

Metody vyvažování brousicích kotoučů

Jaroslav Hrbáč

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav HRBÁČ**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Metody vyvažování bousících kotoučů**

Zásady pro vypracování:

- 1) Provedte studium literatury z oblasti teorie a technologie broušení.
- 2) Hodnoťte metody vyvažování rotujících kotoučů.
- 3) Uveďte metody hodnocení jakosti.
- 4) Určete vliv metod vyvažování na jakost povrchů.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

JULIŠ, K.; BORŮVKA, V.; FRYML, B. Základy dynamického vyvažování. 1st ed. Praha : SNTL, 1979. ISBN 04-226-79.

KOCMAN, K.; PROKOP, J. Technologie obrábění. 2nd ed. Brno : Akademické nakladatelství Cerm,s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3068-0.

VASILKO, K.; BOKUČAVA, G. Brúsenie kovových materiálov. 1st ed. Bratislava : Alfa, 1988. ISBN 063-143-88 BKM.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Luboš Rokyta

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

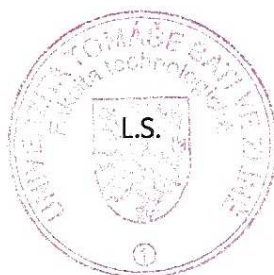
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá metodami vyvažování brousicích kotoučů a jejich vlivem na drsnost obrobené plochy.

Teoretická část popisuje problematiku z oblasti teorie a technologie broušení, statického a dynamického vyvažování brousicích kotoučů a hodnocení a měření drsnosti povrchu.

V praktické části práce je popsán postup měření nevyváženosti brousicího kotouče a drsnosti povrchu včetně použitých zařízení a měřidel. Dále je vyhodnocen vliv vyvážení brousicího kotouče na drsnost povrchu broušených materiálů.

Klíčová slova: vyvažování, broušení, brousicí kotouč, drsnost povrchu

ABSTRACT

This bachelor thesis is concerned with grinding wheels balancing methods and their influence with roughness cut surface.

Theoretical part describes issues of theory and technology grinding, statically and dynamically balancing of grinding wheels and surface roughness evaluation and measuring.

In practical part is described measuring procedure of grinding wheels unbalance and surface roughness including used equipment and measuring instruments. Follow evaluation of grinding wheels balancing influence with surface roughness of cut materials.

Keywords: balancing, grinding, grinding wheel, surface roughness

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Luboši Rokytovi za obětavý přístup, důležité připomínky a čas strávený při mé práci. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za dobré rady a poskytnuté materiály a panu Ing. Jiřímu Šálkovi za odbornou pomoc při praktické části.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 2. 6. 2009

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 TEORIE BROUŠENÍ	10
1.1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA	10
1.2 TVORBA TRÍSKY PŘI BROUŠENÍ	10
1.3 TEPELNÝ PROCES PŘI BROUŠENÍ	11
1.4 BROUSICÍ NÁSTROJE	12
1.4.1 Brusivo	13
1.4.2 Pojivo	13
1.4.3 Zrnitost	13
1.4.4 Tvrdost	14
1.4.5 Struktura	14
1.4.6 Značení brousicích kotoučů	14
1.5 BROUSICÍ STROJE.....	15
1.5.1 Hrotové brusky	15
1.5.2 Brusky na díry	15
1.5.3 Bezhruté brusky.....	16
1.5.4 Rovinné brusky	16
1.5.5 Nástrojářské brusky	17
1.5.6 Pásové brusky.....	17
2 VYVAŽOVÁNÍ BROUSICÍCH KOTOUČŮ	18
2.1 KMITÁNÍ OBRÁBĚCÍHO SYSTÉMU	18
2.1.1 Vlastní kmitání	18
2.1.2 Vynucené kmitání.....	19
2.1.3 Samobuzené kmitání	20
2.2 VYVAŽOVÁNÍ BROUSICÍCH KOTOUČŮ	21
2.2.1 Statická nevyváženost	21
2.2.2 Dynamická nevyváženost.....	22
2.3 OROVNÁVÁNÍ BROUSICÍCH KOTOUČŮ	24
3 HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU	26
3.1 STRUKTURA POVRCHU.....	26
3.1.1 Drsnost povrchu	27
3.1.2 Vlnitost povrchu.....	27
3.2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY STRUKTURY POVRCHU	28
3.2.1 Druhy profilů	28
3.2.2 Posuzované délky	28
3.2.3 Geometrické parametry	28
3.2.4 Výškové parametry.....	29
3.2.5 Délkové parametry	30
3.2.6 Tvarové parametry	30

3.3	METODY MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU	31
3.3.1	Princip měření struktury povrchu dotykovým profilometrem.....	31
II	PRAKTICKÁ ČÁST	33
4	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	34
5	BROUŠENÉ VZORKY	35
5.1	MATERIÁLY VZORKŮ.....	35
5.1.1	E335 (11 600).....	35
5.1.2	100Cr6 (14 109.4).....	35
5.1.3	X210Cr12 (19 436.4)	36
6	BROUŠENÍ VZORKŮ.....	37
6.1	BRUSKA ROVINNÁ HORIZONTÁLNÍ BHV 20.03F.....	37
7	VYVÁŽENÍ BROUSICÍHO KOTOUČE	39
7.1	BROUSICÍ KOTOUČ A99B 80 K 9 V	39
7.2	VYVÁŽENÍ BROUSICÍHO KOTOUČE STATICKOU METODOU	39
7.3	VYVAŽOVÁNÍ BROUSICÍHO KOTOUČE DYNAMICKOU METODOU – BALANTRON TYP 2001	41
8	MĚŘENÍ DRSNOSTI.....	44
8.1	PŘÍSTROJ NA MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU MITUTOYO SJ – 301	44
9	NAMĚŘENÁ DATA A PREZENTACE VÝSLEDKŮ.....	46
9.1	NAMĚŘENÁ DATA.....	46
9.2	ZMĚNA DRSNOSTI V ZÁVISLOSTI NA ZMĚNĚ POSUVU	48
9.2.1	Ocel E335 (11 600)	49
9.2.2	Ocel 100Cr6 (14 109.4).....	50
9.2.3	Ocel X210Cr12 (19 436).....	51
9.3	ZMĚNA DRSNOSTI V ZÁVISLOSTI NA VYVÁŽENÍ DLE NASTAVENÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK	51
9.3.1	Ocel E335 (11 600)	52
9.3.2	Ocel 100Cr6 (14 109.4).....	53
9.3.3	Ocel X210Cr12 (19 436).....	55
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	59
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK.....	63
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

V současné přetechnizované době jsou kladeny stále větší nároky na kvalitu dílů, ať už se týče rozměrů, materiálu, životnosti, kvality povrchu a dalších. Proto i technologie používané v těchto oblastech se musí neustále zlepšovat. Kvalita povrchové vrstvy výrobku je jedna z důležitých vlastností, která v podstatě prodává díl. Technologie používané na dokončení povrchů součástí či nástrojů pro výrobu musí být perfektně sladěné mechanismy, ve kterých je i sebemenší kolečko odpovědné za výsledek.

Jednou z těchto technologií je broušení. Jedná se o třískový obráběcí proces. Používá se zejména pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů, tvarů a jakosti povrchu. Nástrojem je brousicí kotouč, který se skládá ze zrn brusného materiálu stmelečných pojivem v pevný celek.

Výsledný povrch je závislý na více faktorech. Jsou to vhodně zvolené nástroje, řezné podmínky, chladicí kapalina, materiál obrobku apod. Dalším neméně důležitým faktorem je vyvážení nástroje. Nástroj se skládá z hmoty, která nemusí vždy mít své těžiště v geometrickém středu. Kotouč je tedy nevyvážený, při práci způsobuje chvění a výsledná kvalita povrchu je negativně ovlivněna. Proto se musí kotouč vyvážit. Vyvážení je v podstatě umělé přidání materiálu do míst kde chybí, nebo naopak jeho úběr v místech, kde přebývá. Tyto úpravy by měly potlačit vzniklé chvění a zlepšit drsnost výsledné plochy. Existuje několik druhů vyvažování, které budou v následující práci popsány a některé posléze i prakticky odzkoušeny za zvolených podmínek. Cílem je zhodnotit vliv vyvažování brousicího kotouče při daných technologických podmínkách na jakost obrobené plochy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE BROUŠENÍ

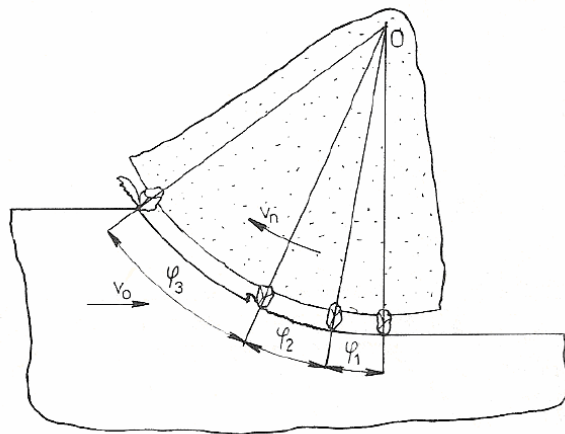
1.1 Technologická charakteristika

Broušení je jemné dokončování obrábění mnohobřítým nástrojem. Břity jsou tvořeny zrnny tvrdých materiálů navzájem spojených vhodným pojivem. Hlavní pohyb při broušení vykonává rotující brousicí kotouč, vedlejší pohyby vykonává nástroj nebo obrobek. Geometrický tvar brousicích zrn je různorodý a rozmístění zrn po ploše nástroje je nepravidelné. Brousicí proces probíhá při vysokých řezných rychlostech 30 až 100 m.s⁻¹ a při malých průřezech třísky 10⁻³ až 10⁻⁵ mm². [2]

1.2 Tvorba třísky při broušení

Na proces tvoření třísky při broušení mají vliv topografie povrchu brousicího kotouče, změna velikosti a geometrie brousicích zrn, proměnlivá hloubka odřezávané vrstvy a ohřev obráběného materiálu v místě broušení. [1]

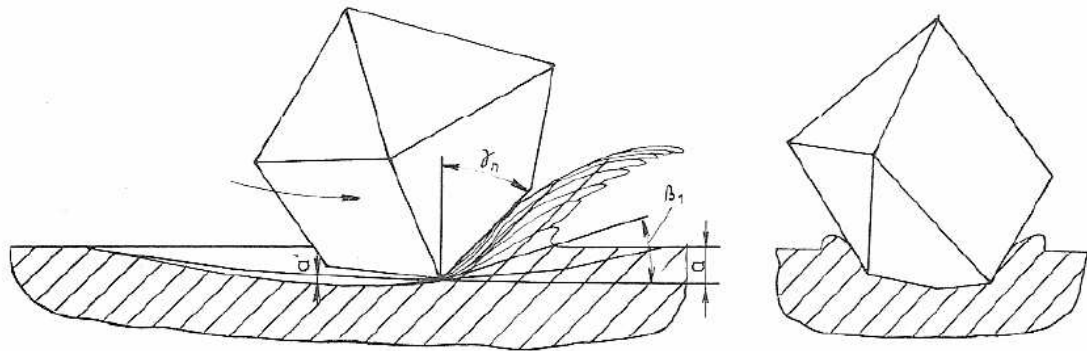
Každé zrnno, které odřezává materiál při pohybu v kontaktní zóně, prochází třemi stádii (Obr. 1): pružná deformace povrchu, plastická deformace povrchu a odebrání třísky. Spolehlivou informaci o procesu tvoření třísky při broušení lze získat zkoumáním právě těchto jednotlivých oblastí. To je možné pouze pomocí experimentálních metod. [1]



Obr. 1. Schéma fáze broušení

φ_1 – fáze pružné deformace povrchu, φ_2 –
fáze plastické deformace povrchu před
brousicím zrnem, φ_3 – fáze tvoření třísky

Při práci všeobecně orientovaným broušicím zrnem se tvoří plynulá tříška. Výrazná mez plastické deformace, ohraničené úhlem β , odděluje nedeformovaný kov od třísky, která se výrazně plasticky deformuje. Na intenzitě deformace se podílí geometrie zrna, jeho poloha a tření mezi řezným a obráběným materiálem. Průřez třísky se v průběhu záběru zrna mění v závislosti od okamžité hloubky odřezávané vrstvy a . Kromě tvoření třísky v směru pohybu zrna se i plasticky vytlačí materiál v příčném směru. K tomu dochází za broušicím zrnem v závislosti na podmínkách broušení a proměnlivé hloubce a' (Obr. 2). Strana třísky, obrácená k broušicímu zrnu je lesklá, zadní strana má stopy po vystupujících vrypech. Obráběný povrch je pak tvořen soustavou drážek po broušicích zrnech a stopami po plastickém vytlačení materiálu z drážek. [1]



Obr. 2. Model tvoření třísky při broušení

V důsledku velkých plastických deformací a vnějšího i vnitřního tření se určitá část třísky ohřeje natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu nebo shoří (jiskření). [2]

1.3 Tepelný proces při broušení

Broušení doprovází značný vývoj tepla v zóně tvoření třísky a tím se ohřívají kontaktní vrstvy broušicích zrn a pojiva. Současně se ohřívají povrchové vrstvy obráběného materiálu. Pouze zanedbatelná část (desetiny %) mechanické energie v procesu mikrořezání se spotřebuje na přeměnu krystalické mřížky obráběného materiálu.

Jak bylo již zmíněno, při různorodé poloze řezných hran broušicích zrn vzhledem k profilové křivce kotouče, existují tři druhy interakce mezi abrazivními zrny a obráběným povrchem. V souvislosti s tím je i teplota na kontaktních plochách zrn různá. [1]

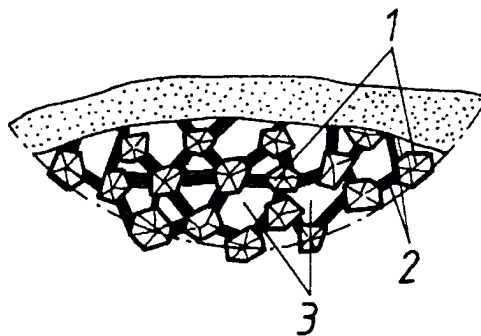
Teplo řezání Q , které se vyvíjí při broušení, se šíří do obrobku – Q_o , kotouče Q_k , třísky Q_t a prostředí Q_p (tj. teplo vyzářené nebo odváděné řeznou kapalinou). Rovnice tepelné bilance má pak tento tvar: [1]

$$Q = Q_t + Q_k + Q_o + Q_p. \quad (1)$$

Největší množství tepla (až 80%) přechází při broušení do obrobku, nejmenší část tepla se ztrácí vyzářováním do okolního prostředí. Vysoké teploty broušení mohou způsobit defekty povrchové vrstvy obrobků (opal nebo trhlinky) a obrobek se znehodnotí. Proto se tepelný vliv stává jedním ze základních členů broušení.

1.4 Broušící nástroje

Nástroje na broušení jsou broušící kotouče, segmenty, kameny a pásy. Nejčastěji používanými broušícími nástroji jsou broušící kotouče nejrůznějších tvarů a velikostí. Charakteristické vlastnosti kotouče jsou dány jeho označením, které obsahuje: typ broušícího kotouče (tvar a rozměry), druh broušícího materiálu, zrnitost, tvrdost, strukturu, druh pojiva a maximální pracovní rychlost kotouče. [4]



Obr. 3. Struktura broušícího nástroje

1 – zrna brusiva, 2 – pojivo, 3 – póry

Výhodnou vlastností broušících nástrojů je tzv. samoostření. Při vhodně zvoleném nástroji a řezných podmínkách dochází vlivem otupování zrn k růstu řezné síly a k vylamování opotřeбенých zrn nástroje. Tím se odkrývají nová, ostrá zrna brusiva. [4]

1.4.1 Brusivo

Brusivo je krystalická látka nebo hmota zrnitého, někdy mikrokrystalického slohu, jejíž zrna jsou tak tvrdá, houževnatá a ostrohranná, že jimi lze obrušovat jiné hmoty. Brusivo musí být při vysoké teplotě broušení chemicky inertní vůči obráběnému materiálu. Nejčastěji používaný materiál brusiva:

- přírodní – granát (označení G), diamant (D), křemičitý písek, pískovec,
- umělý – umělý korund Al_2O_3 (99A, 98A, 96A, 85A), karbid křemíku SiC (49C, 48C), karbid boru B_4C (B), kubický nitrid boru N_2B_3 (BN), diamant (D). [4]

1.4.2 Pojivo

Pojivo, čili vazba brusných nástrojů, spojuje broušící zrna. Množství a druh zpracování pojiva určují též tvrdost nástroje. Proto se ze stejně tvrdých zrn mohou vyrobit kotouče různé, zaručené, předem stanovené tvrdosti. Bez pojiva se mohou zrna brusiva spojit jen velkým stlačením za vysoké teploty. Nejsprávnější by bylo volit pojivo (tj. různý poměr látek s nižším a vyšším bodem tání a shodnou teplotou slinování) podle broušeného materiálu. To však není možné, používá se pouze několik druhů pojiv.

Druhy pojiv: keramická (označení V), pryžová (R), pryžová s textilní výztuží (RF), z umělé pryskyřice (B), z umělé pryskyřice s textilní výztuží (BF), šelaková (E), magnezitová (Mg), kovová, galvanická kovová, keramická, z umělé pryskyřice. [4]

1.4.3 Zrnitost

Velikost zrna je, dle normy ČSN ISO 525, dána číslem, které odpovídá počtu ok na délku jednoho anglického palce toho síta, jímž při třídění ještě zrno propadne. Podle normy ČSN se užívalo značení, které, násobeno deseti, udává přibližný rozměr zrna v μm . Od tohoto značení se upouští.

Velikost zrn se označuje od nejhrubšího po nejjemnější:

- hrubá 4, 5, 6, ..., 24,
- střední 30, 36, 40, ..., 60,
- jemná 70, 80, 90, ..., 180,
- velmi jemná 220, 240, 280, ..., 1200. [4]

1.4.4 Tvrdost

Stupeň tvrdosti brousicího nástroje je určen druhem a obsahem pojiva. Je definován jako odpor, který klade zrno proti vylomení z brousicího nástroje. Tvrdost kotouče je označována písmeny A až Z, přičemž A je nejměkčí a Z nejtvrdší. Běžně se používají kotouče:

- měkké I, J, K,
- střední L, M, N, O, P, Q,
- tvrdé R, S, T. [4]

1.4.5 Struktura

Struktura je vzdálenost mezi zrny brousicího kotouče, tzn. pórovitost. Označuje se čísly od 0 do 14. Čím je číslo vyšší, tím je větší vzdálenost mezi zrny. Běžně používané brousicí kotouče mají strukturu podle této tabulky: [4]

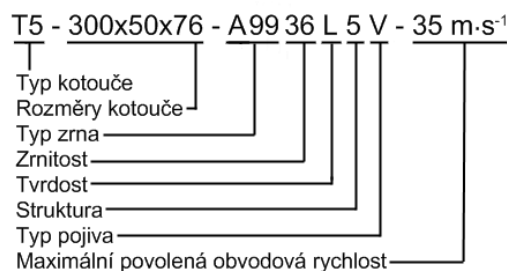
Tab. 1. Značení struktury brousicích kotoučů

Označení	Struktura	Objem pórů (%)
3	hutná	13
4		18
5	polohutná	23
6		28
7	pórovitá	33
8		38

1.4.6 Značení brousicích kotoučů

Brousicí kotouče se označují podle ČSN ISO 0525 z hlediska tvaru, rozměru, specifikace složení a maximální obvodové rychlosti. Označení tvaru brousicích kotoučů je dáno typem kotouče, doplněným u plochých kotoučů dle potřeby také označením profilu obvodu. [2]

Příklad označení brousicího kotouče:

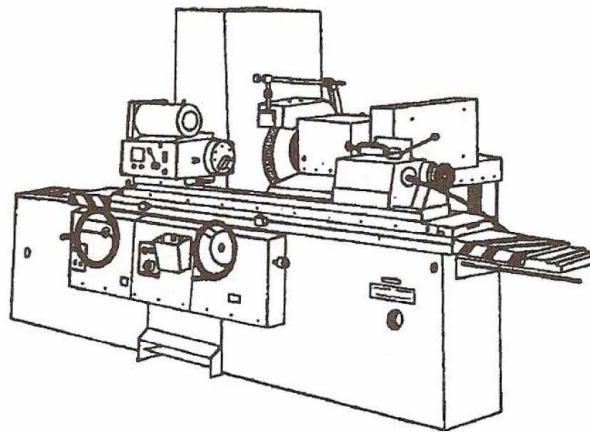


Obr. 4. Značení brousicího kotouče

1.5 Broušící stroje

1.5.1 Hrotové brusky

Používají se k broušení rotačních ploch (válnových kuželových tvarových) zápichovým nebo axiálním broušením. Vyrábějí se ve dvou typech, buď s posuvným stolem u menších a středních brusek, nebo s posuvným vřeteníkem u velkých brusek. [4]

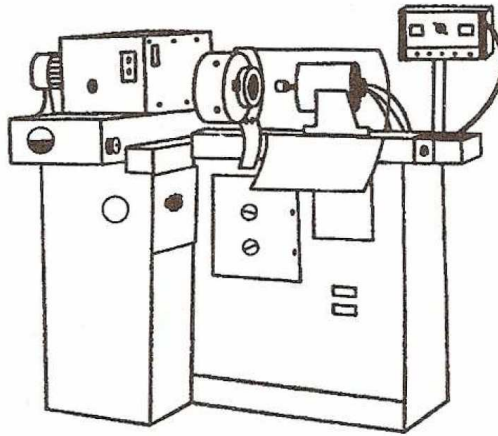


Obr. 5. Univerzální hrotová bruska

U brusek s posuvným stolem, na kterém je pracovní vřeteník a koník, koná stůl přímočarý vratný pohyb, broušící vřeteník koná přířuv. U brusky s posuvným vřeteníkem se obrobek pouze otáčí, posuv a přířuv koná broušící vřeteník. Natočení vrchní části stolu umožňuje brousit dlouhé kuželové plochy, natočení vřeteníku krátké kuželové plochy. S přídatným zařízením lze na hrotové brusce brousit díry. [4]

1.5.2 Brusky na díry

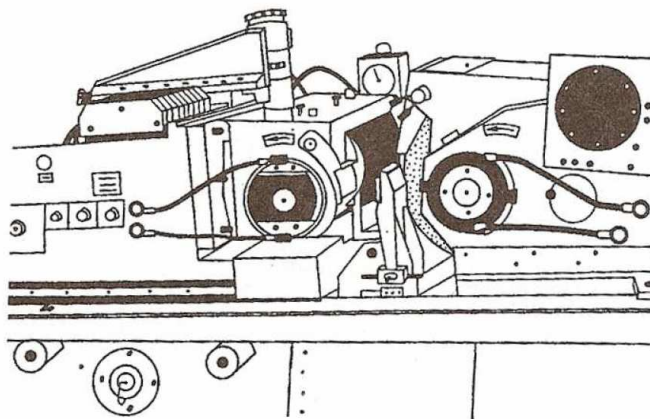
Umožňují brousit válcové, kuželové i tvarové rotační plochy. Do sklíčidla pracovního vřeteníku se upíná obrobek. Broušící vřeteník má podélný i příčný posuv. Protože je průměr broušícího kotouče malý, jsou otáčky vřetene velmi vysoké. Do 25 00 otáček za minutu se používá pohon vřetene řemenem od elektromotoru, do 120 000 otáček za minutu se používají speciální vysokootáčková vřetena. [4]



Obr. 6. Sklíčidlová bruska na díry

1.5.3 Bezhroté brusky

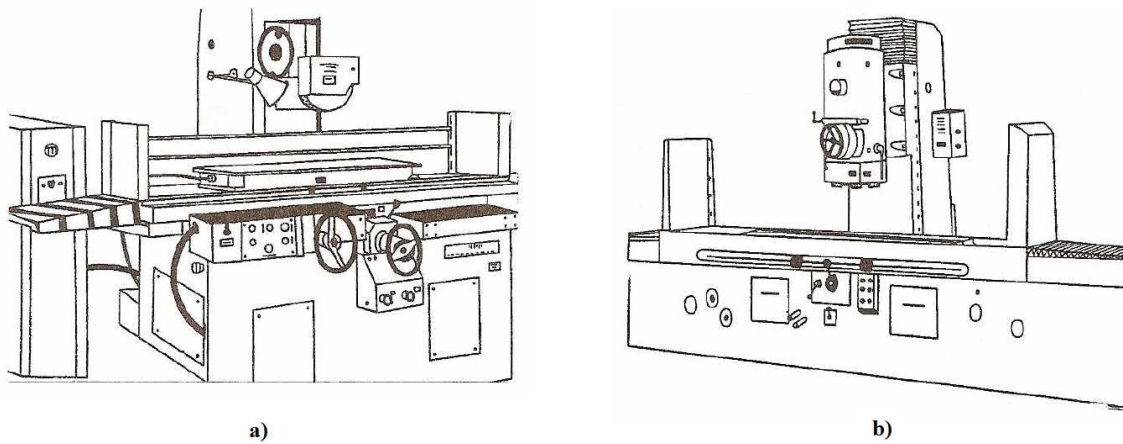
Používají se v sériové a hromadné výrobě na broušení vnějších a vnitřních válcových ploch a tvarových ploch. Aby byl obrobek unášen, musí být tření mezi podávacím kotoučem a obrobkem větší, než obvodová síla mezi obrobkem a brousicím kotoučem. Pro vnitřní broušení musí být obrobek předem obroušen na vnějším povrchu. [4]



Obr. 7. Bezhrotá bruska pro vnější broušení

1.5.4 Rovinné brusky

Jsou určeny pro broušení rovinných ploch. Pracují buď obvodem, nebo čelem kotouče. Obrobek se upíná na magnetickou upínací desku, nebo na stůl brusky pomocí upínek nebo svěráků. Podle polohy osy vřetena jsou buď vodorovné, nebo svislé. [4]



Obr. 8. Rovinná bruska

a – vodorovná, b - svislá

1.5.5 Nástrojářské brusky

Jsou určeny pro ostření řezných nástrojů. Brousicí vřeteník může konat svislý pohyb a může se natáčet, stůl koná svislý pohyb, podélný a příčný pohyb a může se natáčet. Brusky jsou vybaveny rozsáhlým příslušenstvím.

Mezi speciální nástrojářské brusky patří brusky na ostření soustružnických nožů, vrtáků, závitníků, kruhových závitových čelistí, pil a další. [4]

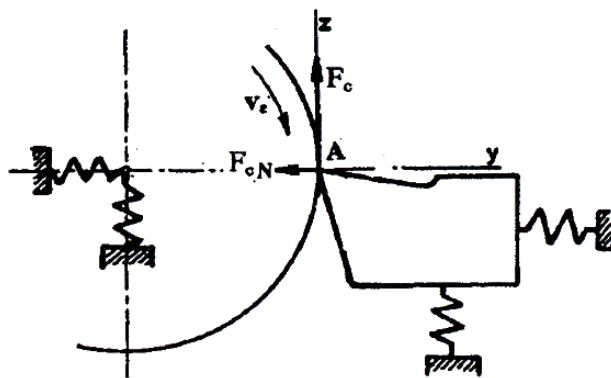
1.5.6 Pásové brusky

Lze je použít pro broušení rovinných, rotačních i tvarových ploch. Jejich výhodou je velký výkon broušení, dobré využití brusiva, malé teplotní ovlivnění broušeného povrchu a snadná výměna brousicího pásu. [4]

2 VYVAŽOVÁNÍ BROUSICÍCH KOTOUČŮ

2.1 Kmitání obráběcího systému

Obráběcí stroj, nástroj a obrobek tvoří obráběcí systém se složitými dynamickými charakteristikami. Kmitání jednotlivých prvků obráběcího systému představuje průvodní jev řezného procesu. Pro názornost je na Obr. 9 naznačen zjednodušený dynamický model obráběcího systému, který charakterizuje stav při ortogonálním řezání. [2]



Obr. 9. Zjednodušený dynamický model – soustružení ortogonální řezání

Hmotný bod A v místě interakce obrobku a nástroje v důsledku proměnlivosti sil F_c a F_{cN} kmitá ve směru osy z a ve směru osy y s určitými frekvencemi a amplitudami.

Kmitání jednotlivých prvků obráběcího systému může mít za následek zhoršení jakosti obrobené plochy, zvýšené opotřebení nástroje, vylamování částic břitu nástroje (chipping), nebo celkovou destrukci břitu nástroje, zvýšení hlučnosti obráběcího procesu, poruch obráběcího stroje apod. [2]

2.1.1 Vlastní kmitání

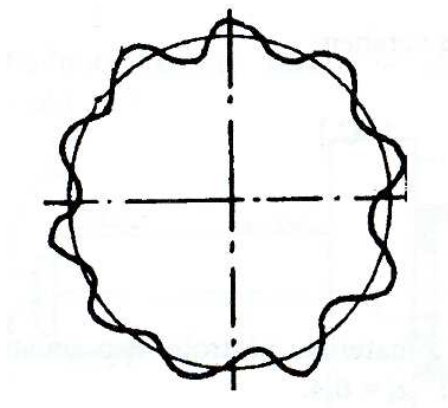
Vlastní kmity v soustavě stroj – obrobek – nástroj, případně v některých uzlech této soustavy, jsou vyvolané nárazem (např. při zapnutí zubové spojky, při záběru nástroje apod.). Ve většině případů je vliv vlastních kmitů na proces obrábění zanedbatelný, protože se kmitání rychle utlumí.

2.1.2 Vynucené kmitání

Vynucené kmitání je vyvoláno periodicky proměnlivými silami, působícími na jednotlivé prvky obráběcího systému:

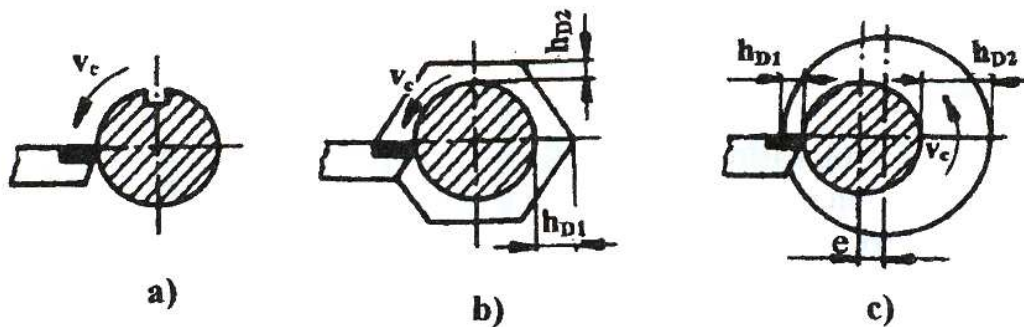
- a) Silové impulzy vznikající v obráběcím systému
 - nevyváženost rotujících hmot (obrobek, nástroj, rotující části obráběcího stroje – Obr. 10)
 - přímočaré vratné pohyby hmot (obrobek, nástroj, části obráběcího stroje).

Modelový příklad úchylky kruhovitosti broušené válcové plochy jako důsledek vynuceného kmitání vyvolaného nevyvážeností broušícího nástroje je uveden na Obr. 10.



Obr. 10. Úchylky kruhovitosti broušené válcové plochy

- b) Periodicky přerušovaný řezný proces
 - periodická změna průřezu třísky (Obr. 11)
 - diskontinuální řezné procesy (hoblování, obrážení).
- c) Silové impulzy vnesené do obráběcího systému přes základy obráběcího stroje
 - Technologické systémy a zařízení instalované v blízkém okolí obráběcího stroje (ventilátory, kovací stroje). [2]

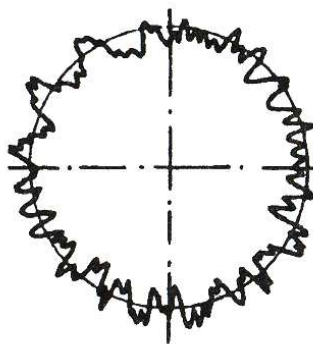


Obr. 11. Periodická změna jmenovité tloušťky průřezu třísky při soustružení
a – přerušovaný řez, *b* – soustružení šestihranného polotovaru, *c* – soustružení výstředně ustaveného polotovaru

2.1.3 Samobuzené kmitání

Samobuzené kmitání bezprostředně souvisí s řezným procesem a jeho nestabilitou. Hypotetickou příčinou může být periodické uvolnění nárůstků, periodická tvorba elementu třísky, tvrdší složka ve struktuře materiálu obrobku, nepravidelný přídavek na obráběných plochách, periodické opotřebení pracovní plochy broušícího kotouče apod.

Samobuzené kmitání se projevuje charakteristickým zvukem při obrábění (vysoké frekvence), charakteristickými stopami na povrchu obrobenej plochy, úchylkami tvaru obrobenej plochy (Obr. 12). [2]



Obr. 12. Úchylka kruhovitosti broušené válcové plochy

Modelový příklad úchytky kruhovitosti broušené válcové plochy jako důsledek samobuzeného kmitání vyvolaného periodickým opotřebením pracovní plochy broušicího nástroje je uveden na Obr. 12.

2.2 Vyvažování broušicích kotoučů

U nevyváženého kotouče vzniká při vysokých rychlostech setrvačná nevyvážená síla F_i , která působí na vřeteno a jeho ložiska (Obr. 13a). Při rotaci kotouče působí síla F_i na ložiska střídavým zatížením, které se mění podle zákona harmonického kmitání ($F_i \sin \omega t$). Při práci s nevyváženým kotoučem vznikají tedy vibrace, které v důsledku vysokých otáček broušicího kotouče negativně ovlivňují přesnost broušení a funkci brusky.

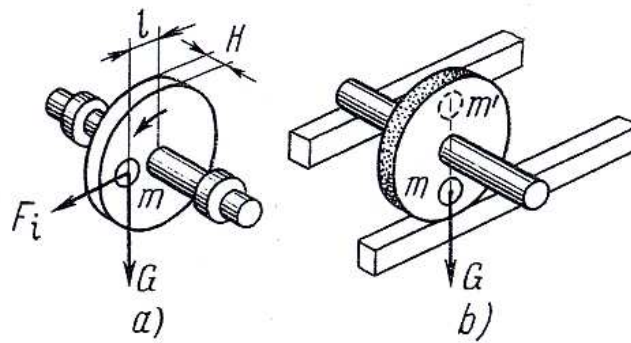
Vyvažování broušicího kotouče spočívá v uspořádání hmoty tak, aby se jeho těžiště shodovalo s jeho geometrickým středem (osou otáčení). Nevyvážené síly se eliminují vyvážením kotouče a kotouč pracuje klidně i při vysokých obvodových rychlostech, což je nezbytné k dosažení vysoké přesnosti rozměrů a kvalitního povrchu a ke snížení opotřebením ložisek broušicího vřetena. [5]

Na základě působení nevyvážených sil rozlišujeme dva základní druhy nevyváženosti – statickou a dynamickou. Podle toho se potom mluví o statické nebo dynamické metodě vyvážení broušicího kotouče.

2.2.1 Statická nevyváženost

Při malé šířce broušicího kotouče stačí jeho statické vyvážení. V tomto případě rotující hmoty mají stejnou velikost a polohu a jsou stejně vzdáleny od těžiště nebo se jedná o jednu jedinou, dvojnásobně velikou nevyváženost, která působí v těžišti, tedy ve středu rotoru. Těžiště nevyvážené hmoty vytváří vzhledem k ose rotace statický moment, který otáčí kotoučem tak, aby těžnice procházela středem otáčení (Obr. 13b).

Uložíme-li takový kotouč na dva vodorovné břity, bude se tak dlouho otáčet (kolébat), než bude jeho "těžké místo" směřovat dolů. Přidá-li se na protilehlé straně ve stejné vzdálenosti hmota m' ($m'=m$) nebo odebere-li se odpovídající hmota m , lze kotouč staticky úplně vyvážit. Takto se broušicí kotouče vyvažují na dílenském vyvažovacím stojánku za pomoci vyvažovacích tělísek v upínací přírubě. [5] [9]



Obr. 13. Schéma nevyváženého broušicího kotouče
 a – nevyvážená hmota m mimo těžiště, b – vyvážení
 hmoty m hmotou m'

Velikost nevyvážené síly je obecně (Obr. 13a)

$$F_i = m\omega^2 l, \quad (2)$$

kde $\omega^2 l$ je zrychlení těžiště ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$),

$$F_i = m \left(\frac{v_k}{R} \right)^2 l, \quad (3)$$

$$F_i = \frac{G}{g} \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 l, \quad (4)$$

kde G je hmotnost kotouče (kg),

$g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ – zemské tíhové zrychlení

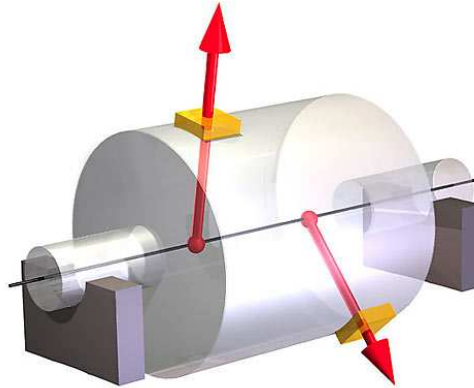
n – otáčky kotouče (min^{-1})

l – velikost excentricity (cm). [5]

2.2.2 Dynamická nevyváženost

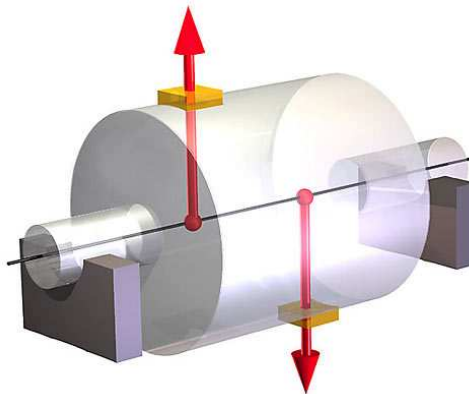
Je-li výška kotouče $H > 0,1D$, je statické vyvážení nedostačující, neboť nevyvážené hmoty obvykle nahodile působí kolem osy rotace. Tyto se mohou nahradit dvěma výslednými nevyváženostmi ve dvou libovolných rovinách, které obecně mají rozdílnou velikost a úhlovou polohu (Obr. 14).

Toto rozdělení nevyváženosti se již nemůže zjistit prostým odvalením kotouče, protože kotouč nezaujme za klidu žádnou jednoznačnou polohu, proto se dá kompletně zjistit pouze za rotace, mluví se o dynamické nevyváženosti. [10] [11]



Obr. 14. Dynamická nevyváženost

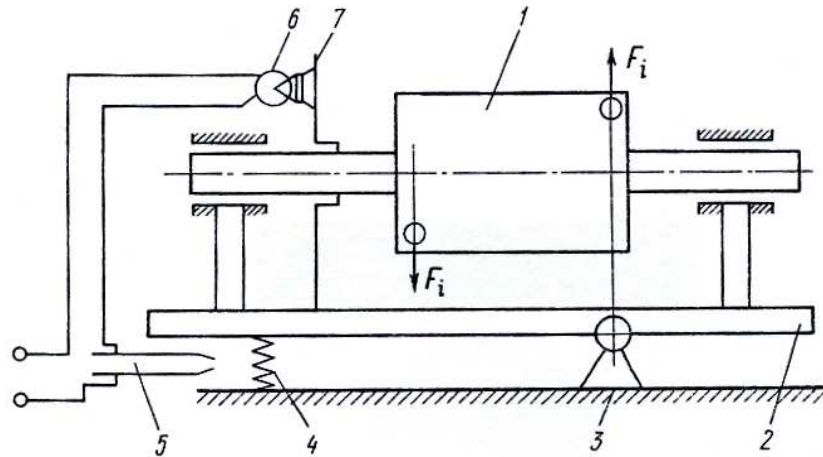
Dynamickou nevyváženost lze rozdělit momentovou a již zmíněnou statickou nevyváženost, přičemž jedna nebo druhá může převažovat. U momentové nevyváženosti mají dvě nevyváženosti stejnou velikost a jejich poloha je přesně o 180° proti sobě pootočená (Obr. 15). Otáčející se kotouč provádí klátivý pohyb kolem osy (kolmo k ose rotace), neboť obě nevyváženosti vytvářejí moment. [11]



Obr. 15. Momentová nevyváženost

Dynamicky se kotouč vyvažuje na zvláštním vyvažovacím zařízení (Obr. 15). Kotouč 1 je upevněn na trnu, otočném v ložiskách rámu 2, který se může otáčet kolem čepu 3. Druhý konec rámu přidržují pružiny 4. Při rotaci kotouče v důsledku dynamické nevyváženosti vzniká síla F_i , která střídavě vychyluje rám 2 a stlačuje pružiny 4. Směřuje-li vektor síly F_i

dolů, pružina 4 se stlačuje a uzavírá se elektrický kontakt 5, který zapne elektrický obvod neonové lampy 6. Lampa 6 osvětlí číslo dílku na stupnici kotouče 7, který určuje místo pro odstranění hmoty. [5]



Obr. 16. Schéma dynamického vyvažování broušícího kotouče

1 – kotouč, 2 – rám, 3 – příčný čep, 4 – pružina, 5 – elektrický kontakt, 6 – žárovka, 7 – dělicí kotouč

Moderní vyvažovací poloautomatické stroje jsou vybaveny elektronickým zařízením, které podle velikosti impulsu (úhel vychýlení rámu) určuje i velikost odebírané hmoty. Po provedení korekce se kotouč s trnem otočí o 180° a vyvažuje se na druhé čelní ploše broušícího kotouče. Při rotaci dynamicky vyváženého kotouče se rám nevychyluje a lampa se nerozsvěcuje.

Povolená nevyváženost závisí na hmotě kotouče. Např. u diamantových kotoučů s ocelovou nosnou částí se připouští nevyváženost 3,8 g.cm pro běžné a 1,9 g.cm pro přesné broušení. [5]

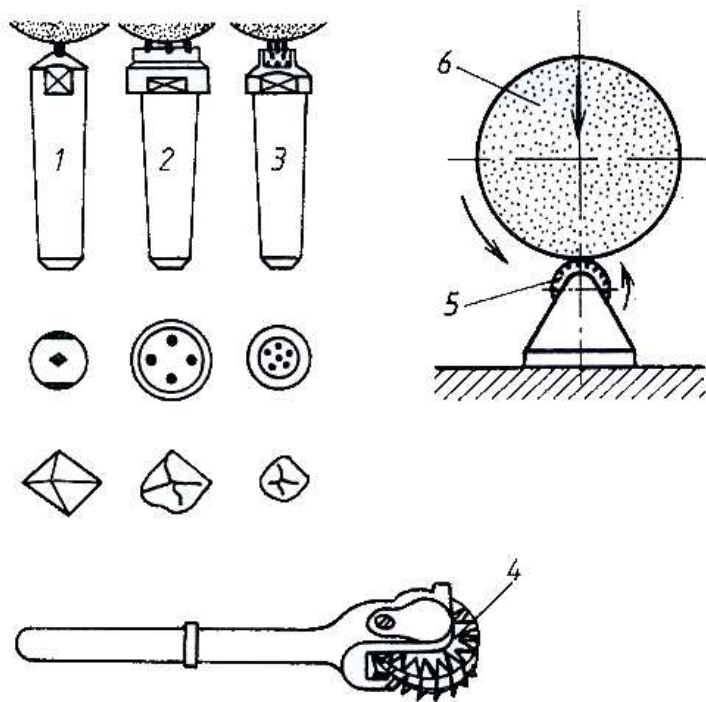
2.3 Orovnávání broušících kotoučů

Orovnáváním broušícího kotouče se odstraňují nerovnosti kotouče a odstraňují opotřebená zrna. Kotouč tak získá potřebný tvar a obnoví se jeho řezivost.

U většiny nástrojů se při orovnávaní spotřebuje přibližně 50 až 75 % objemu pracovní vrstvy. Při orovnávaní je proto třeba odebrat co nejmenší nutnou vrstvu brusiva, jejíž velikost je obvykle v rozmezí 0,05 až 0,15 mm na jedno orovnávaní.

Podle způsobu a podmínek orovnávaní se vytváří různý mikroprofil řezné plochy broušícího nástroje. Vznikají-li při orovnávaní zrna brusiva s plochými otupenými vrcholky (např. při orovnávaní metodou broušení s malým posuvem), zvětšuje se opěrná plocha zrn brusiva.

Hlavní způsoby orovnávaní: tužkovými diamantovými orovnávači, diamantovými zrny upevněnými ve speciálních držácích, diamantovými jednokamenovými nástroji (nože, jehly atd.), nástroji vyrobenými z diamantového prášku, orovnávacími kolečky, brousky, elektrojiskrovým způsobem pro kotouče s kovovými pojivy, orovnávaní bez použití diamantu. [5]



Obr. 17. Orovnávače

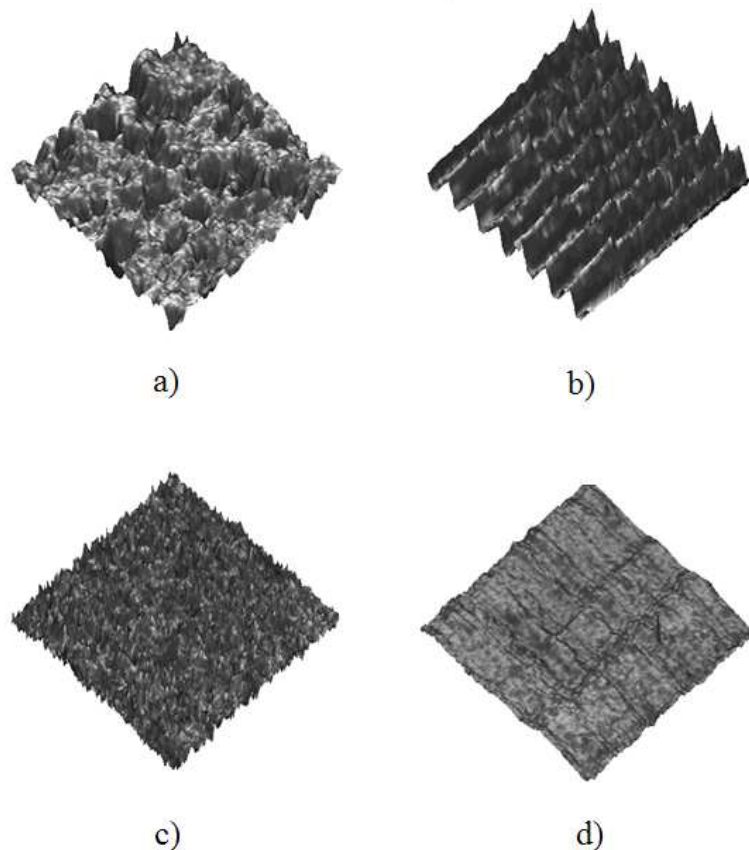
1 – monokrystalický, 2 – polykrystalický, 3 – práškový, 4 – orovnávací kladka, 5 - kolečkový (pro hrubé orovnávaní), 6 – broušící kotouč

3 HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU

Jakost povrchu je souhrn geometrických a chemických vlastností skutečného povrchu posuzované plochy, tj. povrchu, který odděluje těleso od okolního prostředí. Zahrnuje v sobě nejen rozměrovou a geometrickou přesnost, ale i vlastnosti povrchové vrstvy a všechny změny, které v povrchové vrstvě nastávají. Jakost povrchu má vliv na přesnost a trvanlivost stroje.

3.1 Struktura povrchu

Strukturou povrchu se rozumí část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností. Posuzovány jsou zvláště mikronerovnost (drsnost) a makronerovnost (vlnitost) povrchu. U obroběných povrchů se tyto nerovnosti navzájem překrývají. Vady povrchu způsobené náhodným poškozením (rýhy) nebo vady materiálu (trhliny, póry) se do struktury povrchu nezahrnují.

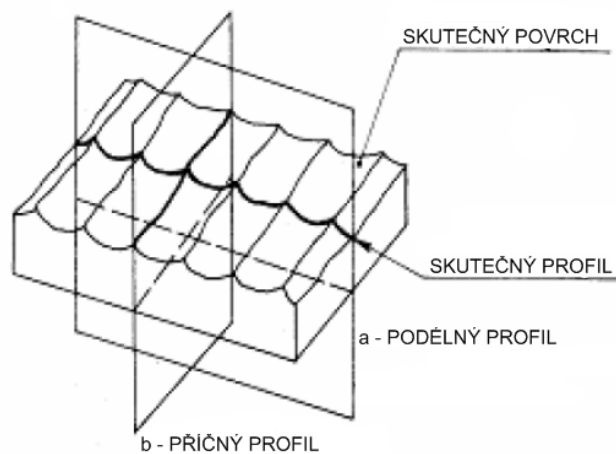


*Obr. 18. Struktura povrchu některých způsobů obrábění
a – válcování, b – frézování, c – broušení, d - leštění*

3.1.1 Drsnost povrchu

Drsností povrchu nazýváme souhrn jemných nerovností (výstupků a prohlubní), které vznikají při každém zpracování materiálu. Na obrobeném povrchu jsou to nejčastěji poměrně pravidelně a směrově uspořádané stopy (rýhy) zanechané řezným nástrojem.

U některých způsobů obrábění, např. soustružení, frézování, hoblování, není drsnost ve všech směrech stejná. Proto rozlišujeme drsnost příčnou, tj. drsnost ve směru kolmém na řezný pohyb a drsnost podélnou, tj. drsnost ve směru řezného pohybu.



Obr. 19. Příčná podélná drsnost profilu

Stupeň drsnosti plochy se určuje porovnáním nebo změřením profilu, který vznikne vhodně vedeným rovinným řezem přístroji založenými na mechanických, optických nebo elektromechanických principech. Při určování stupně drsnosti porovnáváním, srovnáme obrobenou plochu s plochou, jejíž stupeň drsnosti známe nebo se speciálními vzorky, uspořádanými do vzorkovnice. Porovnává se buď přímo okem a hmatem nebo se použije mikroskopu.

3.1.2 Vlnitost povrchu

Vlnitost povrchu je rozlehlejší periodická nerovnost. Nejčastěji je způsobena společným působením soustavy stroj – nástroj – obrobek. Posuzujeme ji podle toho, jak byl dodržen předepsaný geometrický tvar plochy v celém jejím rozsahu. Mnohem snáze se dosáhne u obrobků povrchu o vysokém stupni hladkosti než vlnitosti (stejnomořnosti).

3.2 Základní charakteristiky struktury povrchu

3.2.1 Druhy profilů

- Filtr profilu – filtr rozdělující profily na dlouhovlnné a krátkovlnné.
- Filtr profilu λ_s – filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomných na povrchu.
- Filtr profilu λ_c – filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti.
- Filtr profilu λ_f – filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu.
- Základní profil – základ pro hodnocení parametrů základního profilu.
- Profil drsnosti – profil odvozený od základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru λ_c .
- Profil vlnitosti – profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu λ_f a krátkovlnné složky filtrem λ_c . [8]

3.2.2 Posuzované délky

- Základní délka l_p , l_r , l_w – délka ve směru osy X použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil.
- Vyhodnocovaná délka l_n – délka ve směru osy X použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Může obsahovat jednu nebo více základních délek. [8]

3.2.3 Geometrické parametry

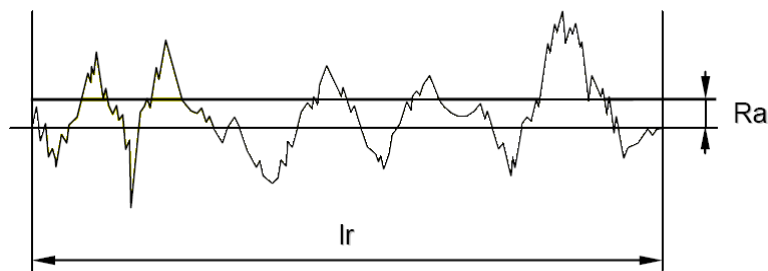
- P-parametr – parametr vypočítaný ze základního profilu.
- R-parametr – parametr vypočítaný z profilu drsnosti.
- W-parametr – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti.
- Výška výstupku Z_p – vzdálenost mezi osou X a největším bodem výstupku profilu.

- Hloubka prohlubně profilu Z_v – vzdálenost mezi osou X nejnižším bodem prohlubně profilu.
- Výška prvku profilu Z_t – součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu.
- Šířka prvku profilu X_s – délka úseku osy X protínající prvek profilu.
- Materiálová délka profilu na úrovni c $Ml(c)$ - součet délek úseku získaných protnutím prvku profilu čarou rovnoběžnou s osou X v dané úrovni c. [8]

3.2.4 Výškové parametry

- Střední aritmetická úchylka profilu P_a , R_a , W_a – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky:

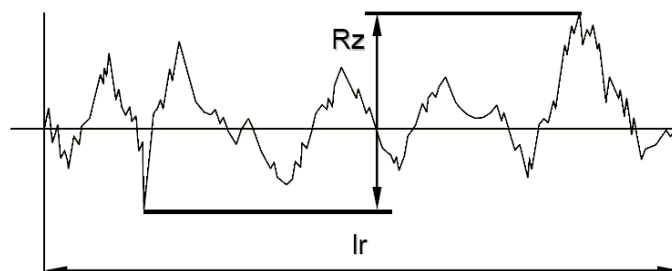
$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx . \quad (5)$$



Obr. 20. Střední aritmetická úchylka profilu

- Největší výška profilu P_z , R_z , W_z – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky:

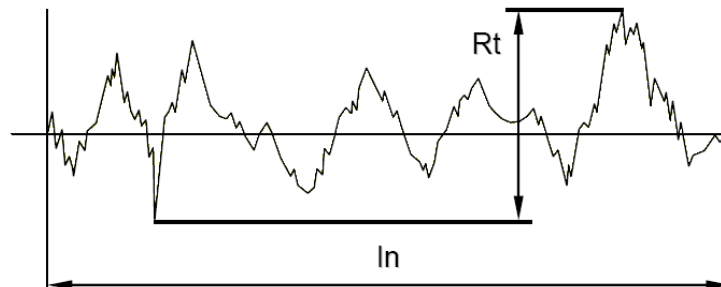
$$P_z, R_z, W_z = Z_p + Z_v . \quad (6)$$



Obr. 21. Největší výška profilu

- Celková výška profilu P_t , R_t , W_t – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky:

$$P_t, R_t, W_t = Z_p + Z_v \cdot [8] \quad (7)$$



Obr. 22. Celková výška profilu

3.2.5 Délkové parametry

- Průměrná šířka prvků profilu P_{Sm} , R_{Sm} , W_{Sm} – aritmetický průměr šířek X_{Si} prvků profilu v rozsahu základní délky:

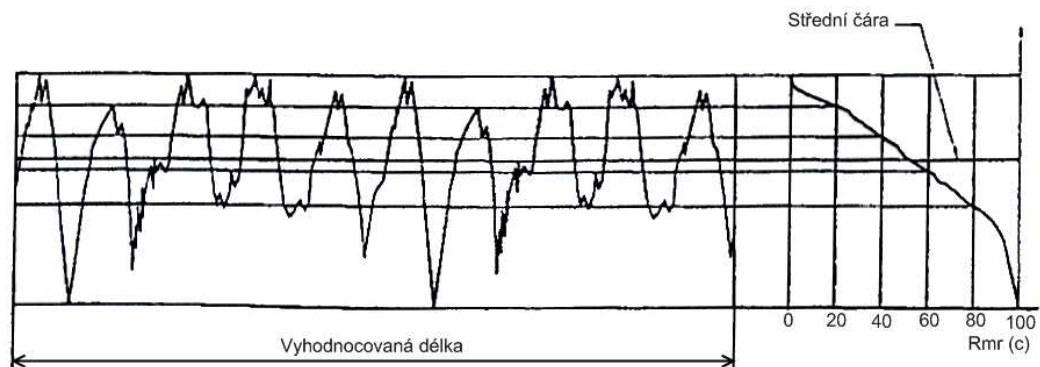
$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si} \cdot [8] \quad (8)$$

3.2.6 Tvarové parametry

- Materiálový poměr profilu (nosný podíl) $P_{mr}(c)$, $R_{mr}(c)$, $W_{mr}(c)$, – poměr délky materiálu elementů profilu $Ml(c)$ na dané úrovni c , k vyhodnocované délce:

$$P_{mr}(c), R_{mr}(c), W_{mr}(c) = \frac{Ml(c)}{ln} \cdot [8] \quad (9)$$

- Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka) – křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně. [8]



Obr. 23. Křivka materiálového poměru

3.3 Metody měření struktury povrchu

Struktura povrchu se určuje přímým nebo nepřímým měřením profilu přístroji různé konstrukce i různé přesnosti. Metody měření jsou:

- Kvalitativní (porovnávací) – subjektivní porovnávání struktury povrchu se vzorky povrchů nebo s etalony vzorkovnic.
- Kvantitativní (parametrická) – určení číselných hodnot parametrů struktury povrchu podle normy.

Měřicí přístroje dělíme podle principu, na kterém pracují na:

- Mechanické – profiloměry, profilometry, profilografy.
- Elektricko-mechanické – piezoelektrické, indukční.
- Optické – interferenční, světelné řezy.

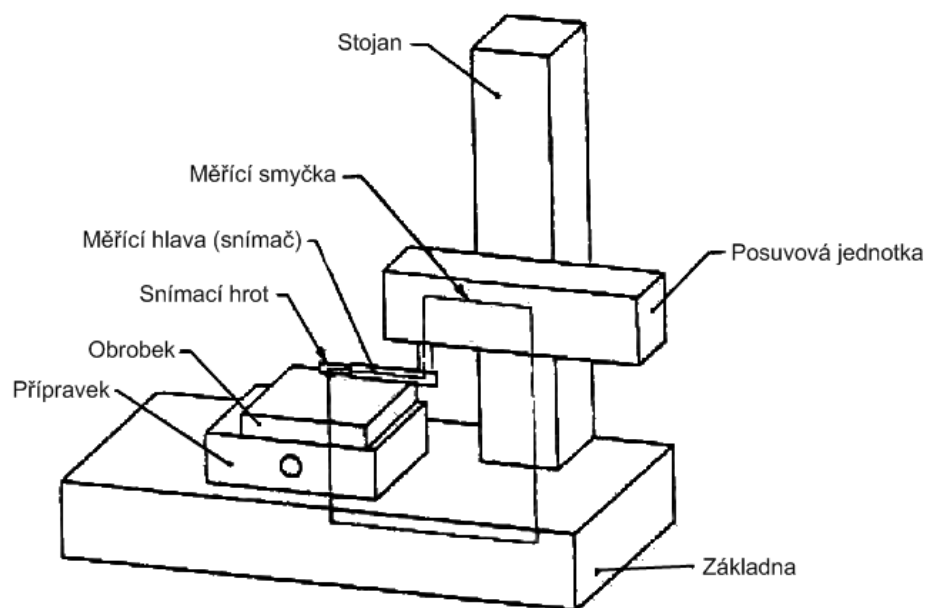
3.3.1 Princip měření struktury povrchu dotykovým profilometrem

Dotykové profilometry jsou nejrozšířenějšími přístroji pro měření struktury povrchu. Metoda využívá ostrého hrotu, který se v daném směru posouvá po povrchu. Pohyb hrotu se přemění na elektrický signál a měřicí přístroj získává úchyly ve formě profilu povrchu, který je schopen zaznamenat a také vypočítat parametry struktury povrchu.

Snímání profilu měřeného povrchu může být:

- Absolutní – měřící základna je velmi přesná dráha snímače (do měřené hodnoty se promítá drsnost, vlnitost i úchytky přímosti).
- Relativní – měřící základna je dráha generovaná kluznou patkou klouzající po měřeném povrchu.

Měřící smyčka dotykového měřicího přístroje je uzavřený řetězec, zahrnující všechny mechanické části propojující měřený objekt a snímací hrot (Obr. 24).



Obr. 24. Schéma měřící smyčky

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Byly stanoveny následující zásady pro vypracování bakalářské práce:

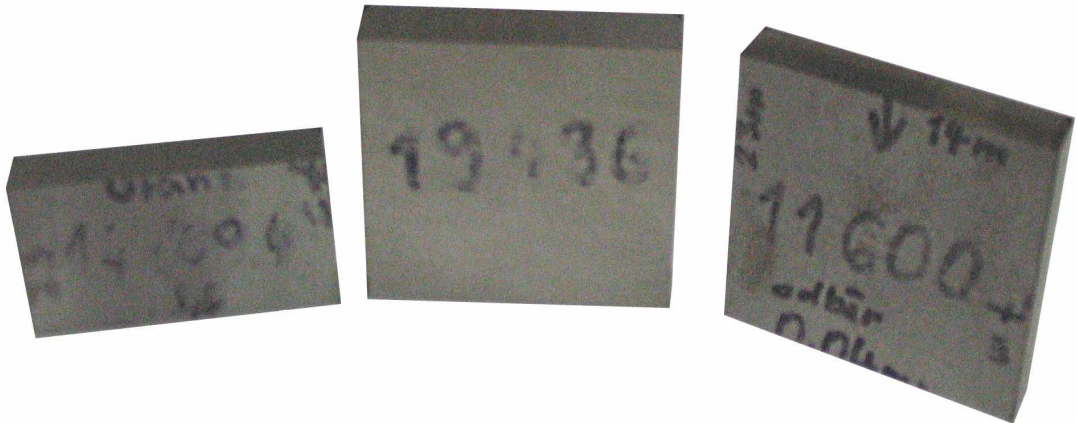
- 1) Proved'te studium literatury z oblasti teorie a technologie broušení
- 2) Hodno'te metody vyvažování rotujících kotoučů
- 3) Uved'te metody hodnocení jakosti
- 4) Určete vliv metod vyvažování na jakost povrchů

V teoretické části, která se skládá z prvních tří bodů zadání, je nejdříve přiblížena problematika z oblasti technologie broušení. Zde je popsán proces broušení s jeho charakteristickými znaky, používané stroje a nástroje. V dalším bodu teoretické části jsou uvedeny jednotlivé druhy nevyváženosti rotujících kotoučů, jejich popis a význam. V poslední kapitole je popsána jakost povrchu, především pak drsnost povrchu, její charakteristika a způsoby měření.

V poslední bodu zadání se jedná o praktickou část bakalářské práce. Ze série měření drsnosti povrchu ocelových zkušebních vzorků, které jsou broušeny zvoleným broušicím kotoučem, je určen vliv vyvážení kotouče na drsnost povrchu. Vzorky jsou broušeny nejdříve nevyváženým broušicím kotoučem, následně staticky vyváženým s různými amplitudami. Poté následuje porovnání výsledků jednotlivých měření a určení vlivu vyvažování na drsnost povrchu.

5 BROUŠENÉ VZORKY

Byly zhotoveny tři zkušební vzorky ve tvaru kvádrů o rozměrech 50 x 50 x 10 mm. Vzorky a jejich broušené plochy byly označeny pro snazší manipulaci při práci.



Obr. 25. Broušené vzorky

5.1 Materiály vzorků

Materiály vzorků jsou oceli, jejich označení je uváděno dle normy EN ISO 4957 (ČSN 42 0949)

5.1.1 E335 (11 600)

- Charakteristika: konstrukční ocel pro větší namáhání; tavná svařitelnost obtížná.
- Tepelné zpracování: normalizační žíhání.
- Mechanické vlastnosti: $R_m = 590$ až 705 MPa; $R_{emin} = 295$ MPa; tvrdost max. 205 HB
- Použití: kované a lisované součásti vystavené velkým tlakům a opotřeбенí (klíny, čepy, pastorky, šneky, vřetena lisů).

5.1.2 100Cr6 (14 109.4)

- Charakteristika: ocel vhodná k cementování, kyanování a objemovému tváření; dobře tvárná za tepla a po žíhání i za studena; dobře obrobitelná; dobrá svařitelnost;

strojní součásti s velmi tvrdou cementovanou vrstvou a velkou pevností v jádře po kalení. Vyžaduje se u nich velká metalurgická čistota, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Obsahují asi 1,1% C, 0,8 až 1,6% Cr, a asi 1% Mn.

- Tepelné zpracování: normalizační žíhání – 860 °C; žíhání na měkko – 70 °C; cementování – 840 až 870 °C; kalení – 780 až 880 °C/ olej až voda; popouštění – 160 °C / 1 h.
- Mechanické vlastnosti: $R_m = \text{min. } 785 \text{ MPa}$; $R_{\text{emin}} = 590 \text{ MPa}$; tvrdost min. 239 HB
- Použití: pro výrobu ložiskových kuliček do průměru 25mm, válečků a kuželíků do průměru 18, kroužků valivých ložisek do tloušťky stěny 16mm.

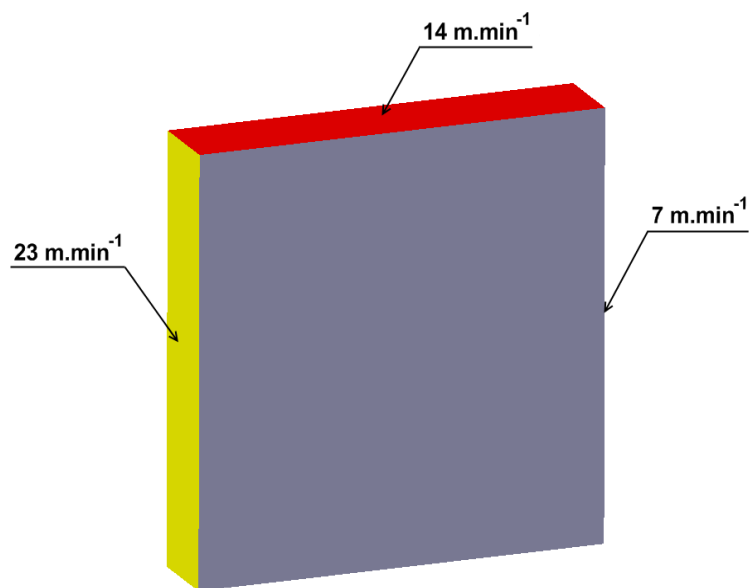
5.1.3 X210Cr12 (19 436.4)

- Charakteristika: vysokolegovaná chromová ocel ke kalení v oleji na vzduchu; velká prokalitelnost a odolnost proti opotřebení; nižší houževnatost; dobře tvárná za tepla; dobře obrobitelná. Obsahuje 1,8 až 2,05% C, 0,2 až 0,45% Mn, 0,2 až 0,45% Si a 11 až 12,5% Cr.
- Tepelné zpracování: žíhání na měkko – 850 až 780 °C; kalení – 920 až 970 °C/ olej; popouštění 150 až 300 °C.
- Mechanické vlastnosti: tvrdost asi 63 HRC.
- Použití: nástroje na stříhání za studena, nástroje pro tváření za studena, řezné nástroje, formy.

6 BROUŠENÍ VZORKŮ

Zkušební vzorky byly broušeny na rovinné horizontální brusce BRH 20.03F. Pro jejich upnutí byl využit upínač brusky, který byl upevněn na elektromagnetickou desku. Vzorky byly broušeny nevyváženým kotoučem, poté byl kotouč staticky vyvážen poprvé a poté podruhé. Vyvažování kotouče dynamickou metodou již nebylo provedeno, důvody budou uvedeny v dalším textu.

Každý materiál byl broušen vždy na třech svých stranách třemi různými rychlostmi posuvu. Broušená plocha byla tedy stejná u všech vzorků a to 10 x 50mm. Hodnoty rychlosti posuvu byly zvoleny s ohledem na možnosti stroje a potřeby měření 7; 14 a 23 m.min⁻¹, tedy nejnižší, nejvyšší a střední hodnota. Hloubka odebírané vrstvy byla vždy 0,04 mm. Před započítím broušením kotouče byl jeho povrch vždy orovnáán do hloubky 0,1mm.



Obr. 26. Broušené plochy vzorků

6.1 Bruska rovinná horizontální BHV 20.03F

Bruska BHV 20.03F je rovinná bruska s horizontálním vřetenem a pravoúhlým stolem. Je určena pro broušení rovinných a tvarových ploch součástek z ocelí, litiny a ostatních kovových materiálů, u kterých se vyžaduje dosáhnutí vysoké přesnosti a kvality zpracování.

Brousí se převážně obvodem brousicího kotouče. Broušené součástky podle svých rozměrů a tvaru mohou být upínané přímo na elektromagnetickou desku, nebo prostřednictvím vhodných upínačů.

Bruska pracuje v uzavřeném automatickém pracovním cyklu. K řízení automatického cyklu je bruska vybavena číslicovou indikací NV 300E fy FAGOR, které slouží k odměřování dráhy svislého a příčného posuvu při práci v ručním režimu a k řízení posuvu v automatickém pracovním cyklu.

Z hlediska koncepce se bruska BHV 20.03F vyznačuje tím, že stůl vykonává podélný pohyb po vedení vyhotoveném na předním loži a příčný posuv vykonává brusný vřeteník spolu se stojanem, ve kterém je vedení pro jeho svislý posuv. Hydraulický agregát a skříň elektriky tvoří samostatné celky umístěné mimo stroj. Bruska také může pracovat s ruční obsluhou v uzavřeném nebo neuzavřeném automatickém cyklu. [14]



Obr. 27. Rovinná horizontální bruska BHV 20.03F

Tab. 2. Některé technické parametry brusky BHV 20.03F

Parametr	Hodnota	Jednotka
Výška stroje	2240	mm
Hmotnost stroje	1860	kg
Rozměry brousicího kotouče	250 x 20-50 x 76	mm
Pracovní plocha stolu	200 x 630	mm
Rychlost stolu plynule regulovatelná	1-23	m.min ⁻¹
Otáčky brousicího vřetena	2550	min ⁻¹

7 VYVÁŽENÍ BROUSICÍHO KOTOUČE

7.1 Brousicí kotouč A99B 80 K 9 V

Pro broušení vzorků byl volen brousicí kotouč s označením A99B 80 K 9 V s rozměry 250 x 25 x 76 mm.

Zrna kotouče jsou z umělého bílého korundu. Umělý bílý korund (tavený kysličník hlinitý) se vyrábí v elektrických obloukových pecích s vysoce čistého kysličníku hlinitého. Má vyšší tvrdost než korund hnědý. Je také charakteristický vysokou čistotou, stabilitou, vynikajícími řeznými vlastnostmi, žáruvzdorností a odolností proti vlivu kyselin a chemikálií. Zrna brousicího kotouče jsou vázána keramickým pojivem. Kotouče s keramickými pojivy se používají pro polohrubovací a dokončovací broušení kalených ocelí s chlazením vodními roztoky rozpustných olejů.

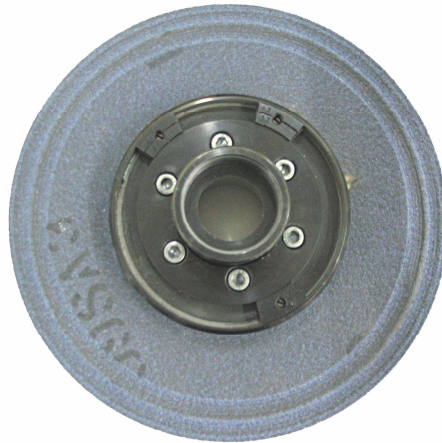
Tento kotouč je měkký s jemnou zrnitostí a pórovitou strukturou. Je tedy vhodný pro broušení tvrdých materiálů.

Protože každé zrno kotouče má jinou hmotnost, neshoduje se těžiště kotouče s jeho geometrickým středem. Nevyvážené hmoty mají za následek vznik kmitání, a tak i zhoršení jakosti obrobené plochy. Kotouč je tedy dobré vyvážit – vyrovnat nevyvážené hmoty tak, aby těžiště leželo v ose otáčení – podle potřeby statickou nebo dynamickou metodou.

Před vyvažováním bylo nutné kotouč orovnat, aby získal pravidelný geometrický tvar.

7.2 Vyvážení brousicího kotouče statickou metodou

Při statickém vyvažování brousicího kotouče byla na kotouč namontována upínací příruba s vyvažovacími tělísky. Následně byl kotouč i s přírubou nasazen na kuželový vyvažovací trn, který byl položen na vyvažovací dílenský stojánek. Stojánek byl předem vyvažovacími šrouby pomocí vodováhy ustaven do vodorovné polohy. Přestavováním pozic tří vyvažovacích tělísek byl kotouč vyvažován do té doby, než se začal na stojánku plynule otáčet a zvolna zpomalovat. Poté byla změřena pomocí přístroje Balatron typ 2001 amplituda kmitání – nevyváženost.



*Obr. 28. Brousicí kotouč s upínací
přírubou s vyvažovacími tělísky*

Samotné vyvažovací tělísko se skládá ze dvou částí a šroubu. Celková váha těchto součástí je 12,2 g.

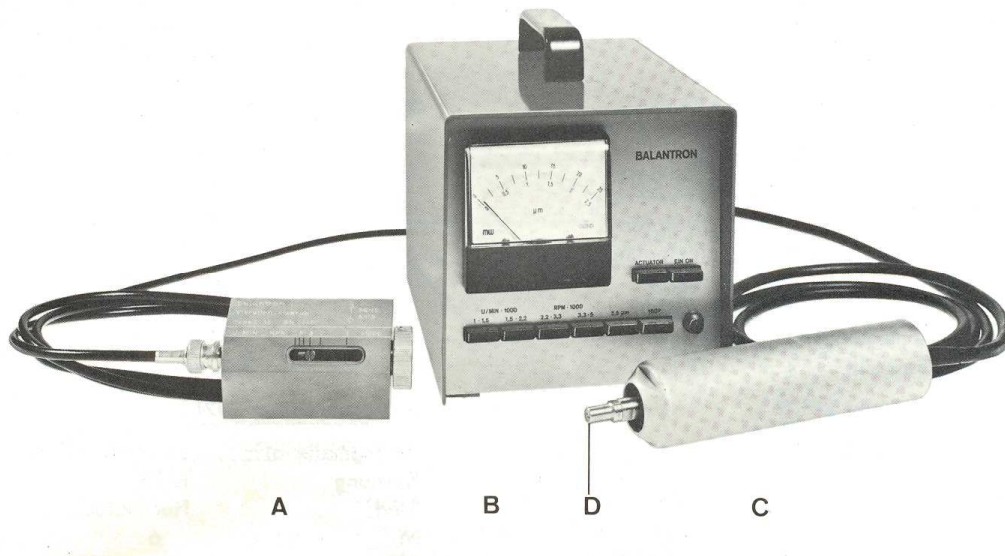


*Obr. 29. Dílenský stojánek pro
statické vyvážení*

Naměřená amplituda kmitání byla u nevyváženého kotouče 20 μm , poprvé staticky vyváženého 1,5 μm (dále v textu označováno jako STATICKY A) a u podruhé staticky vyváženého 0,75 μm (dále v textu označováno jako STATICKY B).

7.3 Vyvažování broušícího kotouče dynamickou metodou – Balantron typ 2001

U dynamického vyvážení broušícího kotouče se nepodařilo dosáhnout zlepšení výchytky vinou vady na vyvažovacím přístroji Balantron typ 2001. Tento přístroj byl tedy použit pouze k zaznamenání velikosti nevyváhy.



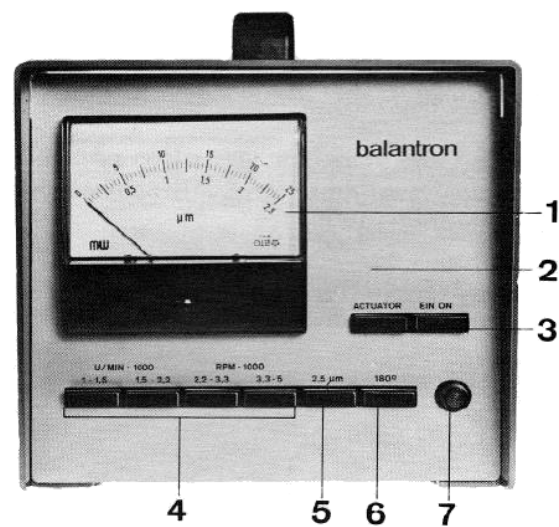
Obr. 30. Balantron typ 2001

A – snímač, B – ovládací jednotka, C – aktuátor, D – ubírací část aktuátoru

Přístroj Balantron typ 2001 slouží k měření podélných i příčných kmitů technologické soustavy a k dokonalejšímu dynamickému vyvážení broušícího kotouče. Přístroj je přenosný, takže je snadno aplikovatelný na jiná zařízení.

Přístroj je tvořen třemi částmi:

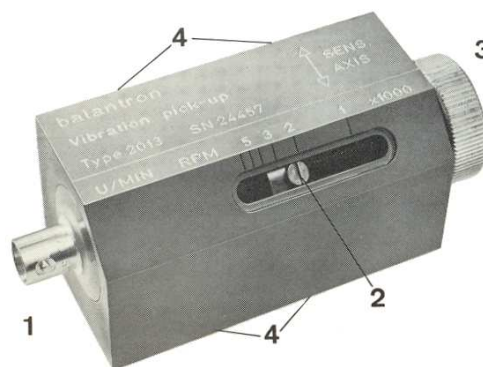
- Ovládací jednotka – tvoří hlavní část přístroje. Obsahuje přehlednou stupnici, ze které se odečítá „nevyváha“ broušícího kotouče (amplituda výkmitu) a tlačítka potřebné k nastavení rozsahu stupnic a otáček k ovládnání aktuátoru.



Obr. 31. Zobrazovací jednotka

1 – indikátor, 2 – ovládací jednotka, 3 – síťová jednotka, 4 – rozsah hodnot, 5 – citlivost, 6 – fázová inverze, 7 – kontrolka

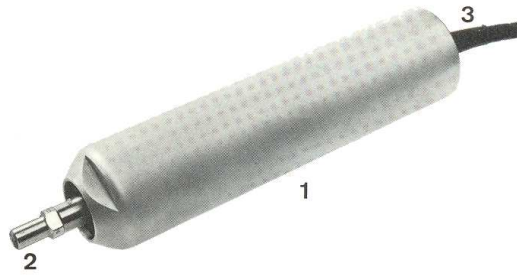
- Snímač – snímá kmity technologické soustavy. Podle polohy umístění snímače, lze měřit kmity podélné nebo příčné. Pomocí magnetu se snímač umísťuje co nejbližší ke zdroji kmitání. Ladicím šroubem lze nastavit otáčky obráběcího stroje.



Obr. 32. Snímač

1 – připojení kabelu, 2 – regulátor otáček, 3 – ladicí prvek, 4 – magnetické uchycení

- Aktuator – slouží k vyvážení brousicího kotouče. Jeho pracovní část je složena s několika diamantovými hrotů, pomocí kterých se z brousicího kotouče odebírá část brusiva. Na zobrazovací stupnici se pak sleduje postupné klesání amplitudy kmitání. [13]



Obr. 33. Aktuator

*1 – tělo aktuatoru, 2 – ubírací hrot, 3 –
připojení kabelu*

8 MĚŘENÍ DRSNOSTI

Pro každou broušenou plochu zkušebního vzorku bylo provedeno pět měření drsnosti povrchu na různých místech plochy vzorku. Měřené parametry drsnosti povrchu byly Ra a Rz.

Před samotným měřením byla provedena kalibrace měřidla. Kalibrace byla provedena tak, že byla měřidlem změřena ověřená drsnost povrchu dílenského etalonu, přičemž přístroj si sám vyrovnal odchylky od měřené drsnosti. Kalibrace byla prováděna i v průběhu měření.

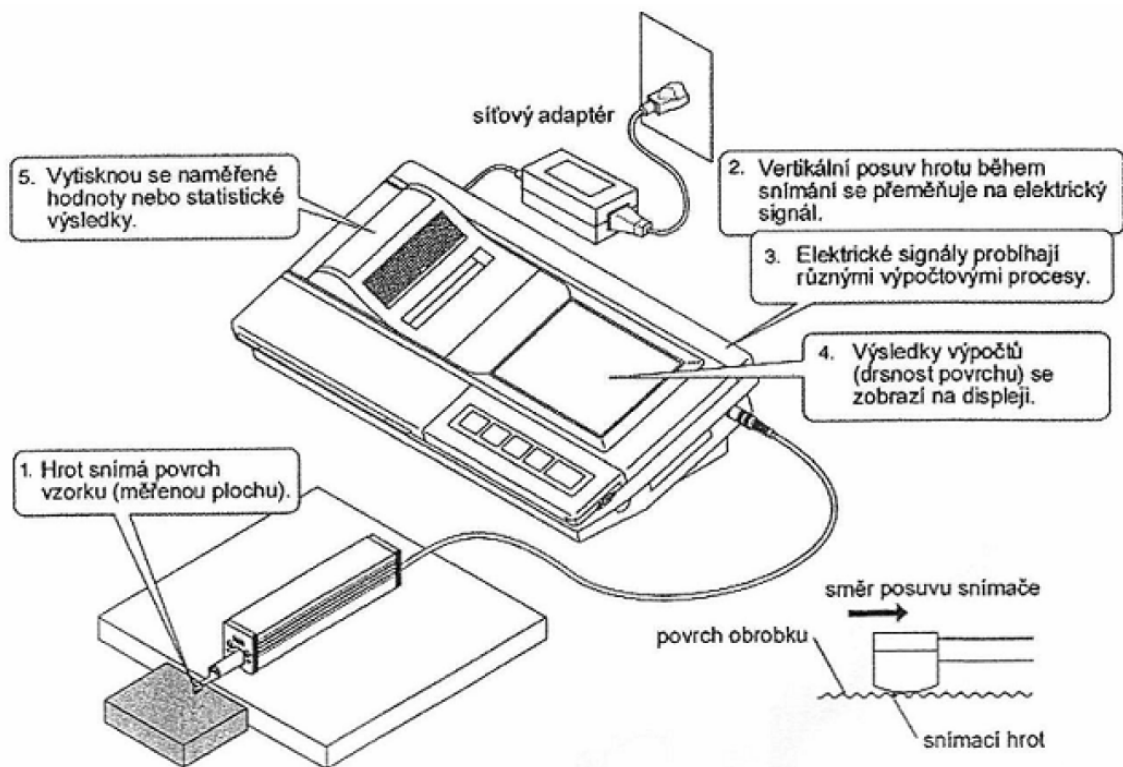
Nastavené parametry měřidla:

- norma: ISO 97,
- profil: R,
- filtr: GAUSS,
- filtr profilu λc : 2,5 mm,
- počet vyhodnocovaných délek: 5,
- rychlost: $0,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

8.1 Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ – 301

Tento přenosný měřicí přístroj je určený k měření povrchu především v dílenském prostředí. Snímacím hrotem o průměru 2 μm dokáže měřit drsnost povrchu a charakterizovat ji za pomoci řady parametrů dle daných norem. Výsledky měření se digitálně a graficky zobrazují na ovládací, dotekové obrazovce. Přístroj má vestavěnou tiskárnu.

Snímací hrot tohoto přístroje zaznamenává i nejjemnější nepravidelnosti povrchu vzorku. Drsnost povrchu se vypočítá z vertikálního posuvu snímacího hrotu, ke kterému dochází, když snímací hrot přejíždí přes nepravidelnosti povrchu. Poloha snímacího hrotu vůči obrobku musí být zajištěna tak, aby posuv měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku. [12]



Obr. 34. Schéma měřicího přístroje Mitutoyo SJ – 301

Tab. 3. Některé technické parametry přístroje Mitutoyo SJ – 301

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální měřicí rozsah	300 ± 150	μm
Posuv ose X	12,5	mm
Zdvih v ose Z	350	μm
Délka měření	0,25; 0,8; 2,5; 8	mm
Počet vzorových délek	1, 3, 5 a L	-

9 NAMĚŘENÁ DATA A PREZENTACE VÝSLEDKŮ

9.1 Naměřená data

Drsnost povrchu byla měřena tak, že byla pomocí dotykového přístroje změřena střední aritmetická úchylka profilu Ra a největší výška profilu Rz. Tyto hodnoty byly měřeny u každé broušené plochy vždy pětkrát a to v příčném směru, tedy ve směru kolmém na řezný pohyb. Pokud by byla drsnost měřena v podélném směru, ve směru řezného pohybu, její hodnoty by byly velmi nízké, protože hrot měřicího přístroje by měřil „v drážkách“ po řezném nástroji. Pro praxi jsou důležitější větší hodnoty naměřené v příčném směru.

Tab. 4. Data při broušení nevyváženým kotoučem

rychlost posuvu v_f [m/min]		7		14		23	
mat.	měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
E335 (11 600)	1	0,32	2,11	0,36	2,23	0,44	2,65
	2	0,36	2,23	0,36	2,15	0,42	2,56
	3	0,32	2,09	0,39	2,27	0,47	2,79
	4	0,32	2,29	0,36	2,14	0,45	2,80
	5	0,31	2,12	0,42	2,43	0,49	3,54
	\bar{x}	0,33	2,17	0,38	2,24	0,45	2,87
	s	0,01	0,04	0,01	0,05	0,01	0,17
100Cr6 (14 109,4)	1	0,34	2,30	0,37	2,23	0,40	2,68
	2	0,34	2,47	0,36	2,35	0,36	3,01
	3	0,36	2,32	0,39	2,37	0,41	2,24
	4	0,37	2,23	0,35	2,01	0,42	3,17
	5	0,34	2,31	0,36	2,47	0,39	2,33
	\bar{x}	0,35	2,33	0,37	2,29	0,40	2,69
	s	0,01	0,04	0,01	0,08	0,01	0,18
X210Cr12 (19 436)	1	0,46	2,76	0,45	2,72	0,35	2,28
	2	0,44	2,89	0,39	2,14	0,35	2,16
	3	0,47	3,13	0,47	3,13	0,41	2,64
	4	0,43	2,76	0,43	2,46	0,40	2,11
	5	0,48	2,28	0,40	2,47	0,35	2,06
	\bar{x}	0,46	2,76	0,43	2,58	0,37	2,25
	s	0,01	0,14	0,01	0,16	0,01	0,10

Z naměřených hodnot drsnosti povrchu byl určen podle následujících vztahů střední aritmetický průměr (10) a směrodatná odchylka (11).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (10)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

Tab. 5. Data při broušení kotoučem vyváženým staticky A

rychlost posuvu v_f [m/min]		7		14		23	
mat.	měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
E335 (11 600)	1	0,30	2,21	0,35	2,00	0,39	2,49
	2	0,35	2,53	0,37	2,11	0,43	2,65
	3	0,32	2,11	0,34	2,40	0,41	2,81
	4	0,30	1,96	0,35	2,36	0,40	2,71
	5	0,31	2,45	0,35	2,23	0,42	2,61
	\bar{x}	0,32	2,25	0,35	2,22	0,41	2,65
	s	0,01	0,11	0,00	0,08	0,01	0,05
100Cr6 (14 109.4)	1	0,33	2,07	0,33	2,22	0,39	2,65
	2	0,34	2,13	0,36	2,25	0,36	2,46
	3	0,32	1,79	0,38	2,45	0,42	2,81
	4	0,31	1,86	0,36	2,47	0,34	2,29
	5	0,33	2,19	0,35	2,34	0,36	2,31
	\bar{x}	0,33	2,01	0,36	2,35	0,37	2,50
	s	0,01	0,08	0,01	0,05	0,01	0,10
X210Cr12 (19 436)	1	0,40	2,39	0,34	2,26	0,32	2,05
	2	0,40	2,44	0,36	2,35	0,32	1,41
	3	0,41	2,39	0,40	2,67	0,32	1,41
	4	0,44	2,84	0,33	2,01	0,28	1,36
	5	0,41	2,34	0,34	2,38	0,32	1,94
	\bar{x}	0,41	2,48	0,35	2,33	0,31	1,63
	s	0,01	0,09	0,01	0,11	0,01	0,15

Tab. 6. Data při broušení kotoučem vyváženým staticky B

rychlost posuvu v_f [m/min]		7		14		23	
mat.	měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
E335 (11 600)	1	0,32	1,86	0,32	2,25	0,33	1,95
	2	0,30	1,48	0,31	1,99	0,35	2,06
	3	0,30	1,81	0,31	1,93	0,32	2,09
	4	0,33	2,26	0,33	2,27	0,34	2,15
	5	0,31	2,03	0,31	2,06	0,36	1,96
	\bar{x}	0,31	1,89	0,32	2,10	0,34	2,04
	s	0,01	0,13	0,00	0,07	0,01	0,04
100Cr6 (14 109.4)	1	0,31	1,87	0,33	2,13	0,39	2,06
	2	0,31	1,89	0,35	2,23	0,38	2,04
	3	0,30	1,73	0,36	1,90	0,36	2,30
	4	0,32	1,99	0,35	2,09	0,35	2,02
	5	0,30	1,78	0,33	2,27	0,37	2,41
	\bar{x}	0,31	1,85	0,34	2,12	0,37	2,17
	s	0,00	0,05	0,01	0,06	0,01	0,08
X210Cr12 (19 436)	1	0,29	2,65	0,26	1,70	0,24	1,76
	2	0,28	2,26	0,26	1,76	0,24	1,63
	3	0,31	2,25	0,28	1,79	0,25	1,68
	4	0,31	2,16	0,26	1,62	0,24	1,59
	5	0,30	2,19	0,26	1,56	0,23	1,60
	\bar{x}	0,30	2,30	0,26	1,69	0,24	1,65
	s	0,01	0,09	0,00	0,04	0,00	0,03

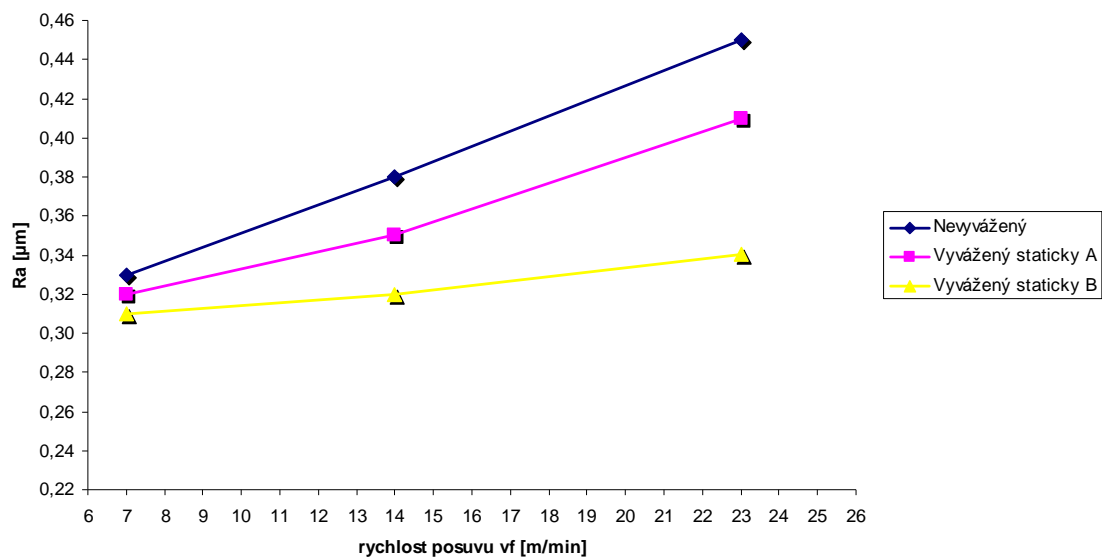
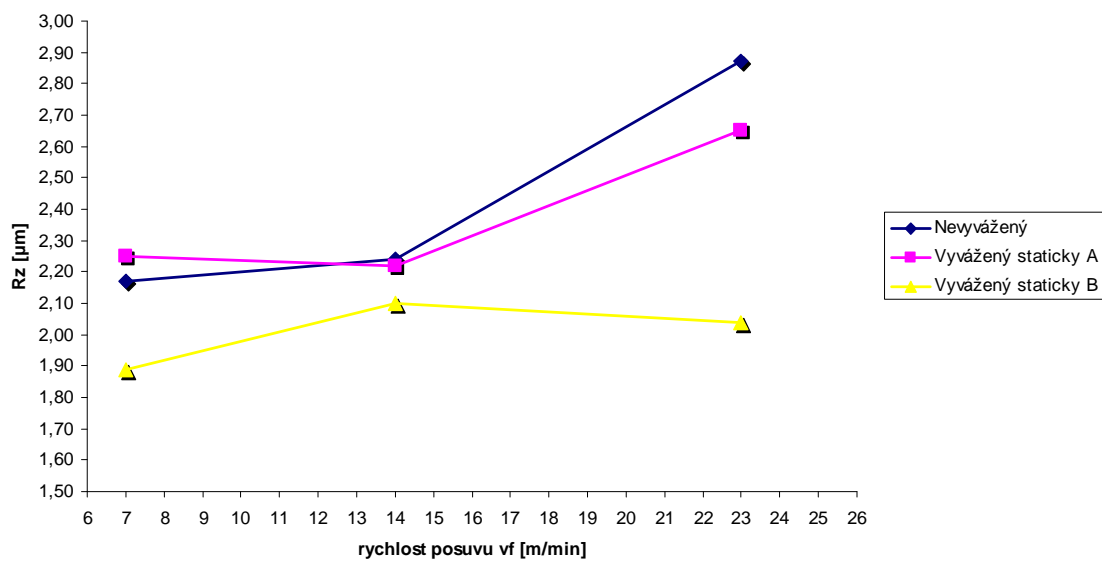
Tab. 7. Naměřené hodnoty amplitudy kmitání u jednotlivých způsobů vyvážení

Způsob vyvážení	Amplituda [μm]
Nevyvážený	20
Staticky A	1,5
Staticky B	0,75

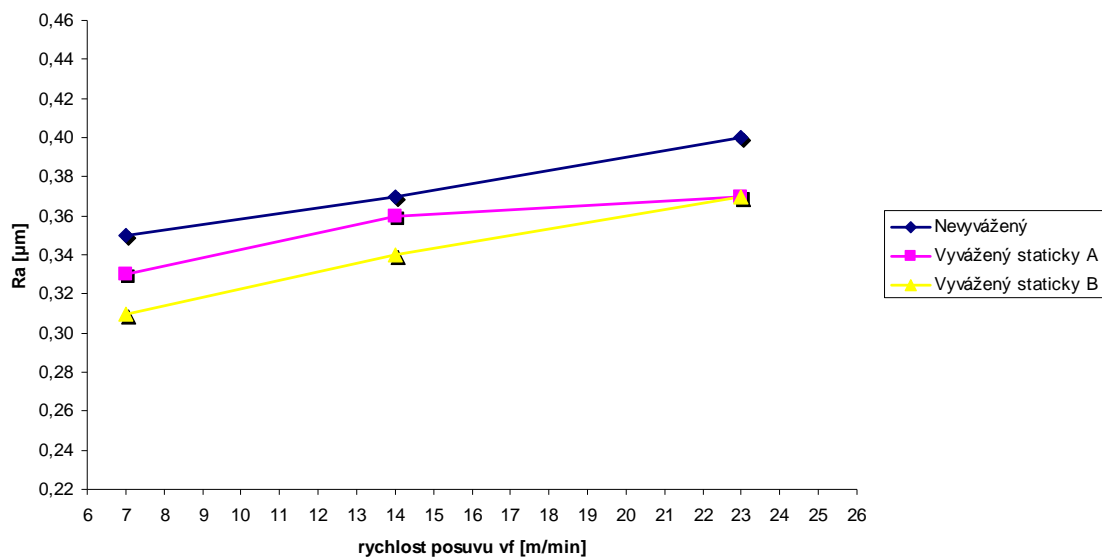
9.2 Změna drsnosti v závislosti na změně posuvu

Z naměřených a následně dopočítaných dat byly zpracovány grafy závislosti parametrů drsnosti Ra a Rz na velikosti rychlosti posuvu. U každého druhu vyvážení byl tedy vytvořen pro každý materiál 1 graf. Tyto grafy byly umístěny do příloh práce. Zde jsou uvedeny shrnující grafy závislosti parametru Ra respektive Rz na velikosti rychlosti posuvu v_f pro nevyvážený kotouč a pro kotouče vyvažované staticky. Jejich hodnocení a vliv na jakost povrchu bude popisován v samostatné kapitole.

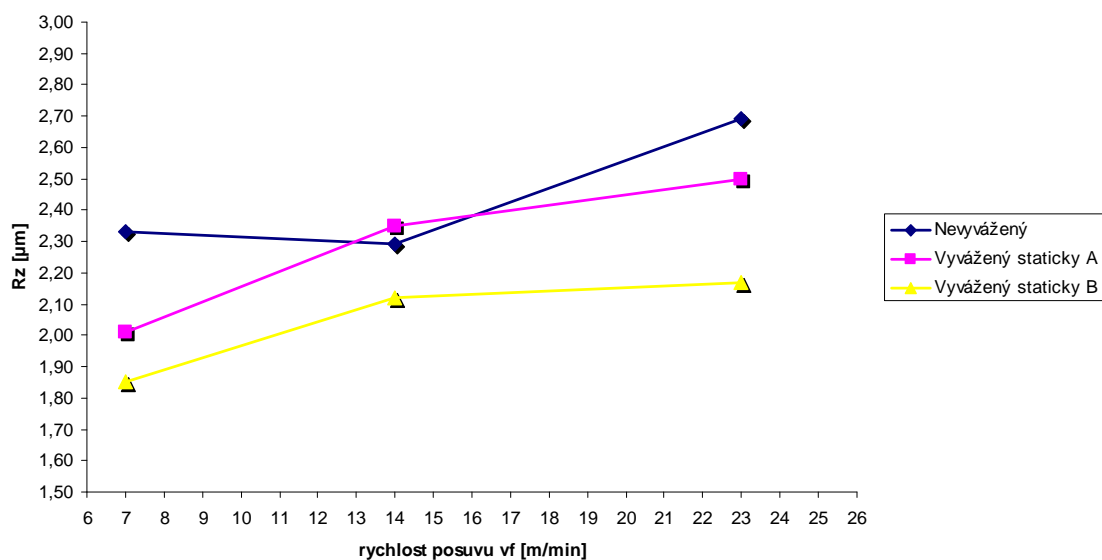
9.2.1 Ocel E335 (11 600)

Obr. 35. Změna střední aritmetické úchytky profilu R_a v závislosti na změně posuvuObr. 36. Změna největší výšky profilu R_z v závislosti na změně posuvu

9.2.2 Ocel 100Cr6 (14 109.4)

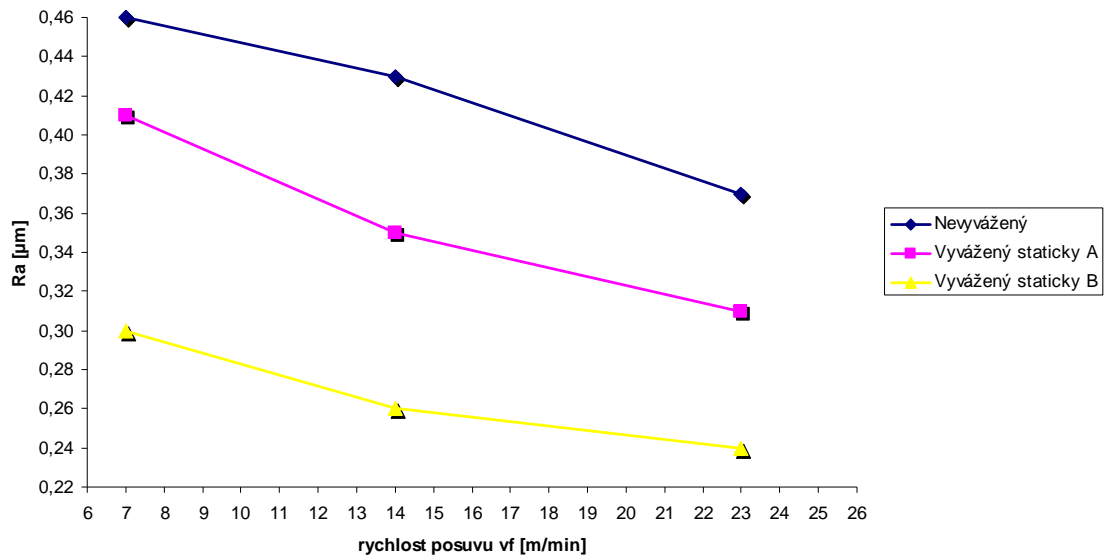


Obr. 37. Změna střední aritmetické úchytky profilu v závislosti na změně posuvu

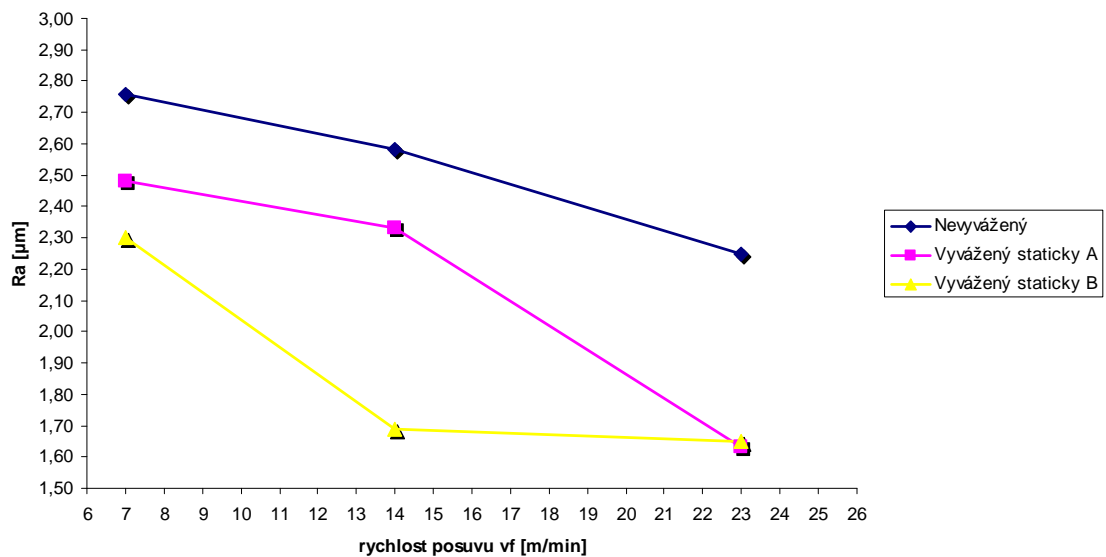


Obr. 38. Změna největší výšky profilu Rz v závislosti na změně posuvu

9.2.3 Ocel X210Cr12 (19 436)



Obr. 39. Změna střední aritmetické úchytky profilu R_a v závislosti na změně posuvu



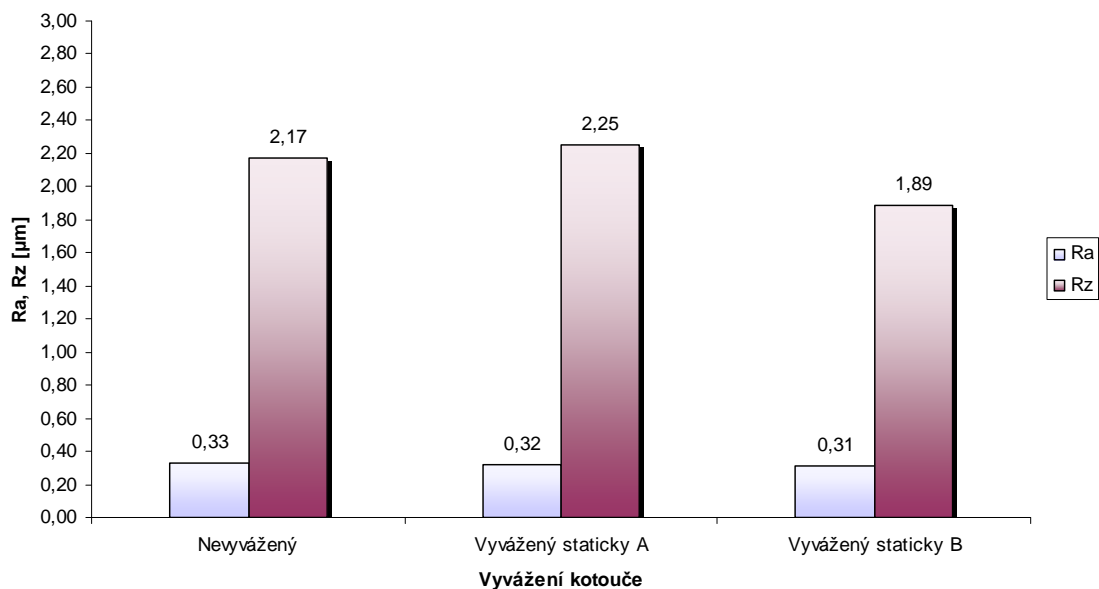
Obr. 40. Změna největší výšky profilu R_z v závislosti na změně posuvu

9.3 Změna drsnosti v závislosti na vyvážení dle nastavení jednotlivých řezných podmínek

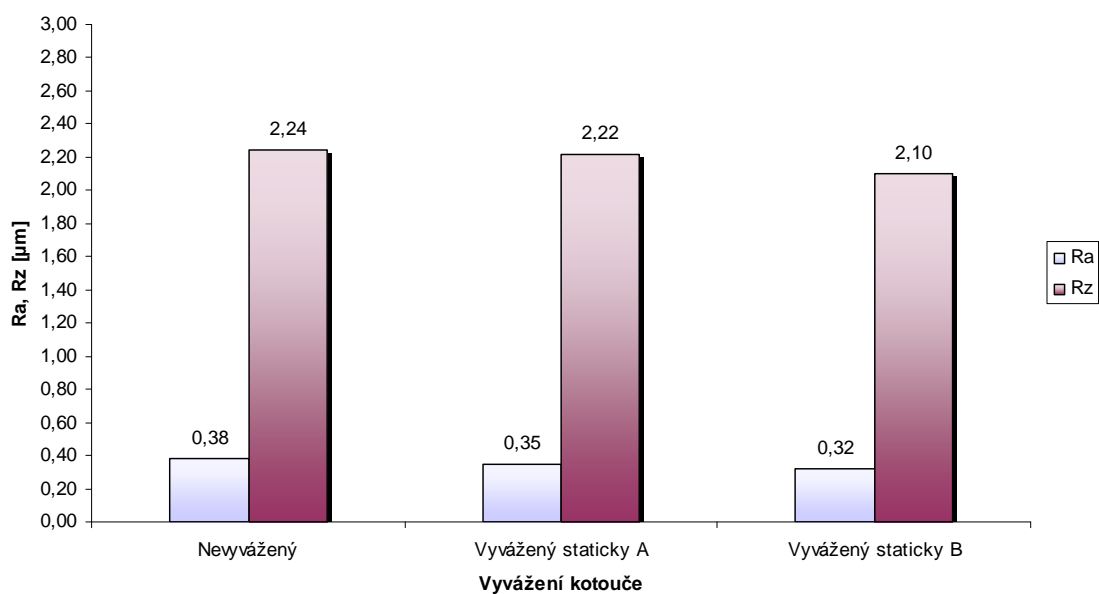
V této kapitole byly zpracovány grafy závislosti parametrů drsnosti R_a a R_z na použité metodě vyvážení brousícího kotouče při určité rychlosti posuvu v_f . Každý graf odpovídá vždy jednomu materiálu a jedné rychlosti posuvu a je na něm zobrazena změna parametrů R_a i

Rz. Celkové zhodnocení změn drsnosti u jednotlivých materiálů bude popsáno v následující kapitole.

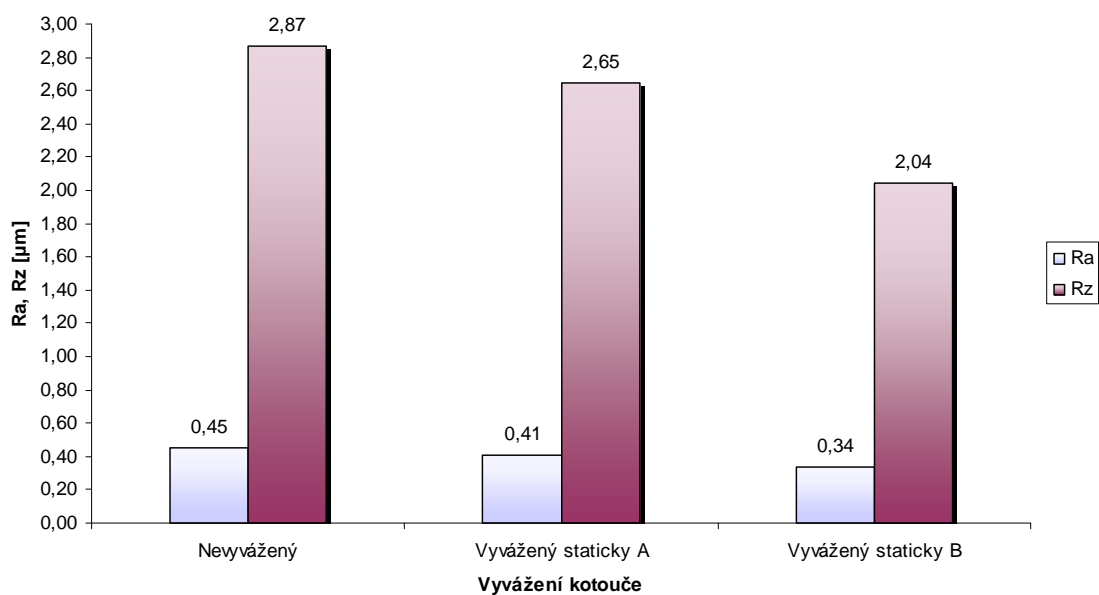
9.3.1 Ocel E335 (11 600)



Obr. 41. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 7 m.min^{-1}

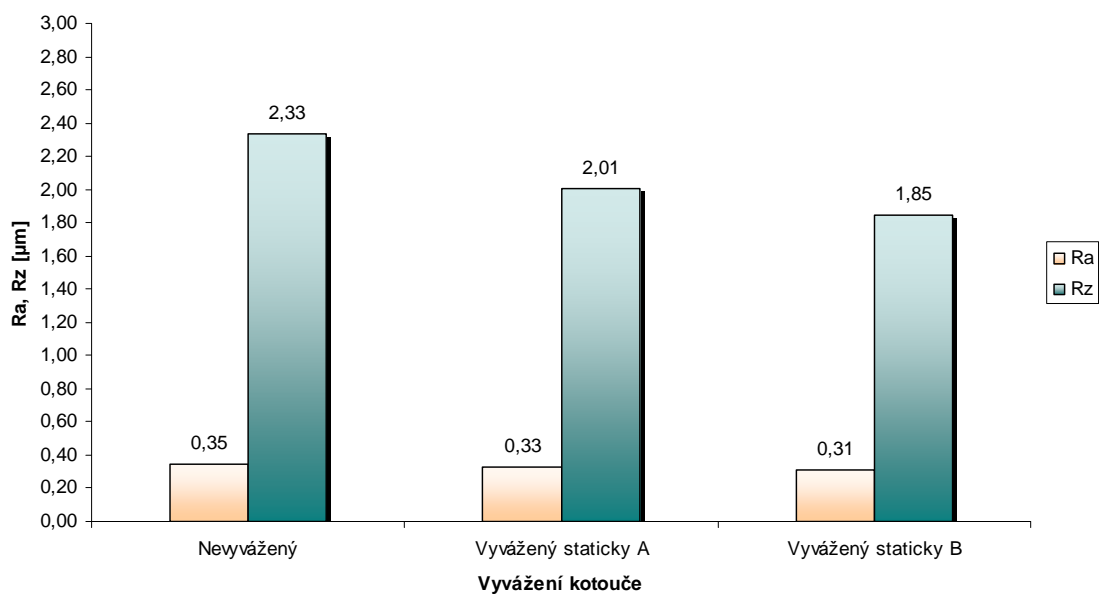


Obr. 42. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 14 m.min^{-1}

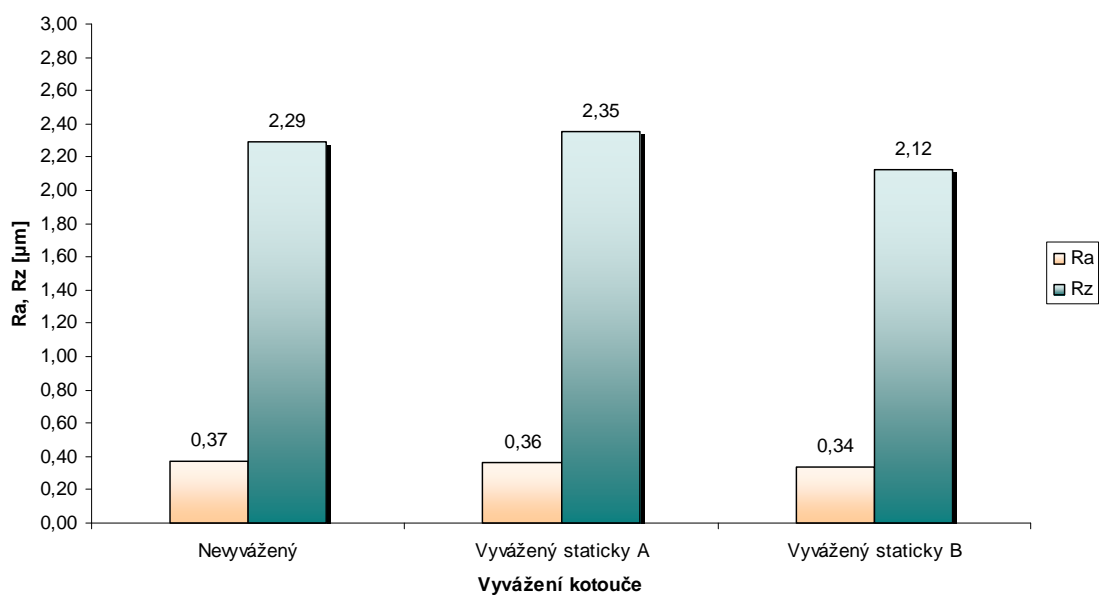


Obr. 43. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu $23 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

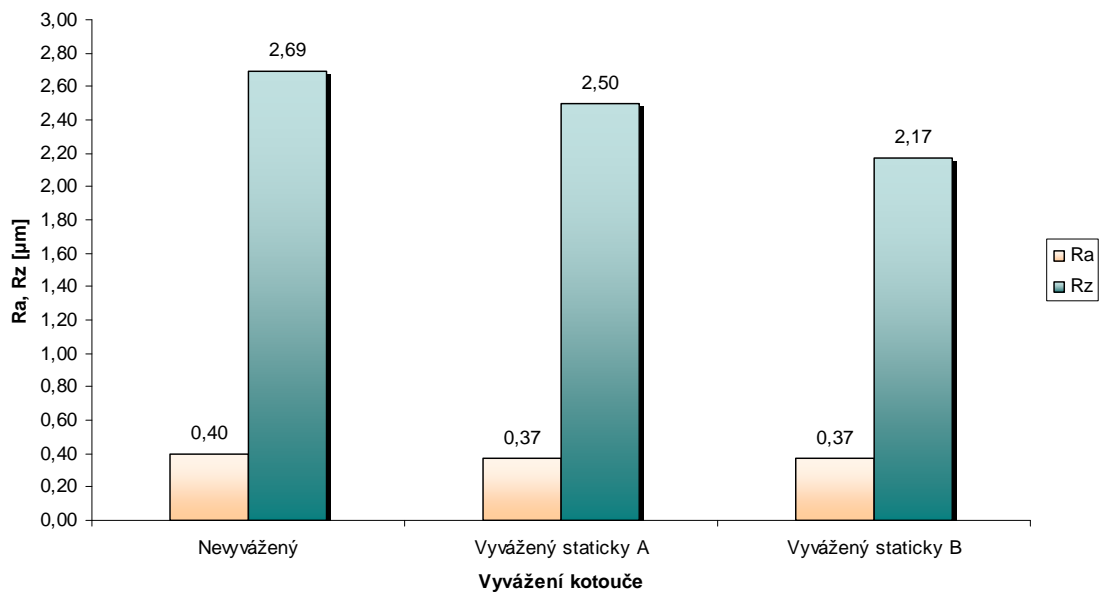
9.3.2 Ocel 100Cr6 (14 109.4)



Obr. 44. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

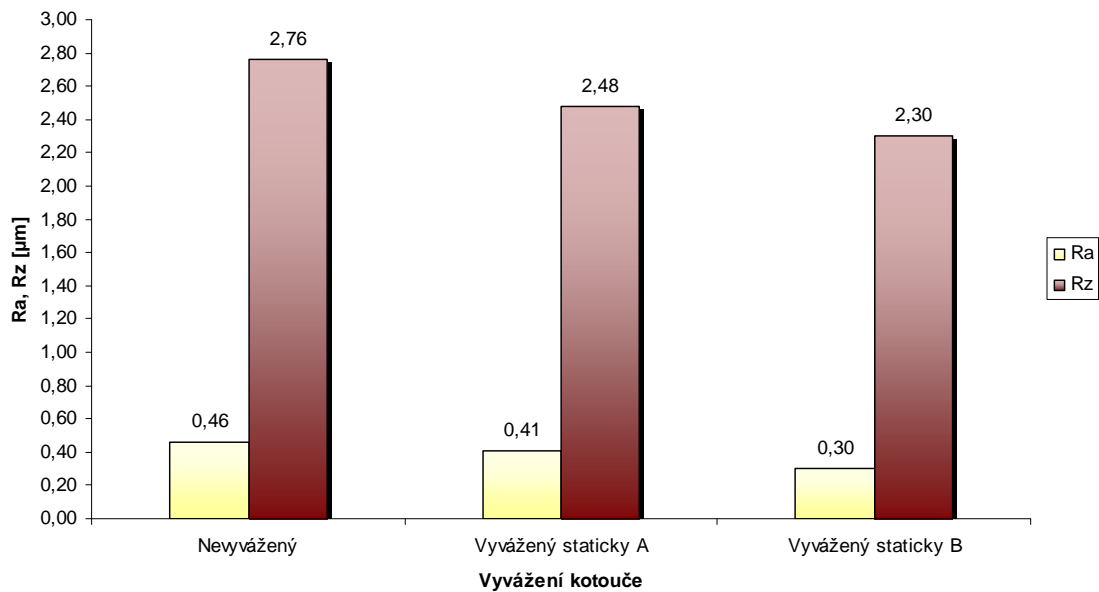
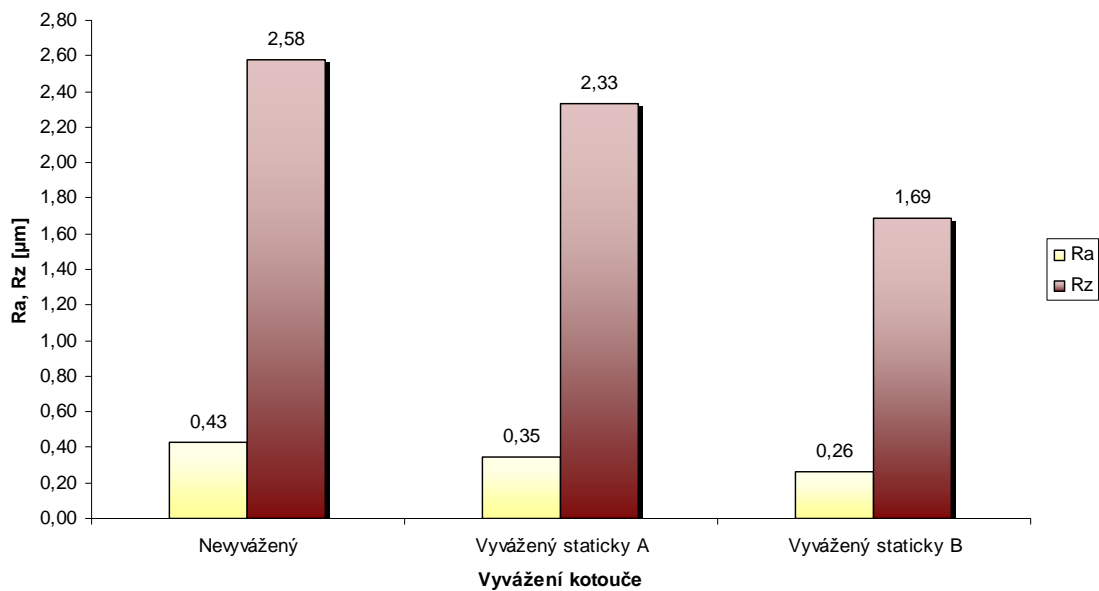


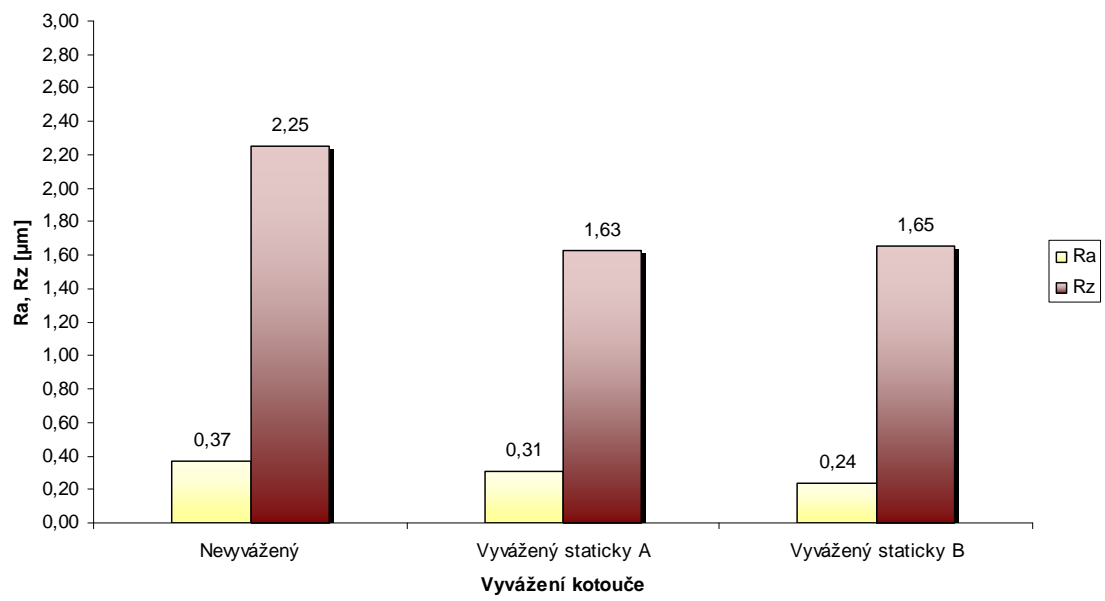
Obr. 45. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu $14 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$



Obr. 46. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu $23 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

9.3.3 Ocel X210Cr12 (19 436)

Obr. 47. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ Obr. 48. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 49. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

ZÁVĚR

Bakalářská práce hodnotí míru vlivu vyvážení brousicího kotouče na jakost obrobené plochy zejména drsnost. Byl použit brousicí kotouč A99B 80 K 9 V, kterým byly obráběny vzorky z ocelí E335 (11 600), 100Cr6 (14 109.4) a X210Cr12 (19 436.4). Broušení probíhalo na rovinné horizontální brusce BHV 20.03F s rychlostmi posuvu 7, 14 a 23 m.min⁻¹ a hloubkou odebírané vrstvy 0,04 mm. Nejdříve byly materiály obráběny nevyváženým brousicím kotoučem, dále kotoučem staticky vyváženým na dílenském vyvažovacím stojánku. Dynamickou metodou nebylo dosaženo snížení nevyváhy vinou vady na vyvažovacím přístroji. Před broušením byla vždy změřena amplituda nevyváženosti brousicího kotouče pomocí přístroje Balantron typ 2001 a po broušení parametry drsnosti povrchu Ra a Rz broušených ploch pomocí přístroje Mitutoyo SJ – 301. Na základě naměřených dat a porovnání získaných výsledků lze stanovit následující závěry.

Hodnota nevyváženosti (výchyly) prvním statickým vyvážením brousicího kotouče klesla asi o 93 %. Druhým statickým vyvážením se podařilo snížit velikost nevyváženosti o 96 % z prvotní nevyváhy.

Byly zhotoveny grafické závislosti parametrů Ra a Rz na rychlosti posuvu. Ty ukazují, že u oceli E335 (11 600) a oceli 100Cr6 (14 109.4) se parametry drsnosti povrchu Ra a Rz s rostoucí rychlostí posuvu zvětšují, zatímco u oceli X210Cr12 (19 436.4) je tomu naopak. Tato skutečnost je důsledkem samoostření. Jelikož ocel X210Cr12 (19 436.4) je velmi tvrdým materiálem a použitý kotouč byl měkký s jemnou strukturou, dochází k vylamování zrn brusiva snadněji a tím jsou i ve styku s materiálem častěji nová, ostrá zrna. Kdežto u oceli E335 (11 600) a oceli 100Cr6 (14 109.4) je v záběru častěji otupené zrno.

Taktéž byla vyhodnocena závislost drsnosti povrchu na vyvážení brousicího kotouče. Ze všech závislostí lze snadno odečíst, že čím lépe byl kotouč vyvážen, tím lepší drsnost povrchu byla respektive, čím menší byla nevyváha kotouče, tím menší byly hodnoty parametrů drsnosti Ra a Rz.

Největší vliv vyvážení na drsnost povrchu byl zaznamenán u oceli X210Cr12 (19 436.4). Zde byl největší rozdíl drsností naměřen při rychlosti posuvu 14 m.min⁻¹, kde hodnoty parametru Ra byly až o 40 % lepší a hodnoty parametru Rz až o 35 % lepší.

Změna drsnosti u ocelí E335 (11 600) a 100Cr6 (14 109.4) už takových výsledků nedosahovala, použitý kotouč byl pro tyto materiály méně vhodný. U oceli E335 (11 600) byl nej-

větší rozdíl drsností zaznamenán při rychlosti posuvu $23 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, kde se hodnoty parametru Ra zlepšily asi o 17 % a hodnoty parametru Rz asi o 29 %. Nejmenší pokles drsnosti v závislosti na vyvážení proběhl u oceli 100Cr6 (14 109.4). Její největší rozdíl drsností byl naměřen při rychlosti posuvu $7 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, kde se hodnoty parametru Ra zlepšily jen o 11 % a hodnoty parametru Rz jen o 21 %.

Broušením, jakožto dokončovací metodou obrábění, lze dosáhnout hodnot parametru drsnosti Ra až $0,2 \mu\text{m}$ a jelikož jsou v dnešním světě kladeny na přesnost výroby stále větší nároky, nemělo by vyvážení broušícího kotouče být opomíjeno. Jen pouhým statickým vyvážením broušícího kotouče lze zlepšit drsnost povrchu o více jak třetinu, jak tomu bylo dosaženo v této práci, a předejít tak použití další nákladnější dokončovací metodě obrábění nebo koupi doplňkového strojního vybavení. Vyvážením broušícího kotouče se také snižuje vznik kmitů, které mají negativní vliv na životnost stroje a nástroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VASILKO, K.; BOKUČAVA, G. *Brúsenie kovových materiálov*. 1st ed. Bratislava: Alfa, 1988. ISBN 063-143-88 BKM.
- [2] KOČMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2nd ed. Brno: Akademické nakladatelství Cerm,s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] JULIŠ, K.; BORŮVKA, V.; FRYML, B. *Základy dynamického vyvažování*. 1st ed. Praha: SNTL, 1979. ISBN 04-226-79.
- [4] ŘASA, J.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 1.díl*. 2nd ed. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [5] MASLOV, J.N. *Teorie broušení kovů*. 1st ed. Praha: SNTL, 1979.
- [6] ČERNÝ, V.; POSPÍŠIL, L. *Brusivo a brusné nástroje*. Praha: SNTL, 1967.
- [7] ŘASA, J.; HANĚK, V.; KAFKA, J. *Strojírenská technologie 4*. Praha: Scientia, 2003.
- [8] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [9] *Statická nevyváženost* [online]. 2009 [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.schenck-rotec.cz/why-balancing_/static-unbalance.php>
- [10] *Dynamická nevyváženost* [online]. 2009 [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.schenck-rotec.cz/why-balancing_/dynamic-unbalance.php>
- [11] *Momentová nevyváženost* [online]. 2009 [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.schenck-rotec.cz/why-balancing_/couple-unbalance.php>
- [12] Mitutoyo SJ – 301, Přístroj na měření drsnosti povrchu, Návod k použití.
- [13] Balatron 2001, Přístroj na vyvažování brousicích kotoučů, Návod k použití.
- [14] BHV 20.03F, Rovinná horizontální bruska, Návod k použití.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	hloubka odřezávané vrstvy
Q	teplo
F_c, F_{cN}	síla vzniklá v důsledku kmitání obráběcího systému
m	hmotnost
F_i	nevyvážená síla
G	hmotnost kotouče
g	zemské tíhové zrychlení
n	otáčky kotouče
ω	úhlová frekvence
l	excentricita
H	výška kotouče
D	průměr kotouče
$\lambda_s, \lambda_c, \lambda_f$	filtr profilu
l_p, l_r, l_w	základní délka
l_n	vyhodnocovaná délka
P, R, W	parametr profilu
Z_p	výška výstupku profilu
Z_v	hloubka prohlubně profilu
Z_t	výška prvku profilu
X_s	šířka prvku profilu
$M_l(c)$	materiálová délka na úrovni c
\bar{x}	střední aritmetický průměr
s	směrodatná odchylka
v_f	rychlost posuvu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma fáze broušení	10
Obr. 2. Model tvoření třísky při broušení	11
Obr. 3. Struktura broušicího nástroje.....	12
Obr. 4. Značení broušicího kotouče	14
Obr. 5. Univerzální hrotová bruska.....	15
Obr. 6. Sklíčidlová bruska na díry	16
Obr. 7. Bezhrotá bruska pro vnější broušení.....	16
Obr. 8. Rovinná bruska	17
Obr. 9. Zjednodušený dynamický model – soustružení ortogonální řezání.....	18
Obr. 10. Úchylky kruhovitosti broušené válcové plochy.....	19
Obr. 11. Periodická změna jmenovité tloušťky průřezu třísky při soustružení	20
Obr. 12. Úchylka kruhovitosti broušené válcové plochy.....	20
Obr. 13. Schéma nevyváženého broušicího kotouče	22
Obr. 14. Dynamická nevyváženost	23
Obr. 15. Momentová nevyváženost	23
Obr. 16. Schéma dynamického vyvažování broušicího kotouče	24
Obr. 17. Orovnávače	25
Obr. 18. Struktura povrchu některých způsobů obrábění	26
Obr. 19. Příčná podélná drsnost profilu	27
Obr. 20. Střední aritmetická úchylka profilu	29
Obr. 21. Největší výška profilu.....	29
Obr. 22. Celková výška profilu.....	30
Obr. 23. Křivka materiálového poměru	31
Obr. 24. Schéma měřicí smyčky	32
Obr. 25. Broušené vzorky	35
Obr. 26. Broušené plochy vzorků	37
Obr. 27. Rovinná horizontální bruska BHV 20.03F.....	38
Obr. 28. Broušicí kotouč s upínací přírubou s vyvažovacími tělísky	40
Obr. 29. Dílenský stojánek pro statické vyvážení.....	40
Obr. 30. Balantron typ 2001.....	41
Obr. 31. Zobrazovací jednotka.....	42

Obr. 32. Snímač	42
Obr. 33. Aktuátor	43
Obr. 34. Schéma měřicího přístroje Mitutoyo SJ – 301	45
Obr. 35. Změna střední aritmetické úchylky profilu Ra v závislosti na změně posuvu	49
Obr. 36. Změna největší výšky profilu Rz v závislosti na změně posuvu	49
Obr. 37. Změna střední aritmetické úchylky profilu v závislosti na změně posuvu.....	50
Obr. 38. Změna největší výšky profilu Rz v závislosti na změně posuvu	50
Obr. 39. Změna střední aritmetické úchylky profilu Ra v závislosti na změně posuvu	51
Obr. 40. Změna největší výšky profilu Rz v závislosti na změně posuvu	51
Obr. 41. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 7 m.min ⁻¹	52
Obr. 42. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 14 m.min ⁻¹	52
Obr. 43. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 23 m.min ⁻¹	53
Obr. 44. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 7 m.min ⁻¹	53
Obr. 45. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 14 m.min ⁻¹	54
Obr. 46. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 23 m.min ⁻¹	54
Obr. 47. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 7 m.min ⁻¹	55
Obr. 48. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 7 m.min ⁻¹	55
Obr. 49. Změna drsnosti v závislosti na vyvážení při broušení rychlostí posuvu 7 m.min ⁻¹	56

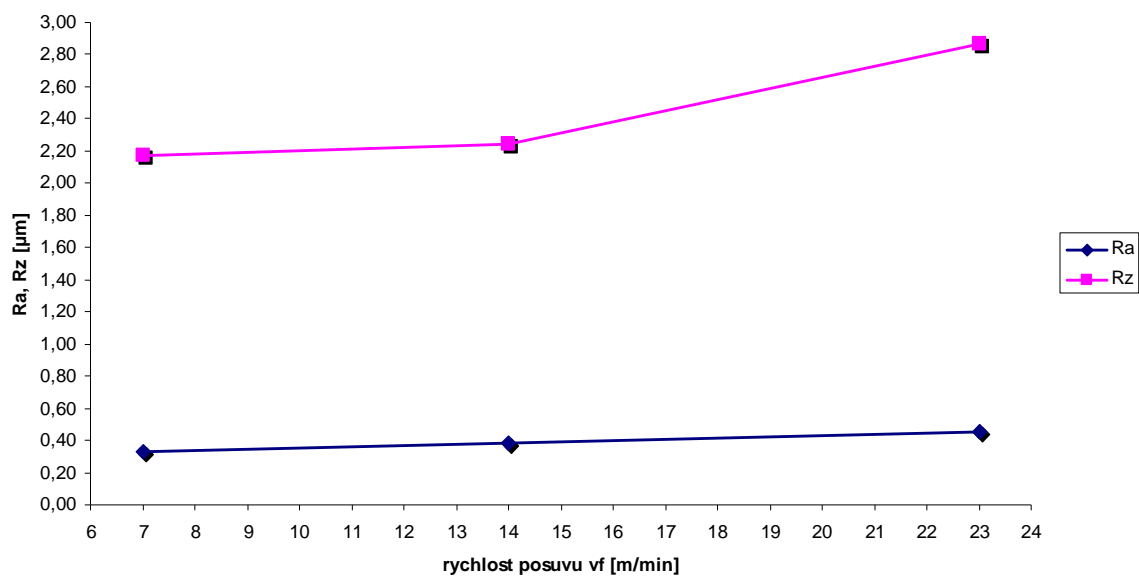
SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Značení struktury brousicích kotoučů.....	14
Tab. 2. Některé technické parametry brusky BHV 20.03F.....	38
Tab. 3. Některé technické parametry přístroje Mitutoyo SJ – 301	45
Tab. 4. Data při broušení nevyváženým kotoučem.....	46
Tab. 5. Data při broušení kotoučem vyváženým staticky A	47
Tab. 6. Data při broušení kotoučem vyváženým staticky B.....	48
Tab. 7. Naměřené hodnoty amplitudy kmitání u jednotlivých způsobů vyvážení	48

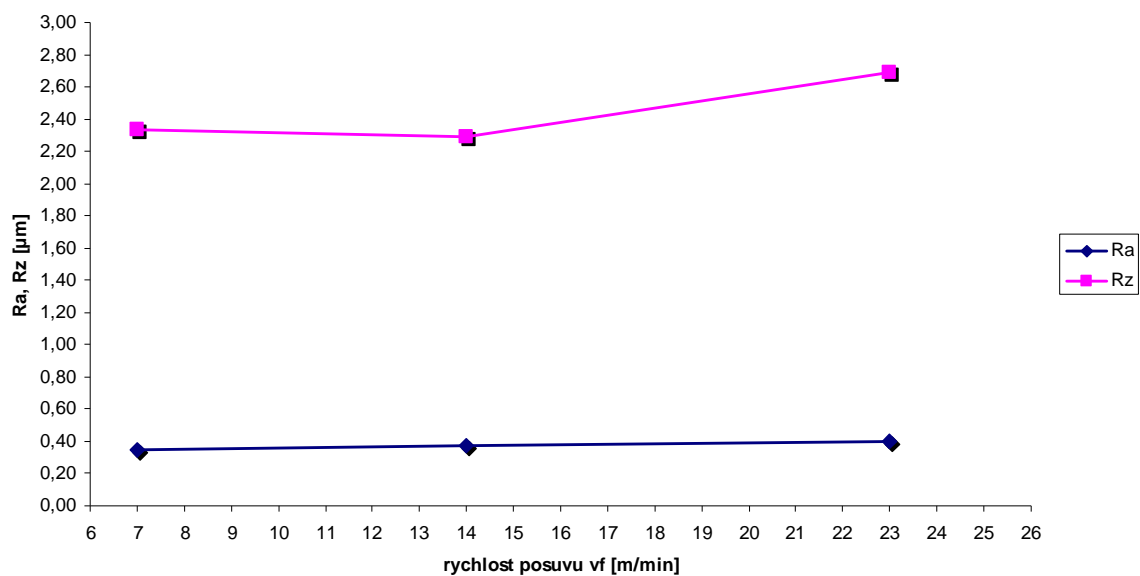
SEZNAM PŘÍLOH

- PI: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u nevyváženého kotouče pro materiál E335 (11 600)
- PII: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u nevyváženého kotouče pro materiál 100Cr6 (14 109.4)
- PIII: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u nevyváženého kotouče pro materiál X210Cr12 (19 436)
- PIV: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u kotouče vyváženého staticky A pro materiál E335 (11 600)
- PV: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u kotouče vyváženého staticky A pro materiál 100Cr6 (14 109.4)
- PVI: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u kotouče vyváženého staticky A pro materiál X210Cr12 (19 436)
- PVII: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u kotouče vyváženého staticky B pro materiál E335 (11 600)
- PVIII: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u kotouče vyváženého staticky B pro materiál 100Cr6 (14 109.4)
- PIX: Grafická závislost změny drsnosti na změně rychlosti posuvu u kotouče vyváženého staticky B pro materiál X210Cr12 (19 436)

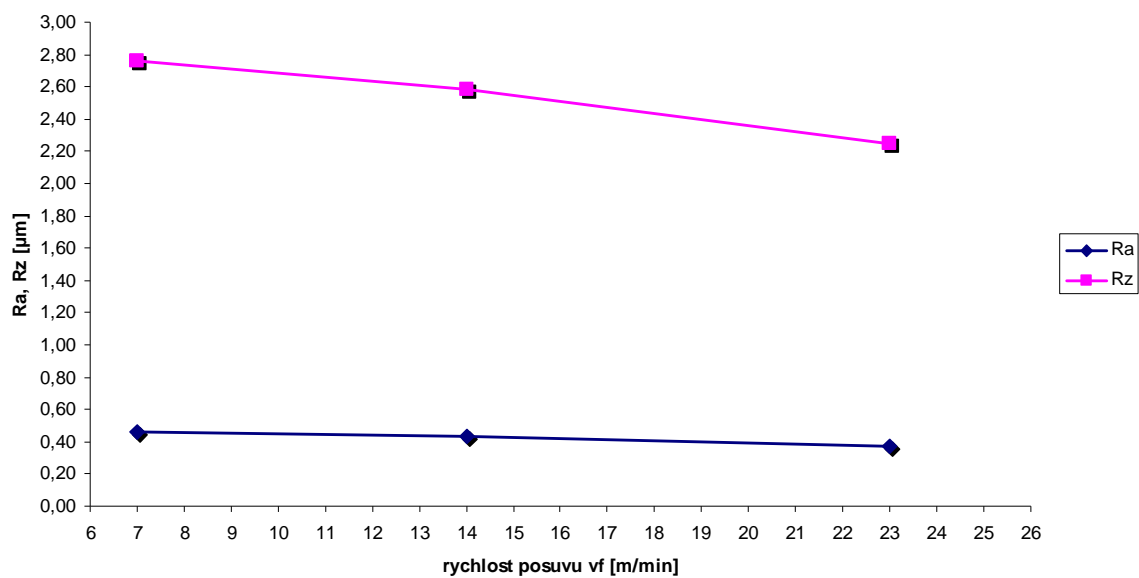
**PŘÍLOHA P I: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U NEVYVÁŽENÉHO KOTOUČE
PRO MATERIÁL E335 (11 600)**



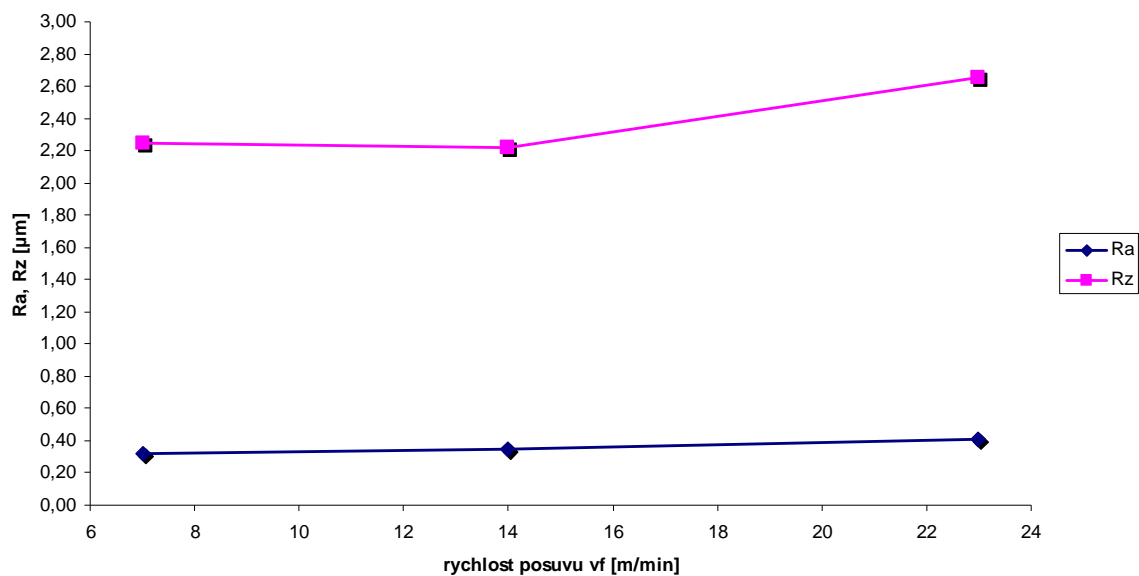
**PŘÍLOHA PII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U NEVYVÁŽENÉHO KOTOUČE
PRO MATERIÁL 100CR6 (14 109.4)**



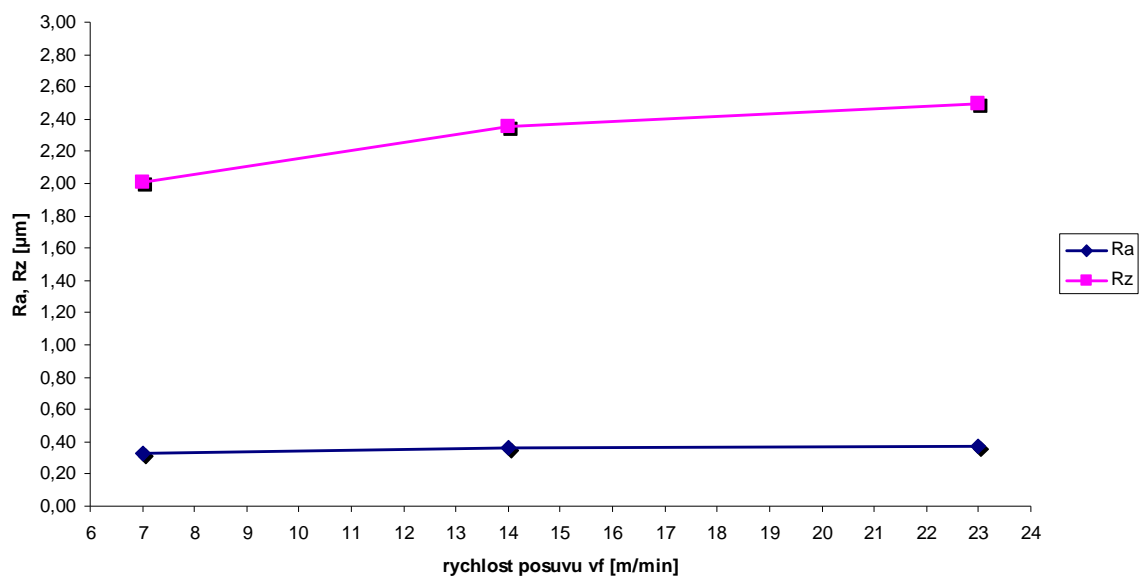
**PŘÍLOHA PIII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U NEVYVÁŽENÉHO KOTOUČE
PRO MATERIÁL X210CR12 (19 436)**



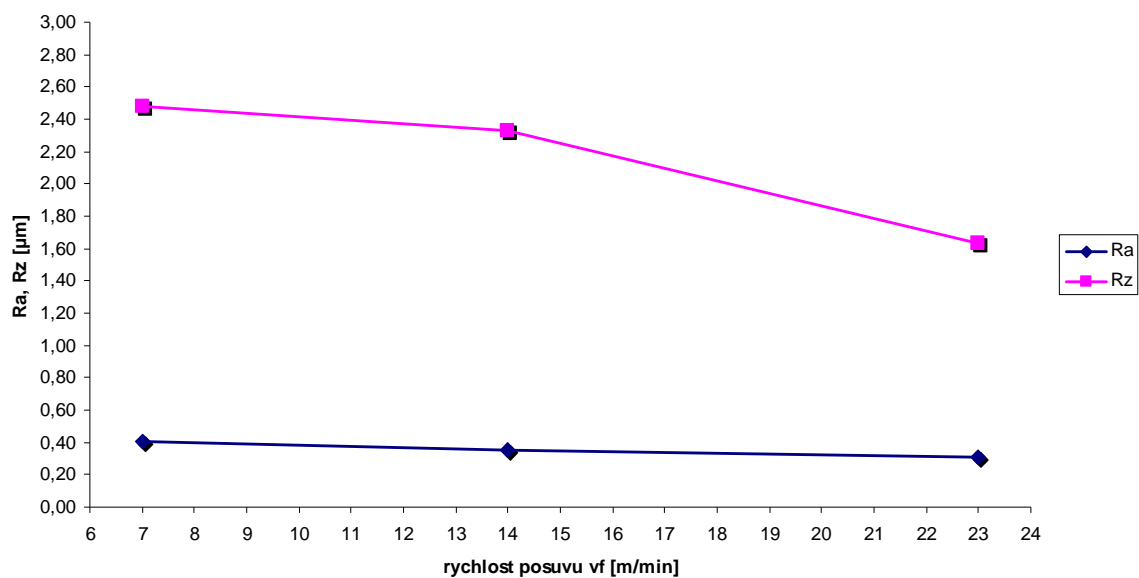
**PŘÍLOHA PIV: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U KOTOUČE VYVÁŽENÉHO
STATICKY A PRO MATERIÁL E335 (11 600)**



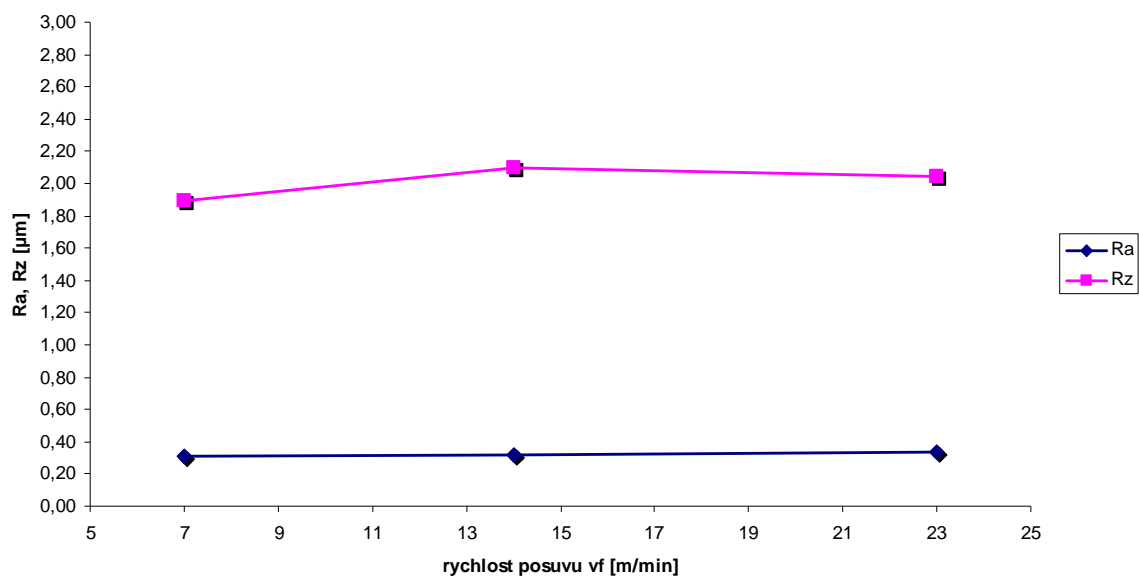
**PŘÍLOHA PV: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U KOTOUČE VYVÁŽENÉHO
STATICKY A PRO MATERIÁL 100CR6 (14 109.4)**



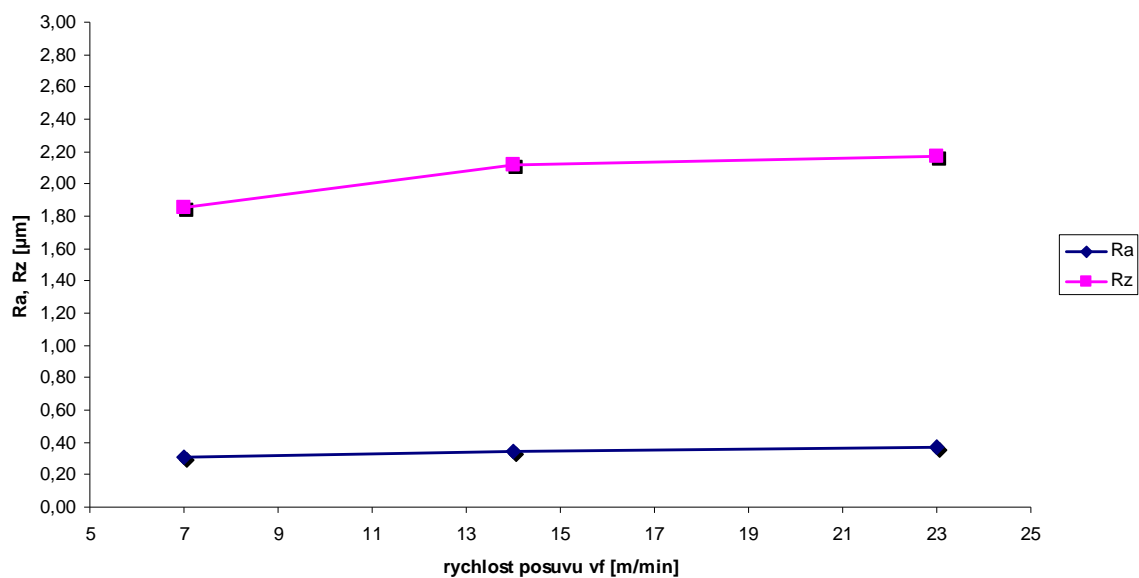
**PŘÍLOHA PVI: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U KOTOUČE VYVÁŽENÉHO
STATICKY A PRO MATERIÁL X210CR12 (19 436)**



**PŘÍLOHA PVII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U KOTOUČE VYVÁŽENÉHO
STATICKY B PRO MATERIÁL E335 (11 600)**



**PŘÍLOHA PVIII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U KOTOUČE VYVÁŽENÉHO
STATICKY B PRO MATERIÁL 100CR6 (14 109.4)**



**PŘÍLOHA PIX: GRAFICKÁ ZÁVISLOST ZMĚNY DRSNOSTI NA
ZMĚNĚ RYCHLOSTI POSUVU U KOTOUČE VYVÁŽENÉHO
STATICKY B PRO MATERIÁL X210CR12 (19 436)**

