

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Hodnocení odchylky kruhovitosti na souřadnicovém
měřicím stroji**

**The Evaluation of Deviation Roundness on Coordination Measuring
Machine**

Student:

Jakub Wojtas

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Očenášová, Ph.D.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 22. 5. 2009

.....
Jatut Nqba

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., - autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 22. 5. 2009

.....*Jakub Wjda*.....

jméno a příjmení studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Sosnová 386

739 61 Třinec

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Očenášové, Ph.D., za odborné rady, připomínky a pomoc při zpracování této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Katedře obrábění a výrobní techniky a Katedře konstruování a částí strojů, Strojní fakulty – Žilinské univerzity v Žilině a jejich zaměstnancům za pomoc a vstřícný přístup při zpracování experimentální části bakalářské práce.

Chtěl bych také poděkovat svým rodičům a přátelům, kteří mě po celou dobu studia morálně, finančně a materiálně podporovali, a mohl jsem díky tomu dosáhnout toho, čím jsem.

Anotace bakalářské práce

WOJTAS, J. Hodnocení odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji.

Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 38 stran, 4 přílohy.

Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Lenka Očenášová, Ph.D.

Tato bakalářská práce obsahuje přehled poznatků o hodnocení a měření odchylky kruhovitosti. V teoretické části jsou popsány odchylky kruhovitosti, příčiny jejich vzniku, způsoby měření a vyhodnocení na konvenčních měřicích zařízeních a souřadnicové měřicí technice. Experimentální část je věnována měření odchylky kruhovitosti v závislosti na technologickém postupu výroby.

Cílem práce je vzájemné porovnání odchylky kruhovitosti v závislosti na technologii výroby na konvenčním měřicím zařízení – Talyrond 73 a souřadnicovém měřicím stroji – MORA MS10. Měření bylo realizováno na třech kroužcích z oceli 14 109. Kroužky byly soustružený, kalený a broušený.

Annotation of Bachelor Thesis

WOJTAS, J. The Evaluation of Deviation Roundness on Coordination Measuring Machine.

Ostrava: Department of machining and assembly, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 38 pages, 4 supplements.

Bachelor Thesis, head: Ing. Lenka Očenášová, Ph.D.

This bachelor thesis includes summary of knowledge about valuation and measuring roundness deviation. In theoretical part are described deviations of roundness, the causes of their origin, measuring ways and evaluation on conventional measuring machines. Experimental part is devoted to measuring deviation of roundness depending on the technological processing.

The target of thesis is mutual comparison of roundness deviation depending on technology of production on conventional measuring machine – Talyrond 73 and coordination measuring machine – MORA MS10. The measurement was realized on three rings from steel 14 109. The rings were turned, case-hardened and grinded.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	3
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	5
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI.....	6
2.1 CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ	6
2.2 NORMY SOUVISEJÍCÍ S VYHODNOCENÍM ODCHYLKY KRUHOVITOSTI.....	8
2.2.1 Norma STN ISO 4291 (01 4411)	8
2.2.2 Norma STN ISO 4292 (01 4412)	9
2.2.3 Norma ČSN ISO 6318 (01 4410).....	10
2.3 GEOMETRICKÉ TOLERANCE	10
2.4 ODCHYLKY GEOMETRICKÉHO TVARU	11
2.4.1 Kruhovitost	13
2.5 PŘÍČINY VZNIKU GEOMETRICKÝCH ODCHYLEK.....	14
3 METODY HODNOCENÍ	16
3.1 SPOJITÉ METODY.....	16
3.1.1 Absolutní metoda, měření změny poloměru (metoda radiální)	16
3.1.2 Skenovací metoda	19
3.2 NESPOJITÉ METODY	20
3.3 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI.....	21
3.3.1 Konvenční měřicí přístroje	21
3.3.2 Souřadnicové měřicí stroje	22
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	25
4.1 MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI SPOJITOU METODOU NA KONVENČNÍM MĚŘICÍM PŘÍSTROJI	27
4.2 MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI DISKRÉTNÍ METODOU NA SMS	29

5	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....	32
5.1	HODNOCENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA KONVENČNÍM MĚŘICÍM ZAŘÍZENÍ TALYROND 73.....	32
5.2	HODNOCENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA SOUŘADNICOVÉM MĚŘICÍM STROJI MORA MS10.....	33
5.3	POROVNÁNÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA PŘÍSTROJI TALYROND 73 A STROJI MORA MS10.....	34
6	ZÁVĚR	35
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	37
	SEZNAM PŘÍLOH	38

Seznam použitého značení

Symbol	Význam	Jednotka
A_1	kružnice se středem C_1	
A_2	kružnice se středem C_2	
C_1	střed kružnice A_1	
C_2	střed kružnice A_2	
D_1, D_2	průměr součástky	(mm)
k	počet nepravidelností	
k_u	koeficient rozšíření	
LSC	(last squares mean circle) střední kružnice nejmenších čtverců	
MCC	(minimum circumscribed circle) nejmenší opsaná kružnice	
MIC	(maximum inscribed circle) největší vepsaná kružnice	
MZC	(minimum zone circles) nejmenší pásmo - mezikružící	
n	počet měření	
R_{max}	poloměr nejmenší opsané kružnice	(mm)
R_{min}	poloměr největší vepsané kružnice	(mm)
$s(\bar{x})$	směrodatná odchylka	(μm)
SMS	souřadnicový měřicí stroj	
u	přesnost stroje	(μm)
u_A	standardní nejistota typu A	(μm)
u_B	standardní nejistota typu B	(μm)
u_{Bz_i}	standardní nejistota typu B zdroje z_i	(μm)
u_C	kombinovaná standardní nejistota	(μm)
x, y, z	souřadnicová osa	
x_0	pravá (konvenčně pravá, skutečná) hodnota	(mm)

Symbol	Význam	Jednotka
x_1, x_2, x_3, x_4	souřadnice osy x	(mm)
x_i	jednotlivá naměřená hodnota veličiny x	(mm)
\bar{x}	aritmetický průměr	(mm)
y	naměřená hodnota	(mm)
y_1, y_2, y_3, y_4	souřadnice osy y	(mm)
z	vzdálenost od čela součástky	(mm)
α, β	úhel	(°)
Δr_1	radiální vzdálenost	(μm)
Δr_2	radiální vzdálenost	(μm)
ΔZ_1	odchylka kruhovitosti prvního vzorku	(μm)
ΔZ_2	odchylka kruhovitosti druhého vzorku	(μm)
ΔZ_3	odchylka kruhovitosti třetího vzorku	(μm)
$\bar{\Delta Z}$	aritmetický průměr odchylky kruhovitosti	(μm)
ε	absolutní chyba měření	(mm)
π	úhel	(°)
$\frac{\partial f}{\partial z_i}$	parciální derivace funkční závislosti dle zdroje z_i	

1 Úvod do problematiky

V dnešním rychle se rozvíjejícím průmyslu jsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu výrobků a služeb. Výrobní časy se neustále zkracují. Modernizují se výrobní zařízení a hledají se různé nové způsoby na zkvalitnění a zjednodušení výrobního procesu. Na základě toho se hledají způsoby pro zvýšení kvality a efektivity v metrologické činnosti, tím vznikají nové metody. Jeden ze způsobů pro zrychlení ve výrobě je použití souřadnicových měřicích strojů - dále jen SMS, ty se pro svou univerzálnost a flexibilitu v poměrně krátké době začaly prosazovat ve výrobě. Na rozdíl od konvenčního způsobu měření se získávají hodnoty přímým způsobem, ale nevýhodou je, že se používají na měření jednoho parametru. U SMS se hodnotí nepřímým způsobem, a to z měřených pravoúhlých souřadnic v prostoru. Zpracování výsledků probíhá souběžně s měřením, kde výsledky zpracovává software. Výhodou SMS je možnost součástku komplexně proměřit na jedno upnutí a není třeba ji vyjímat a měřit na jiných měřidlech, kde se hodnotí jiné parametry. Na SMS je možné měřit nejen jmenovité rozměry, ale i geometrické tolerance. Při měření na SMS je důležité vědět, co chceme měřit a jakým způsobem dosáhnout správného výsledku. Pro správné hodnocení geometrických tolerancí potřebujeme podrobnější informace o tvaru profilu jako při měření jmenovitých rozměrů. Při malém počtu snímaných bodů není dostatečně opsaný skutečný tvar profilu součástky [8], to vede k tomu, že může dojít k rozdílnosti výsledků. Proto je také věnována velká pozornost zdokonalování metod hodnocení odchylky kruhovitosti u měřicí techniky v závislosti na technologickém postupu výroby součástí.

Na základě toho se tato bakalářská práce věnuje hodnocení odchylky kruhovitosti v závislosti na technologickém postupu výroby. V první části se hodnotí odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení Talyrond 73 a v druhé části se hodnotí odchylka kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji MORA MS 10.

2 Přehled současného stavu měření odchylky kruhovitosti

Ve strojírenském průmyslu se neustále setkáváme s výrobky, které byly vyrobeny s určitou přesností. Všechny tyto součástky, nebo všechny povrchy obrobků jsou složeny z různých geometrických prvků. Ve výrobním procesu působí celá řada vlivů, a proto v praxi není možné vyrobit součástku, která by měla ideální tvar. Proto součástky vykazují větší nebo menší odchylku od ideálního geometrického tvaru.

Z metrologického hlediska nám nepřesnost součástí představuje odchylka skutečné povrchové plochy od plochy geometrické. Geometrická plocha je plocha teoretická, kterou určují předepsané rozměry. Skutečná povrchová plocha se realizuje v průběhu výroby součástí a má náhodný charakter.

2.1 Chyby a nejistoty měření

Každé měření je zatíženo chybou [9]. Rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou (konvenčně pravou) hodnotou měřené veličiny nazýváme absolutní chyba měření. Můžeme ji popsat níže uvedeným vzorcem.

$$\varepsilon = y - x_0 \quad (2.1)$$

kde: ε – absolutní chyba,
 y – naměřená hodnota,
 x_0 – pravá (konvenčně pravá, skutečná) hodnota.

Chyba je kladná za předpokladu, že naměřená hodnota je větší než pravá hodnota ($y > x_0$) a při odhadu skutečné hodnoty se od naměřené hodnoty odečítá. Takto můžeme definovat chybu měření, ale nemůžeme ji vypočítat, protože neznáme skutečnou hodnotu.

Chyby vznikají vlivem:

- měřidla – vliv tření, chyba umístění, atd.,
- měřicí metody,
- prostředí – vliv teploty,
- měřicí osoby – zručnost, zkušenost, psychický stav, kvalifikace atd.

Členění chyb:

- dle časové závislosti: statické, dynamické,
- dle možnosti vyloučení: odstranitelné, neodstranitelné,
- dle způsobu výskytu: chyby hrubé, chyby systematické, chyby náhodné.

[9]

Hrubé chyby jsou nejčastěji způsobeny chybou na měřicím přístroji, měřidlem, měřicí metodou, měřicí osobou, chybou zapsání výsledků, špatným zpracováním výsledků apod. Tyto naměřené hodnoty jsou pro nás nepoužitelné a vylučují se ze souboru naměřených hodnot. Až po odstranění příčin vzniku hrubé chyby se smí pokračovat v měření.

Systematické chyby měřidla vznikají při jeho výrobě, používání a činnosti. Příčiny vzniku působí soustavně a jednoznačně co do smyslu a velikosti. Mohou vznikat při nepřesném smontování přístroje, nepřesností jednotlivých částí, deformací, změnou pracovních podmínek atd. Systematickou chybu je možno určit a následně opravit. Systematické chyby zjistitelné můžeme použít ke korekci naměřené hodnoty, mají konkrétní znaménko a hodnotu. Systematické chyby neznámé nemají konkrétní hodnotu, jsou brány jako chyby náhodné a zahrnují se do nejistoty měření.

Náhodné chyby se vyskytují při každém měření určité veličiny a ovlivňují každou naměřenou hodnotu. Jsou způsobeny příčinami náhodného charakteru. Při opakovaném měření za stejných podmínek bude soubor naměřených hodnot vykazovat rozptyl a jeho velikost je úměrná vlivu náhodných chyb. Náhodné chyby nejsme schopni odstranit. Malé chyby jsou obvykle častější než chyby velké. Při měření mají náhodné chyby nejčastěji Gaussovo (normální) rozdělení hustoty pravděpodobnosti výskytu.

Nejistota měření je parametr, který nám charakterizuje rozsah hodnot okolo výsledku měření. S určitou pravděpodobností zaručuje, že skutečná hodnota měřené veličiny se nachází uvnitř tohoto intervalu.

Nejistota měření je úměrná výběrové směrodatné odchylce. Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota u , která je vyjádřena hodnotou

směrodatné odchyly $s(\bar{x})$, při normálním rozdělení zaručuje výsledek s pravděpodobností 68,27 % [9]. Standardní nejistoty rozlišujeme typu A (u_A) a typu B (u_B).

Standardní nejistota typu A (u_A) se získá z opakovaných měření a její hodnota s rostoucím počtem měření klesá. Při nezávislých naměřených hodnotách se standardní nejistota váže na výběrový průměr. Zjistí se výpočtem směrodatné odchyly $s(\bar{x})$.

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (2.2)$$

Standardní nejistota typu B (u_B) nezávisí na počtu měření.

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} \cdot u_{Bz_i} \right)^2} \quad (2.3)$$

Kombinovaná standardní nejistota (u_C) se určí jako kladná hodnota druhé odmocniny ze součtu druhých mocnin standardní nejistoty u_A a u_B . Je zde poměrně velká pravděpodobnost překročení intervalu.

$$u_C = +\sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (2.4)$$

Rozšířená kombinovaná nejistota pro libovolnou pravděpodobnost má malou pravděpodobnost překročení výskytu.

$$U_C = k_u \cdot u_C \quad (2.5)$$

2.2 Normy související s vyhodnocením odchyly kruhovitosti

2.2.1 Norma STN ISO 4291 (01 4411)

Tato mezinárodní norma uvádí metody stanovení odchyly kruhovitosti měření změn poloměru s použitím dotkových přístrojů (snímačů).

Norma obsahuje:

- a) typy přístrojů a základní předpisy,
- b) doporučení pro použití přístrojů,
- c) metody kalibrace přístrojů a ověřování jejich vlastností. [6]

Dále slouží k hodnocení odchylek kruhovitosti od ideálního tvaru prostřednictvím transformovaného profilu získaného za vymezených podmínek, vyjádřených vzhledem k jednomu z následujících středů:

- a) střed kružnice nejmenších čtverců,
- b) střed kružnice nejmenšího pásma (mezikruží),
- c) střed nejmenší opsané kružnice,
- d) střed největší vepsané kružnice.

Každý střed může být použit samostatně.

V normě jsou dále obsaženy odkazy na související normy, termíny a definice problematiky, přístroje a přílohy.

2.2.2 Norma STN ISO 4292 (01 4412)

Tato mezinárodní norma vymezuje metody číslicového hodnocení odchylky kruhovitosti kombinací dvou a třibodového měření:

- a) určování dvoubodovým měřením (měření průměrů),
- b) určování třibodovým měřením shora (symetrické nebo asymetrické uspořádání),
- c) určování třibodovým měřením zdola (symetrické uspořádání). [7]

Norma dále uvádí odkazy na související normy, termíny a definice k dané problematice, způsoby měření a uspořádání, hodnocení chyb měření, podmínky měření a měřicí přístroje. Dále jsou v normě obsaženy tabulky pro každé uspořádání a názorné příklady.

2.2.3 Norma ČSN ISO 6318 (01 4410)

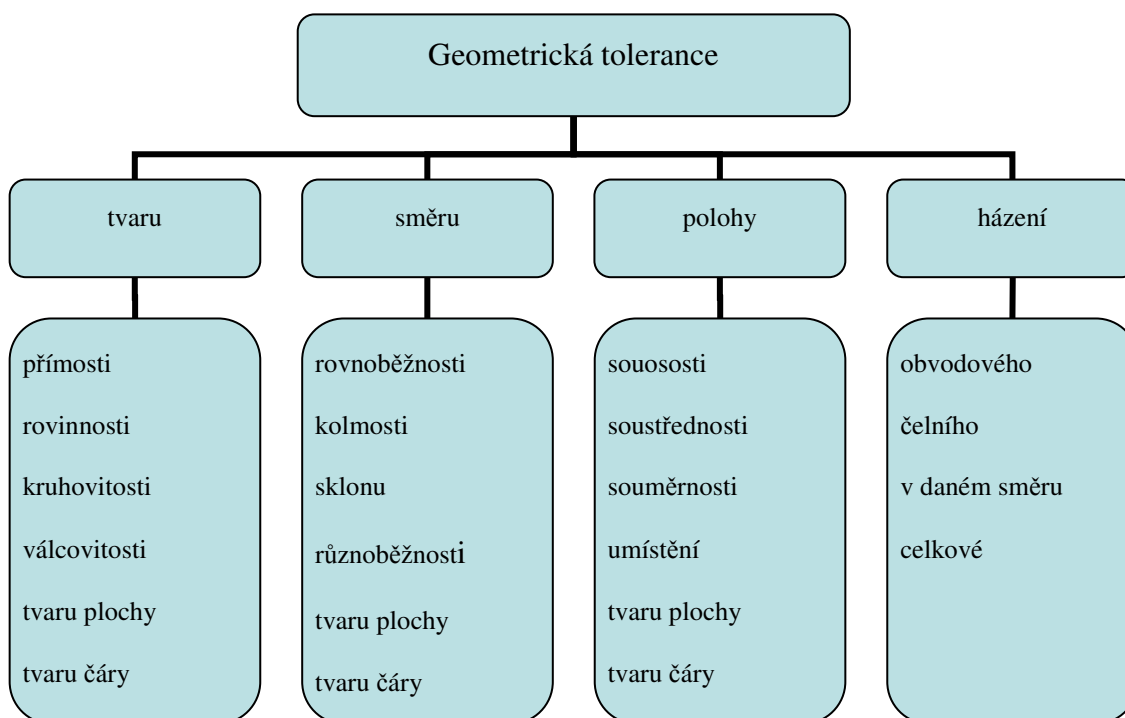
Tato mezinárodní norma určuje metrologické termíny, které se používají při stanovení odchylek kruhovitosti. [1]

V normě jsou obsaženy termíny a definice řešené problematiky, profily, referenční kružnice, zobrazená referenční kružnice, definice referenčních kružnic zaznamenaných k sejmutému profilu součásti, soustřednému s osou otáčení, nebo k jeho zobrazení, termíny související s obvodem kruhu, termíny vyjadřující funkci filtrů přístrojů a další termíny.

2.3 Geometrické tolerance

Vezmeme-li v úvahu jeden tvarový prvek, jeho odchylka od ideálního geometrického tvaru se podle mezinárodních norem jmenuje odchylka tvaru, která je podrobně popsána v mezinárodní normě STN EN ISO 1101 (01 4401).

Geometrická tolerance je definována jako toleranční pole, ve kterém se musí nacházet skutečný prvek součásti. Její klasifikace je uvedena na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Klasifikace geometrických tolerancí

2.4 Odchytky geometrického tvaru

Geometrické odchytky jsou výsledkem nepřesnosti procesu výroby a musí být měřeny a kontrolovány.

Geometrická struktura povrchu je soustavou geometrických prvků povrchu, podmíněnou tvarem, rozměrem, rozmístěním převýšení a prohloubení, které vznikají při mechanickém obrábění, nebo jsou důsledkem opotřebení. Geometrická struktura povrchu obsahuje tvar a jeho odchytky, nerovnosti a jejich rozmístění, trhliny a jiné místní poškození povrchu. Při porovnávání změřeného povrchu s geometrickým povrchem prvku se vyskytují odchytky tvaru a nerovnosti povrchu, tj. vlnitost a drsnost.

Při posouzení jen jednoho tvarového prvku, se jeho odchylka od ideálního geometrického prvku nazývá podle mezinárodních norem odchylka tvaru. Odchylka tvaru je hodnota vychýlení skutečného profilu součástky od jeho jmenovitého profilu.

Odchylka geometrického tvaru je stanovena minimální z maximálních vzdáleností hodnoceného prvku od prvku obalového. Pro hodnocení tvarové přesnosti je normou určeno kritérium obalových prvků (čar na profilu nebo ploch na tělese). V odůvodněných případech norma připouští využití středního prvku (čáru nejmenších čtverců).

Obalový prvek definujeme jako čára nebo plocha:

- mající jmenovitý tvar,
- dotýkající se hodnoceného prvku (profilu nebo plochy),
- dotýkající se hodnoceného prvku vně materiálu.

V praxi rozlišujeme odchytky tvaru:

Na rovinných plochách:

- odchylka přímosti (na profilu),
- odchylka rovinnosti (na ploše).

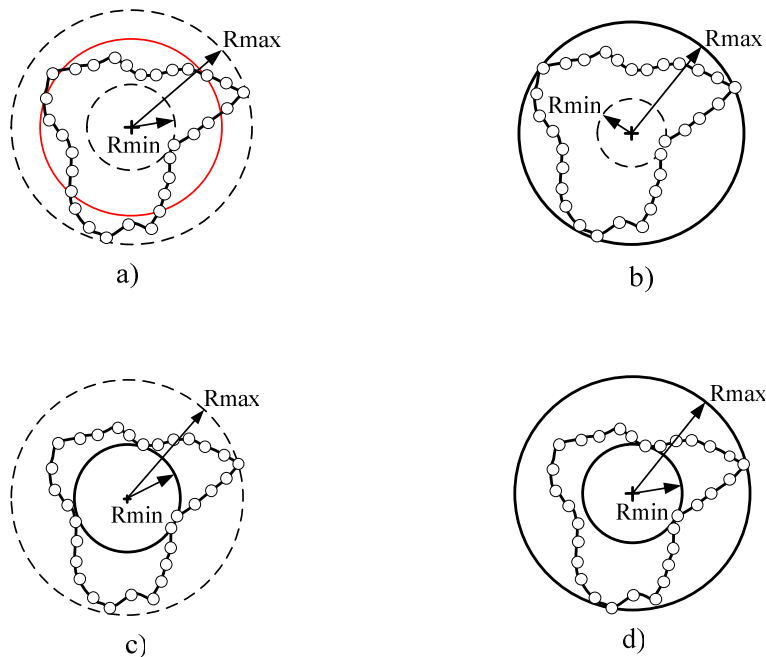
Na rotačních plochách:

- odchylka kruhovitosti (na profilu),
- odchylka válcovitosti (na ploše).

Odchylka kruhovitosti je největší naměřená vzdálenost profilu od obalové (referenční) kružnice.

Referenční kružnice:

- střední kružnice nejmenších čtverců (LSC): kružnice, pro níž platí, že součet čtverců odchylek této kružnice od sejmutého profilu součástí je nejmenší,
- nejmenší opsaná kružnice (MCC): nejmenší kružnice, kterou je možno zakreslit okolo sejmutého profilu hřídele,
- největší vepsaná kružnice (MIC): největší kružnice, kterou je možno zakreslit do sejmutého profilu otvoru,
- nejmenší pásmo-mezikruží (MZC): dvě soustředné kružnice, které obklopují sejmutý profil a mají nejmenší radiální vzdálenost.



Obr. 2.2 Referenční kružnice: a) střední kružnice nejmenších čtverců – LSC; b) nejmenší opsaná kružnice – MCC; c) největší vepsaná kružnice – MIC; d) nejmenší pásmo-mezikruží – MZC.

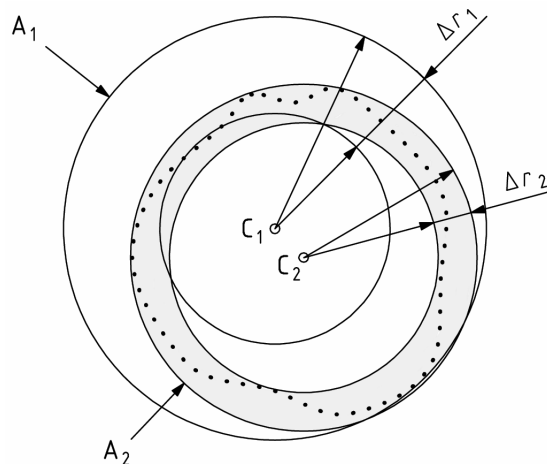
Abychom získali číselné hodnoty odchylek kruhovitosti, musíme přistoupit ke krokům, jež určitým způsobem ovlivňují její přesnost.

Mezi základní kroky patří:

- stanovení kritérií pro hodnocení kruhovitosti,
- získání informací z povrchu měřeného rotačního objektu, které dostaneme spojitým nebo nespojitým (diskrétním) snímáním. Oba způsoby však patří mezi metody zjednodušené,
- zpracování signálu nesoucího informace,
- vyhodnocení výsledků měření.

2.4.1 Kruhovitost

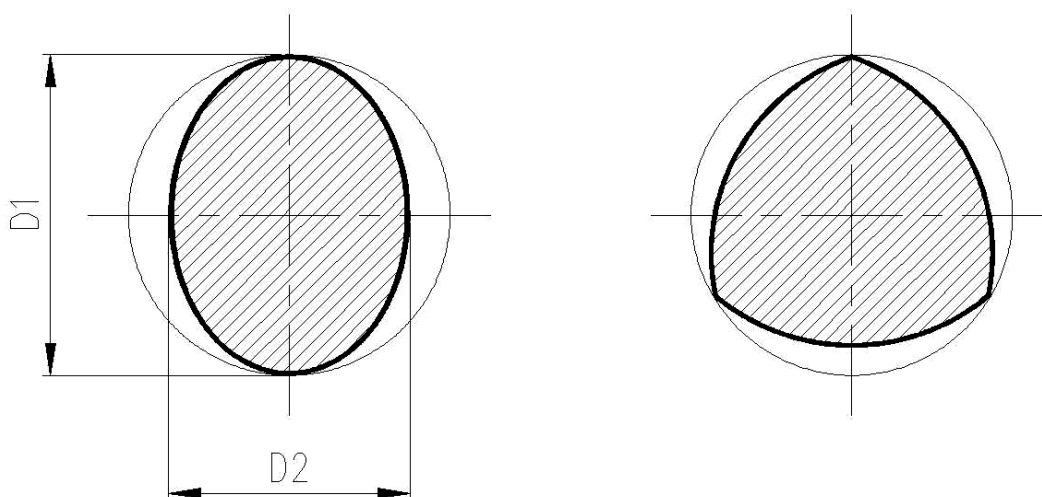
Kruhovitost jednotlivého tolerovaného prvku se považuje za správnou, když je prvek ohraničený dvěma soustřednými kružnicemi, jejichž radiální vzdálenost se rovná předepsané hodnotě tolerance nebo je menší. Umístění středů těchto kružnic a velikost jejich poloměrů se musí zvolit tak, aby radiální vzdálenost mezi dvěma soustřednými kružnicemi byla co nejmenší. [5]



Obr. 2.3 Vyhodnocení odchylky kruhovitosti

Správná poloha dvou soustředných kružnic je označená A_2 , jejichž radiální vzdálenost Δr_2 se rovná předepsané toleranci kruhovitosti nebo je menší.

Skutečné tvary rotačních ploch můžeme zjednodušeně rozdělit do dvou skupin. Rotační plocha se může tvarem blížit elipse, a mluvíme o oválnosti. Nebo má rotační plocha po obvodu určitý počet hran a jedná se o hranatost.



Obr. 2.4 Odchylka oválnosti a hranatosti

2.5 Příčiny vzniku geometrických odchylek

Odchylku od ideálního geometrického tvaru ovlivňují tyto faktory:

- obráběcí stroj,
- obrobek,
- nástroj,
- prostředí.

Obráběcí stroj má z výše jmenovaných faktorů největší vliv na odchylku od ideálního geometrického tvaru. Podílí se na tom zejména:

- odchylka polohy osy rotace a vodících ploch obráběcího stroje (rovnoběžnost),
- chvění stroje,
- pružné deformace stroje.

Obrobek může ovlivnit odchylku tvaru jen z části, a to:

- uvolněním zbytkových napětí,
- smrštění po obrábění,
- nehomogenitou materiálu,
- tepelným ovlivněním,
- stárnutím.

Nástroj má především vliv na drsnost obráběných ploch, vzhledem k:

- opotřebení,
- geometrii (poloměru hrotu),
- posuvu.

Prostředí má rovněž význam při ovlivnění odchylky od ideálního geometrického tvaru:

- chvěním, přenášeným z obráběcích strojů stojících v blízkém okolí,
- chvěním, přenášeným z okolní dopravy, hlavně těžkých nákladních automobilů a městské hromadné dopravy,
- změnou okolní teploty.

Všechny tyto faktory jsou původcem odchylek od ideálního geometrického tvaru [1].

3 Metody hodnocení

Odchylka kruhovitosti je jeden z nejsledovanějších parametrů kvality plochy strojních součástí z důvodu jejich četnosti a požadavků na přesnost. Společně s drsností a vlnitostí významně ovlivňuje vibrace rotujících součástí a tím i stroje jako celku. Drsnost se po obvodu součásti nezjišťuje, jedná se o podélnou složku a můžeme ji odfiltrovat poloměrem zaoblení hrotu snímače. Vlnitost se do kruhovitosti buď zahrnuje a nebo se vyruší filtrací. Je zde snaha o neustálé zdokonalování metod hodnocení a měřicí techniky.

Obecně pro hodnocení kruhovitosti hledáme profil rotačního objektu. Ten může být souvislý nebo nahrazen soustavou bodů. Sejmутý profil je v rovině kolmé na osu součásti a snažíme se jej konfrontovat s ideálním profilem (kružnicí). Polohu ideálního profilu vůči posuzovanému profilu je nutno přesně specifikovat. Radiální velikost rozdílu obou profilů označujeme jako odchylku kruhovitosti.

Měřit odchylku kruhovitosti můžeme několika metodami, od přesných metod v laboratorních podmínkách, po méně přesné metody, které nás svými výsledky uspokojí v dílenských podmínkách. Odchylky kruhovitosti se měří v kolmých rovinách na osu měřené součásti. Norma stanovuje nejmenší počet měření a polohu rovin měření. To je závislé na délce součásti, poměru délky a průměru.

Měřicí metody rozdělujeme:

- spojité metody,
- nespojité metody (diskrétní metody).

3.1 Spojité metody

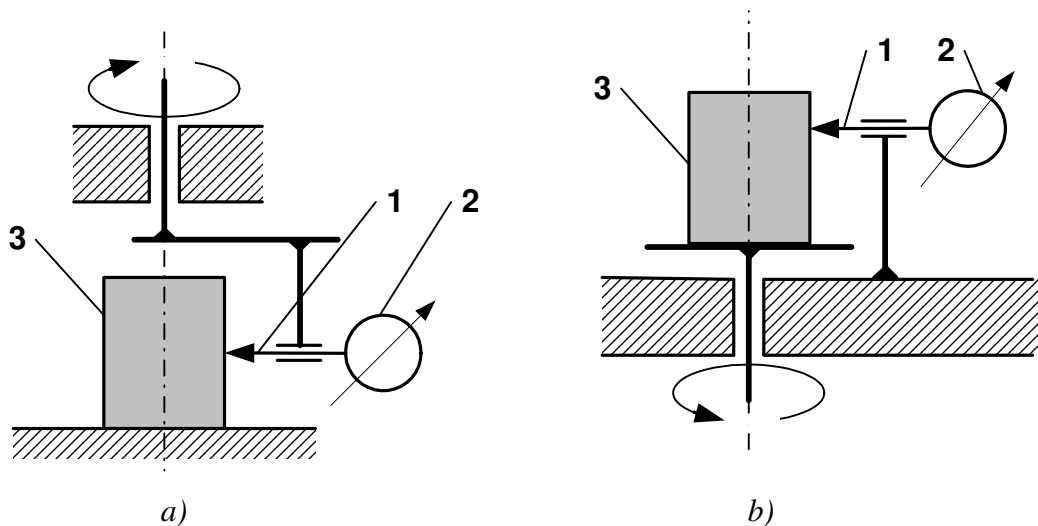
Jsou to metody, při kterých je po celou dobu měření dotykový snímač příslušného přístroje v kontaktu s povrchem měřené součástky.

3.1.1 Absolutní metoda, měření změny poloměru (metoda radiální)

Tato metoda se používá v laboratorních podmínkách, kde jsou umístěny pro tento účel speciální měřicí přístroje, které dále rozlišujeme:

- s otočným vřetenem – měřená součástka je v klidu a otáčí se snímač. Tato situace je zakreslena na obr. 3.1a,
- s otočným stolem – snímač stojí a otáčí se měřená součást. Tato situace je zakreslena na obr. 3.1b.

Povrch měřené součásti je snímám spojitě. Tato metoda je časově náročná na přípravu. Snažíme se co možná nejlépe vystředit součást tak, aby se osa součásti shodovala s osou vřetena nebo stolu a excentricita byla co nejmenší. Poloměrové pohyby snímače jsou převáděny na elektrické signály, které jsou dále zpracovány. Výsledkem měření je grafický záznam průběhu profilu kruhovitosti součásti nebo jeho číselné vyhodnocení. Při této metodě snímáný profil odpovídá skutečnému profilu. Měřicí přístroj nám zabezpečuje vysokou přesnost, která je mnohdy lepší než $0,1 \mu\text{m}$ (přesnost otáčení vřetena nebo stolu).



Obr. 3.1 Princip měření kruhovitosti: a) s rotujícím vřetenem; b) s rotujícím stolem

1-měřicí dotek, 2-měřicí přístroj, 3-měřená součást

Z hlediska výstupní informace rozlišujeme:

- přístroje se zápisem profilu (Obr. 3.2),
- přístroje s přímým zobrazením číselných hodnot parametrů,
- přístroje s kombinací obou způsobů.

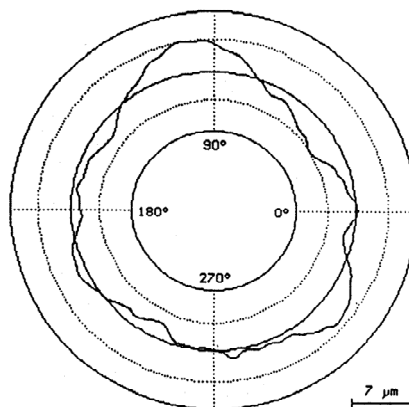
Filtr dvojpólový 2-15

Parametry - LSC:

Δz 7,06 μm

ovalita 8,07 μm

excentricita 1,18 μm



Obr. 3.2 Graf profilu kruhovitosti

Podle charakteru povrchu měřeného objektu jsou normou STN ISO 4291 (01 4411) definovány druhy a rozměry hrotů měřicích doteků a je předepsaná statická měřicí síla doteku.

Poloměry hrotů měřicích doteků: 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 [mm].

U přístroje se může vyskytovat:

- celková chyba přístroje,
- chyba otáčení radiální,
- chyba otáčení axiální.

Pro nastavení měřeného objektu před samotným měřením kruhovitosti jsou požadavky na směr měření a volba poloměru hrotu doteku s ohledem na drsnost povrchu součásti.

Dvoubodová metoda

Je to jednoduchá a velmi využívaná metoda. Je zobrazena na obr. 3.3a. Měření se realizuje s použitím univerzálních měřicích přístrojů. Tato metoda je využívána pro měření profilu se sudým počtem nepravidlostí (oválnost $k=2$, čtyřhran $k=4$ a pod). Nevýhodou u této metody je, že ji nemůžeme použít při měření odchylek profilu s nepravidelným počtem nepravidlostí.

Trojbodová metoda symetrická

Rozdělení:

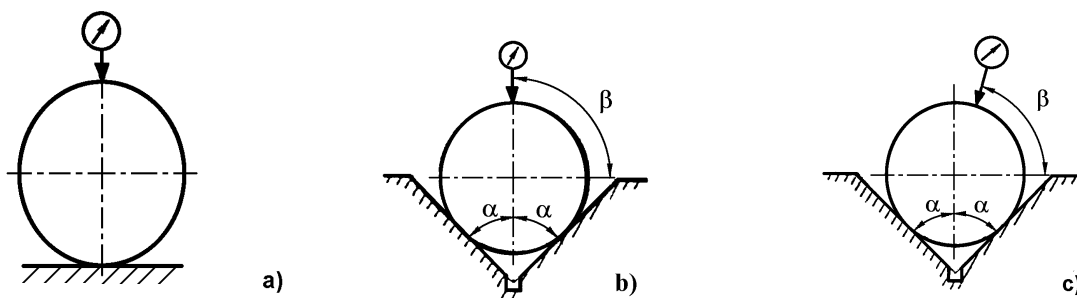
- přímé ($\beta = \pi/2$) – (obr. 3.3b),
- obrácené ($\beta = -\pi/2$).

Používají se úhly α : 30° , 36° , 45° , 54° , 60° .

Tato metoda se nejčastěji používá pro profily s lichým počtem nepravidelostí. Dají se měřit vnější i vnitřní profily. Trojbodová metoda symetrická obrácená se může použít k měření kruhovitosti velkých průměrů, kdy je součást v průběhu měření v klidu a otáčí se měřicí přístroj.

Trojbodová metoda nesymetrická

Tato metoda spojuje výhody dvoubodové metody a trojbodové metody symetrické. Pomocí ní lze měřit všechny případy odchylek kruhovitosti. Může být realizována jak v přímé ($0 \leq \beta < \alpha$, $\alpha < \beta < \pi/2$), tak i v obrácené verzi ($-\pi/2 < \beta < -\alpha - \pi/72$, $-\alpha + \pi/72 < \beta < 0$). Umožňuje měření vnějších i vnitřních průměrů součástí. Tato metoda je zakreslena na obr. 3.3c.



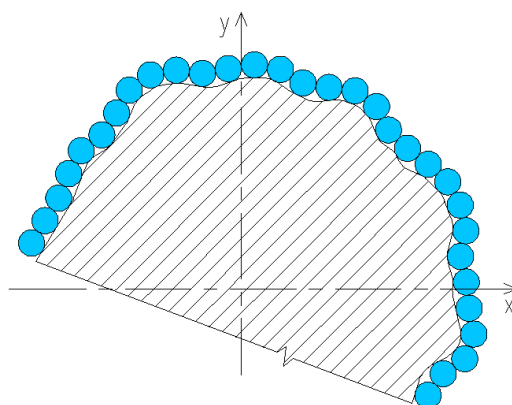
Obr. 3.3 Relativní metody

a) dvoubodová metoda, b) trojbodová metoda symetrická, c) trojbodová metoda nesymetrická

3.1.2 Skenovací metoda

Skenování je režim snímání. Výsledkem je určení hodnot souřadnic měřených bodů jdoucích za sebou na charakteristické čáře měřeného profilu. Rozložení bodů je se vzájemným rozstupem často menším než 0,1 mm. Tím dosáhneme vysoké

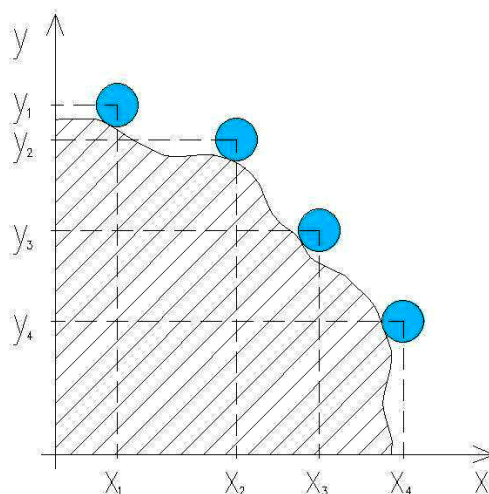
hustoty skenování bodů a získáme podrobné informace o měřeném povrchu součásti. Plynulé měření prvků a kontur poskytuje dostatečně vysokou hustotu bodů, potřebnou pro určení skutečného tvaru povrchu a tento princip můžeme vidět na obr. 3.4. Měření se uskutečňuje na SMS a měřicí hlava musí podporovat skenovací technologii, což je režim s trvalým kontaktem měřicího hrotu a měřeného objektu.



Obr. 3.4 Snímání bodů skenovací metodou

3.2 Nespojité metody

Nespojité metody jsou založeny na měření souřadnic určitého počtu bodů z povrchu měřené součásti a princip je znázorněn na obr. 3.5.



Obr. 3.5 Snímání bodů

Měření se provádí na souřadnicových měřicích strojích. Pomocí několika získaných bodů se nám dostává přibližné informace o tvaru, popřípadě poloze měřené

plochy. Následně se vypočítá souřadnice středu kružnice a její průměr. Ovšem provedením tohoto postupu získáváme pouze teoretický tvar a polohu kružnice.

3.3 Měřicí zařízení na měření odchylky kruhovitosti

Na měření odchylky kruhovitosti se používají různé metody a měřicí zařízení. Ty se rozdělují podle použité metody měření a způsobu získávání informací z povrchu měřeného objektu.

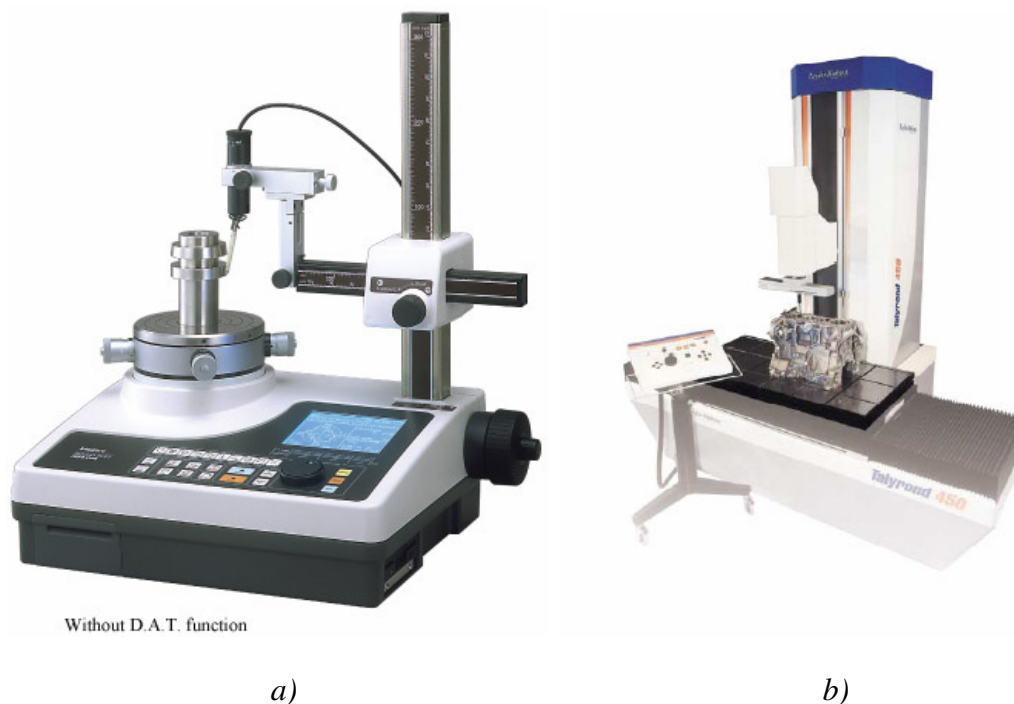
Měřicí zařízení rozdělujeme na:

- konvenční měřicí přístroje,
- souřadnicové měřicí stroje.

3.3.1 Konvenční měřicí přístroje

V průmyslové výrobě se tvary často kontrolují jednoduchými pomůckami, jako jsou třeba pravítka a šablony. Vedle těchto pomůcek můžeme použít i měřicí přístroje jako jsou číselníkové úchylkoměry apod. Konvenční měření kruhovitosti se provádí měřením v tzv. úhlových podložkách, popř. jiném podobném uspořádání. Tyto metody taky nazýváme jako relativní, nebo trojbodové. Na základě těchto metod se navrhují přístroje, které se následně využívají ve výrobě přímo na stroji, při obrábění součástí. Nyní je ovšem použití relativních metod omezené, neboť často dopředu nejsme schopni rozeznat, o jakou základní tvarovou odchylku jde.

Měřicí přístroje pracující na principu spojité metody a pracující v laboratorních podmínkách, mají vysokou přesnost měření a nazýváme je kruhoměry. Tyto měřicí přístroje vyhodnocují naměřená data pomocí softwaru. Příklady měřicích přístrojů, které se používají k měření tvaru: Talyrond, Roundtest, Talysurf, Rondcom a další. Některé přístroje jsou uvedeny na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Konvenční měřicí přístroje

a) Roundtest RA-100 Series 211-Roundness Measuring Instruments, b) Talyrond 450

3.3.2 Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicový měřicí stroj (dále jen SMS) je složitý měřicí systém, kde se pracuje se dvěma souřadnicovými systémy, a to jsou:

- souřadnicový systém stroje,
- souřadnicový systém měřeného předmětu.

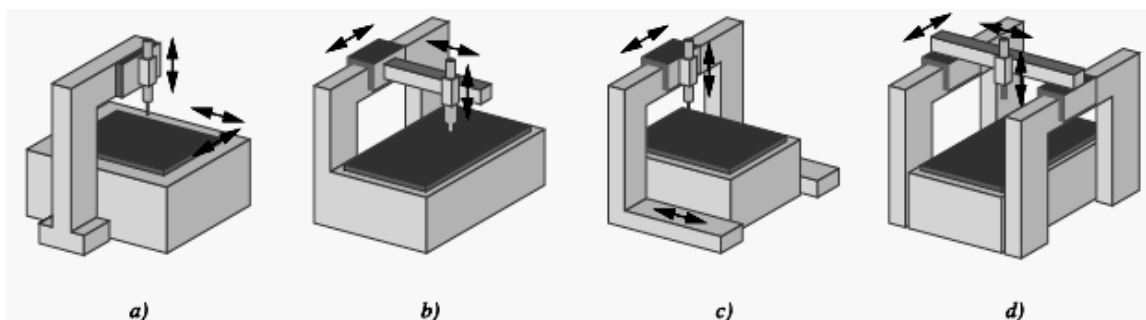
Uplatnění SMS nachází hlavně tam, kde je výroba složitých součástí a kontrola geometrických rozměrů klasickými metodami obtížná, časově náročná a málo přesná.

Rozdělení souřadnicových měřicích strojů

Prakticky všichni výrobci SMS nabízí ucelenou řadu – od malých stolních přístrojů až po největší mostové systémy, které jsou schopny měřit např. karoserii automobilu. Koncepce SMS v souladu s jejich velikostí vychází ze čtyř základních typů. [4]

Typy souřadnicových měřicích strojů:

- sloupový,
- výložníkový,
- portálový,
- mostový.



Obr. 3.7 Typy souřadnicových měřicích strojů

a) sloupový typ, b) výložníkový typ, c) portálový typ, d) mostový typ

Sloupový typ – se používá pro malé rozsahy měření. Do místa měření je dobrý přístup a konstrukce je tuhá.

Výložníkový typ – má dobrý přístup k místu měření. Aby byla zajištěna tuhost stroje, je osa y poměrně krátká. Používá se především pro měření úzkých a dlouhých součástí.

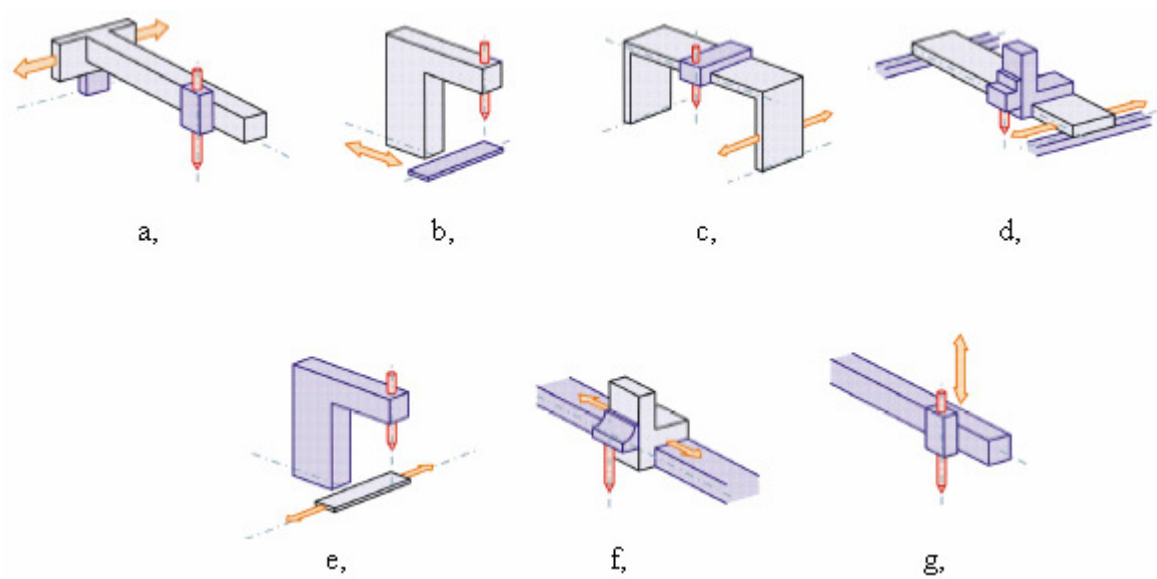
Portálový typ – je vhodný pro střední a velké rozsahy měření. Má velkou tuhost a tím je zajištěna vysoká přesnost měření. Přístup je omezen konstrukcí.

Výroba tohoto typu je zajištěna ve dvou variantách:

- pevný portál (je tužší, vyžaduje pohyblivý stůl),
- pohyblivý portál.

Mostový typ – má využití pro největší rozsahy měření zejména v automobilovém a leteckém průmyslu.

Souřadnicový měřicí stroj se skládá z několika komponentů, které jsou uvedeny na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Části souřadnicových měřicích strojů

a) výložník, b) stojan, c) most, d) portál, e) posuvný stůl, f) suport, g) smýkadlo

4 Experimentální část

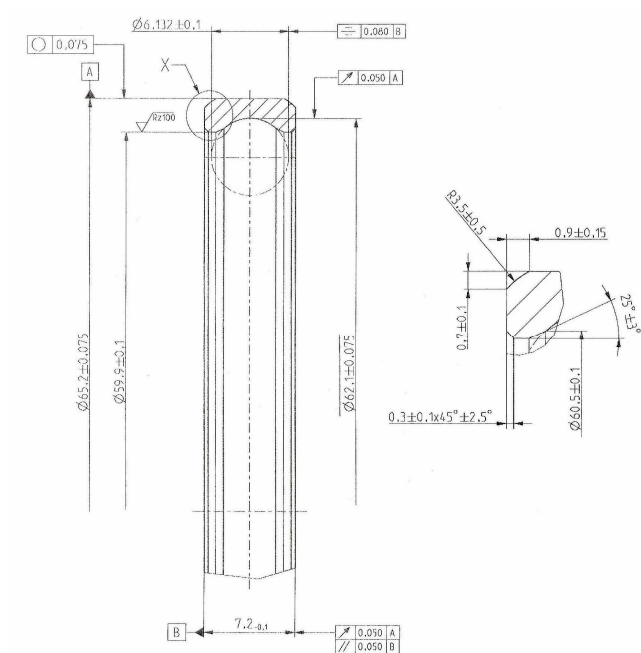
V experimentální části bakalářské práce jsem se zaměřil na vzájemné porovnání odchylky kruhovitosti v závislosti na technologickém postupu výroby. Měřené součásti jsem měřil na konvenčním měřicím přístroji Talyrond 73 od firmy Taylor-Hobson a souřadnicovém měřicím stroji - MORA MS10 od firmy MORA Fabrik für Messgeräte H. Freund GmbH. Měření se realizovalo na Žilinské univerzitě v Žilině – fakultě strojní, katedře obrábění a výrobní techniky a katedře konstruování a částí strojů.

Měřilo se na třech kroužcích, které jsou vyobrazeny na obr. 4.1, vyrobeny jsou ze stejného materiálu ocel 14 109, a jednotlivé kroužky jsou po různých operacích postupu výroby: soustružení, kalení, broušení.

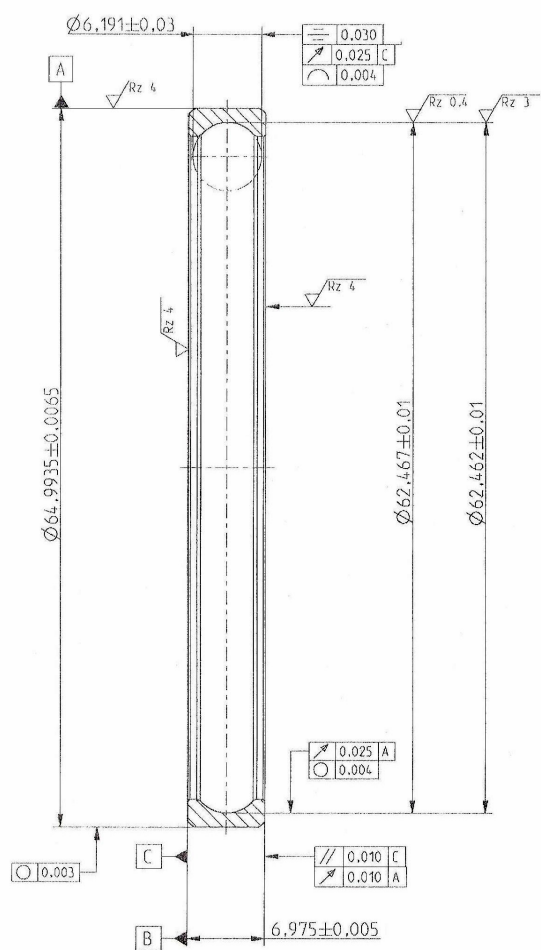


Obr. 4.1 Měřené vzorky

a) kroužek po broušení; b) kroužek po kalení; c) kroužek po soustružení



Obr. 4.2 Nákres soustruženého kroužku



Obr. 4.3 Nákres kaleného a broušeného vzorku

Parametry součástek:

- Kroužek soustružený
 - vnější průměr \varnothing 65,2 mm,
 - vnitřní průměr \varnothing 62,1 mm,
 - šířka 7,2 mm,
 - materiál: ocel 14 109 – chromová ocel pro valivá ložiska
 - tvrdost: 63 HRC

- Kroužek kalený, broušený
 - vnější průměr \varnothing 64,9935 mm,
 - vnitřní průměr \varnothing 62,467 mm,
 - šířka 6,975 mm,
 - materiál: ocel 14 109 – chromová ocel pro valivá ložiska
 - tvrdost: 63 HRC

4.1 Měření odchylky kruhovitosti spojitou metodou na konvenčním měřicím přístroji

Odchylka kruhovitosti na třech kroužcích se měřila v laboratoři 3D měření na katedře obrábění a výrobní techniky a katedře konstruování a částí strojů, strojní fakulty Žilinské univerzity v Žilině na konvenčním měřicím přístroji Talyrond 73 (Obr. 4.4) od firmy Taylor-Hobson, kde výsledky byly zpracovány pomocí měřicího softwaru ROFORM.

Princip měření je popsán v kapitole 3.1.1 - Absolutní metody – metoda s rotujícím vřetenem.

Měřila se odchylka kruhovitosti po různých operacích technologického postupu výroby. Každý vzorek (Obr. 4.5) se měřil 3krát (ΔZ_1 , ΔZ_2 , ΔZ_3), z nich byl vypočten aritmetický průměr odchylek kruhovitosti $\overline{\Delta Z}$, který byl následně vyhodnocován.



Obr. 4.4 Konvenční měřicí přístroj – Talyrond 73

Měření bylo vykonáno v radiálním řezu, vzdáleném $z = 2,5$ mm od čela součástky. Po obvodu součásti bylo snímáno celkem 2048 bodů.



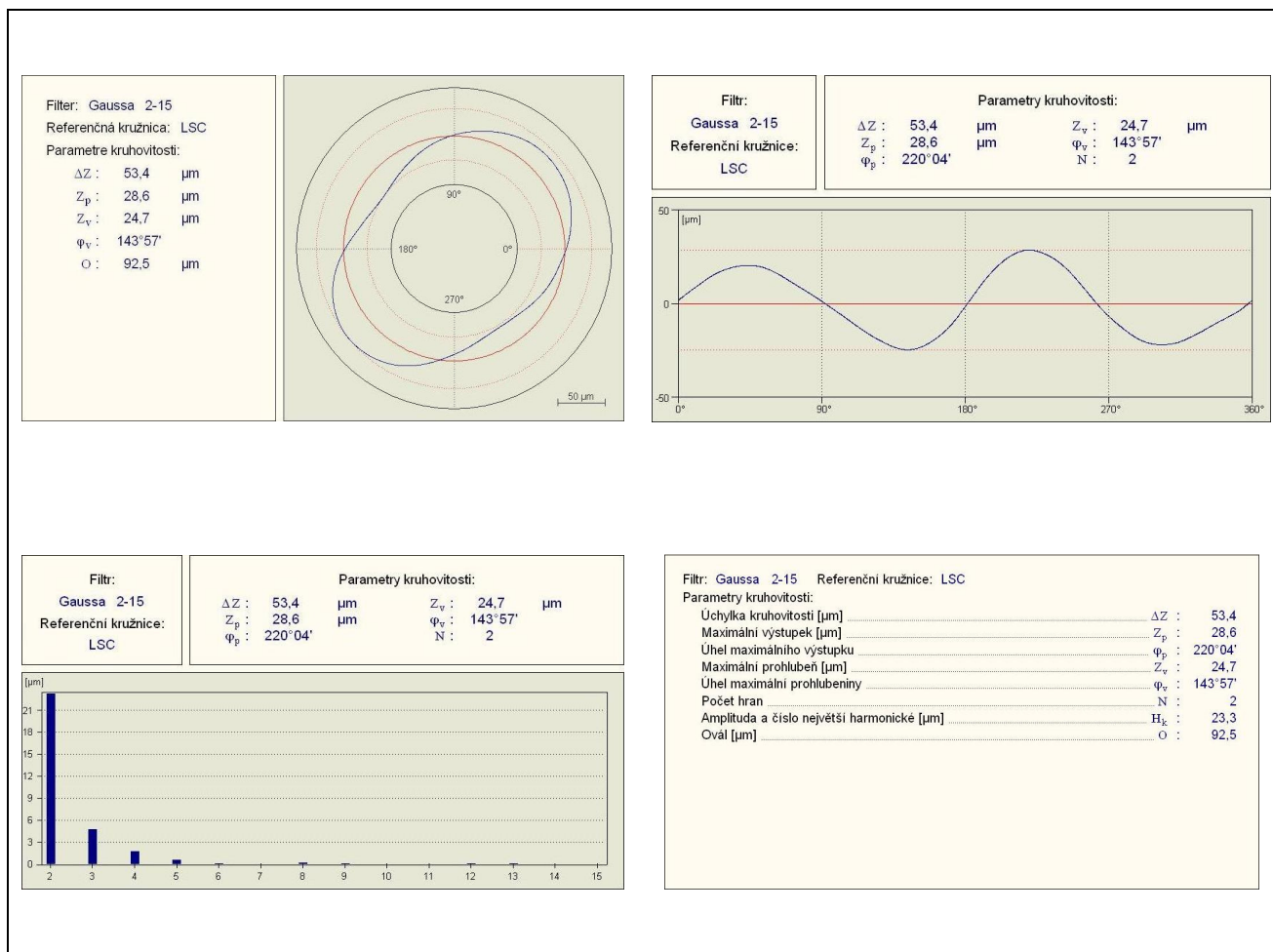
Obr. 4.5 Snímaný povrch kroužku

Podmínky měření:

- Přesnost stroje: $u = 0,02 \mu\text{m}$,
- Teplota v místnosti: 21°C ,
- Měřené vzorky (3 ks): kroužek po soustružení, kroužek po kalení a kroužek po broušení,

- Filtr: GAUSS 2 -15,
- Vyhodnocovací metoda: LSC,
- Vyhodnocovací software: ROFORM.

Na obr. 4.6 je protokol o měření odchyly kruhovitosti pro soustruženou součástku. Další protokoly jsou v příloze č.1 a 2.



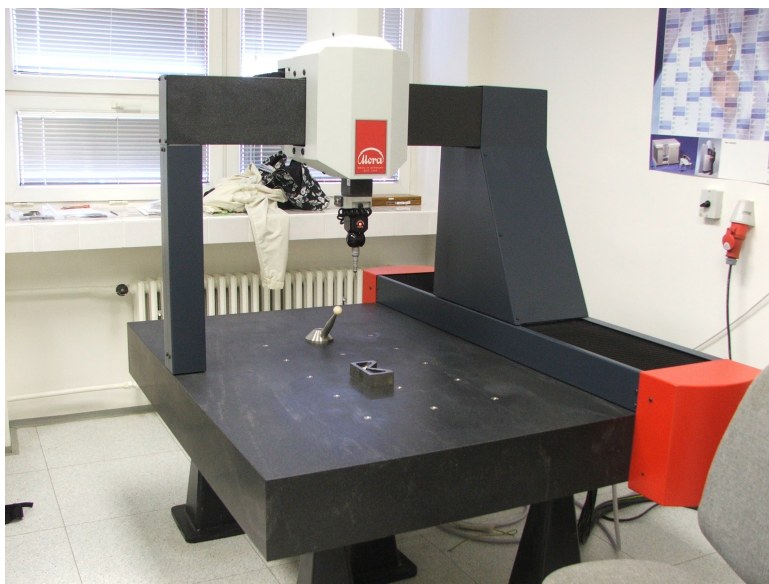
Obr. 4.6 Protokol o měření odchyly kruhovitosti pro soustruženou součástku

4.2 Měření odchyly kruhovitosti diskrétní metodou na SMS

Odchyly kruhovitosti na třech kroužcích se měřila v laboratoři 3D měření na katedře obrábění a výrobní techniky a katedře konstruování a částí strojů, strojní fakulty Žilinské univerzity v Žilině na souřadnicovém měřicím stroji MORA MS10 (Obr. 4.7) od firmy MORA Fabrik für Messgeräte H. Freund GmbH, kde výsledky byly

zpracovány pomocí měřicího softwaru INCA 3D.

Měřila se odchylka kruhovitosti po různých operacích technologického postupu výroby. Každý vzorek (Obr. 4.8) se měřil 3krát (ΔZ_1 , ΔZ_2 , ΔZ_3), z výsledků byl vypočten aritmetický průměr odchylek kruhovitosti $\overline{\Delta Z}$, který byl následně vyhodnocován.



Obr. 4.7 SMS MORA MS 10

Měření bylo provedeno s počtem 32 dotykových bodů po obvodu měřené součásti.



Obr. 4.8 Snímání bodů

Podmínky měření:

- Přesnost stroje: $MPE_E (\mu\text{m}) 3,5 + L/400$ (L je v mm),
 $MPE_P (\mu\text{m}) 2,0$.
- Teplota v místnosti: 21,0 °C,
- Měřené vzorky (3 ks): kroužek po soustružení, kroužek po kalení a kroužek po broušení,
- Snímací sonda: TP20,
- Průměr kuličky: 3 mm,
- Vyhodnocovací software: INCA 3D.

Na obr. 4.9 je protokol o měření odchytky kruhovitosti pro soustruženou součástku. Další protokoly jsou v příloze č. 3 a 4.

Kruzok		Sejmutá kružnice		
Proj.refer.rovina	Střední rovina	Pocet bodu	32	
X	303.7511	I	-0.0000	
Y	-27.4649	J	-0.0000	
Z	-80.7061	K	1.0000	
Prumer	65.3571	Odch.Tvaru	0.0932	

Kruhovitost		Kruhovitost	
Tolerovaný elt.	Kruzok	Proj.refer.rovina	Projekcna rovina
	Odchytka	Horní tolerance	Hodnota mimo tol.
dGDT	0.0830	0.1500	0.0000

Obr. 4.9 Protokol o měření odchytky kruhovitosti pro soustruženou součástku

5 Vyhodnocení výsledků měření

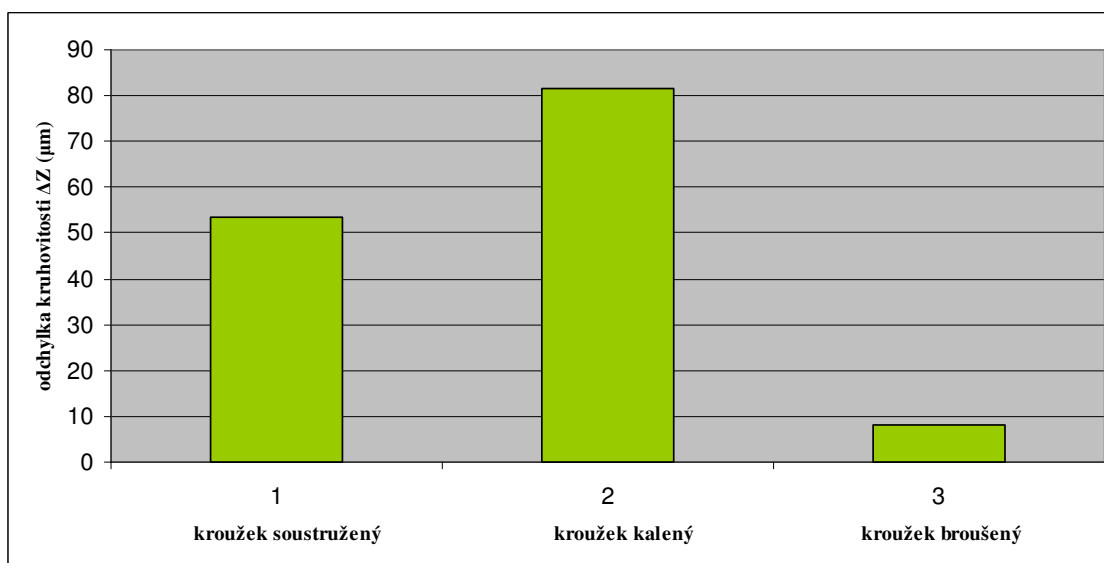
5.1 Hodnocení odchytky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení Talyron 73

V tab. 5.1 jsou uvedeny průměrné hodnoty odchytky kruhovitosti každého vzorku ze tří měření. Při každém měření byl vzorek pootočen o 120°.

Tab. 5.1 Odchytky kruhovitosti $\overline{\Delta Z}$ na konvenčním měřicím zařízení

Měření	Odchytky kruhovitosti $\overline{\Delta Z}$ (μm)
1	53,4
2	81,6
3	8,19

Z grafu na obr. 5.1 vyplývá, že nejmenší průměrná naměřená odchytky kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 8,19 \mu\text{m}$ se vyskytovala na broušeném kroužku. Naopak největší odchytkou kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 81,6 \mu\text{m}$ byl zatížen kroužek kalený.



Obr. 5.1

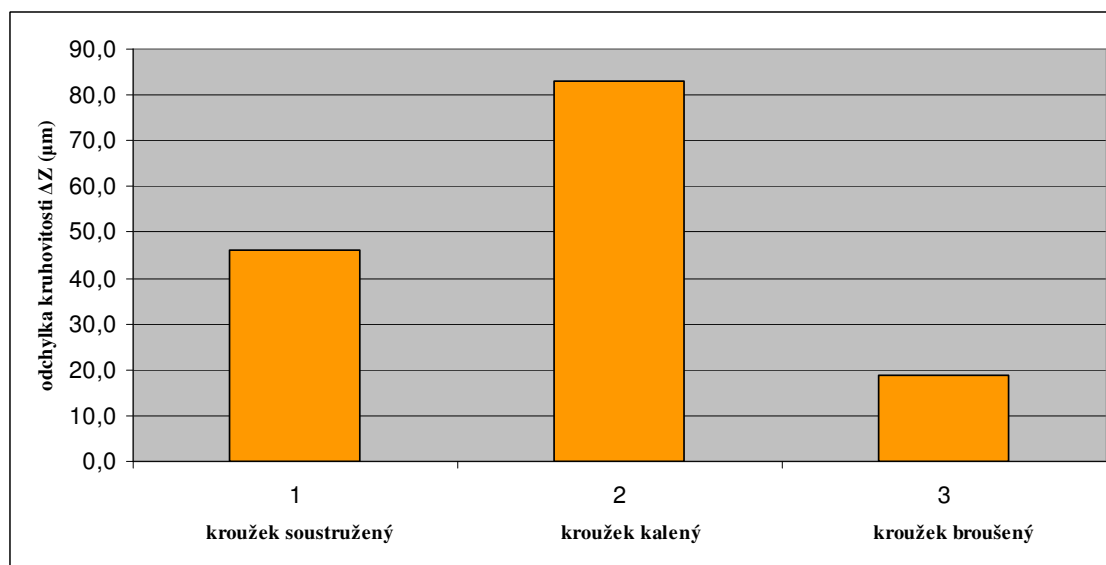
5.2 Hodnocení odchytky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji MORA MS10

V tab. 5.2 jsou uvedeny průměrné hodnoty odchytky kruhovitosti každého vzorku ze tří měření. Při každém měření byl vzorek pootočen o 120°.

Tab. 5.2 Odchytky kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ na souřadnicovém měřicím stroji

Měření	Odchytky kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ (μm)
1	46,0
2	83,0
3	18,8

Z grafu na obr. 5.2 je patrné, že stejně jako na konvenčním měřicím zařízení naměřil souřadnicový měřicí stroj podobné odchytky kruhovitosti. Nejmenší průměrná odchytky kruhovitosti $\Delta\bar{Z} = 18,8 \mu\text{m}$ byla u kroužku broušeného. Nejvýraznější odchytky kruhovitosti $\Delta\bar{Z} = 83,0 \mu\text{m}$ naměřil stroj na kroužku kaleném.



Obr. 5.2

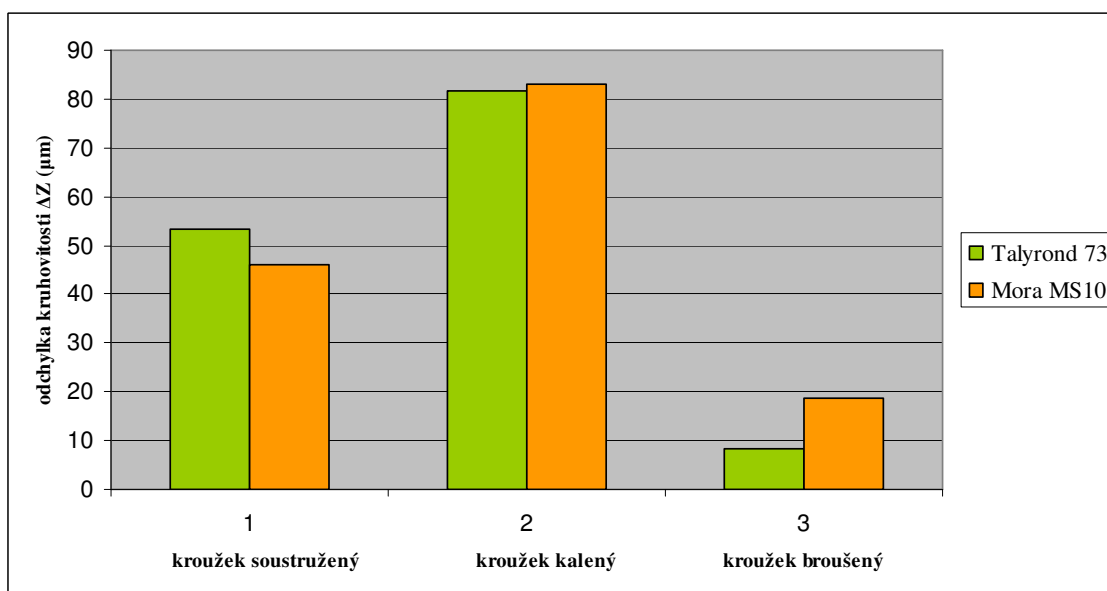
5.3 Porovnání odchyly kruhovitosti na přístroji Talyrond 73 a stroji MORA MS10

V tab. 5.3 je uvedeno porovnání výsledků průměrných odchylek kruhovitosti jednotlivých vzorků na konvenčním měřicím zařízení Talyrond 73 a souřadnicovém měřicím stroji MORA MS10.

Tab. 5.3 Porovnání odchylek kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ na přístroji Talyrond 73 a stroji MORA MS10

Měřené vzorky	Talyrond 73	MORA MS10
	Odchylka kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ (μm)	
Kroužek po soustružení	53,4	46,0
Kroužek po kalení	81,6	83,0
Kroužek po broušení	8,19	18,8

Při pohledu na obr. 5.3 můžeme konstatovat, že vzhledem k naměřeným hodnotám odchylek kruhovitosti se ideálnímu tvaru blíží nejvíce kroužek broušený. Tato technologie opracování vzorku byla ve výrobě finální a je tudíž z měřených vzorků nej přesnější. Největší naměřené odchylky kruhovitosti se vyskytovaly u vzorku kaleného.



Obr. 5.3

6 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval problematikou hodnocení odchylky kruhovitosti a vzájemným porovnáváním spojitě a diskrétní metody v závislosti na technologickém postupu výroby při měření přesných a méně přesných obrobků. Hlavním cílem bylo porovnání výsledků měření na konvenčním měřicím přístroji a souřadnicovém měřicím stroji. Měřily se 3 kroužky z oceli 14 109. Každý kroužek (soustružený, kalený a broušený) se měřil 3krát, z výsledků byly zpracovány průměrné hodnoty.

V první teoretické části bakalářské práce jsou teoreticky popsány chyby a nejistoty měření. Jsou tu zmíněny nejdůležitější normy, které se zabývají danou problematikou a popisují ji. Dále je tato práce věnována měření odchylky kruhovitosti, kde v teoretické části popisují metody hodnocení odchylky kruhovitosti a na jakých strojích a přístrojích ji můžeme měřit.

V experimentální části jsou vyobrazeny měřené vzorky. Jsou přiloženy i nákresy s rozměry a všemi parametry. V příloze jsou přiloženy protokoly z měření.

V poslední části bakalářské práce je vyhodnocení výsledků měření. Na základě úvodních experimentů u spojitě metody na Talyrondu 73, můžu konstatovat, že nejmenší odchylka kruhovitosti $\Delta\bar{Z} = 8,19 \mu\text{m}$ je u kroužku broušeného. A nejhorší $\Delta\bar{Z} = 81,6 \mu\text{m}$ je u kroužku kaleného. U nespojitě metody na souřadnicovém měřicím stroji MORA MS10 se potvrdilo, že broušený kroužek má opět nejmenší odchylku kruhovitosti $\Delta\bar{Z} = 18,8 \mu\text{m}$ a největší odchylku kruhovitosti $\Delta\bar{Z} = 83,0 \mu\text{m}$ má kroužek kalený. Na základě toho můžu říct, že při porovnání těchto dvou metod se odchylka kruhovitosti jeví přesnější u broušeného kroužku při spojitě metodě na přístroji Talyrond 73, to mohlo být způsobeno např. počtem snímaných bodů a nerovností, která nemusela být obsažena při měření na stroji MORA MS10. U souřadnicového měřicího stroje bylo zvoleno 32 bodů z důvodu časové náročnosti měření. Talyrond 73 se považuje za přesný měřicí přístroj, vůči kterému se porovnává přesnost souřadnicových měřicích strojů. Rozdíly, které vznikly v dané práci jsou pravděpodobně způsobeny počtem měřicích bodů. Na souřadnicovém měřicím stroji bylo snímaných 32 bodů, vůči Talyrondu 73, kde bylo snímaných 2048 bodů. Díky

tomu můžu konstatovat, že při zvýšení počtu měřených bodů na souřadnicovém měřicím stroji se měření považuje za vyhovující. Této problematice bude věnována následující diplomová práce.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN ISO 6318 (01 4410). *Měření kruhovitosti: Termíny, definice a parametry kruhovitosti*. 1994.
- [2] KUREKOVÁ, Eva; GABKO, Peter; HALAJ, Martin. *Technické meranie - Zväzok II* [online], 1. vyd., Bratislava: Grafické štúdio, 2005. Metromedia-online. Dostupné z WWW:<
<http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/obsah.htm> >.
- [3] OČENÁŠOVÁ, Lenka; *Príspevok k hodnoteniu odchýlky kruhovitosti pri meraní na súradnicovom metacím stroji: Doktorská disertační práce*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta strojní, 2008. 104 stran, 35 příloh.
- [4] PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav; VAČKÁŘ, Josef. *Jakost a metrologie, část metrologie*. Brno: CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- [5] STN EN ISO 1101 (01 4401). *Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS): Geometrické tolerovanie: Tolerancie tvaru, orientácie, polohy a hádzania*. 2006.
- [6] STN ISO 4291 (01 4411). *Metódy hodnotenia odchýliek kruhovitosti: Meranie zmen polomeru*. 1995.
- [7] STN ISO 4292 (01 4412). *Metódy hodnotenia odchýliek kruhovitosti: Meranie dvoj a trojbodovou metódou*. 1995.
- [8] TELÚCH, Ondrej, *Meranie odchýlky kruhovitosti spojitou a nespojitou metódou: Diplomová práce*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta strojní, 2008. 70 s.
- [9] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část 1*. Ostrava: VŠB-TUO, 2008. 104 s. Fakulta strojní. ISBN 978-80-248-0671-6.

Seznam příloh

Příloha 1: Protokol o měření odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení pro kalenou součástku.

Příloha 2: Protokol o měření odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení pro broušenou součástku.

Příloha 3: Protokol o měření odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji pro kalenou součástku.

Příloha 4: Protokol o měření odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji pro broušenou součástku.