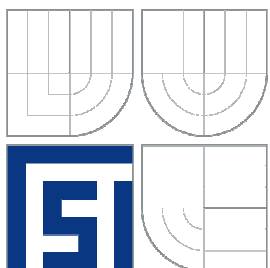


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ANALÝZA STRUKTURY POVRCHU VZNIKLÉHO PO VYSTRUŽOVÁNÍ MODERNÍ VYSTRUŽOVACÍ HLAVICÍ MT3.

ANALYSIS OF NEW SURFACE STRUCTURES CREATED BY REAMING
PROCESS WITH MODERN REAMING TOOL MT3.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN KREJSKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN SLANÝ

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Krejska

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Analýza struktury povrchu vzniklého po vystružování moderní vystružovací hlavicí MT3.

v anglickém jazyce:

Analysis of new surface structures created by reaming process with modern reaming tool MT3.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce by se měla zaměřit na analýzu struktury povrchu vzniklého po dokončovací operaci vystružování, za využití moderních vysoce produktivních vystružovacích hlavic MT3, osazených břity z řezného materiálu CERMET a polykrystalického diamantu. Řešitel práce by měl vhodně zvolit a zhodnotit parametry struktury povrchu, které je v rámci zmíněné operace možno vyhodnocovat a ovlivňovat, a následně analyzovat jednotlivé parametry podstatným způsobem ovlivňující funkční vlastnosti povrchu.

Cíle bakalářské práce:

Řešitel práce by měl v práci vytvořit teoretický rozbor problematiky integrity nově vzniklého povrchu po dokončovací operaci vystružování, dále se zaměřit na popis jednotlivých parametrů, které je možno vyhodnocovat, a z realizovaného měření provést hodnocení parametrů ovlivňujících funkční vlastnosti povrchu.

Seznam odborné literatury:

WHITEHOUSE,D.J. Handbook for surface metrology. Rank Taylor
Hobson, Ltd. England, 1994. ISBN 0-7503-0039-6

ČECH ,J.,J. PERNIKÁŘ a K. PODANÝ. Strojírenská metrologie. Brno: Akademické
nakladatelství CERM, s.r.o. , 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2

PERNIKÁŘ, J., M. TYKAL,a J. VAČKÁŘ. Jakost a metrologie: Část metrologie. Brno:
Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0

BUMBÁLEK, Leoš. Vlastnosti povrchové vrstvy a jejich vliv na únavu. Brno: Akademické
nakladatelství CERM s.r.o., Prosinec 2004. 261 s. ISBN 80-7204-376-0

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Slaný

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 22.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V úvodní části této práce jsou definovány základní parametry struktury povrchu, způsoby měření a značení struktury povrchu na výkrese. Dále jsou popsány druhy nástrojových materiálů, metody povlakování nástrojů, definován vystružovací proces, rozdělení výstružníků, řezné podmínky a popis vystružovací hlavice MT3. Závěrečná část práce se zabývá analýzou vybraných parametrů struktury povrchu vzniklého vystružením vystružovací hlavicí MT3.

Klíčová slova

Struktura povrchu, parametry struktury povrchu, nástrojové materiály, vystružování, vystružovací hlavice MT3

ABSTRACT

The first part of work provides definition of basic parameters of surface texture, methods of measuring and marking the surface structure on the drawing. Further work includes a description of kinds of tools materials, methods of coating tools, reaming process, distribution reamers, cutting conditions and description reaming tool MT3. The final part deals with the analysis of selected parameters of the surface structure resulting from reaming tool MT3.

Keywords

Surface texture, surface texture parameters, tool materials, roaming process, reaming tool MT3

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJSKA, Martin. *Analýza struktury povrchu vzniklého po vystružování moderní vystružovací hlavicí MT3*. Brno 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 48 s. přílohy 4. Vedoucí práce Ing. Martin Slaný.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Analýza struktury povrchu vzniklého po vystružování moderní vystružovací hlavicí MT3** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Krejska

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Slanému za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 UPŘESNĚNÍ POJMŮ PRO STRUKTURU POVRCHU A TECHNOLOGICKOU OPERACI VYSTRUŽOVÁNÍ	10
1.1 Struktura povrchu	10
1.1.1 Profilová metoda hodnocení Struktury Povrchu (2D parametry).....	10
1.1.2 Volba délky pro vyhodnocení.....	12
1.1.3 Vyhodnocované parametry	13
1.1.4 Přístroje pro měření struktury povrchu.....	19
1.1.5 Značení struktury povrchu na výkrese.....	20
1.2 Nástrojové materiály	21
1.2.1 Nástrojové oceli	21
1.2.2 Slinuté karbidy	21
1.2.3 Cermety.....	22
1.2.4 Keramické řezné materiály	22
1.2.5 Super tvrdé řezné materiály	23
1.2.6 Povlakování nástrojů.....	23
1.3 Vystružování.....	24
1.3.1 Rozdělení výstružníků	25
1.3.2 Řezné podmínky při vystružování	27
1.3.3 Proces vzniku povrchu při vystružování	30
1.4 Vystružovací hlavice MT3.....	30
1.4.1 Stroje využitelné pro vystružování	32
2 MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU	33
2.1 Měřicí aparatura	33
2.2 Vyhodnocovaný vzorek	34
2.3 Postup měření	34
2.4 Naměřené údaje	34
3 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ.....	37
3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu – Ra	37
3.2 Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu – Rq	38
3.3 Největší hloubka prohlubně posuzovaného profilu – Rv.....	38

3.4 Největší výška výstupku posuzovaného profilu – R_p	39
3.5 Největší výška posuzovaného profilu – R_z	39
3.6 Celková výška posuzovaného profilu – R_t	39
3.7 Průměrný aritmetický sklon posuzovaného profilu – R_{da}	39
3.8 Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu – R_{dq}	40
3.9 Materiálový poměr profilu (nosný podíl) - $R_{mr}(c)$	40
4 ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

ÚVOD

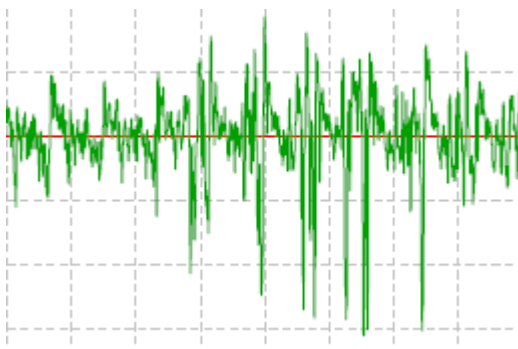
Mnou vybrané téma „Analýza struktury povrchu vzniklého po vystružování moderní vystružovací hlavicí MT3“ jsem si zvolil především z důvodu důležitosti struktury povrchu ve strojírenství. A kde jinde může být důležitější se zabývat vlastnostmi struktury povrchu než u dokončovací operace. U které je důležité dodržet požadovaný rozměr s určitou tolerancí a určitý tvar, jejichž dodržení přímo závisí na struktuře povrchu (na hodnotě parametrů). Vývoj v oblasti vlastností struktury povrchu stále pokračuje a jeho cílem je najít takové parametry, které by nejlépe definovaly vyhodnocovanou plochu a říkaly by nám co nejvíce o této ploše. V tomto případě se jedná o vytvořenou plochu dokončovací operací „vystružování“ používanou pro dokončení ploch otvorů. U dokončovací vystružovací operace lze využít různé tvary a provedení nástrojů „výstružníků“, které jsou vyrobeny z různých materiálů od mnoha českých i světových výrobců. V tomto případě se jedná o vystružovací hlavici MT3 od Německo-české firmy Ham-Final. Cílem této práce je analyzovat parametry struktury vystruženého povrchu. Proto je nutné popsat co je to struktura povrchu, z čeho se skládá, na čem závisí, jak a jakou metodou se dá vyhodnotit a jaké obsahuje parametry. Jelikož se jedná o operaci vystružování, je nutné specifikovat co je to, na čem závisí a jak samotný proces probíhá. Dále jaké nástroje se dají použít, jejich rozdělení a z jakých materiálů se vyrábějí. Nakonec popsat co je to vystružovací hlavice MT3. Pro samotnou analýzu struktury povrchu je potřeba provést měření vybraných vystružených ploch, následně si vybrat určité parametry a ty zanalyzovat.

1 UPŘESNĚNÍ POJMŮ PRO STRUKTURU POVRCHU A TECHNOLOGICKOU OPERACI VYSTRUŽOVÁNÍ

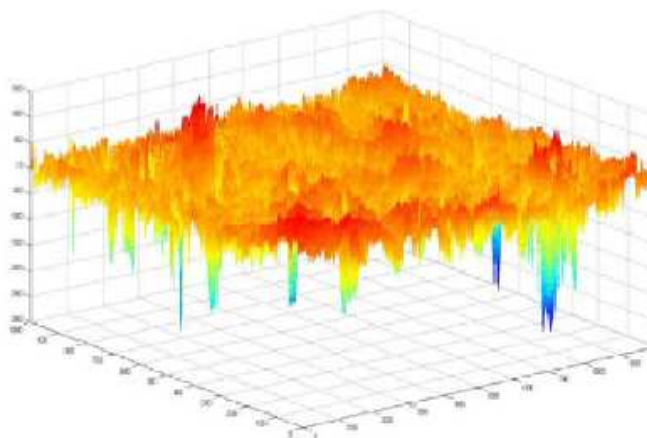
V této kapitole jsou upřesněny pojmy ohledně struktury povrchu. Jedná se o způsob vyhodnocení struktury povrchu a určení vyhodnocovaných parametrů. Dále jsou zde uvedeny nástrojové materiály používané pro vystružovací nástroje. Nakonec je zde specifikován co je to proces vystružování, rozdělení výstružníků a vystružovací hlavice MT3.

1.1 Struktura povrchu

Jakýkoliv výrobek vznikající ve výrobním procesu má svůj charakteristický povrch, který závisí na druhu výrobní operace. Tato výrobní operace, v tomto případě obrábění, ovlivňuje výsledný povrch svým silovým a tepelným působením. Toto působení podstatně ovlivňuje výsledný povrch výrobku a jeho funkční vlastnosti. Proto je nutné z hlediska vhodnosti pro následné využití výrobku posoudit tyto vlastnosti, zejména strukturu povrchu. Dosažená struktura povrchu závisí jak na druhu výrobní operace (soustružení, frézování, broušení, vrtání, vystružování a další), tak i na použitém stroji, nástroji a vlastnostech obrobku. Nástroj ovlivní výslednou strukturu povrchu zejména svou: stabilitou, vyložení, konstrukcí, geometrií břitu nástroje, řeznými podmínkami a teplotou při obrábění. Z hlediska stroje jde o stabilitu, tuhost, konstrukce, technický stav, příkon a prostředí stroje a z hlediska vlastností obrobku jde o materiál, tepelné zpracování, předcházející výrobní operaci, konstrukci a toleranci rozměru a tvaru. Struktura povrchu se vyhodnocuje buď **profilovou metodou - 2D parametry** (obr. 1) nebo **plošnou metodou - 3D parametry** (obr. 2) [1,2,3,4].



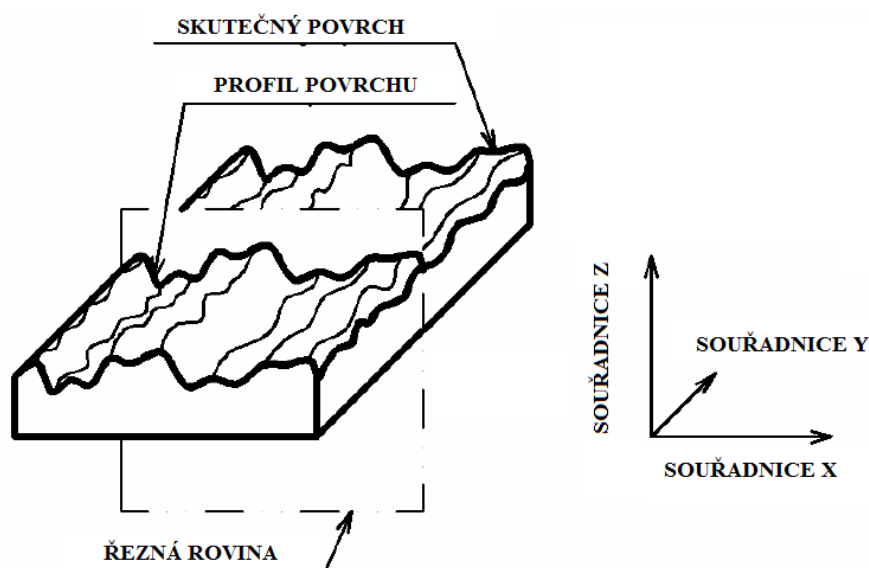
Obr. 1 Profilová metoda.



Obr. 2 Plošná metoda [5].

1.1.1 Profilová metoda hodnocení Struktury Povrchu (2D parametry)

Pro profilovou metodu hodnocení struktury povrchu je nutné stanovit **profil povrchu** (obr. 3). Profil povrchu vzniká jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny řezu. Rovina řezu bývá kolmá k rovině, která je rovnoběžná se skutečným povrchem.



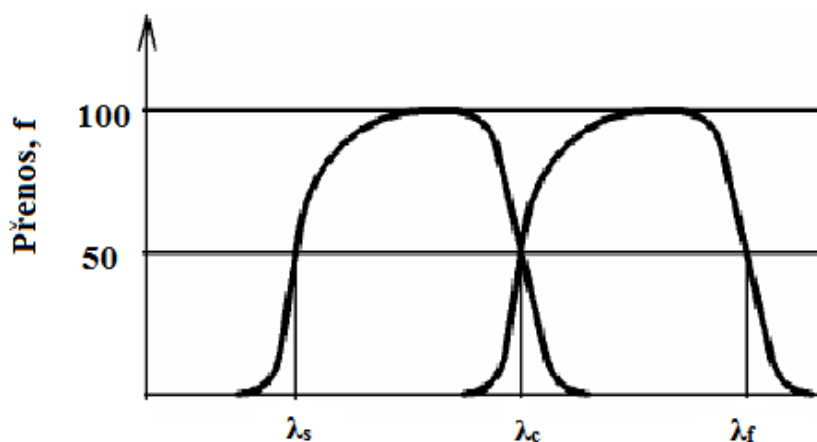
Obr. 3. Profil povrchu [3].

Z profilu povrchu se následně odvodí **základní profil** tak, že použijeme filtr profilu λ_s , který potlačí krátkovlnné složky z profilu povrchu.

Ze základního profilu se odvodí pomocí filtrů profilu (obr. 4) **profil drsnosti** potlačením dlouhovlnných složek pomocí filtru profilu λ_c a **profil vlnitosti** potlačením dlouhovlnné a krátkovlnné složky pomocí filtrů λ_c, λ_f [1,2,3,6].

Filtr profilu rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky (obr. 4):

- λ_s **filtr profilu** určuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln, které jsou na povrchu,
- λ_c **filtr profilu** určuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti,
- λ_f **filtr profilu** určuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln, které jsou na povrchu [1,3,6].



Obr. 4. Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti[1].

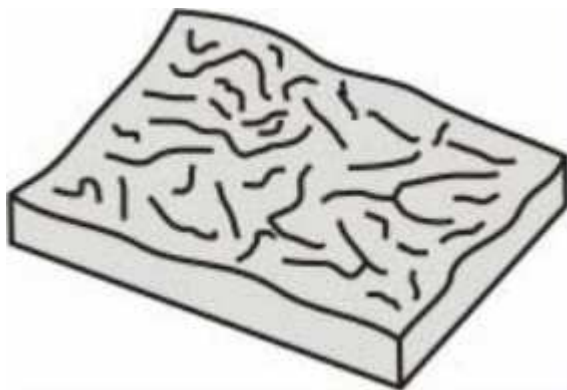
1.1.2 Volba délky pro vyhodnocení

Základní délka l_p , l_r , l_w je vzdálenost ve směru osy x , která se používá k určení nerovností charakterizujících zkoumaný profil (tab. 1.1, 1.2, 1.3) [1,2].

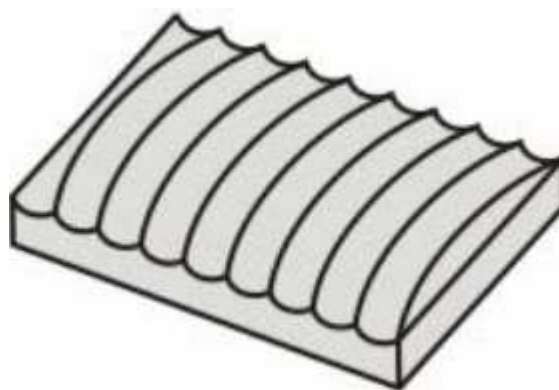
Vyhodnocovaná délka l_n je vzdálenost ve směru osy x , která se používá k posouzení vyhodnocovaného profilu (tab. 1.1, 1.2, 1.3). Obvykle bývá pětinasobek základní délky. V případě nedostatku místa na měřené ploše bývá hodnota l_n snížena, což musí být uvedeno na výkrese součástky [1,2].

Neperiodický profil (obr. 5) vzniká po použití technologických operací, které využívají nástroje bez definované geometrie břitu. Jedná se o broušení, honování, lapování a další [5].

Periodický profil (obr. 6) vzniká po použití technologických operací, které využívají nástroje s definovanou geometrií břitu. Jedná se o soustružení, frézování, hoblování vystružování a další [6].



Obr. 5 Neperiodický profil [7].



Obr. 6 Periodický profil [7].

Tab. 1.1 Základní délky drsnosti pro měření **R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , $R_{\Delta q}$** a křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily [2].

R_a [μm]	Základní délka l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n[mm]
$(0,006) < R_a \leq 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a < 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a < 0,2$	0,8	4
$2 < R_a < 10$	2,5	12,5
$10 < R_a < 80$	8	40

Tab. 1.2 Základní délky drsnosti pro měření **R_z , R_v , R_p , R_c , R_t** neperiodických profilů [2].

$R_z^{1)}$ $R_{z1\text{max}}^{2)}$ [μm]	Základní délka l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n[mm]
$(0,025) < R_z, R_{z1\text{max}} \leq 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < R_z, R_{z1\text{max}} < 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < R_z, R_{z1\text{max}} < 10$	0,8	4
$10 < R_z, R_{z1\text{max}} < 50$	2,5	12,5
$50 < R_z, R_{z1\text{max}} < 200$	8	40

1) R_z se používá pro změření R_z , R_v , R_p , R_c a R_t .

2) $R_{z1\text{max}}$ se používá jen pro změření $R_{z1\text{max}}$, $R_{v1\text{max}}$ a $R_{c1\text{max}}$.

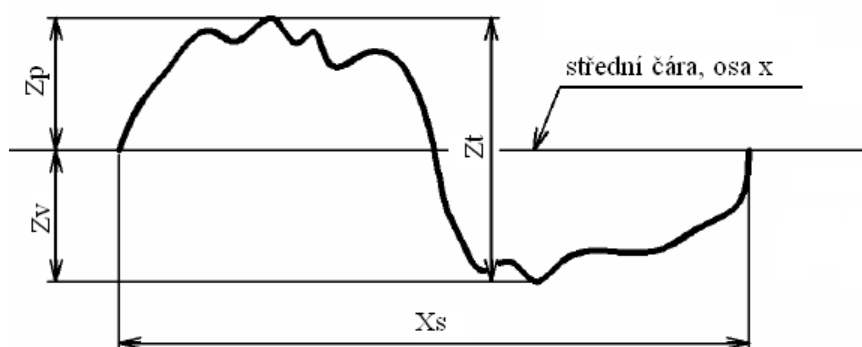
Tab. 1.3 Základní délky drsnosti pro měření **R** – **parametrů** periodických profilů, **Rsm** periodických a neperiodických profilů [2].

Rsm [μm]	Základní délka l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n [mm]
$0,013 < R_{sm} \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < R_{sm} \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < R_{sm} \leq 0,4$	0,8	4
$0,4 < R_{sm} \leq 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < R_{sm} \leq 4$	8	40

1.1.3 Vyhodnocované parametry

Geometrické parametry:

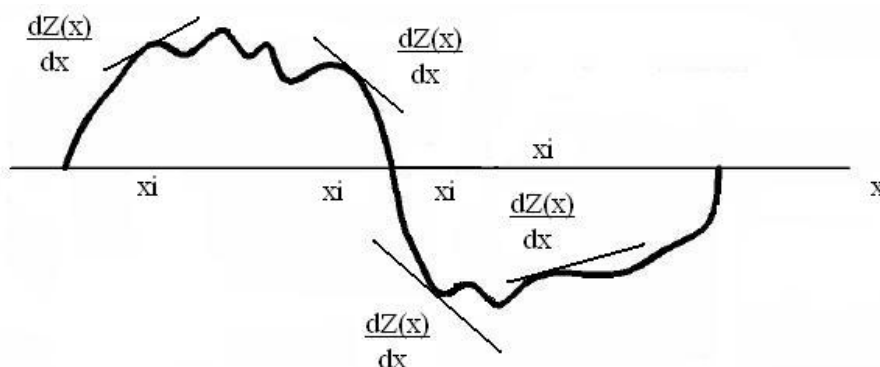
- **P-parametr** - je vypočítaný ze základního profilu,
- **R-parametr** je vypočítaný z profilu drsnosti,
- **W-parametr** je vypočítaný z profilu vlnitosti,
- **výstupek profilu** je křivka, která míří ven z posuzovaného materiálu a zároveň spojuje dva přilehlé body, které vznikají protnutím osy x,
- **výška výstupku profilu - Z_p** je vzdálenost nejvyššího bodu výstupku od osy x,
- **prohlubeň profilu** je křivka, která míří do posuzovaného materiálu a zároveň spojuje dva body, které vznikají protnutím osy x,
- **hloubka prohlubně profilu - Z_v** je vzdálenost od nejnižšího bodu prohlubně k ose x,
- **prvek profilu** vzniká spojením výstupku a prohlubně profilu (obr. 7),
- **výška prvku profilu - Z_t** je součet výšky výstupku profilu a absolutní hodnoty hloubky prohlubně profilu,



Obr. 7 Prvek profilu [1].

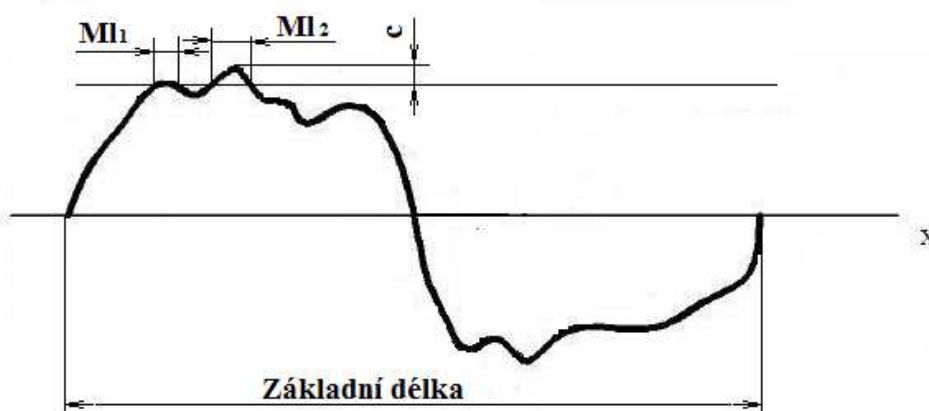
- **šířka prvku profilu - X_s** je vzdálenost od začátku výstupku až po konec prohlubně profilu,

- **hodnota pořadnice - $Z(x)$** je výška profilu v udávané poloze na ose x , výška pořadnice může být jak kladná (jestliže pořadnice leží nad osou x), tak i záporná (pořadnice leží pod osou x),
- **místní sklon - dZ/dx** je sklon zkoumaného profilu v hodnotě x_i (obr. 8),



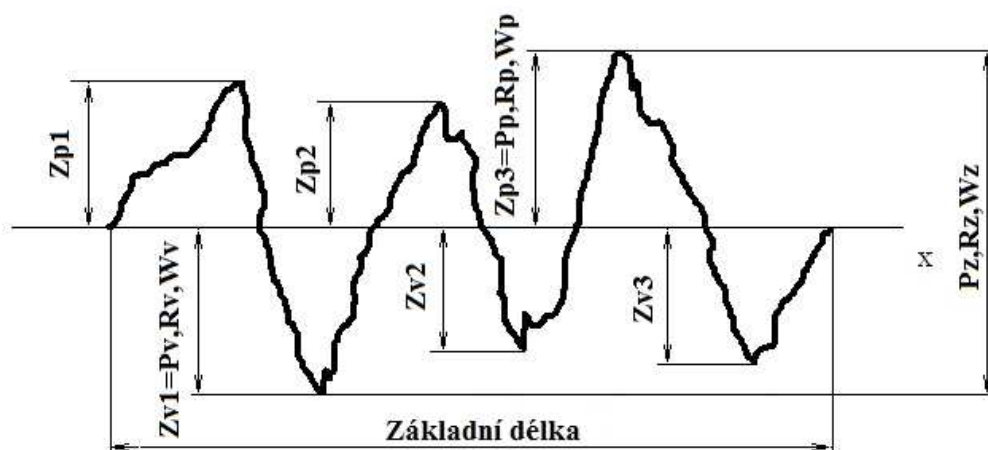
Obr. 8 Místní sklon [1].

- **materiálová délka profilu na úrovni c - $MI(c)$** se získá součtem všech délek úseků, které vzniknou, když prvek protne rovnoběžku s osou x ve vzdálenosti c od nejvyššího bodu prvku na základní délce (obr. 9) [1].

Obr. 9 Materiálová délka profilu na úrovni c [1].

Výškové parametry:

- **největší výška výstupku profilu - Pp , Rp , Wp** je to největší výška výstupku profilu Z_p , která se nachází v rozmezí základní délky (obr. 10),
- **největší hloubka prohlubně profilu - Pv , Rv , Wv** je to výška nejnižší prohlubně profilu Z_v , která se nachází v rozmezí základní délky (obr. 10),
- **největší výška profilu - Pz , Rz , Wz** je to součet největší výšky výstupku profilu Z_p a největší hloubky prohlubně profilu Z_v v rozmezí základní délky (viz. obr. 10),



Obr. 10 Největší výška výstupku profilu, největší hloubka prohlubně profilu a největší výška profilu [1].

- **celková výška profilu – P_t , R_t , W_t** je součet největší výšky výstupku profilu Z_p a největší hloubky prohlubně profilu Z_v v intervalu vyhodnocované délky,
- **průměrná výška prvků profilu – P_c , R_c , W_c** se vypočítá aritmetickým průměrem z výšek prvků profilu Z_t v intervalu základní délky (obr. 11),

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

kde: P_c, R_c, W_c [μm]- průměrná výška prvků profilu,
 m [-] - počet prvků profilu,
 Z_{ti} [μm] - výška prvku profilu,



Obr. 11 Výšky prvků profilu v intervalu základní délky [1].

- **průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu - Pa, Ra, Wa** je vypočítána aritmetickým průměrem absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v intervalu základní délky,

$$Pa, Ra, Wa = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (1.2)$$

kde: Pa, Ra, Wa [μm] - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu,
 l [mm] - základní délka lp, lr, lw,
 Z(x) [μm] - výška poradnice,

- **průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu - Pq, Rq, Wq** je vypočítána kvadratickým průměrem hodnot pořadnic $Z(x)$ v intervalu základní délky,

$$Pq, Rq, Wq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx} \quad (1.3)$$

kde: Pq, Rq, Wq [μm] - průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu,
 l [mm] - základní délka lp, lr, lw,
 Z(x) [μm] - výška poradnice,

- **šikmost posuzovaného profilu - Psk, Rsk, Wsk** je definována podílem průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny průměrné kvadratické úchylky posuzovaného profilu,

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^3(x)| dx \right] \quad (1.4)$$

kde: Rsk [-] - šikmost posuzovaného profilu,
 Pq, Rq, Wq [μm] - průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu,
 lr [mm] - základní délka,
 Z(x) [μm] - výška poradnice,

- **špičatost posuzovaného profilu - Pku, Rku, Wku** je definována podílem průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny průměrné kvadratické úchylky posuzovaného profilu,

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^4(x)| dx \right] \quad (1.5)$$

kde: Rku [-] - špičatost posuzovaného profilu,

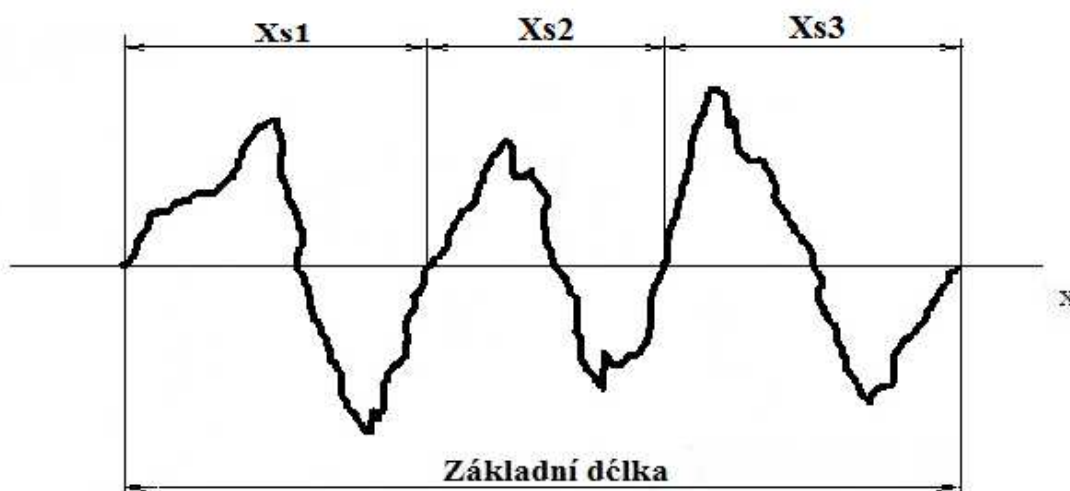
P_q, R_q, W_q [μm] - průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu,
 l_r [mm] - základní délka,
 $Z(x)$ [μm] - výška poradnice[1].

Délkové parametry:

- **průměrná šířka prvků profilu - P_{Sm} , R_{Sm} , W_{Sm}** je definován aritmetickým průměrem šířek prvku profilu X_s v intervalu základní délky (obr 7,12),

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si} \quad (1.6)$$

kde: P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} [μm] - průměrná šířka prvků profilu,
 m [-] - počet prvků profilu,
 Z_{ti} [μm] - výška prvku profilu [1].



Obr. 12 Šířka prvků profilu [1].

Tvarové parametry:

- **průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu - P_{dq} , R_{dq} , W_{dq}** je definován kvadratickým průměrem sklonů pořadnic DZ/dx v intervalu základní délky [1].

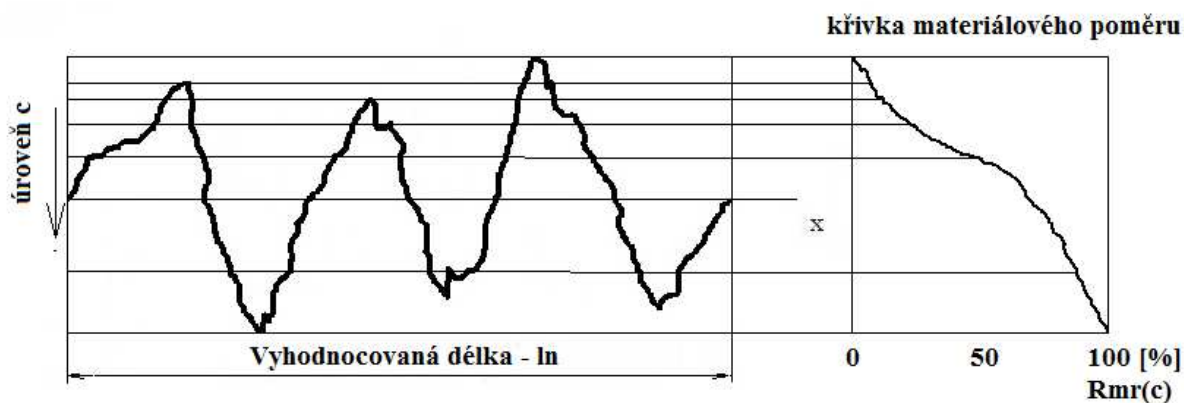
Křivky a odpovídající parametry:

- **materiálový poměr profilu (nosný podíl) – $P_{mr}(c)$, $R_{mr}(c)$, $W_{mr}(c)$**

$$P_{mr}(c), R_{mr}(c), W_{mr}(c) = \frac{Ml(c)}{ln} * 100\% \quad (1.7)$$

kde: $P_{mr}(c), R_{mr}(c), W_{mr}(c)$ [%] - materiálový poměr profilu,
 $Ml(c)$ [mm] - materiálová délka profilu na úrovni c ,
 ln [mm] - vyhodnocovaná délka,

- **křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka)** jedná se o znázornění materiálového poměru v jednotlivých úrovních c (obr. 13),



Obr. 13 Křivka materiálového poměru profilu [1].

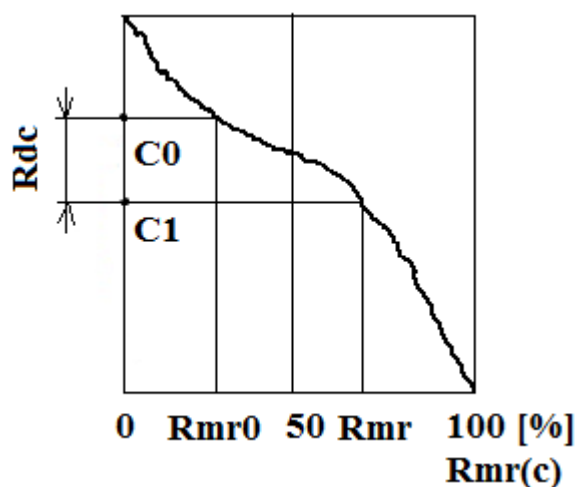
- **rozdíl výšky úseku profilu - Pdc, Rdc, Wdc** je svislá vzdálenost mezi jednotlivými úrovněmi dvou úseků daného materiálového poměru (obr. 10),

$$Rdc = C(Rmr1) - C(Rmr2) \quad (1.8)$$

za podmínky, že $Rmr1 < Rmr2$

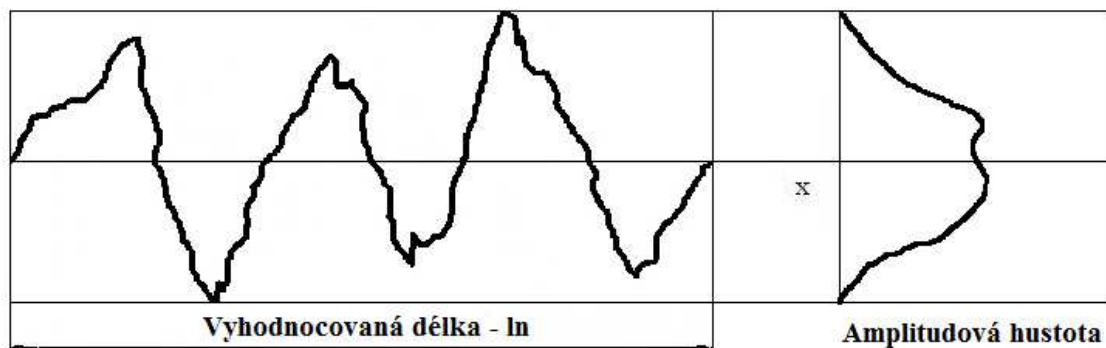
kde: Rdc [μm] - rozdíl výšky úseku profilu,
 $C(Rmr1)$ [μm]- vzdálenost 1. úrovně materiálového poměru ,
 $C(Rmr2)$ [μm]- vzdálenost 2. úrovně materiálového poměru,

- **vzájemný materiálový poměr - Pmr, Rmr, Wmr** je materiálový poměr definovaný na úrovni části profilu Rdc, vztažený k úrovni C0 a C1 (obr. 14),



Obr. 14 Rozdíl výšky úseku profilu a vzájemný materiálový poměr [1].

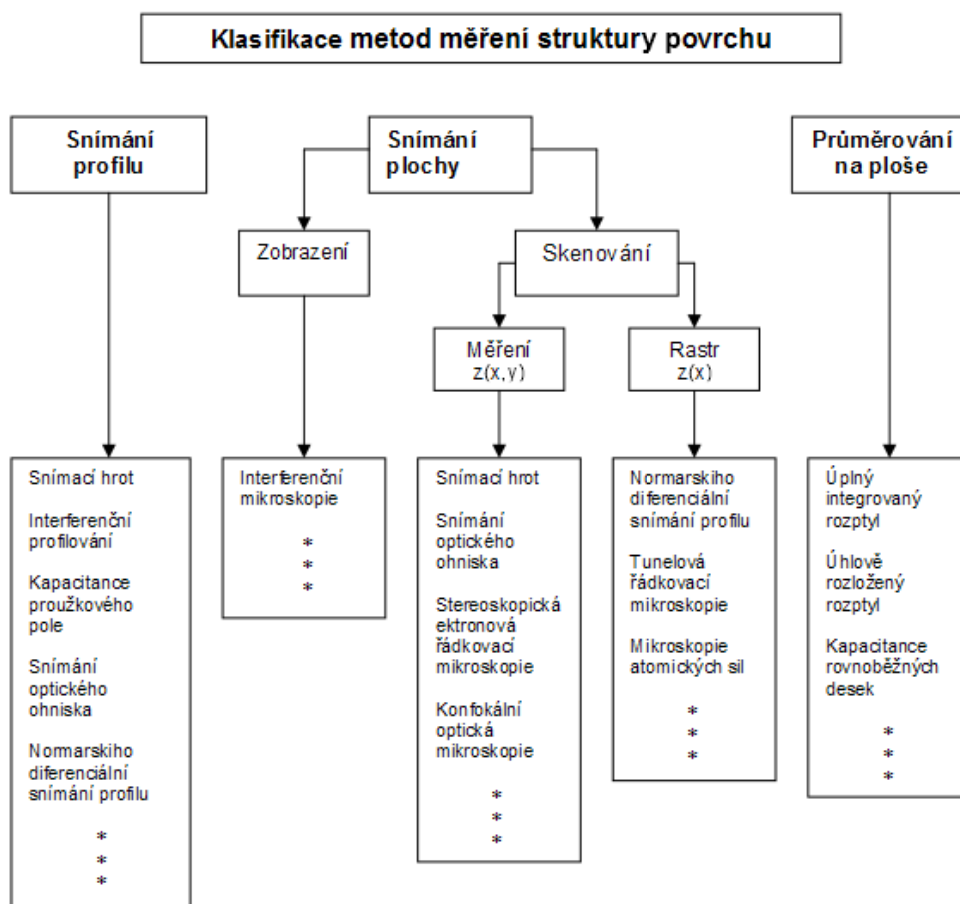
- **empirické rozdělení výšek profilu** znázorňuje je hustota pravděpodobnosti pořadnic v intervalu vyhodnocované délky (obr. 15) [1].



Obr. 15 Empirické rozdělení výšek profilu [1].

1.1.4 Přístroje pro měření struktury povrchu

Přístroje, které měří strukturu povrchu, se dají rozdělit podle způsobu měření do tří skupin: profilové měření, plošné profilové měření a plošné průměrovací měření (obr. 16).

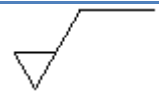
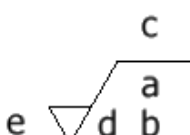
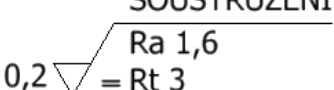


Obr. 16 Metody měření struktury povrchu [8].

1.1.5 Značení struktury povrchu na výkrese

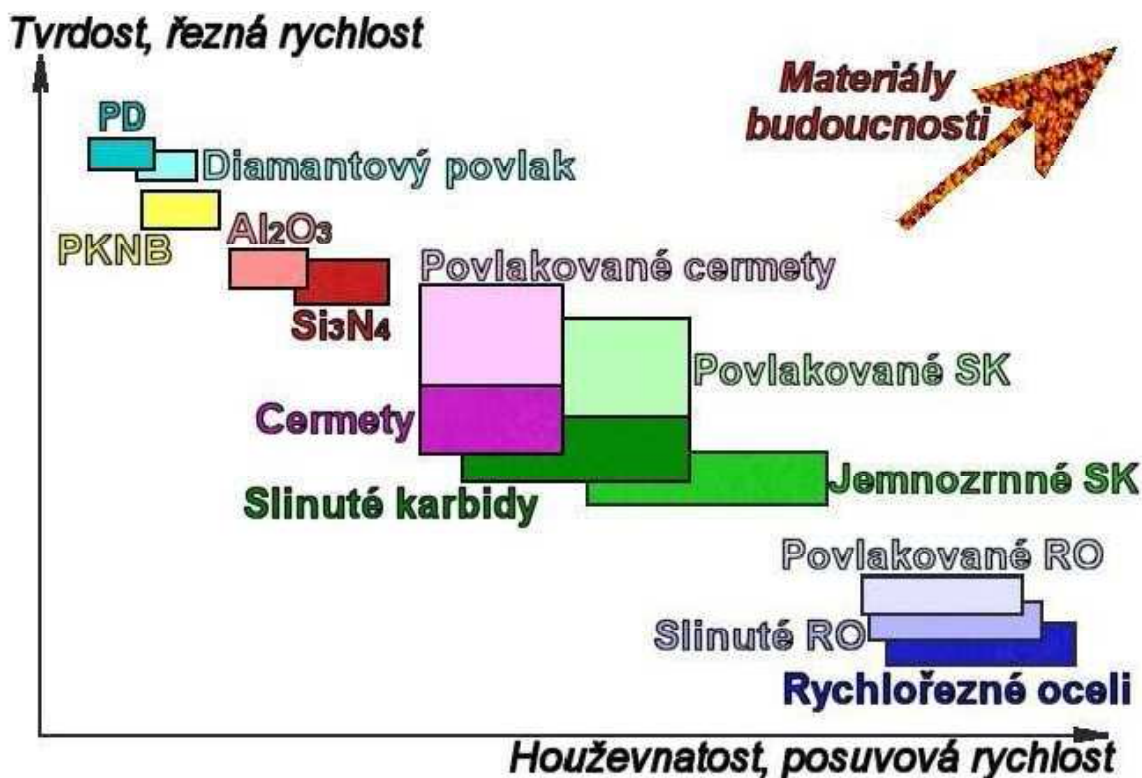
Měření struktury povrchu má smysl tehdy, když potřebujeme posoudit funkčnost daného výrobku vzhledem k výrobní dokumentaci. Pro vyrobení dle požadavků se používá mezinárodní normalizované značení struktury povrchu v technické dokumentaci podle normy ČSN EN ISO 1302. V tomto značení je zahrnuto, jestli se má povrch obrábět, případně jakým procesem, nebo má zůstat neobrobený. Dále se specifikuje požadovaná hodnota parametru struktury povrchu (R_a , R_z , R_t a další) a přídavek na obrobení (tab. 1.4) [6,9].

Tab. 1.4 Příklady značení struktury povrchu [6,9].

Příklad	Popis
	- Jedná se o základní grafickou značku struktury povrchu.
	- Jedná se o rozšířenou grafickou značku struktury povrchu, která klade požadavek na odebrání materiálu pro dosažení určené velikosti parametru struktury povrchu konkrétní plochy.
	- Jedná se o rozšířenou grafickou značku struktury povrchu, která nedovoluje odebrání materiálu pro dosažení určené velikosti parametru struktury povrchu konkrétní plochy.
	- Jedná se o úplnou grafickou značku struktury povrchu, kde se vyžaduje odebrání materiálu.
	- K grafické značce struktury povrchu se přidávají doplňkové požadavky na strukturu povrchu: - pozice a – konkrétní jediný požadavek na strukturu povrchu, - pozice a a b – dva nebo více požadavků na strukturu povrchu, - pozice c – zde je předepsán konkrétní výrobní proces (např. soustružení, broušení, frézování, zinkování, chromování a další), - pozice d – zde je značen směr stop vniklých při obrábění, (např. rovnoběžný =, zkřížený x, libovolný M, kruhový C a další) - pozice e – přídavek na obrábění.
SOUSTRUŽENÍ 	- Příklad úplného značení, které znamená přídavek 0,2 mm na obrábění, výsledný povrch vznikne soustružením s rovnoměrnými stopami, je hodnocen R profil, platí zde pravidlo 16%, průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu struktury povrchu je 1,6 μm a je požadována nejvyšší výška profilu 3 μm .

1.2 Nástrojové materiály

V dnešní době jsou u nástrojových materiálů požadovány vysoké nároky na trvanlivost, odolnost proti otěru. Ideální nástrojový materiál (obr. 17) je vysoce tvrdý a zároveň vysoce houževnatý [10,11].



Obr. 17 Závislost řezných podmínek na vlastnostech nástrojových materiálů [10].

1.2.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli se dají rozdělit na nelegované, legované a vysokolegované (rychlořezné). Dříve byly zařazeny podle ČSN 41 9861 do třídy 19. Dnes jsou značeny podle ISO EN – HS. Ve srovnání s ostatními nástrojovými materiály jsou nejlevnější. Dají se využít tam, kde není zapotřebí vysoká produktivita [9,10].

Rychlořezné oceli je to skupina vysokolegované nástrojové oceli dříve značena 19 8xx dnes HSS. Rychlořezné oceli mají ve srovnání s ostatními nástrojovými materiály nejvyšší houževnatost ale nejmenší tvrdost. To dovoluje vyšší posuvovou rychlost ale menší řeznou rychlost. Tvrdost vysokolegovaných ocelí je dána zakalením na martenzit a přítomností karbidů legujících prvků (chromu, wolframu molybdenu a vanadu), které se slučují s přítomným uhlíkem. Dále vysoký počet legujících prvků zaručuje vysokou prokalitelnost. Rychlořezné oceli mohou být použity při obrábění do teploty 600 °C [10,11].

1.2.2 Slinuté karbidy

Mají vyšší tvrdost ale menší houževnatost než nástrojové oceli, proto dovolují použití vyšší řezné rychlosti za menší posuvové rychlosti. Jsou vyráběny metodou práškové metalurgie, kdy jsou spékány (slinovány) karbidy wolframu, titanu, chromu a dalších kovů. Jako pojivo při spékání karbidů je používán kobalt. U slinutých karbidů se vzhledem

k vlastnostem karbidů (vysoké tvrdosti) neprovádí tepelné zpracování ke zvýšení tvrdosti. Slinuté karbidy dovolují použití do teploty 900°C.

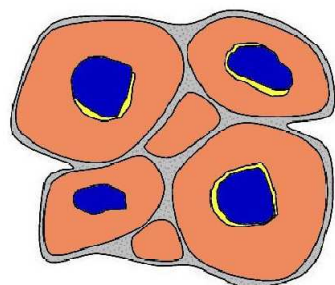
Slinuté karbidy se dělí podle ISO z povahy řezného procesu na skupinu:

- P – slinuté karbidy pro obrábění materiálů, u kterých vniká plynulá tříska, značena modrou barvou,
- M – slinuté karbidy pro obrábění materiálů, u kterých vniká jak plynulá tak krátká tříska, značena žlutou barvou,
- K – slinuté karbidy pro obrábění materiálů, u kterých vniká krátká tříska, značena červenou barvou.

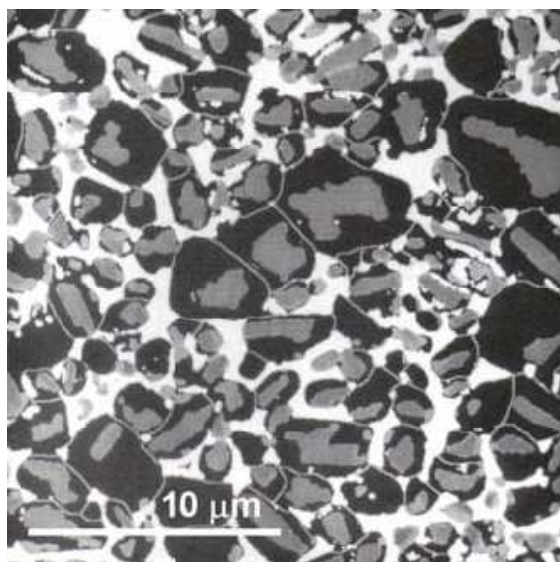
Dále jsou slinuté karbidy značeny dvoumístným číslem, které vyjadřuje houževnatost a odolnost vůči otěru. Nejmenší číslo značí velkou odolnost vůči otěru, malou houževnatost a vysoké číslo naopak malou odolnost vůči otěru a vysokou houževnatost [10,11].

1.2.3 Cermety

Mají vyšší tvrdost ale menší houževnatost než slinuté karbidy, což dovoluje ještě vyšší řeznou rychlost za cenu menšího posuvu. Název cermet vychází z názvů použitých materiálu keramiky (**ceramic**) a kovu (**metal**). Cermety se v základu skládají z TiC + TiN + Ni, Mo (obr. 18, 19). Výroba cermetu je podobná výrobě slinutých karbidů, opět jde o metodu práškové metalurgie. Tvrdost cermetu se zvyšuje s obsahem TiC naopak houževnatost se zvyšuje s obsahem TiN [10,11].



Obr. 18 Schéma struktury cermetu [10].



Obr. 19 Struktura cermetu na bázi TiCN [10].

1.2.4 Keramické řezné materiály

Jsou tvrdší než cermety a méně houževnaté, vyšší řezná rychlost a menší posuv než u cermetů. Hlavní složkou keramických řezných materiálů jsou nekovové krystalické anorganické sloučeniny. Tyto materiály se dají rozdělit na dvě skupiny z hlediska

základního materiálu: oxidu hlinitého a nitridu křemičitého. Dále se dají rozdělit podle chemického složení a vlastností na: čistou keramiku (bílou), směsnou (černou) a keramiku na základě nitridu křemičitého. Keramické řezné materiály dovolují obrábění až za teploty 1200°C [10,11].

1.3.5 Super tvrdé řezné materiály

Jsou to netvrší a nejméně houževnaté řezné materiály, dovolují nevyšší řeznou rychlost za nejmenšího posuvu z nástrojových materiálů. Mezi super tvrdé řezné materiály patří **polykrystalický nitrid boru** a **polykrystalický diamant**. Mezi nevýhodu těchto materiálů patří jejich vysoká pořizovací cena.

Polykrystalický kubický nitrid boru se využívá u obrábění tvrdých žáruvzdorných materiálů, nežeháné litiny, kalené oceli a kobaltových, niklových slitin.

Polykrystalický diamant se využívá u obrábění nekovových materiálů a neželezných kovů. Nedá se využít k obrábění oceli, protože tímto materiálem se nedají obrábět materiály, které mají vysokou afinitu k uhlíku. Dále se nedá využít pro obrábění za teploty vyšší 650°C. Při této teplotě se uhlík, z něhož je polykrystalický diamant složen, mění na grafit [10,11].

1.2.6 Povlakování nástrojů

Pro zvýšení produktivity výroby bylo nutno docílit vyšší trvanlivosti nástrojů při stále náročnějších řezných podmínkách, vyšší řezná rychlost, vyšší velikost posuvu a otáček. Z tohoto důvodu se začaly nástroje povlakovat. Povlakování zvyšovalo tvrdost na povrchu nástroje. Metoda povlakování se využívá pro všechny výše vyjmenované řezné materiály. Historicky první, kdo využil povlakování, byla firma Sandvik Coromant v roce 1969. Povlakované vrstvy nástroje lze z hlediska vývoje rozdělit na:

- Povlak 1. generace – jedna vrstva se špatnou soudržností, tloušťka okolo 7 μm,
- Povlak 2. generace – jedna vrstva o větší tloušťce okolo 13 μm,
- Povlak 3. generace – dvě a více vrstev s ostrými přechody mezi vrstvami,
- Povlak 4. generace – speciální vícevrstvý povlak, obvykle více jak 10 vrstev a mezivrstev.

Jsou dva způsoby nanášení povlakové vrstvy: metodou **CVD** a metodou **PVD**.

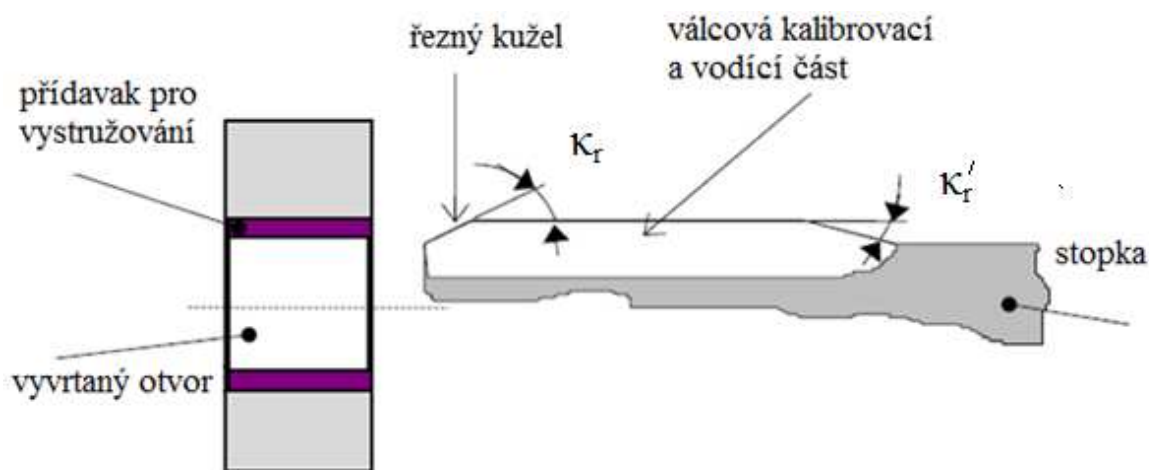
Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) což je chemické napařování z plynné fáze, které probíhá za vysokých teplot v rozmezí (900 – 1200)°C. Výhoda této metody spočívá v dobré adhezi mezi základním materiálem a povlakem. Dále je možno nanést větší vrstvu povlaku a to o tloušťce (10 – 15) μm i na součástky složitějších tvarů. Při této metodě lze využít různé typy povlaků. Nevýhodou je, že dochází k ovlivnění podkladové vrstvy a to snížením ohybové pevnosti, dále se v povlaku nacházejí zbytková tahová napětí a nakonec touto metodou nelze povlakovat ostré hrany.

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition) což je fyzikální napařování z plynné fáze, které u této metody probíhá za nízkých pracovních teplot v rozmezí (180 – 600)°C a za středního až vysokého vakua. Vlivem nízkých pracovních teplot nedochází k nežádoucímu tepelnému ovlivnění základního materiálu. V povlaku na rozdíl od metody CVD vzniká zbytkové tlakové napětí, které nemá špatný vliv na povlak. Další výhodou je schopnost povlakovat i ostré hrany. Mezi nevýhody patří větší náročnost na přípravu povrchu

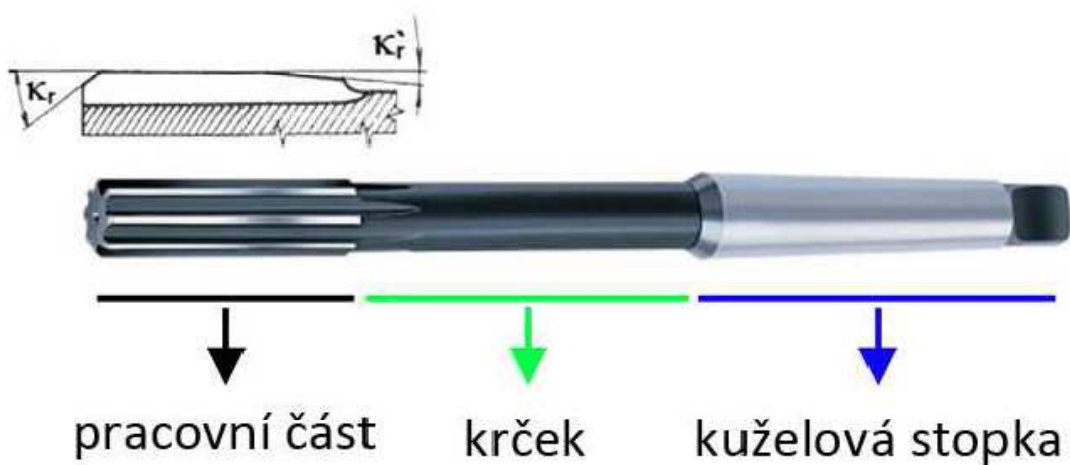
pro povlakování, povrch je nutné odmastit a očistit od nečistot. Dále se nanáší povlaková vrstva o menší tloušťce okolo 5 μm [10,11].

1.3 Vystružování

Vystružování (obr. 20) je technologická operace pro dokončování přesných válcových a kuželových otvorů, kdy se za pomoci vícebřitého nástroje výstružníku (obr. 21) odděluje od základního materiálu tříska. Vystružováním nelze opravit poloha otvoru, protože výstružník je veden osou původního otvoru. Další charakteristikou vystružování je že, se výstružník sám zavádí do otvoru a řeže materiál i bez navrtávací pomůcky.. Samostatně se vystružování používá pro dokončování otvorů do průměru 10 mm. Nad 10 mm musí vystružování předcházet technologická operace vyhrubování, pro zpřesnění otvoru pro následné vystružování. Použití výstružníků začíná již od 4 mm. Dosahovaná rozměrová přesnost IT je 7 - 6 a průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu je od 2 až 15 μm v závislosti na řezných podmínkách v_c , f , obráběném materiálu, stavu použitého stroje a předchozím opracování. Doporučené přídavky pro vystružování (tab. 1.5), v praxi se často používá vztah (vztah. 1.9) [9,12,13].



Obr. 20 Vystružování [12].



Obr. 21 Konstrukce výstružníku [14].

Tab. 1.5 Vybrané přídatky na vyhrubování a vystružování pro jmenovité průměry vystružovaných děr [9].

Jmenovitý průměr díry v rozměrové toleranci H7 [mm]	Průměr vrtáku [mm]	Průměr výhrubníku[mm]	Průměr výstružníku [mm]
4	3,80	-	4
5	4,80	-	5
6	5,80	-	6
7	6,80	-	7
8	7,80	-	8
9	8,80	-	9
10	9,80	-	10
12	11,25	11,80	12
16	15,25	15,80	16
20	19	19,75	20
30	28,25	29,75	30

Vztah 1.9 používaný v praxi pro výpočet přídatků na vystružování:

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot d \quad (1.9)$$

kde: p [mm] - přídavek na vystružování,
 d [mm] - jmenovitý průměr vystružované díry.

1.3.1 Rozdělení výstružníků

Podle tvaru:

- válcové - pro dokončení válcového otvoru,
- kuželové - pro dokončení kuželového otvoru [12,14].

Podle způsobu použití:

- ruční (obr. 22) - používají se k ručnímu vystružování, mají delší řezný kužel (asi 1/3 délky řezné části) pro snadnější zavedení do otvoru, dále následuje mírný kužel pro zmenšení potřebného točivého momentu, na konci ručního výstružníku se nachází stopka v provedení čtyřhranu pro upnutí do vratidla (obr. 31),



Obr. 22 Ruční kuželový výstružník[15].

- strojní (obr. 23) - pro vystružování za pomoci stroje, mají ve většině případů přímé zuby s nerovnoměrnou roztečí (pro zabránění hranatosti otvoru) nebo zuby ve šroubovici [12,14].



Obr. 23 Strojní válcový výstružník [15].

Podle tvaru stopky pro upnutí:

- kuželová stopka - používá se Morse kužel, který zajistí samosvornost,
- válcová stopka - upnutí pomoci sklíčidla, upínací hlavy [12,14].

Podle konstrukce výstružníku:

- pevné - používají se k výrobě stále stejného rozměru (obr. 19),
- nástrčné (obr. 24),
- stavitelné (obr. 25) - lze nastavit určité rozmezí rozměrů [12,14].



Obr. 24 Nástrčný výstružník[16].



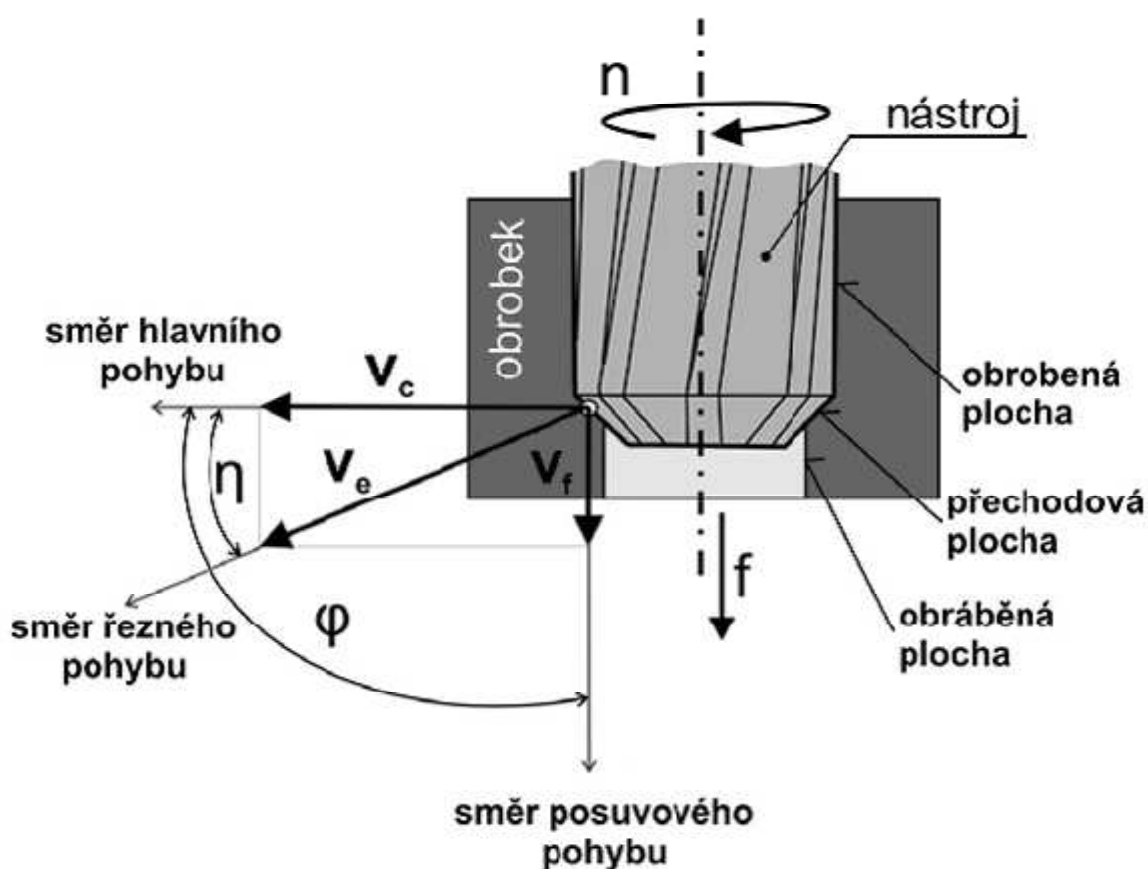
Obr. 25 Stavitelný výstružník s vodícím pouzdrem[17].

Podle směru břitů:

- rovné břity,
- levá šroubovice,
- pravá šroubovice [12,14].

1.3.2 Řezné podmínky při vystružování

Při vystružování je hlavní pohyb rotační, který vykonává nástroj (výstružník). Míno vystružování na soustruhu, kde hlavní pohyb koná obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý, který vykonává též nástroj (obr. 26). Pro každý výstružník jsou definovány doporučené řezné podmínky pro vystružování (tab. 1.6), které zaručují minimální životnost nástroje. Řezné podmínky se liší z hlediska vystružovaného průměru, použitého materiálu výstružníku, jestli je použit povlak a jakého je druhu a na materiálu obráběného polotovaru. Jedná se o řeznou rychlost v_c (vztah 1.10), otáčky n (vztah 1.11) a posuv f , případně posuv na zub f_z výstružníku. Z hlediska stroje je nutné stanovit řeznou sílu F_c (vztah 1.16), která je potřebná pro výpočet potřebného řezného výkonu pro vystružování P_c (vztah 1.17). Z hlediska časové náročnosti se stanoví jednotkový strojní čas potřebný na vystružení otvoru t_{AS} (vztah 1.18) [11,18,19].



Obr. 26 Řezné podmínky při vystružování [18].

Výpočty řezných podmínek dle vztahů:

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1.10)$$

$$n = \frac{1000v_c}{\pi d} \quad (1.11)$$

$$v_f = 10^{-3} \cdot f_{ot} \cdot n \quad (1.12)$$

$$f_{ot} = f_z \cdot z \quad (1.13)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.14)$$

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{v_f}{v_c} \quad (1.15)$$

kde:	n [min ⁻¹]	-	otáčky výstružníku,
	v _c [m.min ⁻¹]	-	řezná rychlost,
	v _f [m.min ⁻¹]	-	posuvová rychlost,
	f _{ot} [mm]	-	posuv na otáčku,
	z [-]	-	počet břitů,
	π [-]	-	Ludolfovo číslo,
	d [mm]	-	průměr výstružníku,
	v _e [m.min ⁻¹]	-	výsledná rychlost řezného pohybu,
	η [°]	-	úhel výsledné řezné rychlosti.

Výpočet řezných sil a výkonu při vystružování:

$$F_c = C_{Fc} \cdot d^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad (1.16)$$

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{z \cdot 60 \cdot 1000} \quad (1.17)$$

kde:	F _c [N]	-	řezná síla,
	C _{Fc} [-]	-	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu,
	d [mm]	-	průměr výstružníku,
	f [mm]	-	posuv na otáčku,
	x _{Fc} [-]	-	exponent vyjadřující vliv průměru výstružníku,
	y _{Fc} [-]	-	exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku,
	z [-]	-	počet břitů výstružníku.

Výpočet jednotkového strojního času t_{AS}:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{lna + lot + lp}{n \cdot f} \quad (1.18)$$

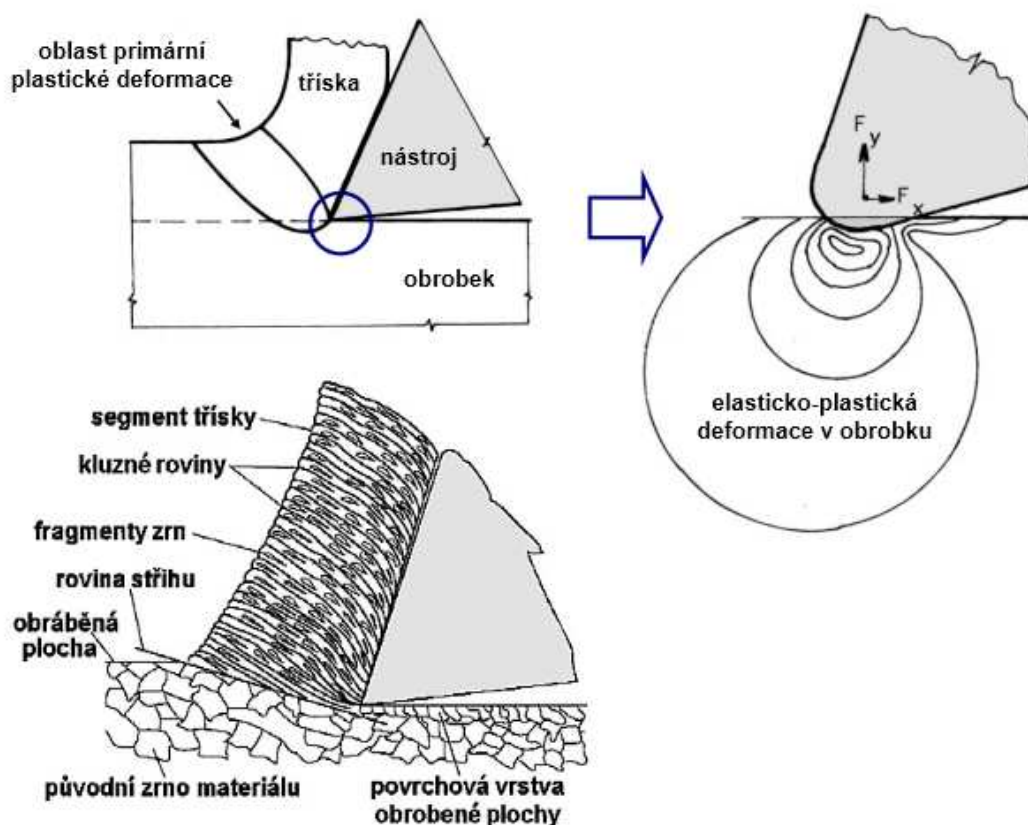
kde:	t_{AS} [min]	-	jednotkový strojní čas,
	L [mm]	-	celková dráha pohybu výstružníku,
	lna [mm]	-	dráha náběhu,
	lot [mm]	-	délka vystružovaného otvoru,
	lp [mm]	-	dráha přeběhu,
	v_f [mm.min ⁻¹]	-	posuvová rychlost,
	n [min ⁻¹]	-	otáčky výstružníku,
	f [mm]	-	posuv.

Tab. 1.6 Doporučený řezné podmínky pro vystružování firmy ALVAN [20].

Obráběný materiál	Pevnost [Mpa]	Slinutý karbid vc [m.min ⁻¹]	Povlak. slinutý karbid vc [m.min ⁻¹]	Cermet vc [m.min ⁻¹]
-Ocel s obsahem 0,2<0,5% C				
-Nelegovaná ocel	do 600	10 - 20	60 - 80	90 - 300
-Ocel s nízkým obsahem uhlíku				
-Konstrukční ocel	nad 600	7 - 15	40 - 70	80 - 200
-Ocel s vyšší pevností				
-Legovaná ocel	400-1000	6 - 10	30 - 50	60 - 150
-Korozivzdorná ocel				
-Ocel s vysokou pevností	800-1500	4 - 8	15 - 30	60 - 120
-Manganová ocel				
-Šedá litina	do 200 HB	20 - 40	50 - 70	
-Tvárná litina (perlitická)				
-Temperová litina	nad 200 HB	15 - 30	50 - 70	
-Tvárná litina (feritická)	300-700	10 - 15	30 - 50	60 - 120
-Měď				
-Slitiny mědi		60 - 200	100 - 200	
-Mosaz				
-Bronz		20 - 40	80 - 160	100 - 300
-Hliník				
-Lehké slitiny		20 - 200		
-Titan				
-Slitiny titanu		6 - 15	20 - 60	

1.3.3 Proces vzniku povrchu při vystružování

Technologický proces vystružování patří mezi třískové obrábění materiálu, jehož fyzikální podstata je plastická deformace (obr. 27), závisající na deformační rychlosti a teplotě. Při obrábění dochází k vzájemné interakci mezi obráběným materiálem a nástrojem, kdy je odstraňován přírůstek materiálu. Následně vzniká nový povrch, kde lesklá místa vznikla pomocí řezání a šedá místa jsou tvořena neodříznutým materiálem [21].



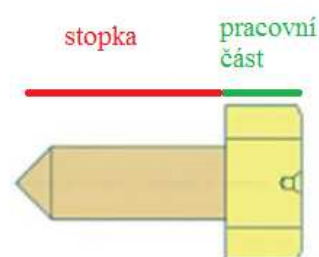
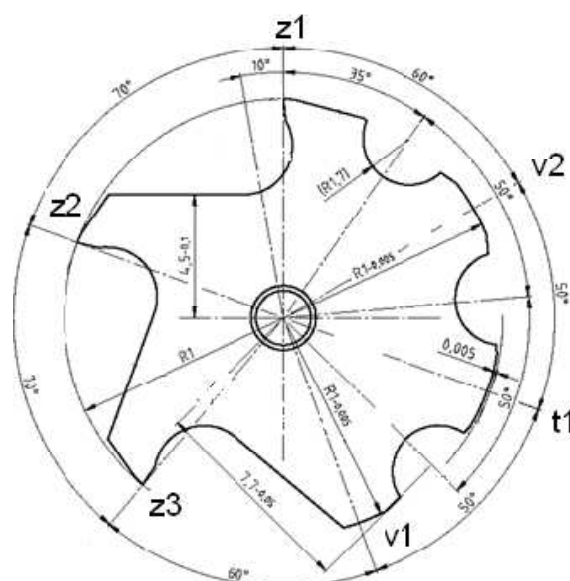
Obr. 27 Proces vzniku nového povrchu při vystružování [22].

Při vzniku nového povrchu dochází k deformaci povrchové vrstvy. Tato deformace je důsledkem působení tečných a podélných napětí při řezání. Což je vlastně plastická deformace, která zůstává na povrchu i po odstranění zátěžové síly. Důsledek je, že dochází ke zpevnění povrchové vrstvy [21].

1.4 Vystružovací hlavičky MT3

Vystružovací hlavičky MT3 (obr. 28) vyvinula firma Ham-Final. Ham-Final je německo-česká firma, která se zabývá vývojem a výrobou nástrojů pro vystružování. Hlavičky MT3 slouží k vystružování velmi přených otvorů v rozměrových přesnostech IT5 – IT6 a drsnosti povrchu kolem $R_a = 0,4 \mu\text{m}$. Tato drsnost povrchu je někdy dostačující, proto vystružování může někdy nahradit náročnější a dražší dokončovací operaci broušení. Nástroj je vyroben monolitně z materiálů cermetů nebo slinutých karbidů, které lze povlakovat. Tím, že je nástroj vyroben z jednoho kusu není třeba seřizovat. Hlavičky MT3 má tři zuby, které odebírají materiál, dvě vodítka a technologický výstupek. Vhodná kombinace rozmístění zubů z_1, z_2, z_3 a vodítek v_1, v_2 (obr. 29) po obvodu zaručuje dobrou oporu zubů při řezu, odolnost vůči vibracím a dosažení správné kruhovitosti a válcovitosti

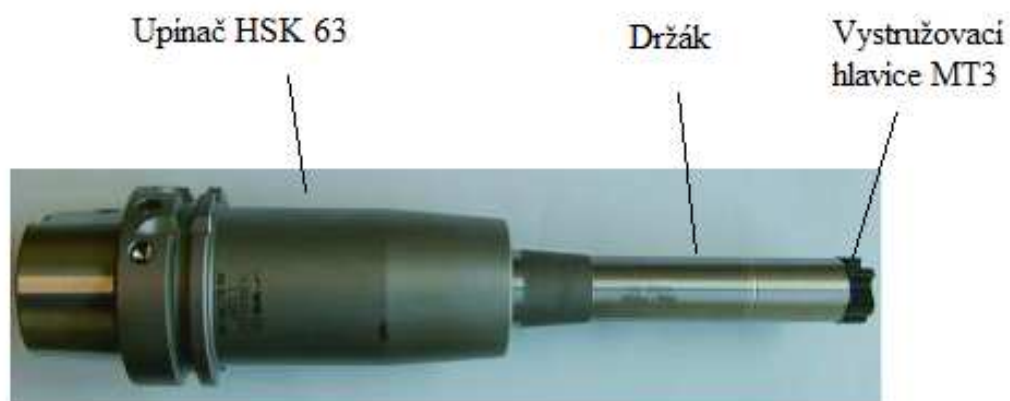
vystružovaného otvoru. Technologický výstupek t_1 je technologická základna používaná pro měření [23,24,25].



Obr. 28 Hlavice MT3 [24].

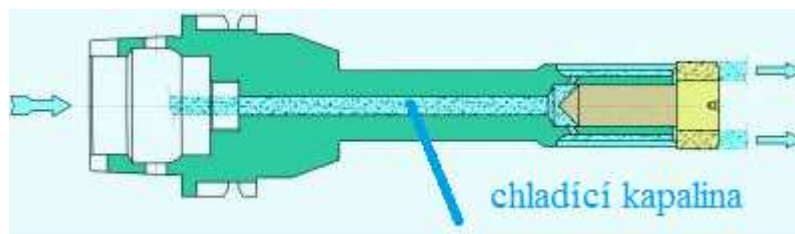
Obr. 29 Konstrukce hlavice MT3[23,25].

Přesné ustavení vystružovací hlavice MT3 zajišťuje tepelné upnutí v držáku nástroje (obr. 30), zároveň je nástroj dostatečně tuhý a odolný vůči otřesům, má vysokou provozní spolehlivost.



Obr. 30 Upínač HSK 63 s držákem s tepelně upnutou vystružovací hlavicí MT3[24].

Jelikož obrábění pomocí vystružovací hlavice MT3 umožňuje vysokou produktivitu, je nutno chladit, aby nedošlo k předčasnému opotřebení nástroje, nebo k nepříznivému ovlivnění povrchu otvoru. Chlazení probíhá přes vnitřek upínače HSK 63 až přes vnitřek držáku vystružovací hlavice, kde na jeho konci chladicí kapalina vystupuje na povrch a chladí nejenom řezné zuby ale i vodítka (obr. 31).



Obr. 31 Znáznornění chlazení u upnuté hlavice MT3 [24].

1.4.1 Stroje využitelné pro vystružování

Vystružovat lze buď ručně za pomoci vratidla (obr. 32), velmi nízká produktivita, spíše kusová výroba, horší kvalita otvoru. Nebo lze použít stroj. Při použití stroje je vyšší produktivita a vyšší kvalita povrchu vystruženého otvoru. Kvalita vystruženého otvoru je závislá na stavu, tuhosti, konstrukci stroje. Pro strojní vystružování lze použít např. univerzální hrotový soustruh, CNC soustruh (obr. 33), NC soustruh, frézka (obr. 34), CNC frézka, vrtačka a další stroje, které podporují rotační a podélný pohyb.



Obr. 32 Vratidlo [26].



Obr. 33 Univerzální hrotový CNC soustruh [27].



Obr. 34 Konzolová frézka [27].

2 MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU

V této kapitole je upřesněno jakým přístrojem a jakou metodou je měření provedeno. Dále je specifikován měřený vzorek a jsou uvedeny vybrané vyhodnocované parametry.

2.1 Měřicí aparatura

Pro měření struktury povrchu byl použit profilometr FORM TALYSURF Intra 5.0 od firmy TAYLOR HOBSON (obr. 35) v kombinaci se softwarově vybaveným počítačem pro zobrazení a vyhodnocení dat. Samotné snímání obstarává rameno se snímacím hrotem (obr. 36), kdy se hrot vysouvá po měřeném povrchu v rozsahu vyhodnocované délky.



Obr. 35 Fotografie měřicí aparatury.



Obr. 36 Rameno se snímacím hrotem.

2.2 Vyhodnocovaný vzorek

Pro vyhodnocení struktury povrchu sloužily vystružené otvory o průměru 19,8 mm do desky o rozměru 200 mm x 95 mm x 27 mm z materiálu 42CrMo4 (podle ČSN 15 142). Vystružení otvoru probíhalo za rychlosti $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu $f_{ot} = 0,42 \text{ mm}$ (obr. 37).



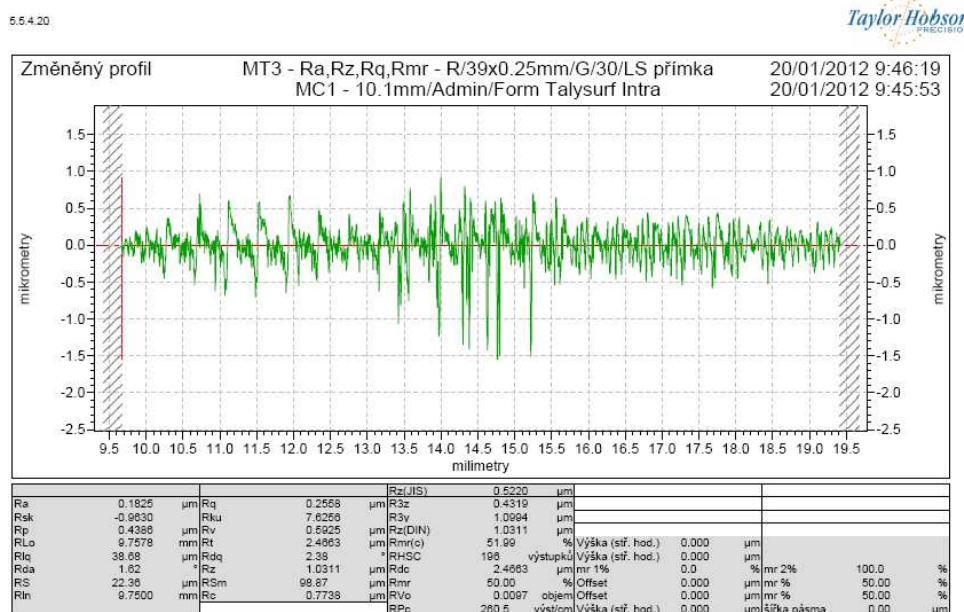
Obr. 37 Model vyhodnocovaného vzorku.

2.3 Postup měření

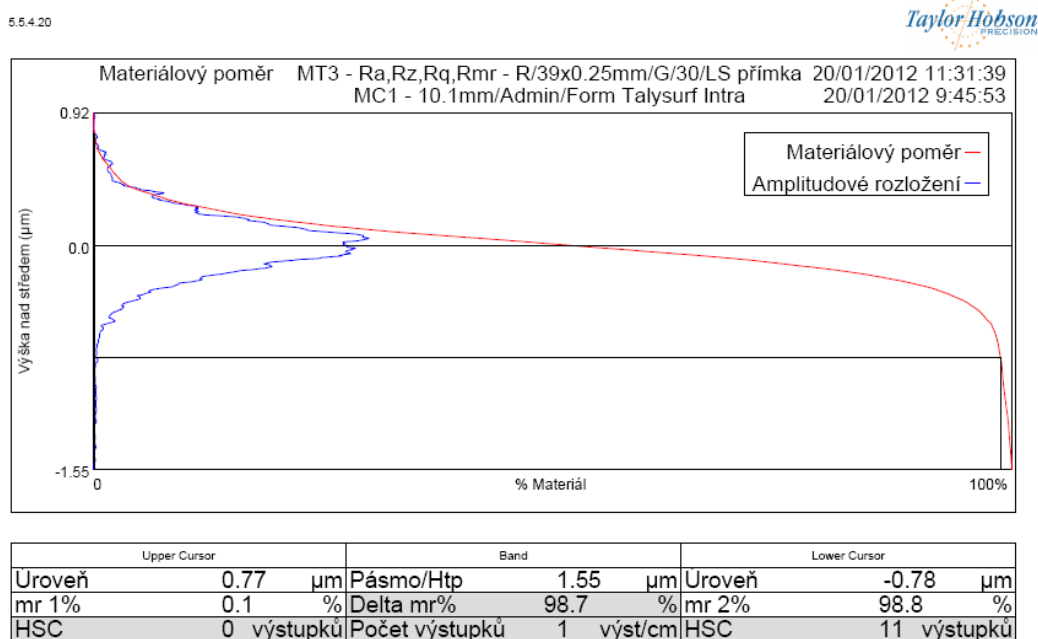
Pro měření struktury povrchu byla zvolena vyhodnocovaná délka l_n 10 mm. Přičemž délka otvoru byla 27 mm. V každém otvoru probíhaly 3 měření struktury povrchu se začátkem od okraje s tím, že měření 2. a 3. se překrývalo v délce 3 mm pro zachování stejné vyhodnocované délky l_n .

2.4 Naměřené údaje

Veškerá měření se zobrazovaly na softwarově vybaveném počítači v podobě grafu průběhu změřeného profilu (obr. 38), detail (příloha 1) a v podobě grafu materiálového poměru (obr. 39), detail (příloha 2). Naměřené vybrané hodnoty (tab. 2.1). Příklad ze všech změřených hodnot struktury povrchu (příloha 3).



Obr. 38 Příklad změřeného profilu povrchu.



Obr. 39 Příklad změřeného materiálového poměru.

Tab. 2.1 Naměřené hodnoty.

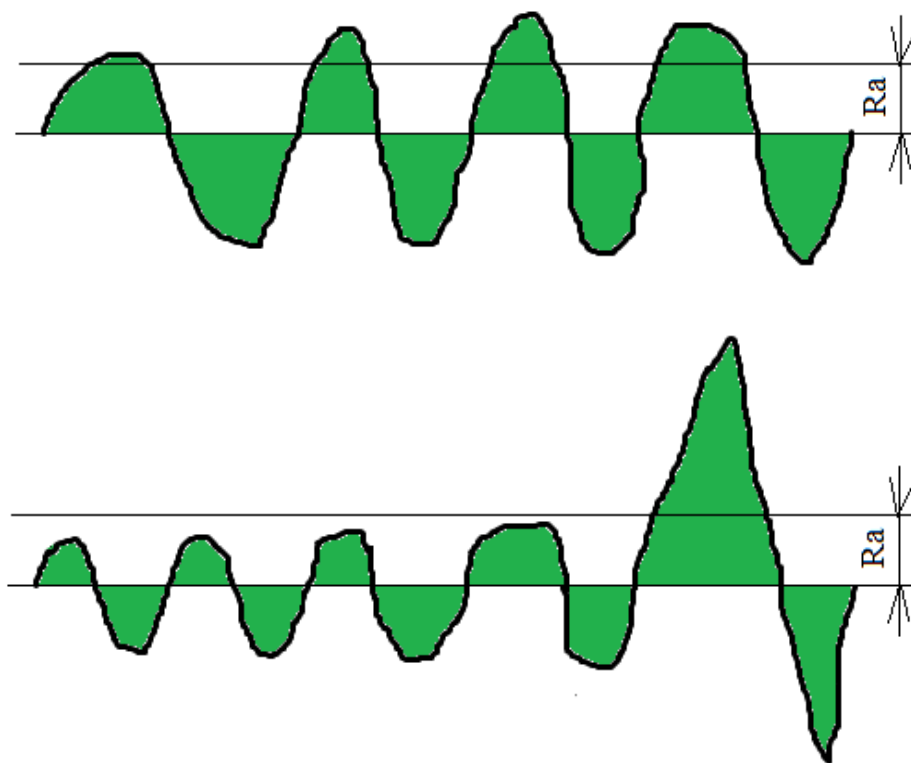
MĚŘENÍ	Ra [μm]	Rq [μm]	Rv [μm]	Rp [μm]	Rz [μm]	Rt [μm]	Rda [°]	Rdq [°]	Rmr(c) [%]
1.	0.1825	0.2558	0.5925	0.4386	1.0311	2.4663	1.62	2.38	51.99
2.	0.1494	0.1854	0.4431	0.3506	0.7937	1.1118	1.44	1.90	54.11
3.	0.1485	0.1867	0.4636	0.3519	0.8155	1.2573	1.41	1.88	54.89
4.	0.1543	0.1901	0.4483	0.3419	0.7902	1.3333	1.41	1.93	53.61
5.	0.1579	0.1927	0.4520	0.3510	0.8031	1.1781	1.48	2.01	55.39
6.	0.1548	0.1897	0.4516	0.3552	0.8069	1.2834	1.48	2.01	54.82
7.	0.1374	0.1695	0.4256	0.2989	0.7245	1.2397	1.29	1.75	53.96
8.	0.1683	0.2088	0.5099	0.3865	0.8964	1.6979	1.54	2.06	52.73
9.	0.1706	0.2070	0.5080	0.3725	0.8805	1.3300	1.57	2.10	54.41
10.	0.1466	0.1798	0.4364	0.3248	0.7613	1.1553	1.35	1.80	52.94
11.	0.1721	0.2080	0.5383	0.3489	0.8872	1.4360	1.66	2.26	54.04
12.	0.1648	0.2007	0.5193	0.3346	0.8539	1.4058	1.54	2.09	54.34
13.	0.1525	0.1843	0.4431	0.3113	0.7544	1.1030	1.31	1.76	54.51
14.	0.1370	0.1660	0.4047	0.2721	0.6768	0.9778	1.25	1.70	55.80
15.	0.1482	0.1802	0.4344	0.2844	0.7187	1.0290	1.27	1.71	56.68
16.	0.1709	0.2230	0.5648	0.3720	0.9368	2.1181	1.66	2.39	56.56
17.	0.2052	0.2589	0.6947	0.4555	1.1503	2.2464	2.00	2.86	55.26
18.	0.1988	0.2559	0.7359	0.4225	1.1584	2.0832	1.92	2.78	57.79
19.	0.1724	0.2192	0.6334	0.3488	0.9822	1.8606	1.88	2.67	57.25
20.	0.2838	0.4262	1.1988	0.5752	1.7739	3.2602	2.44	3.57	60.62
21.	0.3252	0.4633	1.3660	0.6689	2.0349	3.4196	2.65	3.91	59.87
22.	0.1442	0.2058	0.4356	0.3907	0.8263	1.4470	0.88	1.28	50.73
23.	0.1461	0.2110	0.4382	0.3821	0.8203	1.2371	0.94	1.29	49.88
24.	0.1503	0.2171	0.4533	0.4051	0.8584	1.4567	1.02	1.37	49.66
25.	0.1512	0.2182	0.4301	0.4244	0.8545	1.3181	1.00	1.31	46.61
26.	0.1496	0.2069	0.4474	0.4127	0.8601	1.3961	1.16	1.54	49.82
27.	0.1714	0.2306	0.4958	0.4530	0.9488	1.7161	1.37	1.75	50.51
28.	0.1541	0.2235	0.4451	0.4543	0.8995	1.5830	1.19	1.56	44.58
29.	0.1485	0.2088	0.4248	0.4085	0.8333	1.3207	1.30	1.68	47.09
30.	0.1552	0.2148	0.4440	0.4195	0.8634	1.3343	1.33	1.71	46.50
31.	0.1683	0.2442	0.4537	0.4783	0.9320	1.3337	1.28	1.67	44.43
32.	0.1749	0.2602	0.4842	0.4844	0.9686	1.5380	1.22	1.59	45.72
33.	0.1781	0.2639	0.4930	0.5178	1.0108	1.7140	1.28	1.66	45.31
34.	0.1834	0.2538	0.5045	0.5059	1.0104	1.5370	1.34	1.75	46.93
35.	0.1703	0.2486	0.4854	0.4712	0.9567	1.4735	1.30	1.71	45.30
36.	0.1820	0.2668	0.5126	0.5243	1.0369	1.7177	1.27	1.65	45.32
37.	0.1689	0.2421	0.4677	0.4705	0.9383	1.4032	1.28	1.68	45.37
38.	0.1833	0.2763	0.5365	0.5126	1.0490	2.8704	1.26	1.81	44.26
39.	0.1821	0.2675	0.5178	0.5324	1.0502	1.7087	1.28	1.72	45.30

3 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ

Pro výsledné posouzení struktury povrchu vzniklé při vystružování byly z naměřených hodnot vybrány určité parametry, které nejlépe definují vystružený povrch.

3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu – R_a

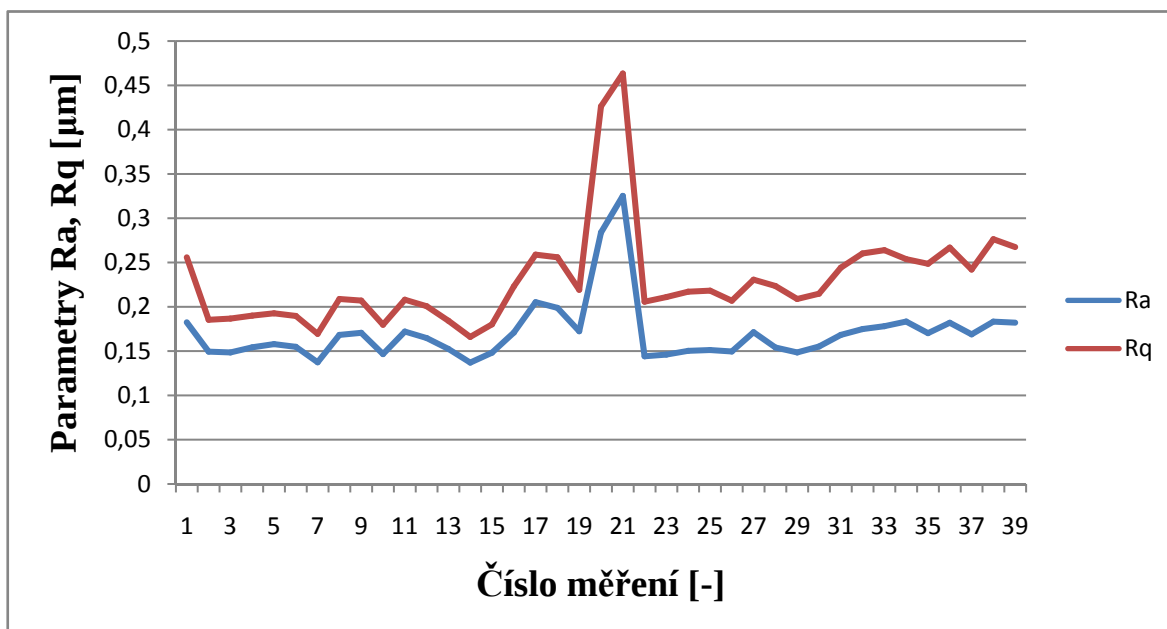
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu je výškový parametr vyhodnocovaný v intervalu základní délky. Jedná se o nejčastěji udávaný parametr drsnosti povrchu v technické dokumentaci a nejčastěji měřený. Ale sám o sobě tento parametr nedokáže vyjádřit vlastnosti povrchu, protože se jedná o průměrnou aritmetickou hodnotu absolutních úchylek od střední čáry. To znamená, že povrch může mít malé rozdíly mezi absolutními úchylkami a výsledná R_a bude např. $0,8 \mu\text{m}$. Zároveň jiný povrch může mít menší rozdíly mezi absolutními úchylkami až na jednu, která bude řádově větší a výsledná hodnota R_a bude rovněž $0,8 \mu\text{m}$ (obráz. 40). I přes tuto nevýhodu je R_a využíván pro schopnost vyjádřit svou změnou událost ve výrobním procesu. Tou událostí je myšleno např. opotřebení bříty, změna řezné rychlosti, změna chladicí kapaliny, změna posuvu a další události ve výrobní procesu. Dále je R_a využívána ve spojení s tolerančními stupni IT, kdy pro dosažení požadované tolerance u určitého rozměru nesmí R_a překročit požadovanou hodnotu.



Obr. 40 Porovnání rozdílných ploch o stejné hodnotě R_a

Naměřené hodnoty průměrných aritmetických úchylek byly zpracovány do grafu společně s hodnotami průměrných kvadratických úchylek (graf 1). Během měření byla maximální

$R_a = 0,3252 \mu\text{m}$, minimální $R_a = 0,132 \mu\text{m}$ a průměrná hodnota $R_a = 0,1705 \mu\text{m}$. Z toho vyplývá, že udávaná hodnota $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ vystruženého povrchu vystružovací hlavicí MT3 je dosažitelná. Dále srovnání rozměru otvoru o průměru 19,8 mm s dosaženou drsností povrchu R_a menší než $0,4 \mu\text{m}$ odpovídá tolerančnímu stupni IT = 5 (příloha 4), která opět odpovídá udávané dosahované hodnotě IT (5 – 6).



Graf 1 Naměřené hodnoty průměrné aritmetické úchylky a průměrné kvadratické úchylky

3.2 Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu – R_q

Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu je výškový parametr vyhodnocovaný v intervalu základní délky, který není ve strojírenství moc využíván. Přitom potenciál R_q je takový, že proti aritmetické úchlce je mnohem citlivější na výstupky a prohlubně vyskytující se ve vyhodnocované délce. Což už plyne ze slova kvadratická, kdy každá velikost prohlubně či výstupku je umocněna na druhou. Důsledkem toho je, že parametr R_q bývá větší než R_a (graf 1). Tato vlastnost parametr R_q se dá využít ke zjišťování nežádoucích výstupků a prohlubní ve vyhodnocované délce. Další vlastností R_q je možnost využití s vyhodnocovanou délkou l_n pro výpočet velikosti obsahu prohlubně. Výškový parametr R_q je pro své vlastnosti využíván v optickém průmyslu, kde jsou nežádoucí velké výstupky a prohlubně profilu.

Při měření byla změřena nejvyšší hodnota $R_q = 0,4633 \mu\text{m}$, nejnižší $R_q = 0,166 \mu\text{m}$ a průměrná hodnota $R_q = 0,2304 \mu\text{m}$. Hodnota $R_q = 0,4633 \mu\text{m}$ značí, že ve vyhodnocované délce se vyskytovaly větší nežádoucí výstupky a prohlubně.

3.3 Největší hloubka prohlubně posuzovaného profilu – R_v

Nejvyšší hloubka prohlubně posuzovaného profilu je výškový parametr vyhodnocovaný v intervalu základní délky. Na prohlubně jsou dva pohledy. V první pohledu jsou prohlubně negativní, se zvyšující velikostí prohlubně dochází ke zvýšení rizika z hlediska vzniku lomu. Dále prohlubně bývají místa počátku koroze. Z druhého pohledu jsou prohlubně žádoucí, v prohlubních se drží mazivo. Z hlediska měření jsou prohlubně

náročné na směr měření a použitý rádius hrotu. Při opakovaném měření se nikdy nedosáhne stejné hodnoty.

Při měření byla změřena nejvyšší hodnota $R_v = 1,88 \text{ } \mu\text{m}$, nejnižší $R_v = 0,4047 \text{ } \mu\text{m}$ a průměrná hodnota $R_v = 0,5541 \text{ } \mu\text{m}$.

3.4 Největší výška výstupku posuzovaného profilu – R_p

Největší výška výstupku posuzovaného profilu je výškový parametr vyhodnocovaný v intervalu základní délky. Výstupky tvoří stykové plochy mezi součástkami. V průběhu provozu dochází k opotřebení výstupků, tudíž ke snížení jejich velikosti a následnému ovlivnění, zvětšení rozměru otvoru. Jelikož výstupky tvoří stykové plochy jejich velikost a tvar podstatně ovlivňuje výsledné tření.

Při měření byla naměřena nejvyšší hodnota $R_p = 0,6689 \text{ } \mu\text{m}$, nejnižší hodnota $R_p = 0,2721 \text{ } \mu\text{m}$ a průměrná hodnota $R_p = 0,4151 \text{ } \mu\text{m}$.

3.5 Největší výška posuzovaného profilu – R_z

Největší výška posuzovaného profilu je výškový parametr. Vzniká součtem největší výšky výstupku a největší hloubky prohlubně v intervalu základní délky.

Při měření byla naměřena nejvyšší hodnota $R_z = 2,0349 \text{ } \mu\text{m}$, nejnižší hodnota $R_z = 0,6768 \text{ } \mu\text{m}$ a průměrná hodnota $R_z = 0,9351 \text{ } \mu\text{m}$.

3.6 Celková výška posuzovaného profilu – R_t

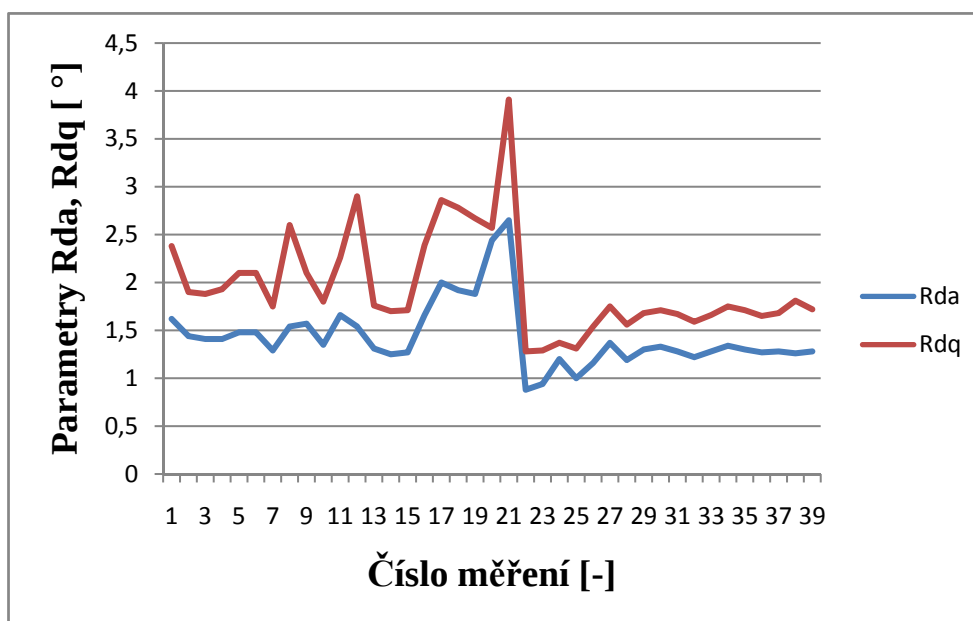
Celková výška posuzovaného profilu je výškový parametr. Vzniká součtem největší výšky výstupku a největší hloubky prohlubně na celé vyhodnocované délce. Bývá vždy vyšší než parametr R_z (graf 2). Parametr drsnosti R_t je důležitý z hlediska bezpečnosti, čím vyšší je jeho hodnota, tím vyšší je pravděpodobnost vzniku trhliny v prohlubni u namáhané součástky. Proto je snaha o jeho minimalizaci. Tento parametr je obtížný na změření, mívá vždy jinou hodnotu než v předešlém měření. Jeho velikost ovlivňují rýhy a škrábance na povrchu.

Při měření byla naměřena nejvyšší hodnota $R_t = 3,96 \text{ } \mu\text{m}$, nejnižší hodnota $R_t = 0,9778$ a průměrná hodnota $R_t = 1,6396 \text{ } \mu\text{m}$.

3.7 Průměrný aritmetický sklon posuzovaného profilu – R_{da}

Průměrný aritmetický sklon posuzovaného profilu patří mezi hybridní parametry. To znamená, že je kombinací délkových a výškových parametrů. Obdobně jako R_a není tak citlivý na extrém. Nedokáže zcela vyjádřit vlastnosti povrchu, protože se jedná o průměrnou aritmetickou hodnotu. Na parametru R_{da} závisí výsledné tření povrchu, čím větší bude hodnota R_{da} , tím větší bude výsledné tření. A čím bude menší hodnota R_{da} , tím bude i menší tření mezi povrchy. Dále parametr R_{da} vyjadřuje výsledné vlastnosti povrchu z hlediska opotřebení. Zde platí, že když je větší hodnota R_{da} , tak je proces opotřebení rychlejší. Z hlediska stability větší hodnota R_{da} značí vyšší riziko porušení při zatížení. Z hlediska adheze platí, že vyšší hodnota R_{da} přispívá k lepší adhezi mezi dvěma povrchy. Naopak z hlediska chvění platí, že menší hodnota R_{da} znamená menší výsledné chvění.

Při měření byla naměřena nejvyšší hodnota $R_{da} = 2,65^\circ$, nejnižší hodnota $R_{da} = 0,88^\circ$ a průměrná hodnota $R_{da} = 1,4323^\circ$. Porovnání hodnot R_{da} a hodnot průměrného kvadratického sklonu R_{dq} (graf 2).



Graf 2 Naměřené hodnoty průměrného aritmetického a kvadratického sklonu posuzovaného profilu.

3.8 Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu – Rdq

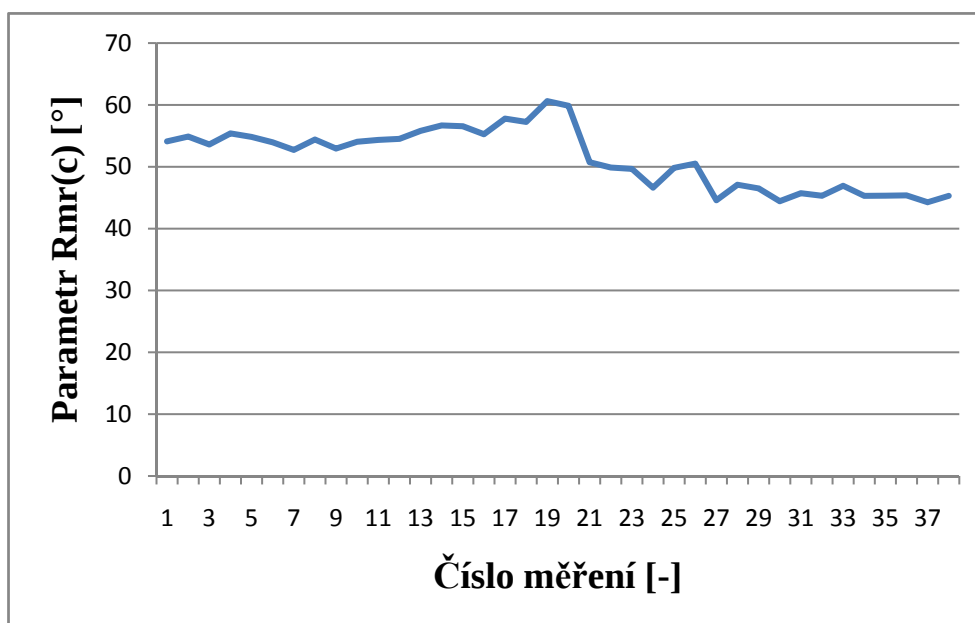
Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu patří mezi hybridní parametry. Na rozdíl od Rda je Rdq citlivější na extrémy na vyhodnocované ploše. Což plyne ze způsobu měření. Parametr Rdq bývá vždy větší než Rda. Parametr Rdq se hodí pro vyhodnocování jemných povrchů, kde se projeví jeho vlastnost ukázat na extrémy např. v optice. Naměřené hodnoty parametru Rdq mají stejný vliv na vlastnosti povrchu jako hodnoty parametru Rda. To znamená, že čím bude vyšší hodnota parametru Rda, tím bude i vyšší výsledné tření mezi dvěma povrchy.

Při měření byla naměřena nejvyšší hodnota parametru Rdq = 3,91 °, nejnižší hodnota parametru Rdq = 1,28 ° a průměrná hodnota Rdq = 1,9579 °.

3.9 Materiálový poměr profilu (nosný podíl) - Rmr(c)

Materiálový poměr profilu neboli nosný podíl je křivkový parametr. Materiálový poměr nám říká, kolik procent materiálu se nachází v určité úrovni c od střední čáry. Z hlediska opotřebení čím větší je materiálový poměr, tím dojde při následné styku dvou povrchů časem k menšímu ovlivnění výsledného rozměru, než u povrchů s malou hodnotou materiálového poměru. Důvodem je, že větší plocha vydrží vyšší zatížení a tím je i menší výsledné opotřebení. Pro svou vlastnost je materiálový poměr využíván tam, kde je zapotřebí těsnost, malá vůle mezi dvěma pohybujícími povrchy např. píst a válec motoru, píst u čerpadel a další.

Při měření byla naměřena nejvyšší hodnota parametru Rmr(c) = 60,62 %, nejnižší hodnota parametru Rmr(c) = 44,26 % a průměrná hodnota Rmr(c) = 51,3921 %. Průběh naměřených hodnot Rmr(c) (graf 3).



Graf 3 Naměřené hodnoty Rmr(c)

4 ZÁVĚR

Tato práce měla za úkol zanalyzovat povrch vzniklý vystružením pomocí vystružovací hlavy MT3. Proto bylo v teoretické části popsáno, co je to struktura povrchu, na čem závisí a jaké se vyhodnocují parametry. Dále zde bylo uvedeno, co je to vystružování, na čem závisí, jaký využívá nástroj, jeho základní rozdělení a z jakých materiálů se vyrábí. Následně se analyzovaly otvory o průměru 19,8 mm, které byly vystruženy do desky o rozměru 200 mm x 95 mm x 27 mm z materiálu 42CrMo4 (podle ČSN 15 142). Vystružení proběhlo za rychlosti $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu $f_{ot} = 0,42 \text{ mm}$.

V praktické části na těchto otvorech proběhlo měření parametrů struktury povrchu. Samotné měření proběhlo pomocí profilometru FORM TALYSURF Intra 5.0 od firmy TAYLOR HOBSON v kombinaci se softwarově vybaveným počítačem pro zobrazení a vyhodnocení dat. Měření proběhlo třikrát v každém otvoru s vyhodnocovanou délkou 10 mm, přičemž vyhodnocovaných otvorů bylo 13 a měření celkem 39. Z naměřených hodnot parametrů struktury byly vybrány maximální, minimální hodnoty a byla spočítána průměrná hodnota (viz. tabulka 4.1).

Tab. 4.1 Maximální, minimální a průměrné hodnoty vyhodnocovaných parametrů.

Parametr	Jednotka	maximum	minimum	průměr
Ra	[μm]	0,3252	0,137	0,1705
Rq	[μm]	0,4633	0,166	0,2304
Rv	[μm]	1,88	0,4047	0,5541
Rp	[μm]	0,6689	0,2721	0,4151
Rz	[μm]	2,0349	0,6768	0,9350
Rt	[μm]	3,9600	0,9778	1,6396
Rda	[$^\circ$]	2,65	0,88	1,4323
Rdq	[$^\circ$]	3,91	1,28	1,9579
Rmr(c)	[%]	60,62	44,26	51,3921

Dále z naměřených hodnot (např. pro Ra) vyplývá, že vzhledem k parametru Ra a pro uvedený rozměr otvoru je vystružovací hlava MT3 schopna pracovat ve stupni přesnosti IT (5-6). Nakonec byly popsány, proč jsou jednotlivé parametry důležité a co znamenají.

Struktura povrchu je v procesu dokončovacího obrábění velmi důležitá. Samotné měření parametrů struktury povrchu se neustále vyvíjí. Hledá se takový parametr, který by nejlépe popsal měřenou plochu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 1999
2. ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. 1999
3. NOVÁK, Jiří. *Funkční plochy a struktura povrchu* [online]. [cit. 2013-04-28]. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 84s. Vedoucí práce Ing. Pavel Svoboda CSc. Dostupné z WWW: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=699
4. POTÁCEL, Václav. *Vlastnosti povrchové vrstvy a jejich vliv na únavu*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 261 s. ISBN 80-214-2691-8.
5. *Struktura povrchů vybraných strojních součástí* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z WWW: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura_povrchu_vybranych_technologii_obrabeni.pdf
6. *Měření drsnosti povrchu* [online]. [cit. 2013-02-20]. Dostupné z WWW: http://www.mitutoyo-czech.cz/cz/pdf/poster_drsnosti_ra_cze_a3.pdf
7. *Problematika bezkontaktního měření drsnosti pomocí konfokálního mikroskopu* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z WWW: <http://www.ateam.zcu.cz/download/drsnost.pdf>
8. TYKAL, Miroslav. *Normalizace struktury povrchu, současný stav a trendy vývoje* [online]. [cit. 2013-04-30]. Dostupné z WWW: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/41_Tykal_TNK7.pdf
9. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
10. HUMÁR, A. *Strojírenská technologie I* [online]. [cit. 2013-04-30]. 2006. 138 s. Dostupný z WWW: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf.
11. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
12. *Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep22.pdf>
13. SLANÝ, Martin. *Studium účinku pasivních silových složek řezání na obráběný povrch*. Brno, 2010. 26 s. Pojednání k získání akademického titulu Doktor (Ph.D.). Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

14. HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 2.část*. [online]. [cit. 2013-03-18]. 2004, 95 s. Dostupné z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>>.
15. *Výstružníky* [online]. Stimzet, [cit. 2013-04-29]. Dostupné z WWW: <http://www.stimzet.cz/data/vystruzniky.html>
16. *Verko* [online]. Verko, [cit. 2013-04-29]. Dostupné z WWW: <http://www.verko.cz>
17. *Produkty*. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z WWW: <https://katalog.mav.cz>
18. TECHNIK, Radim. *Vystružovací nástroje s břity z cermetu a PVD povlakem*. Brno 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 99 s., příloh 11. Ing.Karel Kouřil, Ph.D.
19. *GARANT příručka obrábění*. 641 s
20. *Řezné podmínky - pro výstružníky s výměnnými řeznými hlavami* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.crstools.cz/vystruzovani/technicka-cast/rezne-podminky/vymenne-rezne-hlavicky/>
21. BUMBÁLEK, Leoš. *Vlastnosti povrchové vrstvy a jejich vliv na únavu*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 261 s. ISBN 80-7204-373-0.
22. HAVLÍK, Luboš. *Integrita povrchu při vystružování s využitím vystružovací hlavičky MT3* [online]. [cit. 2013-04-28]. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 88 s., přílohy 3. Vedoucí práce Ing. Karel Kouřil, Ph.d. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52728
23. FIALA, Stanislav a Karel KOUŘIL. *Moderní nástroje pro dokončování děr* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-nastroje-pro-dokoncovani-der.html>
24. VANĚK, Vladimír a Karel KOUŘIL. *Obrábění přesných děr v litinách* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-presnych-der-v-litinach.htm>
25. KOUŘIL, Karel. *Vývoj a inovace nástrojů a technologií pro dokončování přesných děr*. Brno, 2006. 48 s. Prezentace. HAM-FINAL, s.r.o.
26. *Velkoobchod železářství* [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z WWW: <http://www.brufus.cz>
27. *Nářadí Š+V Dubicko, s.r.o.* [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z WWW: <http://naradi-sv.cz/czech/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
2D	dvoudimenzionální obraz
3D	trojdimenzionální obraz
Al₂O₃	korund
C	uhlík
CNC	řízení pomocí počítače
CVD	Chemical Vapour Deposition
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
HSS	rychlořezná ocel - nové značení
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	rozměrová přesnost
Mo	molybden
MPa	mega Pascaly
MT3	označení vystružovací hlavice
NC	číslicové řízení
Ni	nikl
PD	polykrystalický diamant
PKNB	polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	Physical Vapour Deposition
RO	rychlořezná ocel
Si₃N₄	Silicon nitride
SK	slinutý karbid
TiC	karbid titanu
TiN	nitrid titanu

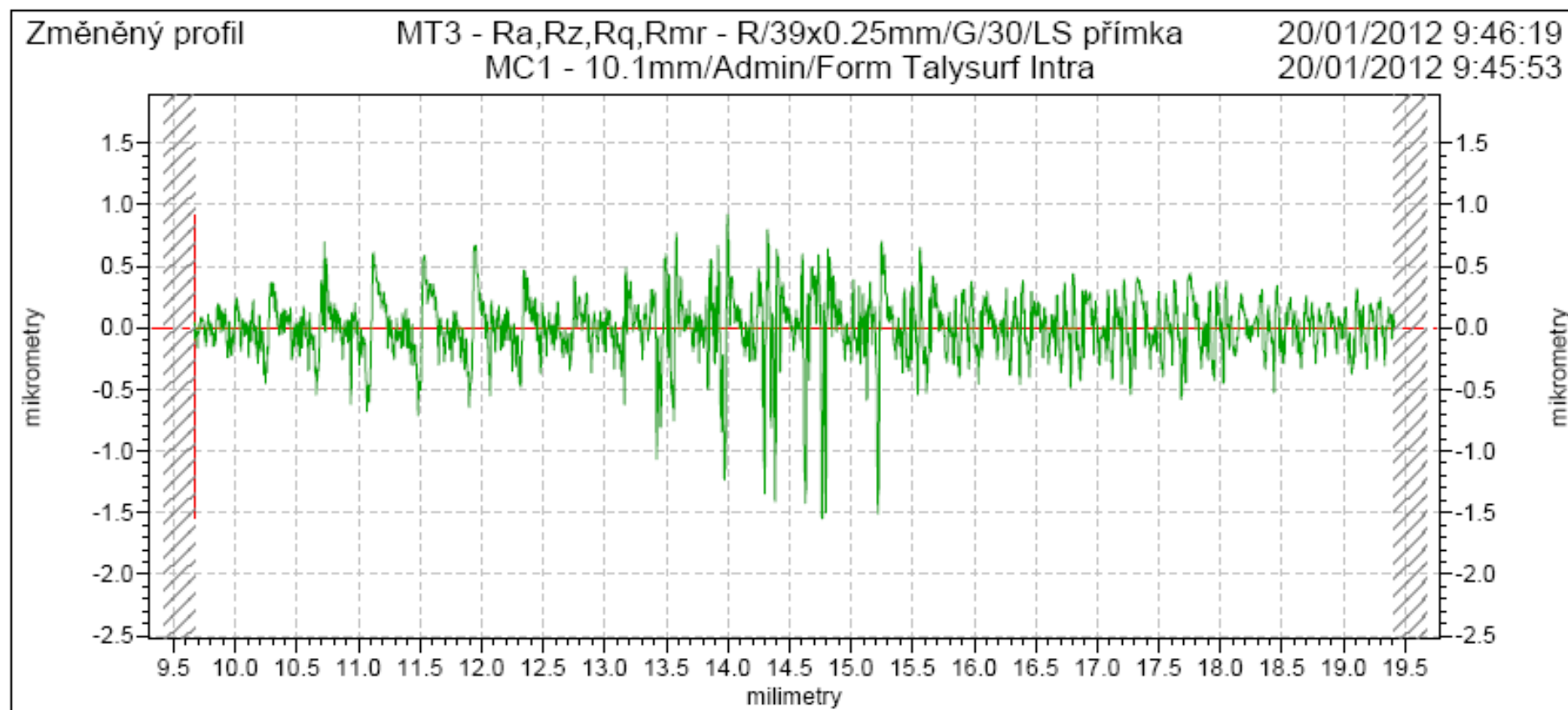
Symbol	Jednotka	Popis
C_{Fc}	-	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
F_c	N	řezná síla
HB	HB	jednotka tvrdosti podle Brinella
L	mm	celková dráha pohybu výstružníku
$MI(c)$	mm	materiálová délka profilu na úrovni c
Pa, Ra, Wa	μm	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
P_c	kW	výkon
P_c, R_c, W_c	μm	průměrná výška prvků profilu
P_{dc}, R_{dc}, W_{dc}	μm	rozdíl výšky úseku profilu
P_{dq}, R_{dq}, W_{dq}	μm	průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu
P_{ku}, R_{ku}, W_{ku}	-	špičatost posuzovaného profilu
$P_{mr}(c), R_{mr}(c), W_{mr}(c)$	%	materiálový poměr profilu
P_{mr}, R_{mr}, W_{mr}	μm	vzájemný materiálový poměr
P_p, R_p, W_p	μm	největší výška výstupku profilu
P_q, R_q, W_q	μm	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
P_{sk}, R_{sk}, W_{sk}	-	šikmost posuzovaného profilu
P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm}	μm	průměrná šířka prvků profilu
P_t, R_t, W_t	μm	celková výška profilu
P_v, R_v, W_v	μm	největší hloubka prohlubně profilu
P_z, R_z, W_z	μm	největší výška profilu
R_{da}	μm	průměrný aritmetický sklon posuzovaného profilu
R_{v1max}	μm	největší z jednotlivých nejnižších prohlubní od střední čáry v rozsahu každé základní délky
R_{z1max}	μm	největší vzdálenost mezi největším výstupkem a nejnižší prohlubní v rozsahu každé základní délky
X_s	μm	šířka prvku profilu
$Z(x)$	μm	hodnota pořadnice
Z_p	μm	výška výstupku profilu
Z_t	μm	výška prvku profilu
Z_v	μm	hloubka prohlubně profilu

d	mm	průměr
dZ/dx	°	místní sklon
f	mm	posuv
fz	mm	posuv na zub
ln	μm	vyhodnocovaná délka
l_{na}	mm	délka náběhu
l_{ot}	mm	délka vystružovaného otvoru
l_{př}	mm	délka přeběhu
lp, lr, lw	μm	základní délka
m	-	počet prvků profilu
n	min ⁻¹	otáčky
p	mm	přídavek
t1	-	technologický výstupek
t_{As}	min	strojní jednotkový čas
v1, v2	-	vodítka
v_c	mm.min ⁻¹	řezná rychlost
v_e	mm.min ⁻¹	výsledná rychlost řezného pohybu
v_f	mm.min ⁻¹	posuvová rychlost
x_{Fc}	-	exponent vyjadřující vliv průměru výstružníku
y_{Fc}	-	exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku
z	-	počet břitů
z1, z2, z3	-	zuby
K_r	°	nástrojový úhel nastavení hlavní ho ostří
K_r'	°	nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří
λ_s	μm	filtr profilu - určuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln, které jsou na povrchu
λ_c	μm	filtr profilu určuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
η	°	úhel výsledné řezné rychlosti
λ_f	μm	filtr profilu určuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln, které jsou na povrchu
π	-	Ludolfovo číslo

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Změřený profil. |
| Příloha 2 | Změřený materiálový poměr. |
| Příloha 3 | Příklad všech naměřených hodnot struktury povrchu. |
| Příloha 4 | Doporučené hodnoty Ra v závislosti na rozměru a IT. |

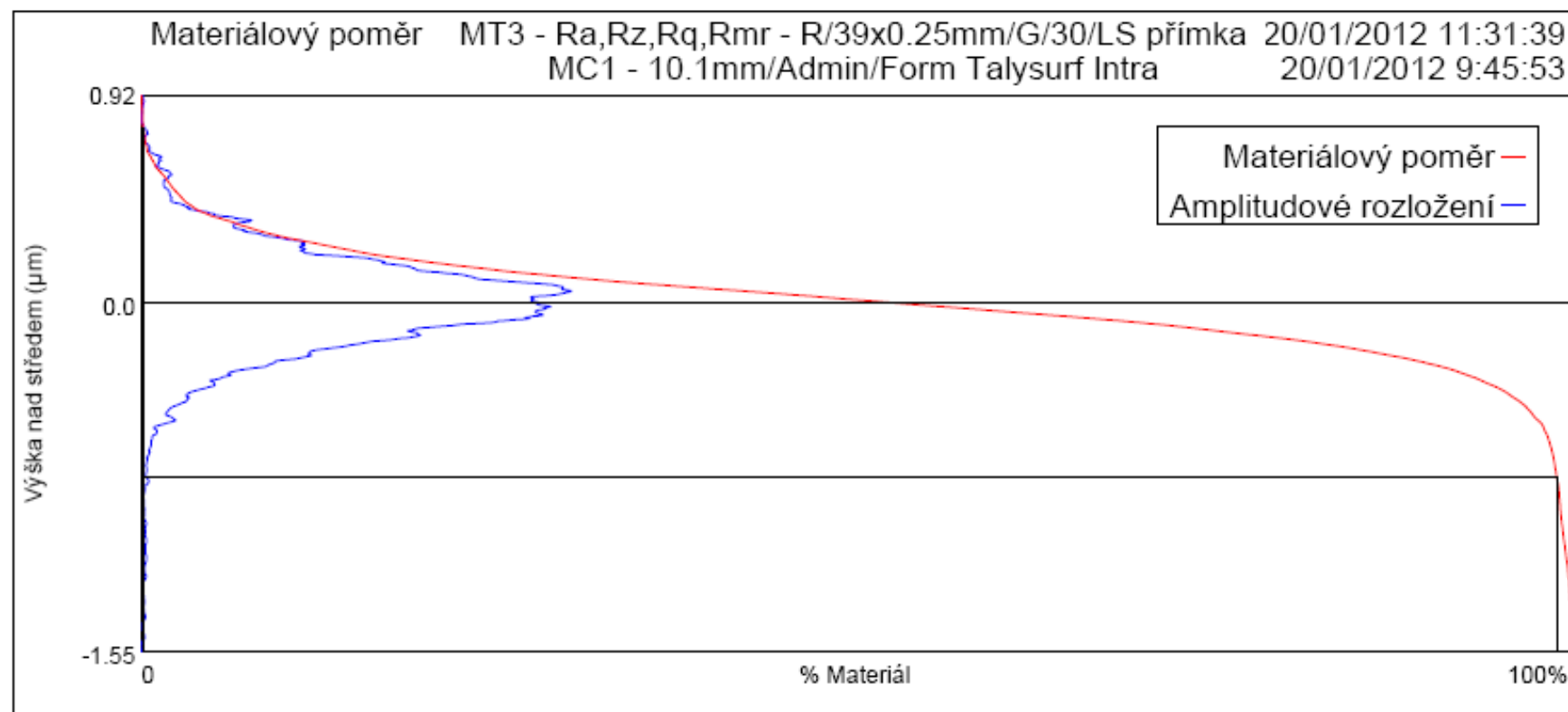
PŘÍLOHA 1



Ra		0.1825	μm	Rq		0.2558	μm	Rz(JIS)		0.5220	μm				
Rsk		-0.9830		Rku		7.6256		R3z		0.4319	μm				
Rp		0.4386	μm	Rv		0.5925	μm	R3y		1.0994	μm				
RLo		9.7578	mm	Rt		2.4663	μm	Rz(DIN)		1.0311	μm				
Rlq		38.68	μm	Rdq		2.38	°	Rmr(c)		51.99	%	Výška (stř. hod.)		0.000	μm
Rda		1.62	°	Rz		1.0311	μm	RHSC		196	výstupků	Výška (stř. hod.)		0.000	μm
RS		22.36	μm	RSm		98.87	μm	Rdc		2.4663	μm	mr 1%		0.0	%
Rln		9.7500	mm	Rc		0.7738	μm	Rmr		50.00	%	Offset		0.000	μm
								RVo		0.0097	objem	Offset		0.000	μm
								RPc		260.5	výst/cm	Výška (stř. hod.)		0.000	μm
												mr 2%		100.0	%
												mr %		50.00	%
												mr %		50.00	%
												šířka pásma		0.00	μm

PŘÍLOHA 2

7* * *



Upper Cursor		Band		Lower Cursor	
Úroveň	0.77 µm	Pásmo/Htp	1.55 µm	Úroveň	-0.78 µm
mr 1%	0.1 %	Delta mr%	98.7 %	mr 2%	98.8 %
HSC	0 výstupků	Počet výstupků	1 výst/cm	HSC	11 výstupků

PŘÍLOHA 3

Ra [μm]	Rsk [-]	Rp [μm]	RLo [mm]	Rlq [μm]	Rda [°]	RS [μm]	Rln [mm]
0.1825	-0.9630	0.4386	9.7578	38.68	1.62	22.36	9.7500
0.1494	-0.3083	0.3506	9.7548	35.19	1.44	19.44	9.7500
0.1485	-0.4396	0.3519	9.7547	35.82	1.41	20.72	9.7500

Rq [μm]	Rku [-]	Rv [μm]	Rt [μm]	Rdq [°]	Rz [μm]	RSm [μm]	Rc [μm]
0.2558	7.6256	0.5925	2.4663	2.38	1.0311	98.87	0.7738
0.1854	2.7386	0.4431	1.1118	1.90	0.7937	64.74	0.5442
0.1867	3.0103	0.4636	1.2573	1.88	0.8155	64.49	0.5467

Rz(JIS) [μm]	R3z [μm]	R3y [μm]	Rz(DIN) [μm]	Rmr(c) [%]	RHS [-]	Rdc [μm]	Rmr [%]	RVo [=]	RPc [1/cm]
0.5220	0.4319	1.0994	1.0311	51.99	196	2.4663	50.00	0.0097	260.5
0.4487	0.4283	0.7248	0.7937	54.11	204	1.1118	50.00	0.0084	265.7
0.4437	0.4353	0.6901	0.8155	54.89	215	1.2573	50.00	0.0084	281.0

PŘÍLOHA 4

Rozměry [mm]		Toleranční stupeň							
		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
přes	do	Drsnosti povrchu Ra							
1	3	0,2	0,4	0,4	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3
3	6			0,8	3,2				
6	10	0,4	0,8					6,3	12,5
10	30								
30	50	0,8	1,6	1,6	6,3	3,2	6,3	12,5	25
50	80								
80	120								
120	180	1,6	1,6	3,2	12,5	6,3	12,5	25	50
180	250								
250	315								
315	400								
400	500		3,2			12,5			