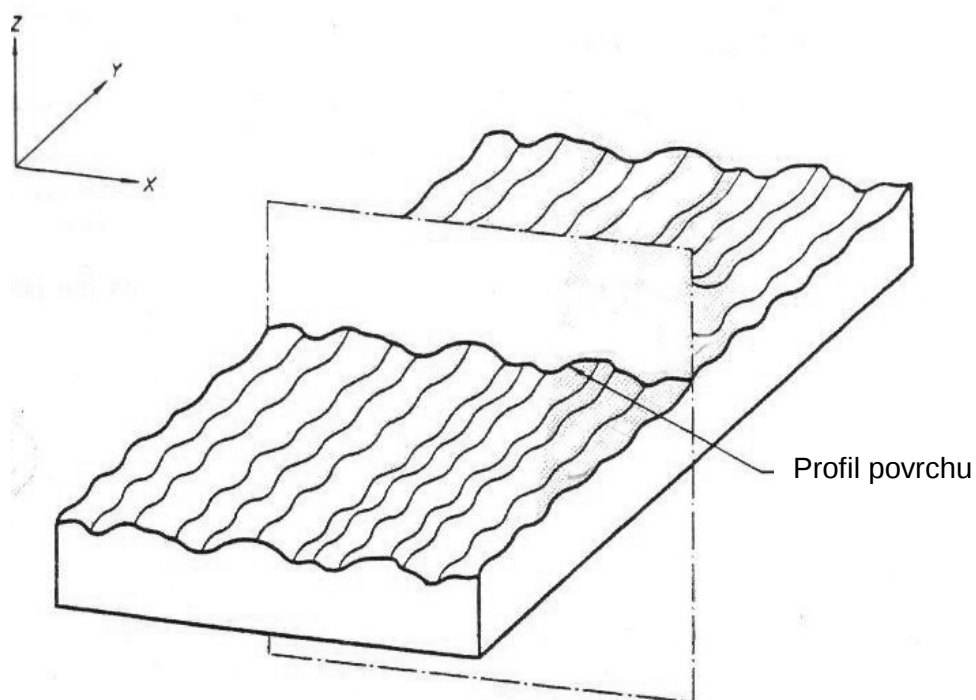
Norma ČSN EN ISO 4287 definuje na profilu následující geometrické parametry:

- P - parametr** - parametr vypočítaný ze základního profilu
- R - parametr** - parametr vypočítaný z profilu drsnosti
- W - parametr** - parametr vypočítaný z profilu vlnitosti

Drsnost povrchu je nejdůležitější složka struktury povrchu, proto se nadále bude tato bakalářská práce zabývat právě tímto parametrem.

1.2 Profil nerovnosti povrchu

Libovolná technologická metoda, použita při realizaci povrchu technických ploch zanechává nerovnosti, které mají zásadní význam při funkci těchto ploch. Nerovnosti na povrchu představují prostorový útvar, který by bylo velmi obtížné posuzovat. Problém posuzování nerovností (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, viz obr. 1.2 (3).



Obr. 1.2 Profil povrchu (4)

1.3 Definice parametrů struktury povrchu

Pro popis parametrů struktury povrchu je nutné definovat základní a vyhodnocovanou délku (4).

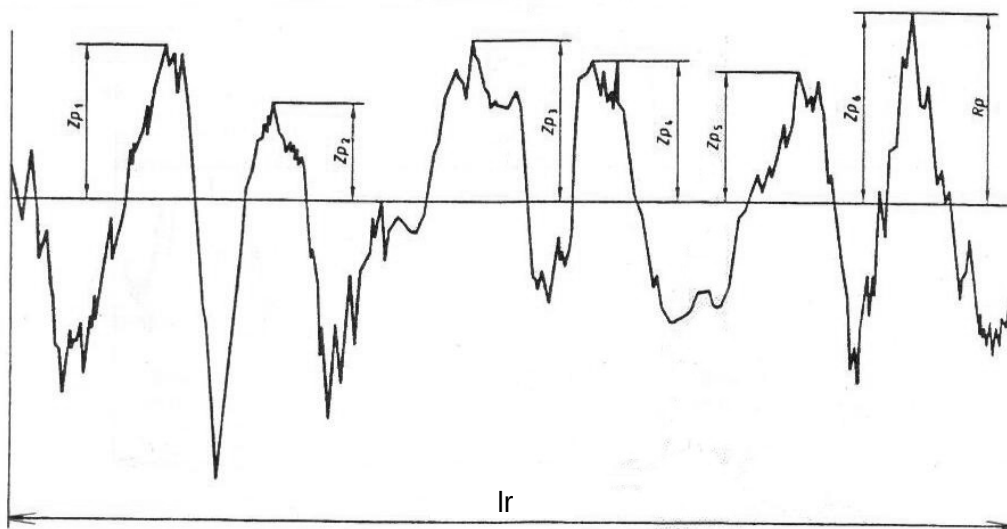
Základní délka je délka ve směru osy x , použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil, viz obr. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.9.

Vyhodnocovaná délka je délka ve směru osy x , použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu, viz obr. 1.7, 1.10.

1.3.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně)

A) Největší výška výstupku profilu R_p

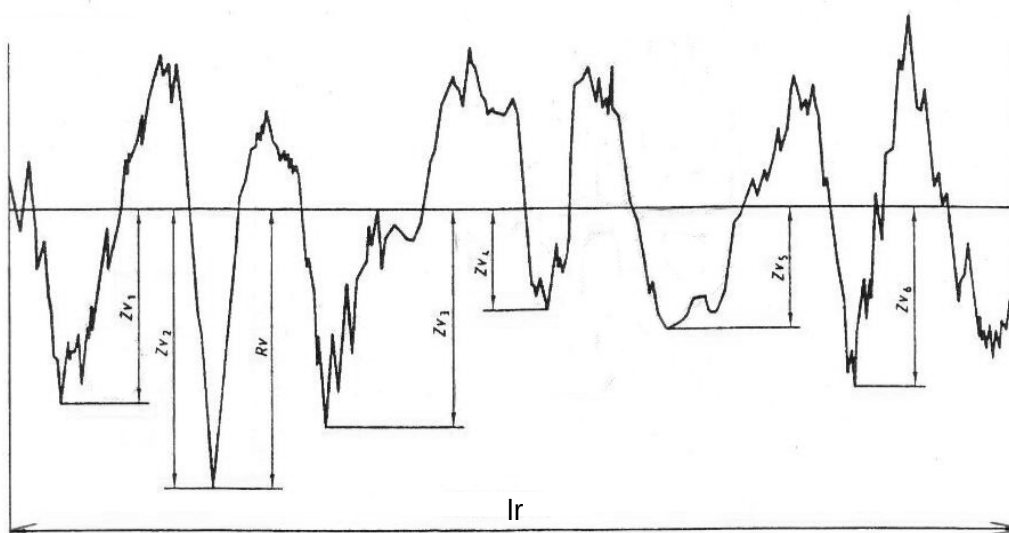
je výška Z_p nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky, viz obr. 1.3 (4).



Obr. 1.3 Největší výška výstupků profilu (4)

B) Největší hloubka prohlubně profilu R_v

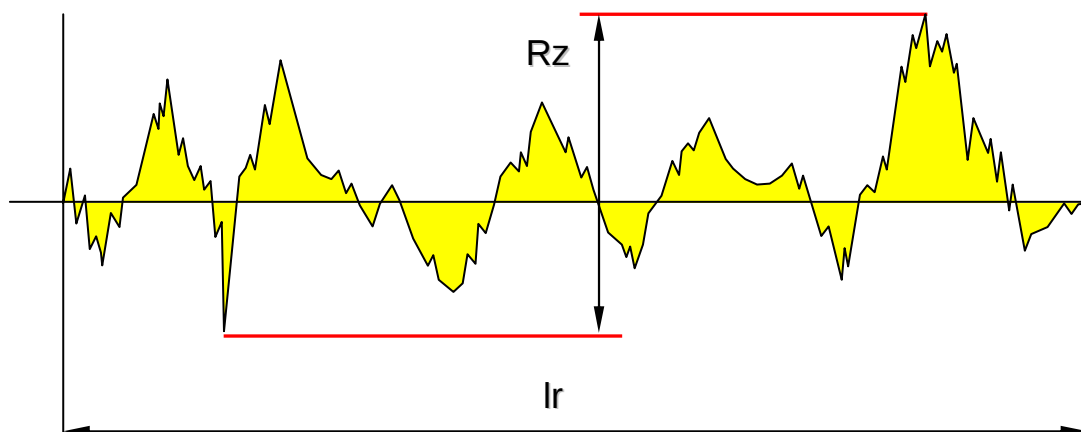
je hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky, viz obr. 1.4 (4).



Obr. 1.4 Největší hloubka prohlubně profilu (4)

C) Největší výška profilu R_z

je součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky, viz obr. 1.5 (4).



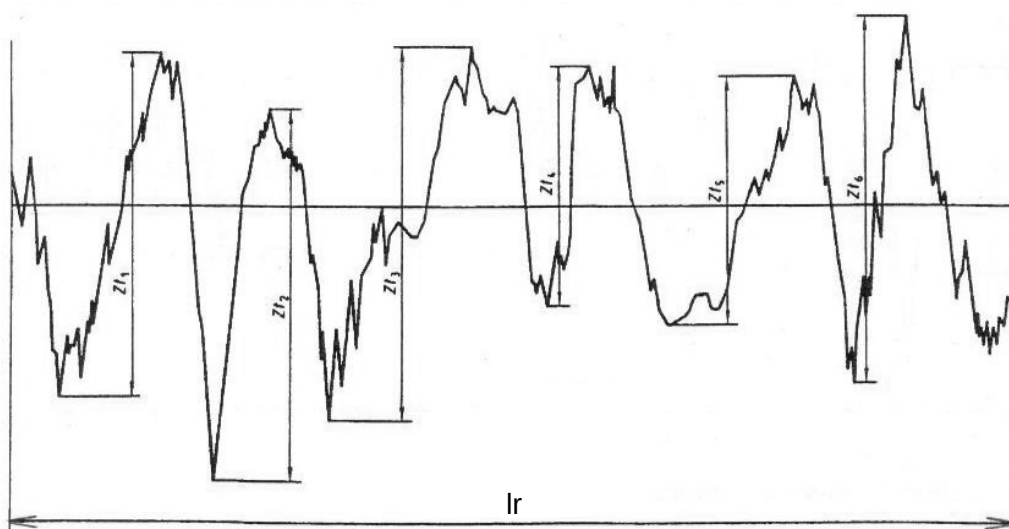
Obr. 1.5 Největší výška profilu (1)

D) Průměrná výška prvků profilu R_c

je průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky, viz obr. 1.6 (4).

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (1.1)$$

m – počet výšek prvků profilu v rozsahu základní délky

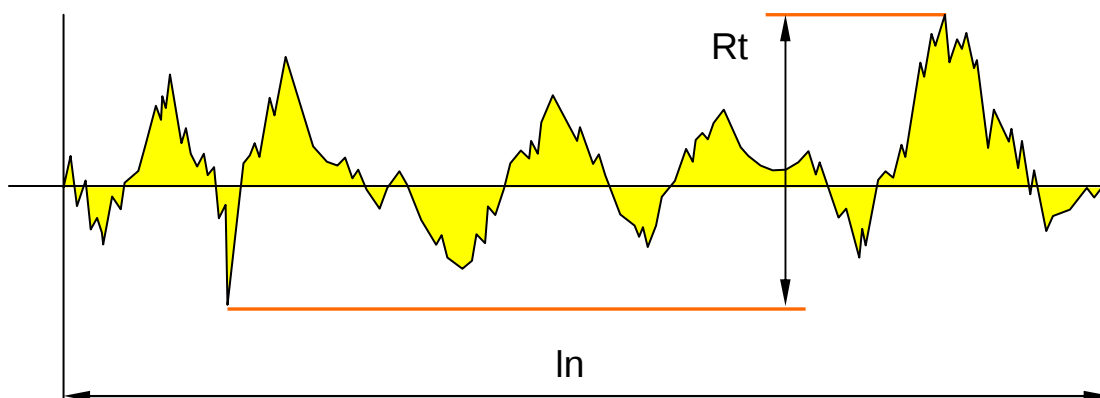


Obr. 1.6 Výška prvků profilu (4)

E) Celková výška profilu R_t

je součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky, viz obr. 1.7 (4).

$$R_t = Z_{p_{\max}} + |Z_{v_{\max}}| \quad (1.2)$$

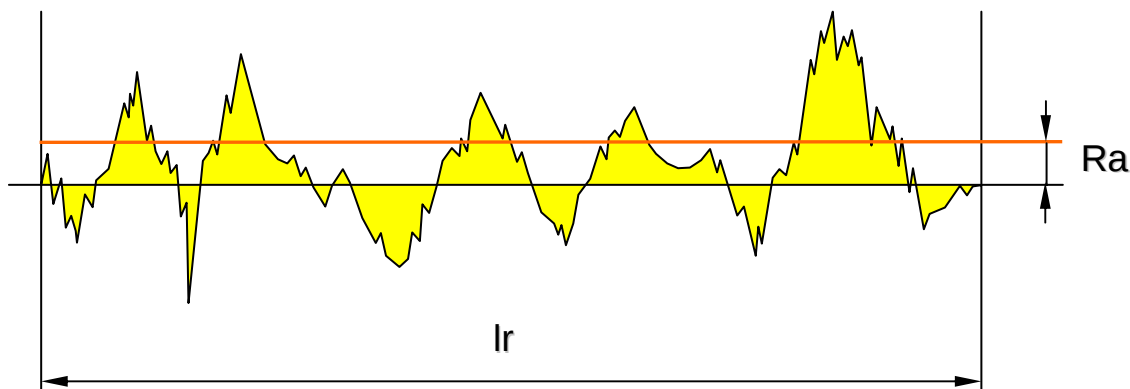


Obr. 1.7 Celková výška profilu (1)

1.3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)**A) Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a**

je aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky, viz obr. 1.8 (4).

$$R_a = \frac{1}{l_r} \cdot \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1.3)$$



Obr. 1.8 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu (1)

B) Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu Rq

je kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky (4).

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} Z^2(x) dx} \quad (1.4)$$

C) Šikmost posuzovaného profilu Rsk

je podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky (4).

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} Z^3(x) dx \right] \quad (1.5)$$

D) Špičatost posuzovaného profilu Rku

je podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky (4).

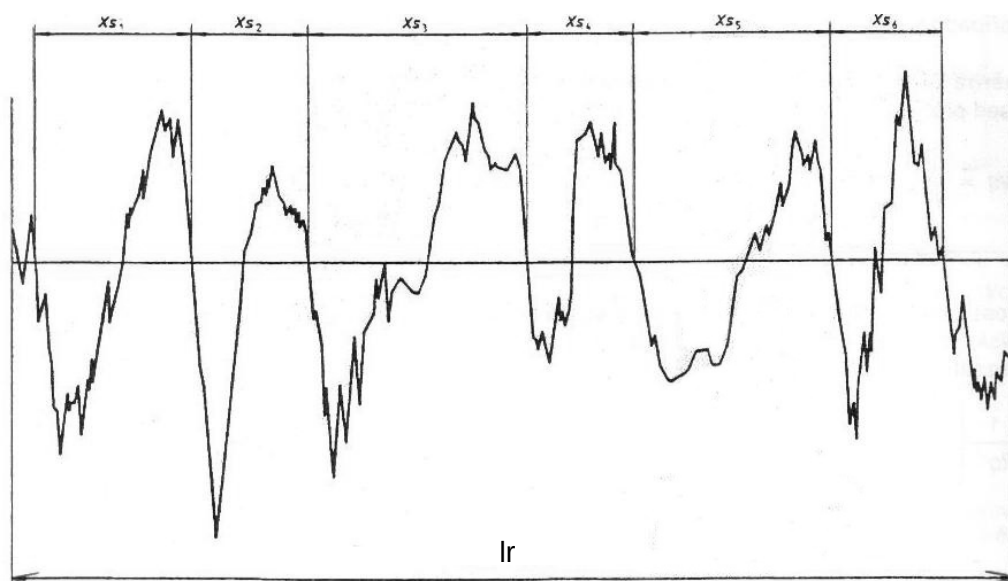
$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} Z^4(x) dx \right] \quad (1.6)$$

1.3.3 Délkové parametry**A) Průměrná šířka prvků profilu RSm**

je aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky, viz obr. 1.9 (4).

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (1.7)$$

m – počet šířek prvků profilu v rozsahu základní délky



Obr. 1.9 Šířka prvků profilu (4)

1.3.4 Tvarové parametry

A) Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu $R\Delta q$

je kvadratický průměr sklonu pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky (4).

1.3.5 Křivky a odpovídající parametry

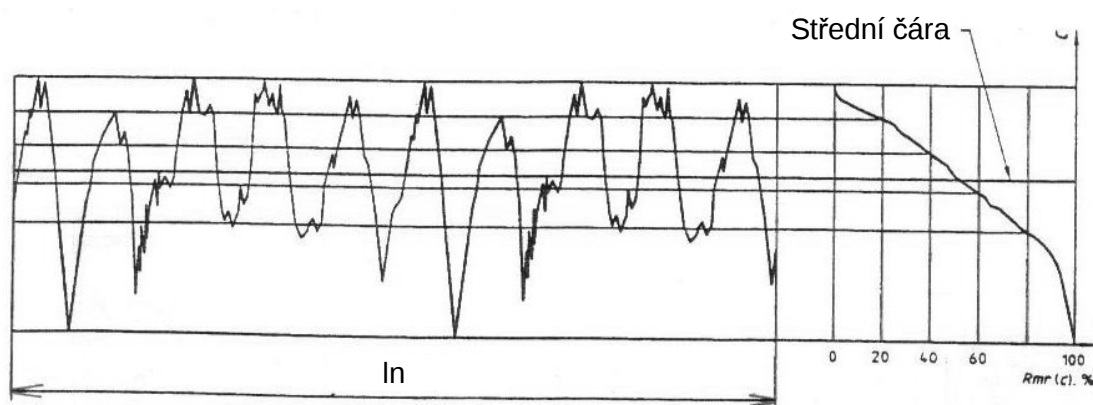
A) Materiálový poměr profilu (nosný podíl) $Rmr(c)$

je poměr délky materiálu elementů profilu $MI(c)$ na dané úrovni c , k vyhodnocované délce (4).

$$Rmr(c) = \frac{MI(c)}{l_n} \quad (1.8)$$

B) Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka)

je křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně, viz obr. 1.10 (4).



Obr. 1.10 Křivka materiálového poměru (4)

C) Rozdíl výšky úseku profilu $R\delta c$

je svislá vzdálenost mezi úrovněmi dvou úseků daného materiálového poměru (4).

$$R\delta c = C(Rmr1) - C(Rmr2)$$

obecně platí ($Rmr1 < Rmr2$)

(1.9)

D) Vzájemný materiálový poměr Rmr

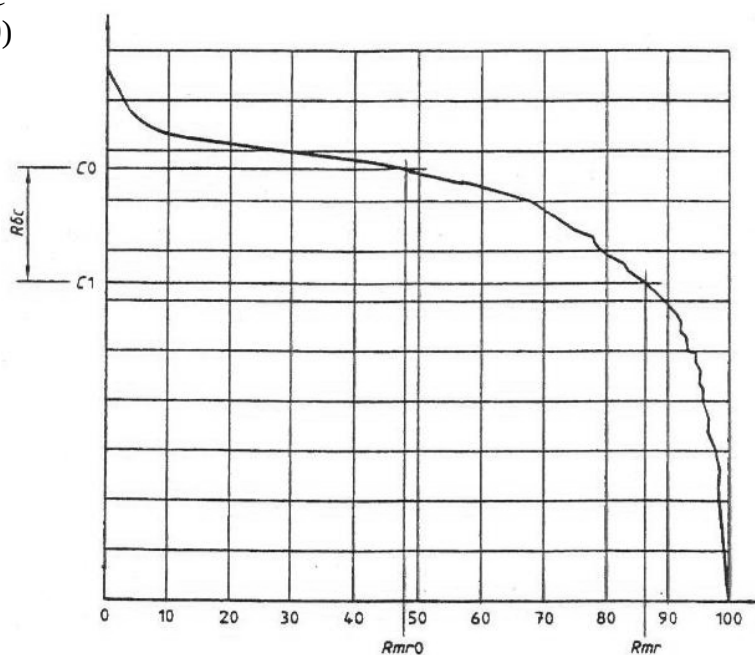
je materiálový poměr určený na úrovni části profilu $R\delta c$, vtažený k úrovni $C0$, viz obr. 1.11 (4).

$$Rmr = Rmr(C1)$$
(1.10)

kde

$$C1 = C0 - R\delta c$$

$$C0 = C(Rmr0)$$



Obr. 1.11 Oddělování úrovní částí profilu (4)

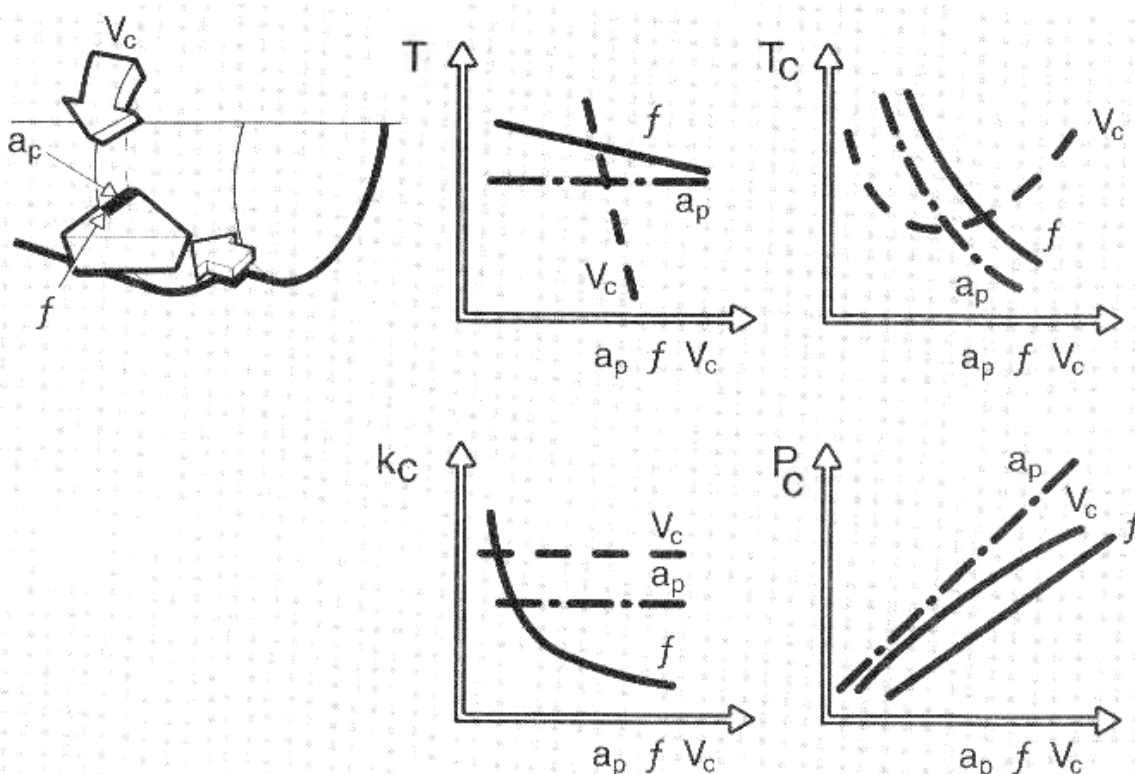
2 ANALÝZA TECHNOLOGICKÝCH VLIVŮ NA PARAMETRY STRUKTURY POVRCHU

Technologické vlivy na parametry struktury povrchu jsou v této bakalářské práci převážně **zaměřeny na průměrnou aritmetickou úchylku profilu Ra při soustružení.**

2.1 Řezné podmínky

Tři proměnné řezných podmínek, z nichž největší vliv na parametry struktury povrchu má posuv na otáčku (f), dále řezná rychlost (v_c) a šířka záběru ostří (a_p), mají různý vliv na proces obrábění, na jeho průběh a výsledky.

Dále existují čtyři veličiny, které ovlivňují operaci obrábění: trvanlivost bříty (T), doba záběru (T_C), měrná řezná síla (k_C) a řezný příkon (P_C). Jaký vliv mají řezné podmínky na tyto čtyři faktory, je zřejmé z příslušných diagramů, viz obr. 2.1 (2).



Obr. 2.1 Čtyři faktory obrábění: trvanlivost bříty, doba záběru, měrná řezná síla a příkon stroje (2)

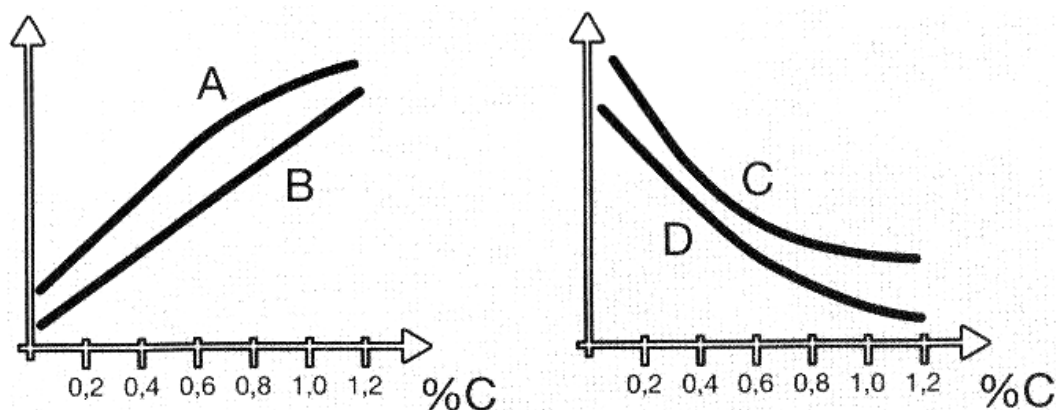
Důležitým principem při přizpůsobování řezných podmínek pro nástroj zvolený k provedení operace je optimalizační pořadí: nejprve je nutné zvolit šířku záběru ostří a následně pak posuv na otáčku v souladu s doporučenou oblastí použití pro daný břit. Nakonec se určí řezná rychlost v souladu s přiřazením materiálu břitu k materiálu obrobku a příkonu stroje (2).

2.2 Vlastnosti obráběného materiálu

Největší vliv na parametry struktury povrchu v závislosti na vlastnostech obráběného materiálu má obrobitelnost.

Většina materiálů obrobků, používaných pro obrábění řeznými nástroji, jsou slitiny železa, hliníku, mědi a niklu. Mechanické vlastnosti a obrobitelnost slitin se od mechanických vlastností a obrobitelnosti základních kovů zásadně liší. Podobné výsledky chemické analýzy, avšak u vzájemně odlišných struktur, obvykle znamenají rozdílnou obrobitelnost materiálu obrobku. Mimo to určuje obrobitelnost rovněž kvalita materiálu a výrobní proces. Může být užitečné rozdělit obráběné materiály do různých skupin, hodnocených jako snadno obrobitelné, běžně a obtížně obrobitelné (2).

Před zahájením procesu obrábění by se měla posoudit a ověřit obrobitelnost materiálu, do jaké míry tento materiál připouští optimalizaci podmínek obrábění. Při posuzování je nutné se soustředit na podstatné vlastnosti vztažené k materiálu a rovněž na to, jak tyto vlastnosti na obrobitelnost působí. Níže uvedené diagramy znázorňují, jak se mění následující čtyři mechanické vlastnosti při různém obsahu uhlíku: **A**: pevnost v tahu, **B**: tvrdost, **C**: pevnost v ohybu a **D**: tažnost, viz obr. 2.2 (2).

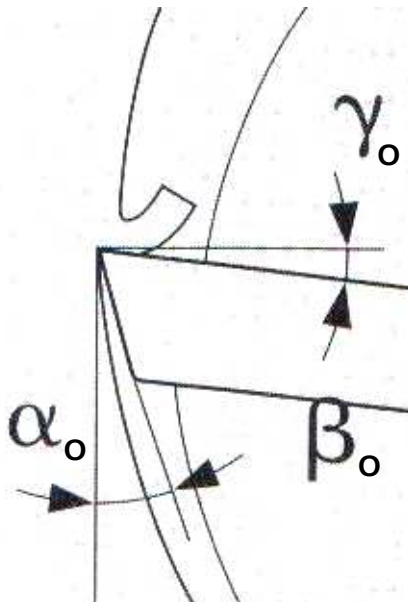


Obr. 2.2 Průběh mechanických vlastností v závislosti na obsahu uhlíku:

A - pevnost v tahu, **B** - tvrdost, **C** - pevnost v ohybu, **D** – tažnost (2)

2.3 Geometrie břitu

Na parametry struktury povrchu má rozhodující vliv geometrie břitu, která je charakterizována především úhly čela (γ), břitu (β) a hřbetu (α), úhly nastavení hlavního (κ) a vedlejšího (κ') ostří a poloměrem špičky břitu (r_ϵ), viz obr. 2.3, 2.4 (2).

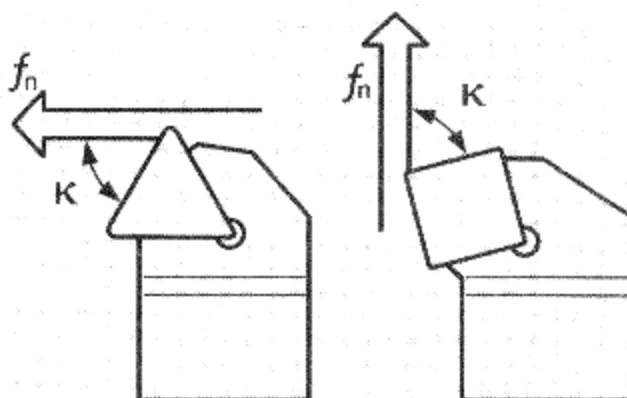


Obr. 2.3 Úhel čela, břitu a hřbetu v ortogonální rovině (2)

Opotřebení hřbetu mění geometrii břitu a způsobuje zmenšení úhlu hřbetu. Rozhodujícím kritériem pro určení, kdy má být vyměnitelná břitová destička vyměněna, je proto v konečné fázi obrábění otázka, bylo-li dosaženo požadované struktury obrobeného povrchu nebo ne (2).

Každá geometrie bříty je přiřazená určité oblasti použití, ve které jsou utvářeny třísky a stabilita bříty v přijatelných hodnotách. Kombinace rezný materiál / geometrie bříty zajišťují stejnou použitelnost bříty pro četné varianty obrábění (2).

Jakým způsobem proniká břit nástroje do obrobku, závisí na velikosti úhlu nastavení hlavního ostří (κ). Úhel nastavení hlavního ostří je úhel, tvořený hlavním ostřím vyměnitelné břitové destičky a směrem posuvu. Úhel nastavení hlavního ostří neovlivňuje pouze utváření třísky, má vliv například také na směr působení rezných sil, efektivní délku ostří, polohu bříty vůči obrobku a rovněž na to jaké operace lze daným nástrojem provádět, viz obr. 2.4 (2).



Obr. 2.4 Úhel nastavení hlavního ostří je ovlivňován směrem posuvu (2)

Úhel nastavení hlavního ostří může být volen tak, aby nástroj mohl pracovat při různém směru posuvu. Tím se obrábění stává mnohostranným a může se dosáhnout snížení počtu nástrojů potřebných pro obrobení dané součásti. Alternativně může být břit opatřen delším ostřím. Tloušťku třísky lze zredukovat a tím zatížení bříty rozdělit na větší plochu.

Volba úhlu nastavení hlavního ostří může ovlivnit trvanlivost vyměnitelné břitové destičky. Tenčí tříska rozdělí zatížení po délce bříty a spotřebuje menší množství energie v porovnání s třískou větší tloušťky. Menší zatížení bříty je všeobecně výhodnější, což vysvětluje, proč se pro obrábění těžce obrobitelných materiálů a obrábění přerušovaným řezem využívají často menší úhly nastavení hlavního ostří (2).

2.4 Stabilita řezného procesu

Při různých procesech obrábění se často vyskytují problémy vyvolávané vibracemi. Následkem toho se může projevit špatná dosahovaná struktura obrobeného povrchu, nedostatečná přesnost rozměrů, nízká produktivita obrábění, opotřebení břitu nástroje a stroje a vznik obtížného zvuku. Je proto mimořádně důležité, vypořádat se s problémy vibrací správným způsobem (2).

Vibrace jsou kmitavé pohyby těles, které byly vyvolány následujícími faktory:

- Schopností systému se pohybovat; například vůli mezi jednotlivými prvky stroje, nebo deformacemi nástroje vyvolanými jeho nízkou statickou tuhostí.
- Silami, které působí na systém a které jej vyvádějí z rovnováhy, například řeznými silami.

Problémy s vibracemi vyvolává často více faktorů, které se – aby se problém ještě zhoršil – vzájemně ovlivňují a zesilují. Téměř vždy je však tady jeden dominující faktor, který je nutné vyřadit. Podaří-li se to, dojde ke značnému snížení vibrací, nebo k jejich úplné eliminaci (2).

Má-li stroj stabilní konstrukci a je-li v dobrém stavu, je příčinou většiny vibrací buď nástroj – především upnutí vyměnitelné břitové destičky a upnutí nástroje – nebo obrobek. V takových případech se obvykle jedná o vibrace, vyvolané vlastním kmitočtem systému. Protikladem jsou takzvané vynucené vibrace, u nichž jsou vzniklé kmity určovány silami, působícími na systém – jedná se například o nevyváženost vřetene stroje, nebo o síly, které vznikají při obrábění přerušovaným řezem (2).

Projevili-li se vibrace, je nutné nejprve zjistit, který článek je nejslabším místem systému. Jedná se přitom o prvek, který má nedostatečnou stabilitu a malou statickou tuhost a je hlavní příčinou nežádoucích pohybů, případně deformace. Alternativně se doporučuje snížit síly, vyvolávající vychýlení, například přechodem na jiný tvar vyměnitelné břitové destičky, nebo na jinou geometrii břitu, případně změnou nastavení nástroje nebo řezných podmínek (2).

2.5 Chlazení a mazání

Fyzikální a chemické vlastnosti prostředí, ve kterém probíhá řezný proces, mohou významně ovlivnit přesnost a strukturu povrchu obrobené plochy. Vhodným řezným prostředím lze obvykle zvýšit kvalitu obrobené plochy. Řezné prostředí vytváří nejčastěji kapaliny, procesní pasty, olejová mlha nebo plyn. Tato média jsou vyrobena a užívána tak, aby měla chladicí, mazací a čistící účinek. Správnou aplikací řezné kapaliny lze zvýšit řeznou rychlost, posuv i větší hloubku řezu (5).

V praxi existuje řada operací, které se provádí za sucha, bez přívodu řezné kapaliny. Je tomu například při soustružení, kdy se používají nástroje s povlakovanými slinutými karbidy nebo řeznou keramikou. Také při obrábění litiny se nemusí chladit – materiál obsahuje grafit, pracující jako pevné mazivo (5).

3 KVANTIFIKACE REALIZOVANÝCH PARAMETRŮ STRUKTURY POVRCHU

V rámci bakalářské práce byla provedena kvantifikace parametrů struktury povrchu při soustružení.

Hodnocené parametry struktury povrchu

Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu
Rq	Průměrná kvadratická úchylka profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu

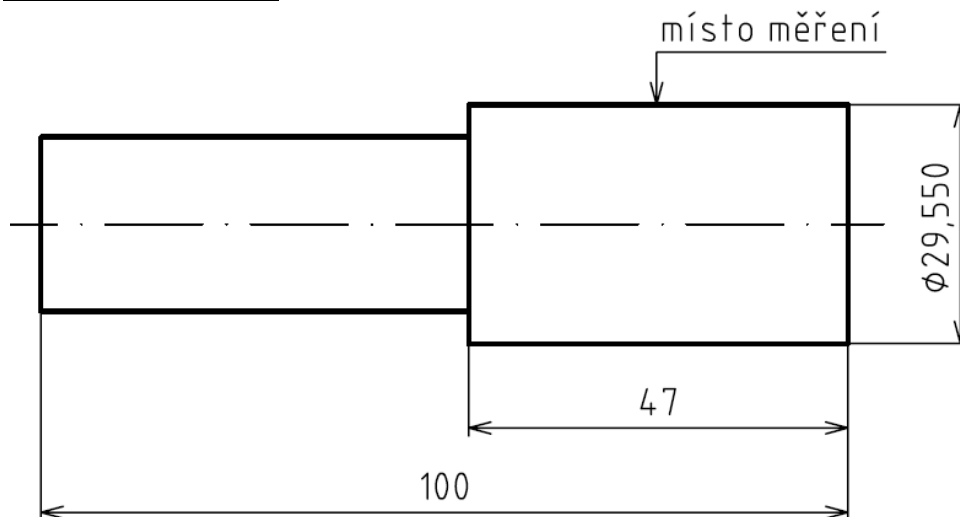
První měření je navíc doplněné o rozměrovou přesnost

u_D	Úchylka rozměru
-------	-----------------

3.1 Parametry struktury povrchu v závislosti na posuvu při dané vyměnitelné břitové destičce

3.1.1 Charakteristiky zkoušky

A) Zkušební obrobek:



Obr. 3.1 Zkušební obrobek použitý při měření

Konečný průměr po soustružení je **ø29 mm**

Materiál: **11 600**

Zkouška byla provedena na 10 kusech

- B) **Obráběcí stroj:** **SV 18 RD** - universální hrotový soustruh s plynulou regulací otáček, obrobek upnut mezi hroty, jeden hrot s čelním unašečem
- C) **Řezný nástroj:** vyměnitelná trojúhelníková břitová destička **TNGN** směsná keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$) držák
- D) **Řezné podmínky:**
- řezná rychlost $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
 - otáčky $n = 2100 \text{ ot}^{-1}$
 - posuv na otáčku $f = 0,127 \text{ mm}$

Měření parametrů struktury povrchu bylo provedeno safírovým hrotem, přístroj *Mitutoyo Surftest - 201* pracoval v programu CUT OFF 0,8 x 3
Úchylka rozměru byla měřena digitálním mikrometrem

3.1.2 Výsledky zkoušky

Tab 3.1 Výsledky měření

Číslo zk. obrobku	Průměr [mm]		Struktura povrchu [μm]		
	D	úchylka	Ra	Rq	Rp
1	29,013	+0,013	1,27	1,55	3,6
2	29,043	+0,043	1,21	1,46	3,1
3	29,047	+0,047	1,25	1,49	2,9
4	29,048	+0,048	1,13	1,39	3,1
5	29,052	+0,052	1,17	1,45	3,2
6	29,048	+0,048	1,41	1,68	3,3
7	29,043	+0,043	1,33	1,64	3,7
8	29,044	+0,044	1,31	1,61	3,5
9	29,048	+0,048	1,52	1,85	4,1
10	29,040	+0,040	1,56	1,87	3,9

3.1.3 Statistická interpretace výsledků

A) Úchylka rozměru

Odhad střední hodnoty (6):

$$\overline{u_D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_{Di} \quad (3.1)$$

Střední hodnota úchylky rozměru je 0,0426 mm.

Odhad směrodatné odchylky (6):

$$s_{u_D} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (u_{Di} - \overline{u_D})^2} \quad (3.2)$$

Směrodatná odchylka střední hodnoty je 0,011 mm.

Dvoustranný konfidenční interval střední hodnoty

konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$

Meze konfidenčního intervalu střední hodnoty (6):

$$m_{Du_{D2}} = \overline{u_D} - t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \cdot \frac{s_{u_D}}{\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

$$m_{Hu_{D2}} = \overline{u_D} + t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \cdot \frac{s_{u_D}}{\sqrt{n}} \quad (3.4)$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} = 2,262$$

Dolní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty je 0,0347 mm.

Horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty je 0,0505 mm.

Statistický toleranční interval

konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$

podíl souboru $p = 0,95$

Meze statistického tolerančního intervalu (7):

$$L_{iu_{D2}} = \overline{u_D} - k_2 \cdot s_{u_D} \quad (3.5)$$

$$L_{su_{D2}} = \overline{u_D} + k_2 \cdot s_{u_D} \quad (3.6)$$

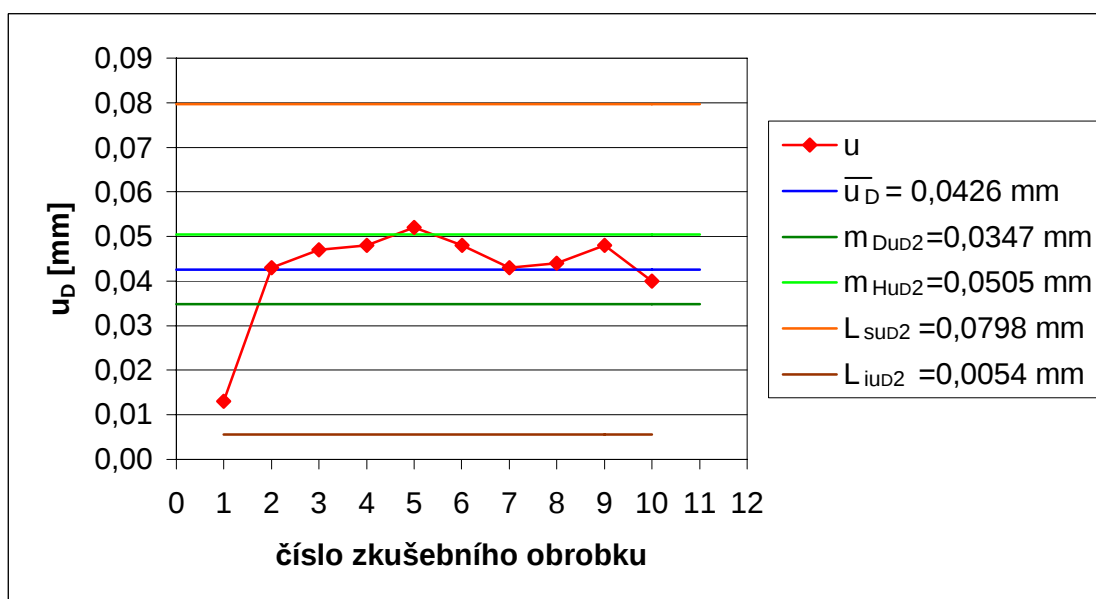
$$k_2 = 3,38$$

$$I_{u_D} = L_{su_{D2}} - L_{iu_{D2}} \quad (3.7)$$

Dolní mez statistického tolerančního intervalu je 0,0054 mm.

Horní mez statistického tolerančního intervalu je 0,0798 mm.

Mez statistického tolerančního intervalu je 0,0744 mm.



Obr. 3.2 Úchylka rozměru

B) Průměrná aritmetická úchylka profilu Ra

Odhad střední hodnoty (6):

$$\overline{Ra} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ra_i \quad (3.8)$$

Střední hodnota průměrné aritmetické úchylky profilu je 1,316 μm.

Odhad směrodatné odchylky (6):

$$s_{Ra} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Ra_i - \overline{Ra})^2} \quad (3.9)$$

Směrodatná odchylka průměrné aritmetické úchylky profilu je 0,1429 μm.

Jednostranný konfidenční interval střední hodnoty
konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$

Horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty (6):

$$m_{HRa1} = \overline{Ra} + t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{s_{Ra}}{\sqrt{n}} \quad (3.10)$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} = 1,833$$

Horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty je 1,3988 μm.

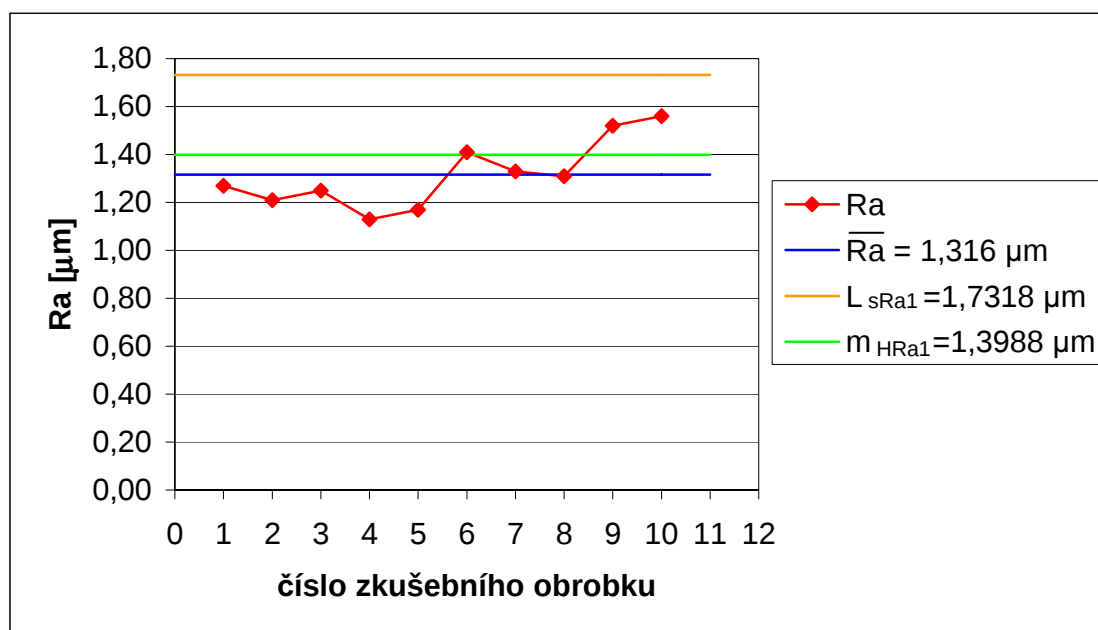
Statistický toleranční interval
konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$
podíl souboru $p = 0,95$

Horní mez statistického tolerančního intervalu (7):

$$L_{sRa1} = \overline{Ra} + k_1 \cdot s_{Ra} \quad (3.11)$$

$$k_1 = 2,91$$

Horní mez statistického tolerančního intervalu je 1,7318 μm.



Obr. 3.3 Průměrná aritmetická úchylka profilu

C) Průměrná kvadratická úchylka profilu Rq

Odhad střední hodnoty (6):

$$\overline{Rq} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Rq_i \quad (3.12)$$

Střední hodnota průměrné kvadratické úchylky profilu je 1,599 μm .

Odhad směrodatné odchylky (6):

$$s_{Rq} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Rq_i - \overline{Rq})^2} \quad (3.13)$$

Směrodatná odchylka průměrné kvadratické úchylky profilu je 0,1648 μm .

Jednostranný konfidenční interval střední hodnoty
konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$

Horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty (6):

$$m_{HRq1} = \overline{Rq} + t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{s_{Rq}}{\sqrt{n}} \quad (3.14)$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} = 1,833$$

Horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty je 1,6945 μm .

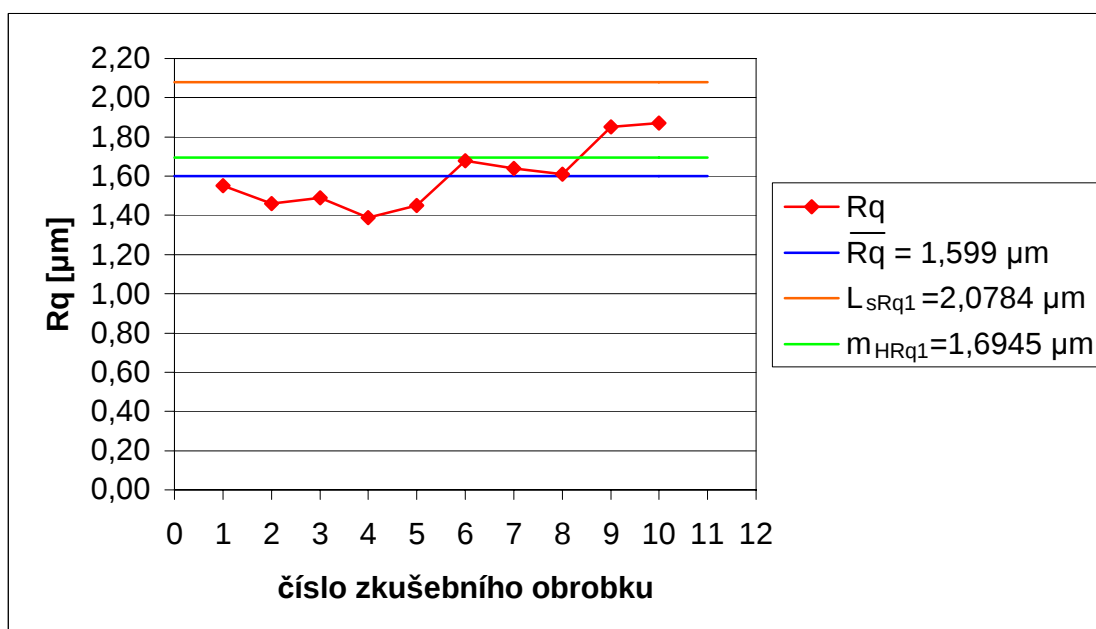
Statistický toleranční interval
konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$
podíl souboru $p = 0,95$

Horní mez statistického tolerančního intervalu (7):

$$L_{sRq1} = \overline{Rq} + k_1 \cdot s_{Rq} \quad (3.15)$$

$$k_1 = 2,91$$

Horní mez statistického tolerančního intervalu je 2,0784 μm .



Obr. 3.4 Průměrná kvadratická úchylka profilu

D) Největší výška výstupku profilu Rp

Odhad střední hodnoty (6):

$$\overline{Rp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Rp_i \quad (3.16)$$

Střední hodnota největší výšky výstupku profilu je 3,44 μm .

Odhad směrodatné odchylky (6):

$$s_{Rp} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Rp_i - \overline{Rp})^2} \quad (3.17)$$

Směrodatná odchylka největší výšky výstupku profilu je 0,3864 μm .

Jednostranný konfidenční interval střední hodnoty
konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$

Horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty (6):

$$m_{HRp1} = \overline{Rp} + t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{s_{Rp}}{\sqrt{n}} \quad (3.18)$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} = 1,833$$

Horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty je 3,6640 μm .

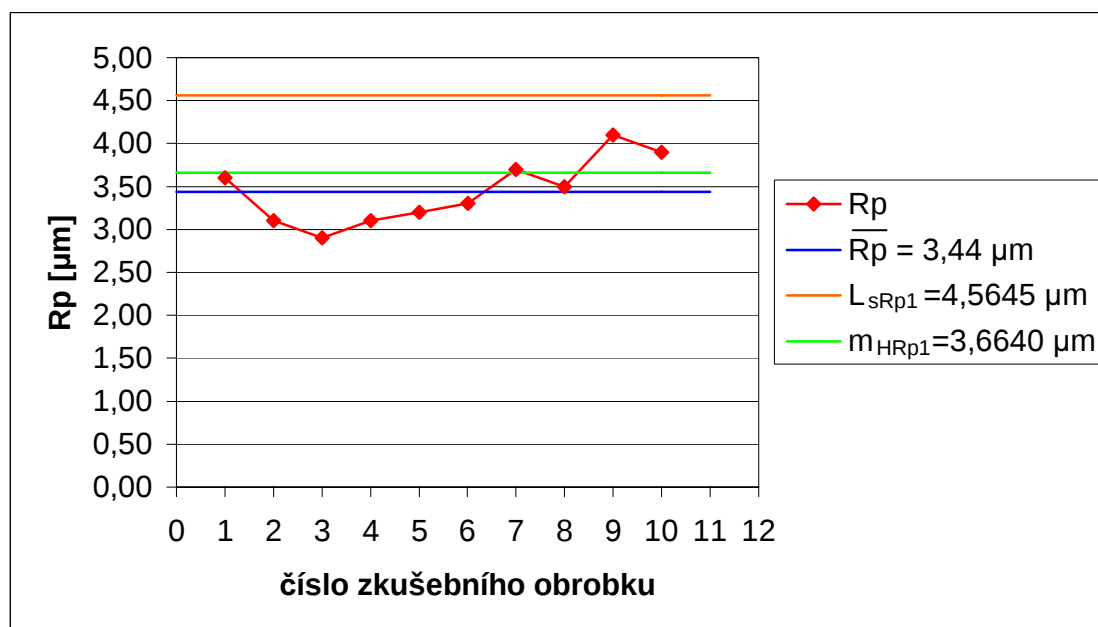
Statistický toleranční interval
konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$
podíl souboru $p = 0,95$

Horní mez statistického tolerančního intervalu (7):

$$L_{sRp1} = \overline{Rp} + k_1 \cdot s_{Rp} \quad (3.19)$$

$$k_1 = 2,91$$

Horní mez statistického tolerančního intervalu je 4,5645 μm .



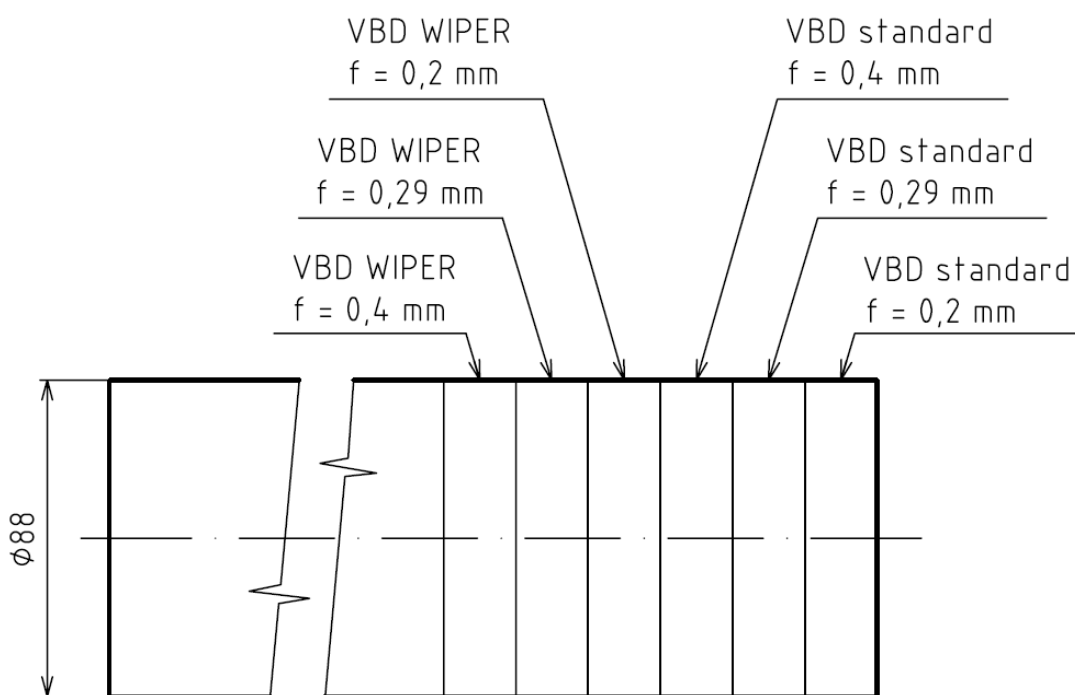
Obr. 3.5 Největší výška výstupku profilu

3.2 Parametry struktury povrchu v závislosti na posuvu a tvaru vyměnitelné břitové destičky

3.2.1 Charakteristiky zkoušky

A) Zkušební obrobek:

Materiál: **12 050**



Obr. 3.6 Zkušební obrobek použitý při měření

B) Obráběcí stroj: **SV 18** - universální hrotový soustruh

C) Řezný nástroj: - vyměnitelná břitová destička **Standardní**

WNMG 06 04 08 – PM, materiál 4215

- vyměnitelná břitová destička **WIPER**

WNMG 06 04 08 – WF, materiál 1525

D) Řezné podmínky: - řezná rychlost $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

- otáčky $n = 710 \text{ ot}^{-1}$

- posuv na otáčku $f = 0,2; 0,290; 0,4 \text{ mm}$

Měření parametrů struktury povrchu bylo provedeno safírovým hrotem, přístroj *Mitutoyo Surftest - 201* pracoval v programu CUT OFF 0,8 x 3

3.2.2 Výsledky zkoušky

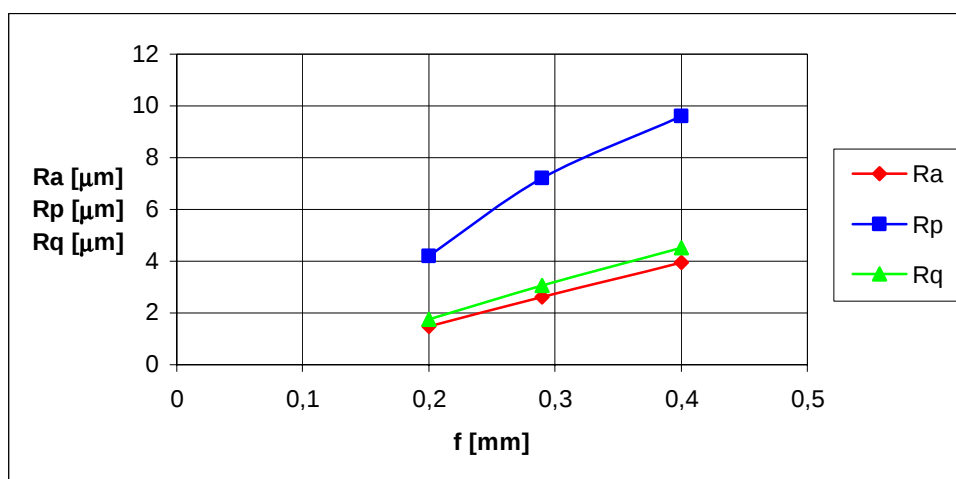
Tab 3.2 Výsledky měření

VBD	f [mm]	Ra [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]
Standard	0,200	1,48	1,75	4,2
	0,290	2,61	3,05	7,2
	0,400	3,95	4,52	9,6
WIPER	0,200	0,41	0,52	1,4
	0,290	0,78	0,95	2,0
	0,400	1,10	1,30	3,0

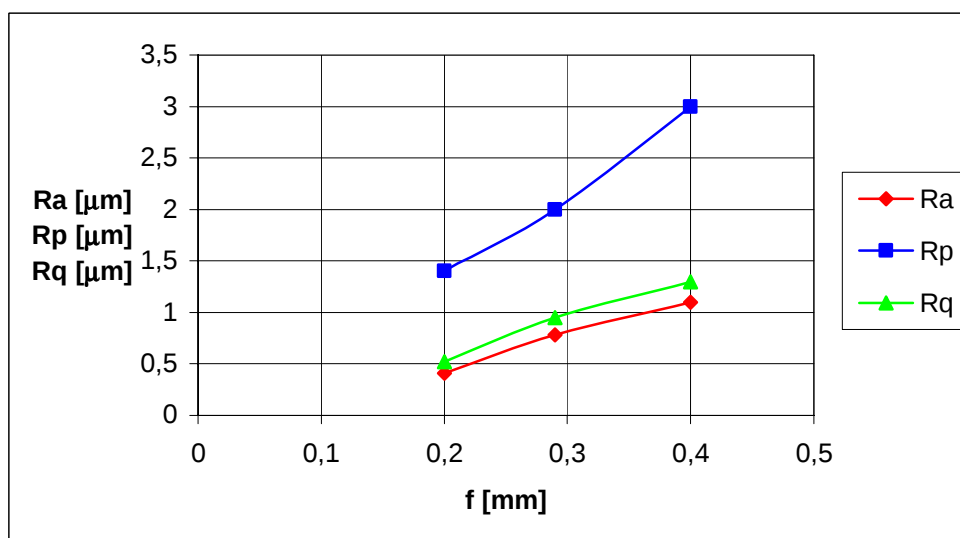
Poměr WIPER/standard

Tab 3.3 Poměr WIPER / Standard

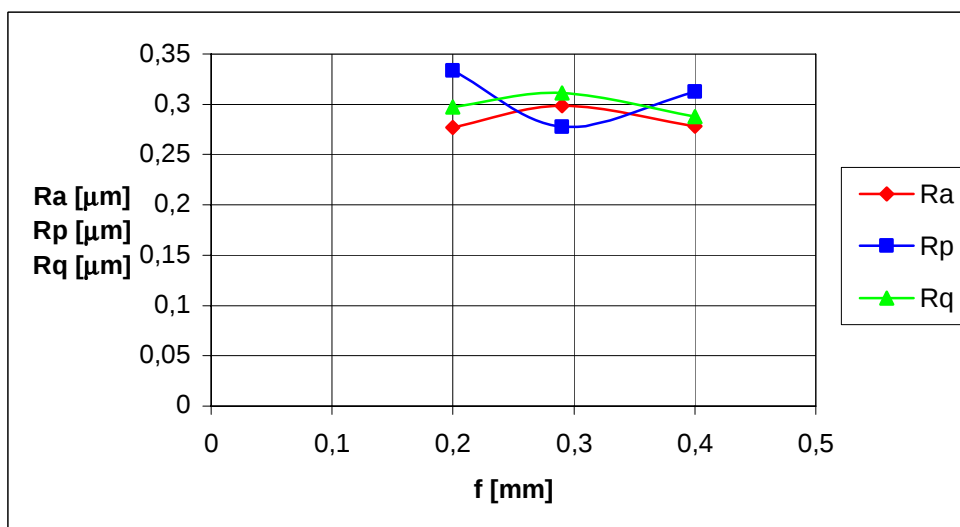
f [mm]	Ra [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]
0,200	0,277	0,297	0,333
0,290	0,299	0,311	0,278
0,400	0,278	0,288	0,313



Obr. 3.7 VBD Standardní



Obr. 3.8 VBD WIPER



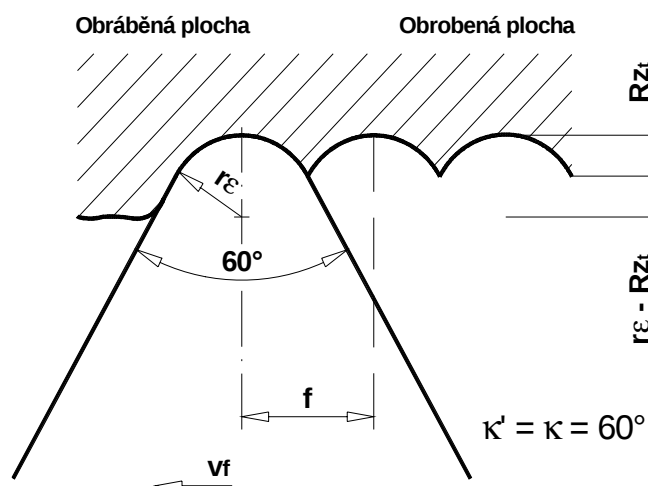
Obr. 3.9 Poměr WIPER/Standard

4 DOSAHOVANÉ PARAMETRY STRUKTURY POVRCHU PŘI DANÝCH TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNKÁCH

4.1 Teoretické hodnoty parametrů struktury povrchu

Teoreticky dosažitelnou strukturu obrobeného povrchu lze pro procesy frézování a soustružení vypočítat. Výsledek výpočtu je výchozím bodem pro určení, jaké struktury povrchu může být za ideálních podmínek dosaženo. Skutečný výsledek je ovlivňován velkým počtem faktorů, které se v procesu obrábění vyskytují. Mimo to působí na kvalitu obrobeného povrchu statická a dynamická tuhost celého systému, sestávajícího z nástroje, stroje a obrobku. Obecně platí, že vypočtené parametry jsou zpravidla nižší než skutečné (2).

4.1.1 Výpočtové vztahy pro základní parametry struktury povrchu při jemném soustružení



Obr. 4.1 Schéma podélného soustružení (1)

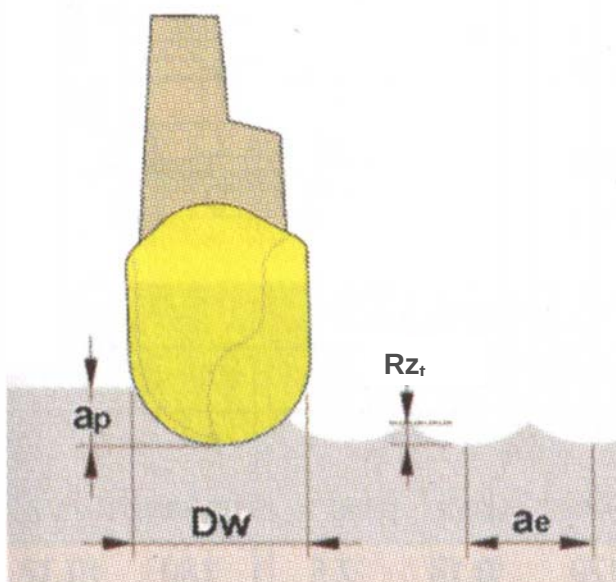
Výpočtové vztahy pro základní parametry struktury povrchu při soustružení (1):

$$Ra_t = \frac{r_e^2 \cdot (2\alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{f} \cdot 10^3 \quad (4.1)$$

$$\alpha_A = \arccos \left[\frac{r_e}{f} \left(\arcsin \frac{f}{2r_e} + \frac{f}{4r_e^2} \sqrt{4r_e^2 - f^2} \right) \right] \quad (4.2)$$

$$Rz_t = \left(r_e - \sqrt{r_e^2 - 0,25 f^2} \right) \cdot 10^3 \quad (4.3)$$

4.1.2 Výpočtové vztahy pro základní parametry struktury povrchu při frézování kulovou frézou



Obr. 4.2 Relace kulové frézy a obrobku při frézování (8)

Výpočtové vztahy pro základní parametry struktury povrchu při frézování (8):

$$Ra_t = \frac{\left(\frac{D}{2} \right)^2 (2\alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{a_e} \cdot 10^3 \quad (4.4)$$

$$\alpha_A = \arccos \left[\frac{\left(\frac{D}{2} \right)^2}{a_e} \left(\arcsin \frac{a_e}{D} + \frac{a_e}{D^2} \sqrt{D^2 - a_e^2} \right) \right] \quad (4.5)$$

$$Rz_t = \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2} \right)^2 - 0,25 a_e^2} \right) \cdot 10^3 \quad (4.6)$$

4.2 Doporučené řezné podmínky pro vybrané způsoby obrábění

Tab. 4.1 Doporučené řezné podmínky (9)

způsob obrábění	šířka záběru ostří
soustružení	0,03 až 30 mm
frézování	0,5 až 20 mm i více
vrtání	-
vyhrubování	0,3 až 1 mm
vystružování	0,1 až 0,3 mm
broušení	0,001 až 0,075 mm/ot

způsob obrábění	řezná rychlost
soustružení	10 až 600 m.min ⁻¹
frézování	20 až 570 m.min ⁻¹
vrtání	10 až 300 m.min ⁻¹
vyhrubování	15 až 45 m.min ⁻¹
vystružování	3,5 až 15 m.min ⁻¹
broušení	20 až 120 m.s ⁻¹

způsob obrábění	posuv
soustružení	na otáčku 0,05 až 2 mm
frézování	na zub 0,05 až 0,4 mm
vrtání	na otáčku 0,05 až 1,1 mm
vyhrubování	na otáčku 0,05 až 1,1 mm
vystružování	na otáčku 0,05 až 1,1 mm
broušení	za minutu 8 až 35 m

4.3 Dosahovaná struktura povrchu a přesnost u vybraných metod obrábění

Tab. 4.2 Dosahovaná struktura povrchu a přesnost (10)

Metoda obrábění		Drsnost povrchu Ra [μm]	Hospodárná přesnost IT
Soustružení, Vyvtávání	hrubování	12,5 ÷ 25	IT11 ÷ IT14
	na čisto	3,2 ÷ 6,3	IT9 ÷ IT11
	jemné	1,6 ÷ 0,8	IT6 ÷ IT8
	velmi jemné	0,4 ÷ 0,2	IT5
Frézování	hrubování	6,3 ÷ 25	IT10 ÷ IT14
	na čisto	6,3 ÷ 1,6	IT8 ÷ IT9
	jemné	1,6 ÷ 0,8	IT6 ÷ IT7
Hoblování	hrubování	12,5 ÷ 50	IT12
	jemné	3,2 ÷ 6,3	IT9 ÷ IT11
	velmi jemné	1,6 ÷ 0,8	IT7 ÷ IT6
Vrtání šroubovým vrtákem		12,5 ÷ 3,2	IT10 ÷ IT11
Vystružování		1,6 ÷ 0,8	IT8
Rovinné broušení	obvodové	0,4 ÷ 0,2	IT7
	čelní	0,8 ÷ 0,4	IT7 ÷ IT8
Broušení bezhroté		0,8	IT8
Broušení mezi hroty	normální	0,4	IT7 ÷ IT9
	jemné	0,2 ÷ 0,1	IT6 ÷ IT8
	dokončovací	0,025	IT4 ÷ IT6
Vnitřní broušení	normální	0,8	IT7 ÷ IT9
	jemné	0,4	IT6 ÷ IT8
	dokončovací	0,05 ÷ 0,025	IT4 ÷ IT6
Lapování	jemné	0,1	IT5
	velmi jemné	0,05 ÷ 0,012	IT4
Superfinišování, Honování		0,1 ÷ 0,025	IT5 ÷ IT7
Protahování	jemné	0,8	IT7
	s kalibrováním	0,4 ÷ 0,2	IT6 ÷ IT7

4.4 Zhodnocení a porovnání výsledků měření s dosahovanými hodnotami struktury povrchu a přesnosti

Při měření parametrů struktury povrchu v závislosti na posuvu při dané vyměnitelné břitové destičce se obráběl obrobek $\varnothing 29,55$ mm na $\varnothing 29$ mm.

Úchylka rozměru byla vypočtena z naměřených hodnot $0,0426 \pm 0,011 \mu\text{m}$, což odpovídá stupni přesnosti IT8.

Dále bylo z měření zjištěno:

průměrná aritmetická úchylka profilu $R_a = 1,316 \pm 0,143 \mu\text{m}$

průměrná kvadratická úchylka profilu $R_q = 1,599 \pm 0,165 \mu\text{m}$

největší výška výstupku profilu $R_p = 3,44 \pm 0,386 \mu\text{m}$.

Z těchto hodnot je patrné, že se jednalo o jemné soustružení.

Při měření parametrů struktury povrchu v závislosti na posuvu a tvaru vyměnitelné břitové destičky bylo ověřeno, že se zmenšujícím se posuvem, klesají také hodnoty parametrů struktury povrchu. Pro dosažení lepší kvality povrchu, je nutné snížit posuv, tím se však zvýší čas potřebný k výrobě součásti.

Při soustružení VBD WIPER bylo dosaženo přibližně trojnásobně menších hodnot parametrů struktury povrchu než u standardní VBD. I při posuvu na otáčku $f = 0,400$ mm je možno při použití této destičky zařadit toto soustružení mezi jemné.

ZÁVĚR

Zadáním a předmětem této bakalářské práce bylo popsání problematiky kvality povrchu u obrobků. Bakalářská práce byla zaměřena na popis parametrů struktury povrchu obrobené plochy a to převážně pro jednu z nejvýznamnějších metod obrábění – soustružení.

Každý druh řezného nástroje zanechává na obráběném povrchu více nebo méně výrazné stopy. Kritériem kvality povrchu jsou požadované funkční vlastnosti součásti. Vzhled obrobené plochy je určován použitým procesem obrábění a směrem, ve kterém nástroj řezal. Pokračující vývoj řezných nástrojů a obráběcích strojů má za následek to, že i soustružením nebo frézováním se dají vytvářet povrchy dokonalé struktury a není potřeba používat dokončovací způsoby obrábění, což výrazně snižuje výrobní náklady.

Z teoretického studia i praktických experimentů vyplynulo, že:

- Nejvíce používaný parametr struktury povrchu v praxi a jeden z nejdůležitějších je průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a , dalšími důležitými parametry jsou nejvyšší výška profilu R_z a celková výška profilu R_t .
- Se zvyšující se strukturou obrobeného povrchu obrobku se zpravidla zvyšují rovněž výrobní náklady. Je proto důležité specifikovat parametry povrchu s ohledem na rozdílné požadavky, kladené na obrobek.
- Je důležité sladit technologické vlivy ovlivňující parametry struktury povrchu. Použít správné řezné podmínky v závislosti na obráběném materiálu. Zvolit správný řezný nástroj, zajistit dobrou stabilitu systému a v případě nutnosti také použít chladicí kapalinu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KRUŽÍK, MICHAL. *Metrologie struktury povrchů*. [online]. [cit. 2007-03-12]. Dostupné na www: <<http://www.fme.vutbr.cz/opory>>.
2. AB SANDVIK COROMANT-SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění : Kniha pro praktiky*. Přeložil Miroslav Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s. r. o., c1997. 880 s. ISBN 91-97 22-99-4-6.
3. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie. Část metrologie*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
4. ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 22 s.
5. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
6. ČSN ISO 2600. *Statistická interpretace výsledků zkoušky: odhad střední hodnoty, konfidenční interval střední hodnoty*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 12 s.
7. ČSN ISO 3207. *Statistická interpretace údajů: stanovení statistického tolerančního intervalu*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 30 s.
8. FRÉZOVÁNÍ IV, *FSI VUT v Brně*, 2007. 248 s. ISBN 80-214-3239-X.
9. KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE, TU v Liberci. *Řezné podmínky při obrábění*. [online]. [cit. 2008-03-22]. Dostupné na www: <http://www.kom.vslib.cz/soubory/tob_rp.pdf>.
10. KOCMAN, Karel. *Speciální technologie obrábění*. 3. přeprac. vyd. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
$1-\alpha$	[-]	pravděpodobnost
α_A	[rad]	aditivní člen
a_e	[mm]	pracovní záběr
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
D	[mm]	průměr obrobku
D_w	[mm]	průměr frézy
dZ/dX	[-]	místní sklon
f	[mm]	posuv na otáčku
I_{u_D}	[mm]	mez statistického tolerančního intervalu
κ	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
κ'	[°]	úhel nastavení vedlejšího ostří
k_1	[-]	součinitel pro stanovení jednostranného statistického tolerančního intervalu
k_2	[-]	součinitel pro stanovení dvoustranného statistického tolerančního intervalu
k_c	[MPa]	měrná řezná síla
l_n	[mm]	vyhodnocovaná délka
l_r	[mm]	základní délka
$L_{iu_D,2}$	[mm]	dolní mez statistického tolerančního intervalu úchylky rozměru
$L_{su_D,2}$	[mm]	horní mez statistického tolerančního intervalu úchylky rozměru
L_{sRa1}	[μm]	horní mez statistického tolerančního intervalu průměrné aritmetické úchylky
L_{sRp1}	[μm]	horní mez statistického tolerančního intervalu největší výšky výstupku profilu
L_{sRq1}	[μm]	horní mez statistického tolerančního intervalu kvadratické úchylky profilu
m	[-]	počet hodnot

$MI(c)$	$[\mu m]$	materiálová délka profilu na úrovni c
$m_{DuD\ 2}$	$[mm]$	dolní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty úchyly rozměru
$m_{HuD\ 2}$	$[mm]$	horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty úchyly rozměru
m_{HRa1}	$[\mu m]$	horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty průměrné aritmetické úchyly
m_{HRp1}	$[\mu m]$	horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty největší výšky výstupku profilu
m_{HRq1}	$[\mu m]$	horní mez konfidenčního intervalu střední hodnoty kvadratické úchyly profilu
n	$[ot^{-1}]$	otáčky
p	$[-]$	podíl souboru
P_C	$[kW]$	řezný příkon
r_ϵ	$[mm]$	poloměr zaoblení špičky řezného nástroje
$R\Delta q$	$[-]$	průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu
$R\delta c$	$[\mu m]$	rozdíl výšky úseku profilu
Ra	$[\mu m]$	průměrná aritmetická úchyly posuzovaného profilu
$\overline{Ra}$	$[\mu m]$	střední hodnota průměrné aritmetické úchyly posuzovaného profilu
Ra_t	$[\mu m]$	teoretická hodnota parametru Ra
Rc	$[\mu m]$	průměrná výška prvků profilu
Rku	$[-]$	špičatost posuzovaného profilu
Rmr	$[-]$	vzájemný materiálový poměr
$Rmr(c)$	$[-]$	materiálový poměr profilu (nosný profil)
Rp	$[\mu m]$	největší výška výstupku profilu
$\overline{Rp}$	$[\mu m]$	střední hodnota největší výšky výstupku profilu
Rq	$[\mu m]$	průměrná kvadratická úchyly posuzovaného profilu

$\overline{R_q}$	[μm]	střední hodnota průměrné kvadratické úchylky posuzovaného profilu
R_{sk}	[-]	šikmost posuzovaného profilu
R_{Sm}	[μm]	průměrná šířka prvků profilu
R_t	[μm]	celková výška profilu
R_v	[μm]	největší hloubka prohlubně profilu
R_z	[μm]	největší výška profilu
R_{Z_t}	[μm]	teoretická hodnota parametru R_z
s_{Ra}	[μm]	směrodatná odchylka průměrné aritmetické úchylky profilu
s_{Rp}	[μm]	směrodatná odchylka největší výšky výstupku profilu
s_{Rq}	[μm]	směrodatná odchylka průměrné kvadratické úchylky profilu
s_{u_D}	[mm]	směrodatná odchylka střední hodnoty
$t_{1-\alpha/2;n-1}$	[-]	kvantil studentova t rozdělení pro n-1 stupňů volnosti
T	[min]	trvanlivost bříty
T_c	[min]	doba záběru
u_D	[mm]	úchylka rozměru
$\overline{u_D}$	[mm]	střední hodnota úchylky rozměru
v_c	[m/min]	řezná rychlost
X_s	[μm]	šířka prvku profilu
Z_p	[μm]	výška výstupku profilu
Z_t	[μm]	výška prvku profilu
Z_v	[μm]	hloubka prohlubně profilu
$Z(x)$	[μm]	hodnota pořadnice