

Optimalizace technologie výroby ložiskových pouzder

Optimization of bearings production technology

diplomová práce

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Petr Mikeš, Ph.D.

Vypracoval: Vojtěch Hawiger, Bc.

ANOTACE

Hlavní náplní diplomové práce je optimalizovat výrobu ložiskových pouzder. Snahou je snížit dosahované přídavky na honování, respektive snížit časovou náročnost honování. Zaměření je na ocel 100Cr6 (14 109, 1.2067 nebo 1.3505), u které jsou více nestabilní výsledky deformací po tepelném zpracování než u nerezové oceli 1.4112.

Díly jsou změřeny na souřadnicovém měřicím stroji. Na základě získaných dat jsou poté navrženy možnosti optimalizace.

Výsledná optimalizace je navrhována z výsledků naměřených hodnot a úpravy technologie zpracování dílů.

ANNOTATION

Focus of my diploma thesis is to optimize production of bearing casings. Main effort is to lower additive material before honing, in other words, to lower time of honing and cost of production. Used material is 100Cr6 (14109, 1.2067 or 1.3505) which suffers from unstable results after heat treatment over stainless steel 1.4112.

Parts are measured on coordinate measuring machine and the results of the measuring is used to identify condition of casings.

Optimization is designed from the results of measuring and from searched options of different technologies.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optimalizace, ložisková pouzdra, honování, souřadnicový měřicí stroj

KEY WORDS

Optimization, rotary stroke bearings, honing, coordinate measuring machine

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Optimalizace technologie výroby ložiskových pouzder“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petr Mikeš, Ph.D., s použitím literatury, která je uvedena na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

I declare that I have developed this diploma thesis titled " Optimization of bearings production technology " independently under the leadership of Ing. Petr Mikeš, Ph.D., using literature, which is listed at the end of my thesis.

V Praze 31. 7. 2018

Vojtěch Hawiger

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce, Ing. Petru Mikešovi, Ph.D., za cenné rady a čas, který mi věnoval. Dále pak technologovi firmy Mahr s.r.o., Proboštov, panu Pavlu Mokřišovi, za dodání klíčových informací a spolupráci, v průběhu tvorby celé diplomové práce. A v neposlední řadě Ing. Vladimíru Šulcovi, za zaškolení a výpomoc při nastavení souřadnicového měřicího stroje.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Charakteristika dílu	8
2.1. Představení firmy Mahr s.r.o., Proboštov	8
2.2. Popis měřené součásti.....	8
2.3. Problematika.....	10
2.4. Návrh řešení.....	11
3. Materiál 100Cr6	12
4. Honování.....	13
5. Měření na souřadnicovém měřícím stroji	14
5.1. Vyhodnocovací metody (kružnice)	14
5.2. Geometrické tolerance tvaru a polohy.....	15
5.3. Vliv nastavení filtru na měřený profil	17
6. Postup měření.....	18
6.1. Měření dílů po soustružení	20
6.2. Měření dílů po kalení.....	22
6.3. Měření dílů po honování.....	23
7. Výsledky měření	24
7.1. Výsledky měření soustružených vzorků 5002071	24
7.2. Výsledky měření kalených vzorků 5002071	28
7.3. Výsledky měření honovaných vzorků 5002071	32
7.4. Výsledky měření soustružených vzorků 5002078.....	36
7.5. Výsledky měření kalených vzorků 5002078	40
7.6. Výsledky měření honovaných vzorků 5002078	44
7.7. Výsledky měření soustružených vzorků 5002027.....	48
7.8. Výsledky měření kalených vzorků 5002027	52
7.9. Výsledky měření honovaných (a znovu zakalených) vzorků 5002027	56
7.10. Výsledky měření soustružených vzorků 5002060	58
7.11. Výsledky měření kalených vzorků 5002060.....	62
7.12. Porovnání výsledných hodnot.....	66
8. Operační náklady	69
9. Návrhy optimalizace	73
9.1. Odůvodnění	73
9.2. Jednotlivé návrhy.....	73

10.	Závěr.....	75
11.	Seznam použité literatury.....	77
12.	Seznam obrázků a tabulek.....	79

1. Úvod

Téma diplomové práce bylo zadáno společností Mahr s.r.o., Proboštov. V této společnosti se zaměřuji na optimalizaci výroby ložiskových pouzder. Pro správnou funkci a dlouhou životnost, musí mít pouzdra jisté kvality. Tvrdost, dosaženou kalením součástí, geometrickou a rozměrovou přesnost obzvlášť na vnitřním průměru, zajišťující plynulou a přesnou funkci kuličkových vedení.

Důvodem optimalizace jsou příliš dlouhé výrobní časy a tím velké výrobní náklady. Největší zaměření je na zkrácení časů u operace honování z důvodů její nákladnosti. Dopad na výslednou dobu honování mají předešlé operace, a to přímo soustružení a kalení. Kalení se provádí v externí společnosti a jeho výsledky značně ovlivňují přídavky, od kterých se odvíjí předeepsané tolerance pro soustružení. Větší tvarové a rozměrové deformace způsobují větší tolerance, a to je úzce souvislé s honovacími časy. Ložisková pouzdra jsou vyráběna ze dvou ocelí, 100Cr6 (14 109, 1.2067 nebo 1.3505) a 1.4112. V diplomové práci se zabývám díly z oceli 100Cr6, která oproti 1.4112 má větší deformace po tepelném zpracování, ale stále je nenahraditelná u většiny vyráběných dílů ve společnosti.

Se zjištěnou problematikou se zaměřuji na měření na souřadnicovém měřicím stroji Carl Zeiss Prismo. Zde měřím tvarové úchyly, díky kterým jsem schopný více odhadnout dopad jednotlivých operací na přídavek a snažím se najít mezi nimi spojitost. Vyhodnocuji zejména souosost, kruhovitost a válcovitost. Měřím čtyři druhy ložiskových pouzder. 5002071, 5002078, 5002027, 5002060, které jsou vybrány a označeny jako problémové. Každé z pouzder je značně odlišné. Z měření vytvářím grafy a tabulky, popisující naměřené tvarové a geometrické odchylky.

Na závěr zjišťuji a porovnávám náklady na výrobu. Navrhuji doporučení optimalizací a hodnotím možné úspory ideální výroby.

2. Charakteristika dílu

2.1. Představení firmy Mahr s.r.o., Proboštov

Mahr s.r.o. operuje po celém světě a je to středně velká rodinná firma. Hlavním výrobním programem jsou měřicí přístroje kontrolující geometrii součástí.

Jako aplikační specialista v oblasti výroby metrologie řeší Mahr metrologické úkoly svých zákazníků a je kontaktní osobou pro všechny problémy související s kvalitou výroby.

Zaměření firmy v lokalitě Proboštov:

- Měřicí systémy (měření kvality povrchu, úchylek tvaru a polohy, hřídelů, ozubení, jednoúčelové měřicí stroje, kalibrační přístroje)
- Ruční měřicí technika
- Vysoce přesná zubová a dávkovací čerpadla
- Vysoce přesné kuličkové vedení

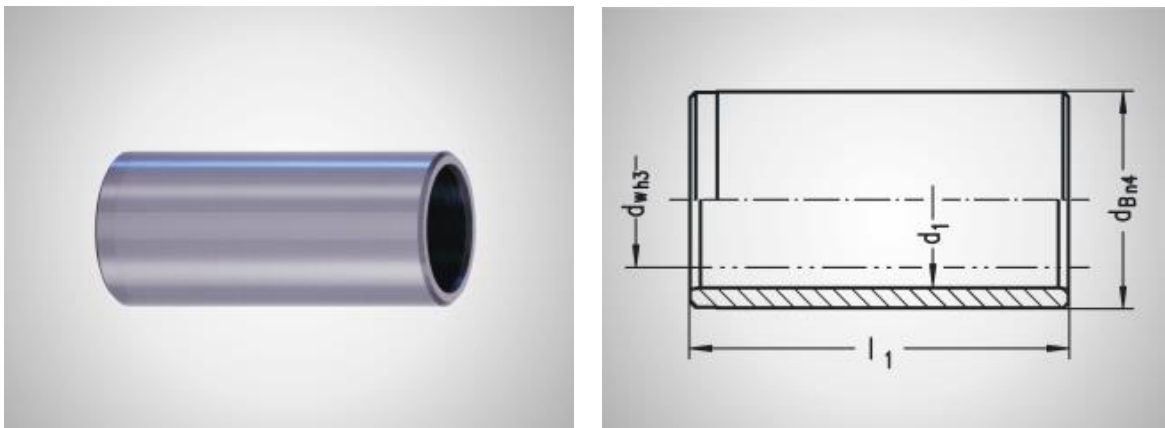
Aplikační obory:

- Automobilový průmysl a jeho dodavatelé, strojírenství, přesná mechanika, elektronika,
- Optický průmysl
- Průmysl umělých vláken [1]

2.2. Popis měřené součásti

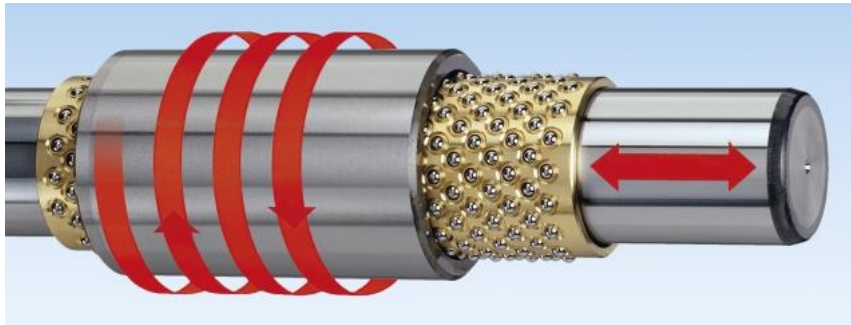
Jedná se o ložiskové vodící pouzdro pro valivá ocelová ložiska. Zaměření diplomové práce je na otevřenou ložisko se zkosenými vnitřními hranami. Označení produktu N 550.

- Má universální použití
- Vnitřní průměr honován na ISO tolerance IT 3, Rz 0,5 – 1,5 μm (zaleží na průměru)
- Tvrdost HRC 60-64 [2]



Obrázek 1 - Foto a nákres vyráběného ložiskového pouzdra N 550 [2]

MahrMotion je označení pro vysoce přesná rotační kuličková vedení vhodná pro bezodporové lineární, rotační nebo kombinované pohyby s důrazem na přesnost. [2]



Obrázek 2 - Princip použití otevřeného ložiskového pouzdra N 550 [1]

Použití:

- Stavba strojů (zátkovací automat)
- Přesné mechanismy (měření ozubeného kola)
- Lékařské technologie (tvarování zubních implantátů)
- Tvářecí stroje
- Tiskařské a textilní stroje
- Elektronika
- Polovodičové stroje
- Optické inženýrství (lasery)
- Pick & place technologie [2, 3]



Obrázek 3 - Použití valivých ocelových ložisek v praxi 133, 136 [3, 4]

Polotovár

Polotovarem je do průměru 12 mm tyč a nad průměr 12 mm trubka, za studena tažená s tolerancí h9. Materiál polotovaru je chromová ocel pro valivá ložiska, 100Cr6.

Sled operací

10. operace soustružit
 20. operace kalit v kooperaci Bodycote,
 30. operace (chladit -70 °C)
 35. operace brousit díru s přídavkem pro honování u výrobku 5002060
 40. operace honovat díru
 50. operace brousit vnější průměr

Hodnoty tepelného zpracování

Tvrzení v ochranné atmosféře Zahřátí na 840 °C ± 5 °C. Po zahřátí prostoje 20 minut.

Prudké ochlazení v oleji Teplota chladicí lázně 70 - 90 °C (max. 150 °C) v klidovém nebo proudícím vzduchu. Dále zachladit až na teplotu místnosti 20 - 30 °C
 Požadovaná tvrdost HRC 63 - 65.

Klidová doba Před popuštěním ca 3 - 5 hodin (max. 12 hodin) ponechat v klidu.

Popuštění v horkovzdušné cirkulační válcovací peci Zahřátí na 180 °C ± 5 °C. Po prohřátí prostoje ca. 2 hodiny.
 Popouštěcí tvrdost HRC 60 - 63.

2.3. Problematika

Jsou navrženy větší přídavky, kvůli tvarovým a rozměrovým změnám po tepelném zpracování. U operace honování, která následuje po tepelném zpracování, jsou kvůli větším přídavkům a tvarovým změnám časy operace příliš dlouhé. Časy operace se liší od sebe podle jednotlivých dávek, či dokonce i dílů v dávce. Naráží se na problém s materiálovým tokem.

V tvarové rozlišnosti tepelně zpracovaných dávek a dílů je náznak problematiky s tepelným zpracováním. V rámci outsourcingu je problém s komunikací a vyjednáváním dodržování potřebných postupů před tepelným zpracováním, jako například uspořádání dílů a fotodokumentace. Z důvodu nízké objednávky je snížena možnost vyjednávání a přechod k jiné firmě by problematiku pravděpodobně nevyřešil.

Tabulka 1 - Tabulka vnitřních přídavků původně navržených po soustružení

označení	Vnitřní Ød2 [mm]	Vnitřní přídavky [mm]
5002071	10	-0,06/-0,09
5002078	17	-0,08/-0,12
5002027	26	-0,15/-0,2
5002060	73	-0,35/-0,4

Z tabulky 1 je patrné, že s větší velikostí průměru jsou navrhovány větší vnitřní přídavky. To je dané většími tvarovými a rozměrovými nepřesnostmi, vznikajícími z většího objemu součástí. V této tabulce jsou vypsány původně navržené vnitřní přídavky.

Tabulka 2 - Tabulka vnitřních přídaveků změněná kvůli tepelnému zpracování

označení	Vnitřní $\varnothing d_2$ [mm]	Vnitřní přídavky [mm]	Změněno o [mm]:
5002071	10	-0,12/-0,16	-0,06/-0,07
5002078	17	-0,15/-0,2	-0,07/-0,08
5002027	26	-0,18/-0,23	-0,03/-0,03
5002060	73	-0,4/-0,45	-0,05/-0,05

Tabulka 2 ukazuje, jak byly přídavky upraveny kvůli operaci tepelného zpracování. Tato změna už do jisté míry ovlivňuje čas operace honování. Na druhou stranu je ale potřebná k zajištění správného průměru a tvarových tolerancí u honování. Z tabulek je patrné, že se více přídavky změnili u menší průměrů více. Zároveň se u těchto průměrů rozšířila velikost přídavek o 0,01 mm.

Úzké místo (bottle neck)

Úzké místo v toku materiálu v logistickém řetězci je charakteristické omezeným výkonem, který ovlivňuje celkový výkon řetězce. Kromě faktoru omezujícího výkon logistického řetězce, jsou pro úzká místa charakteristická specifika:

- dle úzkého místa je nutné řídit celý systém,
- úzké místo rozhodujícím způsobem ovlivňuje úroveň služeb zákazníkům,
- úzká místa určují jak průběh toku materiálu v řetězci, tak velikost zásoby

V tomto případě se úzkým místem stává honovací operace. Výrobní časy jsou nestálé a v rozsahu minut pro součásti s dobrou tvarovou a rozměrovou tolerancí oproti těm se špatnými hodnotami. Nejen, že honovací operace patří mezi nejdražší operace, ale vysoké a nestálé výrobní časy značně ovlivňují i celkové plánování výroby.

2.4. Návrh řešení

Měření geometrických tolerancí tvaru a polohy

Tvarové úchytky se budou měřit na zaslaných vzorcích od firmy Mahr. Vyhodnocovat se bude hlavně sousost, kruhovitost a válcovitost na souřadnicovém měřícím centru. Vyhodnocování bude probíhat v několika fázích a to po:

- 1) soustružení
- 2) tepelném zpracování
- 3) honování a broušení

Výsledky budou porovnány a vyvodí se z nich doporučení pro optimalizaci určených součástí. V případě výsledků, které jsou spojitelné s podobnou chybou, bude optimalizace aplikována na celou výrobu ložiskových pouzder.

3. Materiál 100Cr6

Ocel 100Cr6, jiným označením 14 109, je určená k výrobě valivých ložisek.

Ocel třídy 14 je běžně legována chromem, manganem, hliníkem a křemíkem. Využívají se velice hojně díky jejím dobrým vlastnostem i bez použití nedostatkových prvků. Běžným tepelným zpracováním je kalení, cementování a některé z nich se nitridují (vyšší nároky na čistotu a mikročistotu materiálu – sledování nekovových vměstků, hlavně Al₂O₃). [5].

Z oceli 14 109 se vyrábějí kuličky do průměru 25 mm, válečky a kuželíky do průměru 18 mm a pouzdra valivých ložisek, s tloušťkou stěny do 16 mm. Z materiálu se vyrábějí polotovary. Ty jsou zastoupeny ve formě předvulků, výkovků, tyčí válcovaných za tepla, nebo tažených za studena a na výrobu bezešvých trubek tvářených za tepla. Tyče a trubky jsou u našich pouzder taženy za studena a dodávány v toleranci h9. Pro mechanické vlastnosti materiálu v tomto stavu je mez pevnosti $R_m = 608$ až 726 MPa, tažnost $A_5 = 18$ % a tvrdost max. 220 HB [5, 6].

Tabulka 3 - Chemické složení oceli 14 109 [hm. %] [6]

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Ni+Cu	P	S
0,90-1,10	0,30-0,50	0,15-0,35	1,30-1,65	max 0,30	max 0,25	max 0,50	max 0,027	max 0,030

Ocel je vhodná k přímému kalení a dobře se tváří za tepla. V případě žíhání na měkko je dobře obrobitelná. Výrobky jsou v kooperaci zakaleny na min 63 HRC a následně popuštěny pro odstranění křehkosti, čímž se sníží tvrdost na 60 HRC. V případě zušlechťování je příhodná tloušťka 20 mm. Výrobky z tohoto materiálu vynikají tvrdostí po tepelném zpracování a používají se v oborech s nárokem na vyšší odolnost proti opotřebení. [5].

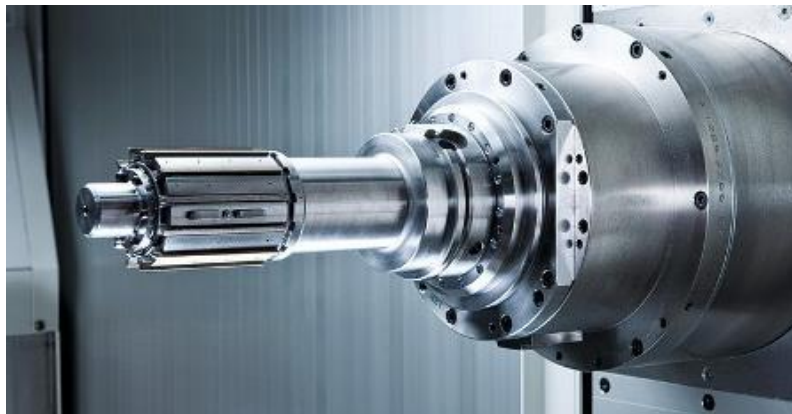
4. Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění. Touto operací je materiál odebírán abrazivním účinkem brusiva honovacích kamenů. Mohou se používat i lišty nebo kartáčky. Prvky jsou upevněny v honovací hlavě. Nejčastější aplikace honování je při dokončování vnitřních ploch. Nejběžnější oblastí použití jsou válce spalovacích motorů, kompresory, bubny, pouzdra ložisek, ozubená kola apod. Honování vnějších válcových ploch není tak časté. Honování lze použít u válcových děr, které mohou být jak průchozí, tak i neprůchozí. Díry mohou mít různě velké a tvarované drážky a velikost honovacích hlav je 1 až 750 mm s délkami až 24 m. [7, 8]

„Honovat lze kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky a další materiály.“ [8]

Honování rozlišujeme podle počtu nástrojů a výsledného požadovaného povrchu:

- jednostupňové (Hrubování a dokončování má jeden nástroj, u dokončování se snižuje tlak p_k nebo zmenšuje úhel 2α)
- dvoustupňové (použije se jeden nástroj s hrubší zrnitostí pro hrubování a jeden jemnozrný pro dokončování). [8]



Obrázek 4 - Ukázka honovací hlavy s brusnými kameny [9]

Během honování se využívá velké množství řezné kapaliny, principiálně vychází z broušení jemným brusivem při využití malých řezných rychlostí. Nástroj vykonává složený šroubovitý pohyb. Ten vzniká kombinací dvou pohybů. Rotačního (v_c) a přímočarého vratného pohybu (v_f). [8]

Vyšší jakost povrchu může být docílena vibračním honováním. K jmenovaným pohybům se připojuje kmitavý pohyb s parametry: Amplituda 1 až 10 mm, frekvence až 1500 Hz. [8]

„Pro **zvýšení úběru** lze využít **elektrolytické honování**, při kterém se místo řezné kapaliny používá vhodný elektrolyt. Příklad na honování je až z 90 % odebírán elektrolytickým rozpouštěním, zbytek je odstraňován abrazivním účinkem honovacích kamenů.“ [8]

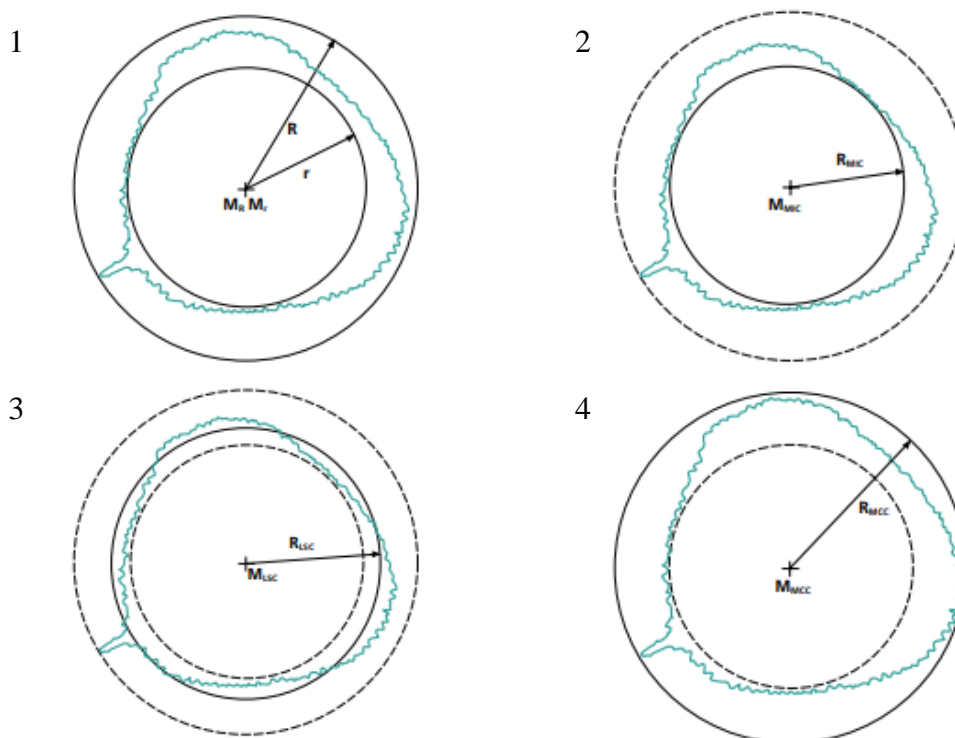
Firma Mahr využívá více stupňového honování, s využitím 3 až 4 druhů honovacích kamenů. Horizontální honovací stroje od firmy Sunnen se vzduchovým měřidlem. [18]

5. Měření na souřadnicovém měřicím stroji

5.1. Vyhodnocovací metody (kružnice)

Naměřené výsledky po obvodu průměru vzorku v jisté vrstvě nám dají křivku nedokonalé kružnice, která není jednoduše popsatelná průměrem bez bližšího upřesnění. Pro vytvoření požadovaného spojení hřídele s dírou je zapotřebí správné uložení. Pro zjednodušené popsání průměru jedním číslem pak lze použít průměr, který je výsledkem jedné z těchto metod:

- Střední kružnice (LSC) – hledání nejmenších čtverců odchylek od nominální kružnice
- Nejmenší mezikružní (MZC) – definice úchylky kruhovitosti
- Nejmenší opsaná kružnice (MCC) – nejmenší kružnice, která profil kruhovitosti opisuje
- **Největší vepsaná kružnice (MIC)** – největší kružnice vepsaná do profilu kruhovitosti



Obrázek 5 - Znárodnění vyhodnocovacích metod. 1 - MZC, 2 - MIC, 3 - LSC, 4 – MCC [10]

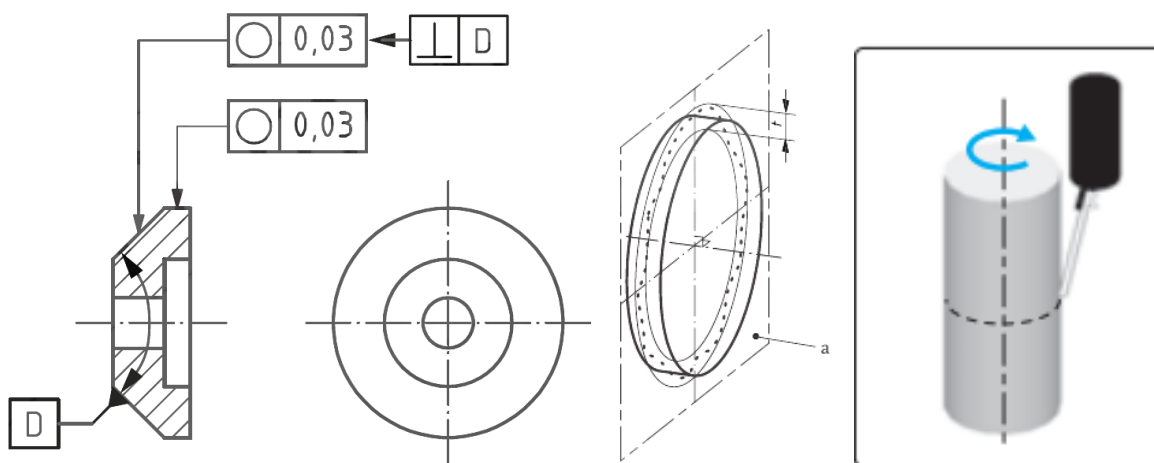
Součást je primárně vyhodnocována dle metody největší vepsané kružnice vhodné pro vyhodnocení vnitřních průměrů, které jsou pro optimalizaci nejdůležitější. Pro vnější průměry používám vyhodnocení nejmenší opsané kružnice a pro sousost je použito vyhodnocení střední kružnicí. [10]

5.2. Geometrické tolerance tvaru a polohy

Geometrické tolerance vyhodnocují kvůli zjištění odchylky tvaru a polohy. Žádné těleso není naprosto dokonalé, jejich nedokonalosti a odchylky od ideálního tvaru popisují právě geometrické tolerance. Zjištěním velikosti odchylky je možné vyhodnotit a porovnat jednotlivé součásti a odhalit problematické části.

Kruhovitost

Definice – „Toleranční pole je v rovině měření kolmé k ose ohraničeno dvěma soustřednými kružnicemi se šířkou mezikruží t.“ [13]



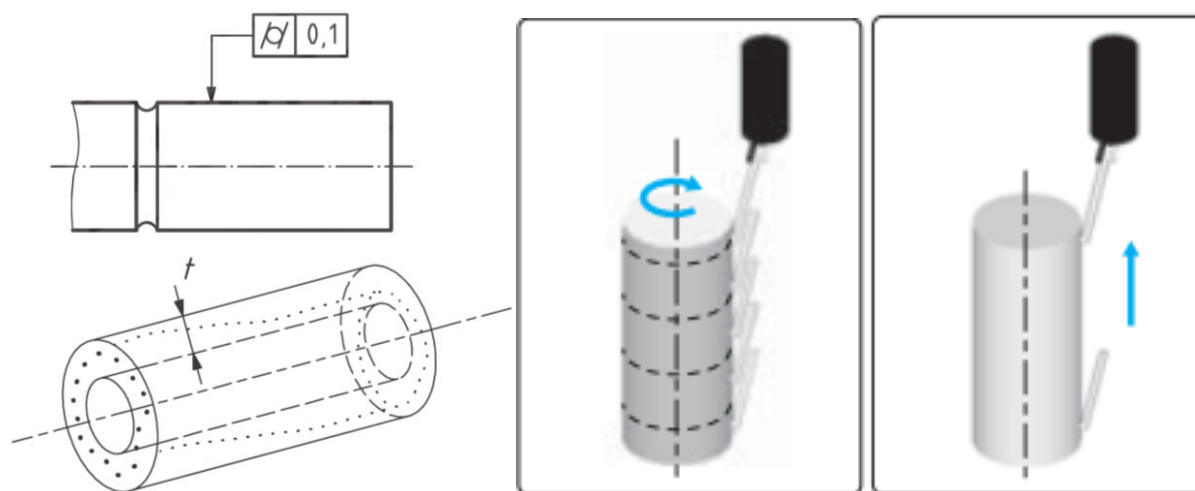
Obrázek 6 - Značení a vzhled tolerance kruhovitosti a její měření [11, 12]

Měření kruhovitosti

Kruhovitost vyhodnocují měřením kružnice v jedné rovině. O kruhovitost se zajímám hlavně u vnitřního průměru.

Válcovitost

Definice – „Toleranční prostor je ohraničen dvěma sousými válci vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance t.“ [13]



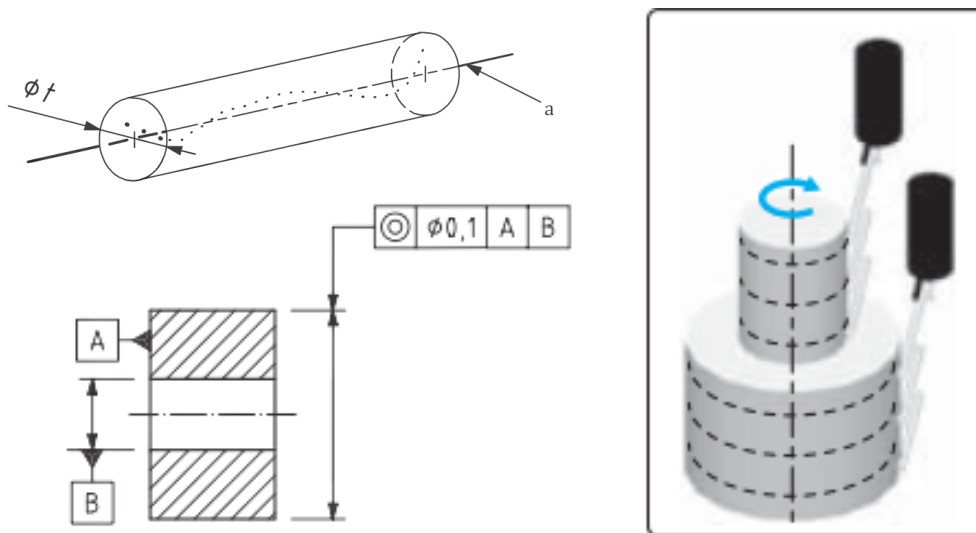
Obrázek 7 - Značení a vzhled tolerance válcovitosti a způsob měření [11, 12]

Měření válcovitosti

Válcovitost vyhodnocuji měřením pěti stejně vzdálených kružnic nebo čtyř přímk pootočených o 90° .

Souosost

Definice – „Je-li před toleranční hodnotou znak (průměr), je toleranční prostor ohraničen válcem o průměru t , jehož osa je totožná se základní osou.“ [13]



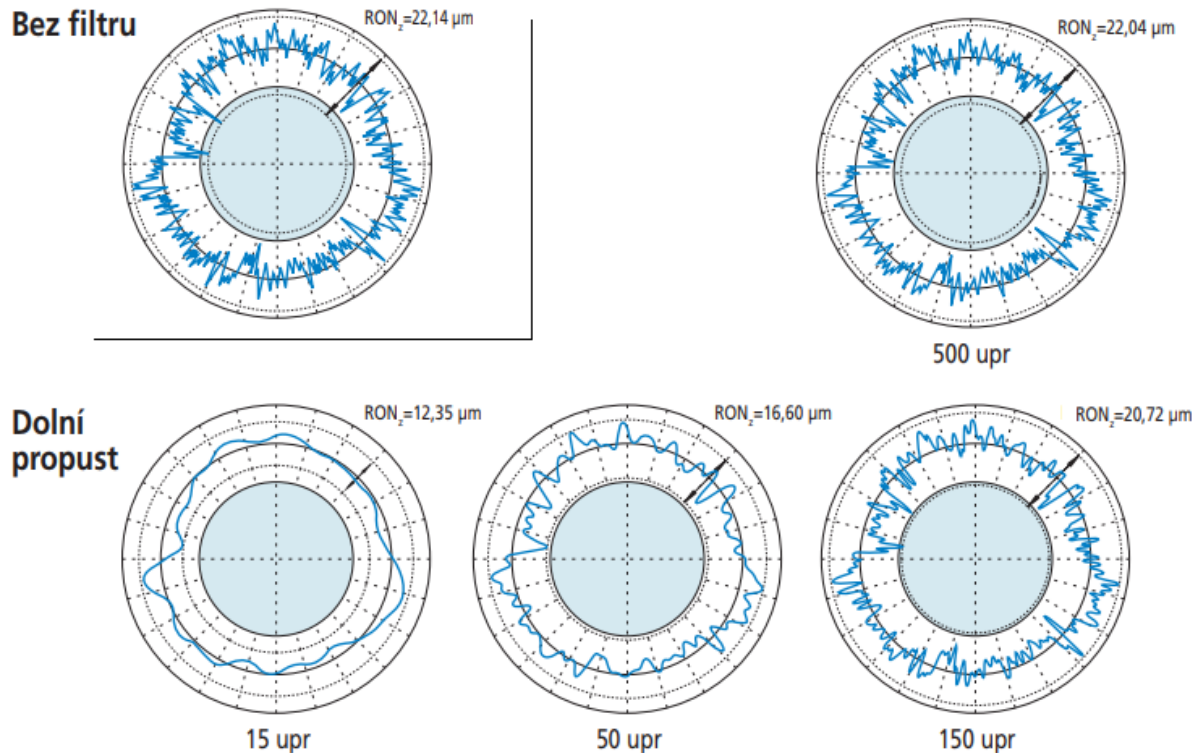
Obrázek 8 - Značení a vzhled tolerance souososti a způsob měření [11, 12]

Měření souososti

Souosost vyhodnocuji porovnáním vnitřního a vnějšího průměru, kde v několika rovinách měřím kružnice. Jako základnu volím vnitřní průměr.

5.3. Vliv nastavení filtru na měřený profil

Hodnoty kruhovitosti (RONz), tak jak jsou naměřeny, jsou do značné míry ovlivněny změnou hodnoty filtru cutoff. Filtr je třeba vhodně nastavit pro požadované vyhodnocování



Obrázek 9 - Vliv zavedení filtru měření na výsledky měření [11]

Stavy 5 až 15 UPR často indikují faktory nerovnováhy metody obrábění nebo procesů použitých k výrobě obrob. Stav 15 UPR (nebo vyšší) je obvykle způsoben chvěním nástroje, vibracemi stroje, účinky chladicí kapaliny, nehomogenitou materiálu atd. a je všeobecně více důležitý pro funkčnost než pro úpravu obrobku. [11]

Pro toto měření a dle požadovaných výsledků jsem zvolil 50 upr. Tuto hodnotu filtrace je nutno nastavovat v programu Calypso. Díky filtraci oddělujeme od chtěných výsledků i vyhodnocení drsnosti a vlnitosti.

6. Postup měření

Zadané součásti jsou dle výkresů vymodelovány v Solidworks a převedeny do formátu kompatibilního s programem Calypso (.stp). Zde je pak nastaven způsob měření na souřadnicovém měřicím stroji Carl Zeiss Prismo s aktivním skenovacím systémem Vast Gold. [14]



Obrázek 10 - Souřadnicový měřicí stroj Carl Zeiss Prismo ultra [15]

Příprava před měřením

Do programu Calypso je možné nahrát CAD soubor a na něm určit elementy. Ty jsou definovatelné prostorovou geometrií a prvky, sloužícími k určení souřadného systému. Častým vymezením je metoda 3, 2, 1. Tento název je odkaz na určení rovny, přímky a bodu (a vymezení pomocí nich). Hlavní je ale vymezení 6 stupňů volnosti jako jsou rotace a pohyby ve 3 základních osách (x, y, z). Další využitelné metody jsou metoda 3D připasování, RPS a 6P. Další využití jednotlivých elementů slouží k určení charakteristik měření, a tedy jeho vyhodnocení. Pomocí elementů a strategií měření pak můžeme vyhodnocovat v našem případě tvarové tolerance jako je kruhovitost, válcovitost a obvodové házení. Z CAD modelu je definován i bezpečnostní kvádr souřící k bezpečnému pohybu měřicího snímače v prostoru kolem ustanovené, měřené součásti.

Nastavení snímače

Před spuštěním programu se musím zajímat i o nastavení snímače. Sestava se skládá z upínacího talířku, prodloužení o požadovaném průměru a délce, spojovacího prvku, a hlavně měřicího dotyku. Používaný snímač pro mé měření je velice jednoduchý a skládá se pouze z upínacího talířku, prodloužení a měřicího dotyku v ose Z (rubínová koule o průměru 3 pro 5002071 a o průměru 5 pro zbylé součásti). Jednotlivé prvky jsou spojeny závitem a upnuty na stroj. Vše je potřeba nastavit jako modul snímacího systému v Calypsu a přesvědčit se, že pro správnou součást používáme správný snímač (hlavně kvůli vnitřnímu průměru součásti).

Kalibrace snímacího systému

Kalibrace je provedena přes referenční snímač, kde se měří poloha kalibrační koule. Po tomto měření se referenční snímač vymění za snímač námi sestavený a po najetí na dotyk se provede kalibrace snímacího systému.



Obrázek 11 – Průběh měření na vzorku 5002078

Nastavení teplotní kompenzace

Teplotní kompenzace byla nastavena v programu na koeficient 12. V průběhu měření se teplota pohybovala v rozsahu 0,6°.

Nastavení rychlosti měření, bodů dotyku a filtrace

Rychlost měření jsem nastavil pro měření po obvodu na 3 mm/s a pro měření po přímce na 5 mm/s. Kromě prvotního stanovení polohy a tvaru, kde jsem dotykem snímače určoval výšku válce jedním bodem, průměr a naklonění válce osmi body ve dvou rozdílných výškách, jsem zbylé měření mapoval scanningem. To znamená, že místo měření pár body se měří tisícovkami bodů. Pro můj případ bylo nastaveno 1000–1500 bodů. Stroj je ovšem omezen rychlostí a velikostí kroku. Filtrace u měření kruhových profilů byla nastavena na hodnotu 50 a u přímkových na 12,5.

Příprava na měření

Před zahájením měření je nutné se přesvědčit v editoru plánu měření, že se najíždí všude snímačem v souřadnici Z. Pro ujištění správného a bezpečného měření mohou použít simulaci, která vyhodnotí případné kolize a upozorní nás na nedostatky a špatné nastavení měřicího plánu.

Očištění součástí je také velice důležitou součástí přípravy na měření. Všechny součásti by měli být očištěny hlavně o mechanické nečistoty, jako jsou zbytky třísek po obrábění. Ty mohou zapříčinit chybu měření a poškodit měřicí dotyk.

Upnutí se řeší dle měřené součásti. Většina měřených součástí je upnuta pomocí sklíčidla, svěráku, upínek a šroubů. Rozdíl v upnutí je u dílu 5002060, který se upíná na magnetickou desku.

Měření

V rámci prvního měření dané série je potřeba ručně najet, určit polohu a případné naklonění měřené součásti, a tedy součást vyrovnat. Tímto vymezím a určím reálné ustavení součásti v prostoru souřadnicového měřicího stroje a převedu tak návrh z Calypsa do reálně proveditelného měření.

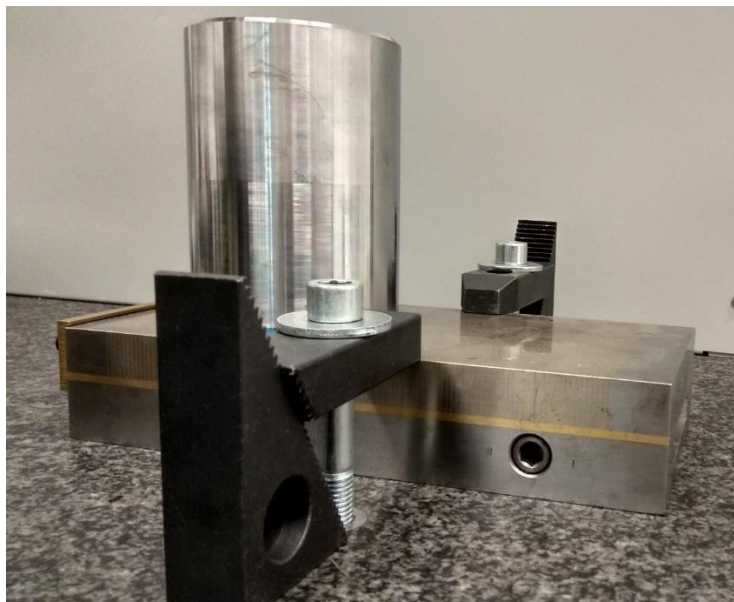
V mém případě, po definici válce (8 bodů ve 2 rovinách) a jeho výšky (bod) systém přejde do samostatného měření. U dalších měření se již nemusím starat o nic jiného než o správné upnutí měřené součásti, kontrolu výsledků a spouštění dalších cyklů.

Výsledky měření

Výsledkem měření je protokol, soubory s daty vyhodnocující měření, a i grafické vyhodnocení požadovaných vlastností.

Měření dílu 5002060

Tento díl kvůli svým rozměrům má několik rozdílů. Snímač je bez prodloužení. Měřicí dotyk v ose Z je dlouhý 180 mm a rubínová kulička má průměr 8 mm. Kvůli velikosti měřené součásti je díl upnut na magnetickou desku (viz obr). Díky tomuto upnutí jsem schopen součást měřit ve větším rozsahu a nejsem omezen čelistmi universálního sklíčidla. Ostatní součásti takto opnuty být nemohly, z důvodu nezaručení stability při měření, kvůli malé opěrné ploše. Rychlost měření byla nastavena na 5 mm/s.



Obrázek 12 - Způsob uchycení dílu 5002060 (kuličkové pouzdro s vnitřním průměrem 73 mm).

6.1. Měření dílů po soustružení

Soustružené díly by neměly mít viditelné vady. Všeobecně kontroluji díly hlavně z hlediska tvaru a snažím se zmapovat, zda některé nedostatky po soustružení mají spojitost s dopadem na vyšší tvarové deformace po kalení.

Stav dílů

Vizuálně mají vzorky hladký povrch. Znečištění je jen lehké od manipulace, oleje a u dílů 5002060 se vyskytuje drobná povrchová koroze způsobena ruční manipulací se součásti.



Obrázek 13 - příchozí stav dílů po soustružení

Díly jsem zbavil veškerých nečistot za pomoci lihu a utěrky. Vizuálně jsem díly zkontroloval, případně dočistil a označil jsem je svislou čarou a číslem. Významem svislé čáry bylo přibližně podobné upnutí při následujícím měření po další operaci (kalení, honování). Význam čísla byl podobný. Hlavním cílem bylo následné porovnání dat na stejných součástech.

6.2. Měření dílů po kalení

Kalené díly by měly být značně tvarově zdeformované. Hlavní vlivem bude nerovnoměrné zahřívání a tepelně ovlivněné části vzorků. Probíhá zde zásadní kontrola dílů z hlediska změny tvarové a objemové po tepelném zpracování.

Měření a vyhodnocení kalených dílů beru jako zásadní. Díky němu získám větší náhled na možné zacházení s díly a na konkrétní důsledky tepelného zpracování na součásti. Očekávám velké tvarové a rozměrové změny. Toto měření by nejvíce mělo pomoci tvorbě návrhu optimalizace.

Stav dílů

Kalené díly mají značně změněný vzhled. Jsou na nich patrné tepelně ovlivněné části.



Obrázek 14 – stav dílů po kalení

Díly jsem opět očistil a vizuálně zkontroloval před měřením. Značky na dílech byly překresleny fixem, s vlastností výdrže tepelného zpracování.

6.3. Měření dílů po honování

Honované díly by měly být již perfektně připravené a vhodné k montáži. Měly by dosahovat veškerých předepsaných tolerancí. Měření provádím jen pro náhled na finální dosahované výsledky. Největším přínosem bude honovací čas dílu a jeho porovnání s naměřenými daty po kalení.

Stav dílů

Honované díly jsou lesklé a mají malou drsnost.



Obrázek 15 - Stav dílů po honování (foto s navíc poslanými díly)

Díly jsem očistil. Kromě odstranění značek jsou díly nekompletní. Není tak z měření patrná návaznost na kalené součásti. Nicméně s odebráním většího množství materiálu by tato změna neměla být patrná na výsledných naměřených hodnotách. Z časových důvodů nebudou naměřeny díly 5002060.

V této části měření přišlo období dovolených a naskytly se zde menší komplikace. Vzorků 5002071 bylo zasláno pouze 9 kusů a u vzorků 5002078 jen 7. Tyto počty odpovídali již zkontrolovaným dílům, které prošli interním měřením ve firmě Mahr. Ostatní byly vyřazeny jako neopravitelné díly. V důsledku menšího počtu zaměstnanců a změny zodpovědnosti došlo i k záměně dílů a díly 5002027 byly poslány po honování znova na teplené zpracování. Z tohoto důvodu se od těchto vzorků naměří jen pár vybraných kusů pro zajímavost a výsledky nebudou dále hodnoceny.

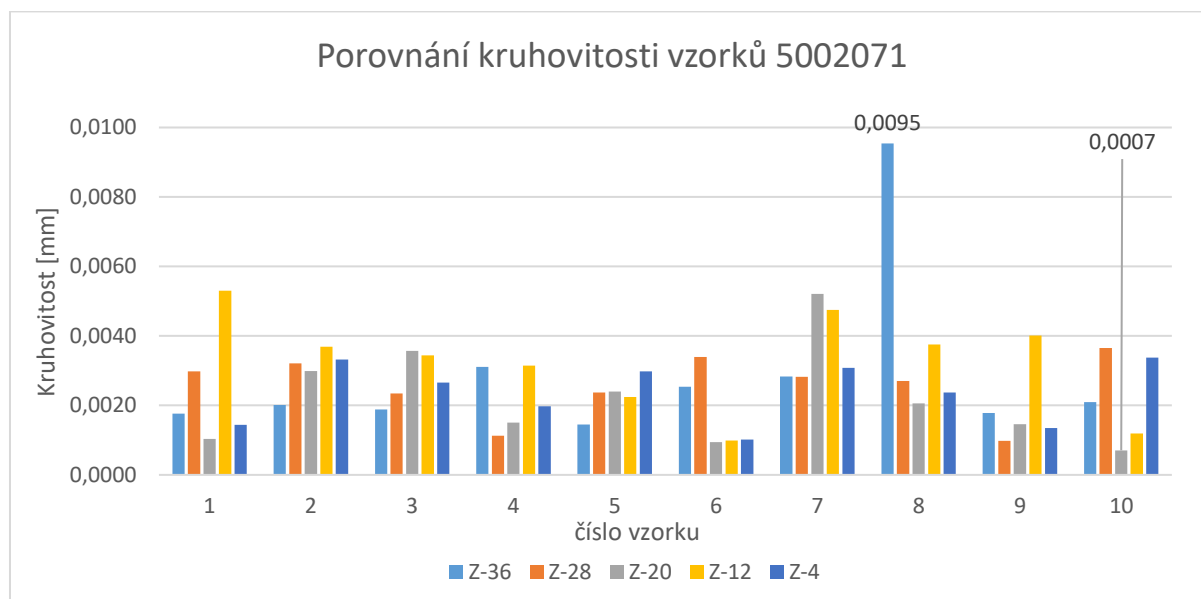
Je třeba brát v potaz chybu při měření délky, která se pohybuje u školního souřadnicového měřicího centra kolem $\pm 1 \mu\text{m}$. Toto měření je tedy bráno jako orientační a k výsledkům se musí takto přistupovat. Přesnějšího měření s nižší nejistotou by se dalo dosáhnout na kruhoměru.

7. Výsledky měření

V této části se věnuji naměřeným hodnotám a porovnávám je. Veškerá číselná data pocházejí z tabulkového vyhodnocení z měření na souřadnicovém měřicím stroji Carl Zeiss Prismo. V grafech porovnávám hlavně kruhovitost, válcovitost a souosost vzorků. Tabulky pak shrnují důležité výsledky měření.

7.1. Výsledky měření soustružených vzorků 5002071

Vzorky 5002071 mají malý průměr 14 mm a délku pouze 40 mm. Jedná se o vzorky objemově nejmenší, a tudíž zde jsou menší tvarové nepřesnosti než u ostatních.



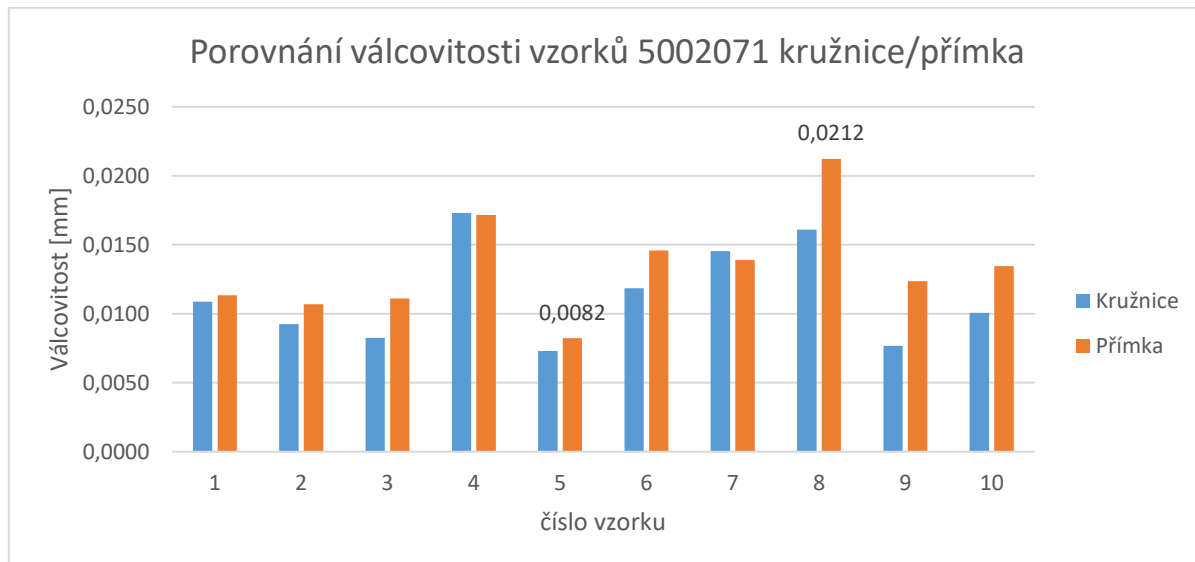
Obrázek 16 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002071 vycházející z tabulky 4

Obrázek 14 nám ukazuje porovnání kruhovitosti v jednotlivých řezech vzorků. Minimum kruhovitosti je 0,0007 mm a maximum 0,0095 mm. Průměrná hodnota kruhovitosti je 0,0027 mm. Tyto hodnoty jsou očekávatelné a přípustné v rámci hodnot po soustružení.



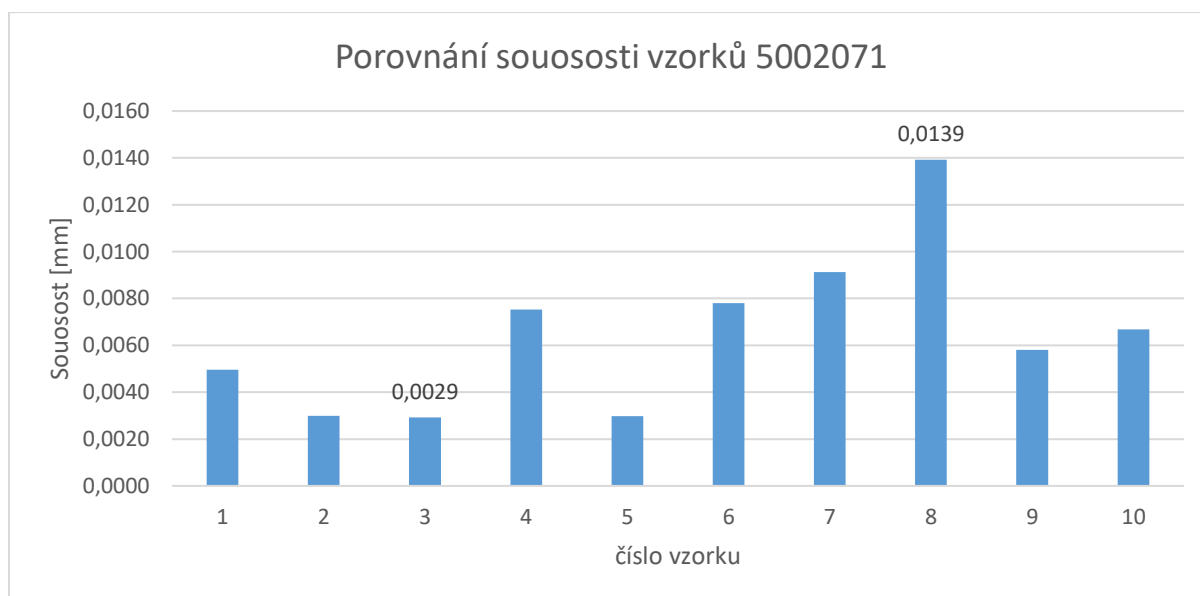
Obrázek 17 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002071 vycházející z tabulky 4

V obrázku 15 můžeme vidět vyhodnocení válcovitosti, kdy maxima dosahují 0,0173 mm a minima 0,0073 mm. Leč hodnoty vzorku 4 a 5 mají kruhovitosti podobně nízké, válcovitosti mají v extrémech. Vzorek 4 tedy pravděpodobně má jednotlivé měřené kružnice více vychýlené od sebe. Průměry 4. vzorku jsou větší o 0,02 až 0,04 mm oproti 5. vzorku. Průměrná hodnota kruhovitosti je 0,0113 mm.



Obrázek 18 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002071 kružnice/přímka vycházející z tabulky 4

Při vyhodnocení válcovitosti pomocí povrchových přímek je válcovitost, kromě vzorku 7, vyšší. Maximum se tak posouvá u vzorku 8 na 0,0212 mm a minimum se posouvá u vzorku 5 na 0,0082 mm.



Obrázek 19 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002071 vycházející z tabulky 4

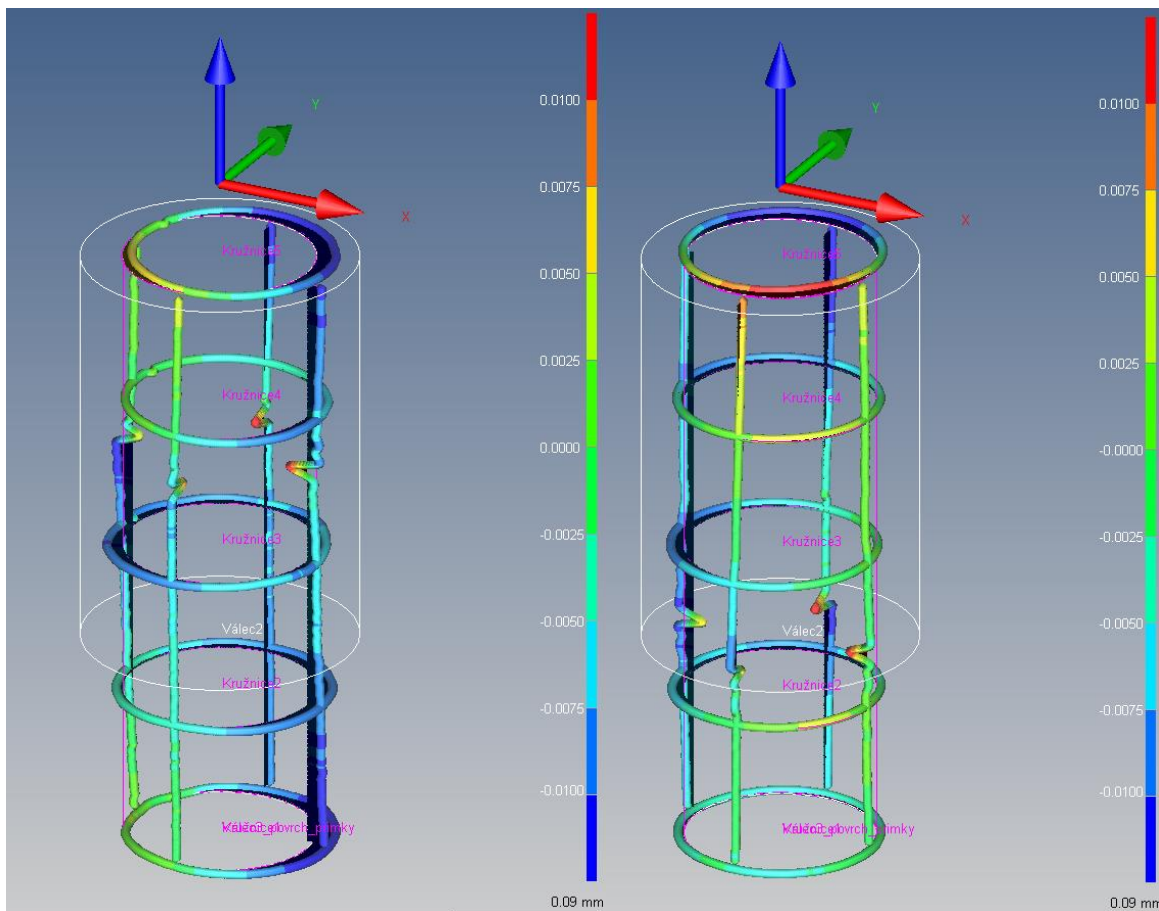
U sousosti vyhodnocuji vnější průměr vůči vnitřnímu. Maximem sousosti je vzorek číslo 8 s naměřenou hodnotou 0,0139 mm a minimem vzorek číslo 3 s hodnotou 0,0029 mm.

Shrnutí

S těmito výsledky můžeme podezřívat vzorky 4 a 8, že budou mít horší výsledky po tvarování, oproti ostatním vzorkům. To ovšem jen pokud se hypotéza o vlivu větších úchylek potvrdí. Z tabulky 4 je patrné, že pro vnitřní průměr 10 mm jsou dodrženy upravené vnitřní přídavky -0,12 až -0,16 mm a je snaha se pohybovat kolem nižší hodnoty přídavku, a tak ušetřit čas operace honování. Všeobecně výsledky odpovídají výsledkům z operace soustružení a nevidím zde náznaky zanedbání pracovní kázně či nedodržení technologického postupu.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 80



Obrázek 20 – Obrázek grafického znázornění soustružených vzorků 5002071 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí po kalení

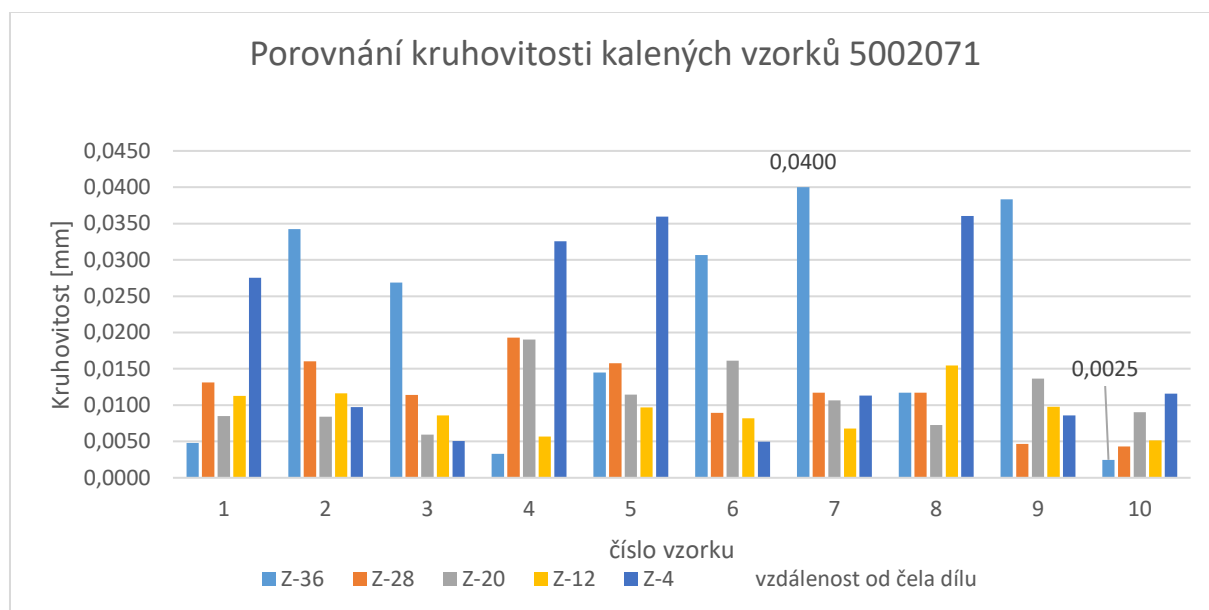
Z obrázku jsou patrné přechody mezi soustruženými částmi vzorků z obou stran.

Tabulka 4 - číselné výsledky měření vzorků 5002071

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-36	9,8677	9,8520	9,8513	9,8849	9,8480	9,8661	9,8690	9,8456	9,8599	9,8619	9,8849	9,8456	9,8606
Z-28	9,8651	9,8499	9,8517	9,8875	9,8455	9,8650	9,8732	9,8531	9,8635	9,8607	9,8875	9,8455	9,8615
Z-20	9,8799	9,8611	9,8602	9,8880	9,8514	9,8573	9,8722	9,8462	9,8637	9,8655	9,8880	9,8462	9,8646
Z-12	9,8719	9,8577	9,8520	9,8651	9,8507	9,8608	9,8636	9,8487	9,8609	9,8619	9,8719	9,8487	9,8593
Z-4	9,8732	9,8549	9,8516	9,8677	9,8471	9,8608	9,8659	9,8487	9,8654	9,8553	9,8732	9,8471	9,8591
Kruhovitost Z-36	0,0018	0,0020	0,0019	0,0031	0,0014	0,0025	0,0028	0,0095	0,0018	0,0021	0,0095	0,0014	0,0029
Kruhovitost Z-28	0,0030	0,0032	0,0023	0,0011	0,0024	0,0034	0,0028	0,0027	0,0010	0,0037	0,0037	0,0010	0,0026
Kruhovitost Z-20	0,0010	0,0030	0,0036	0,0015	0,0024	0,0009	0,0052	0,0021	0,0015	0,0007	0,0052	0,0007	0,0022
Kruhovitost Z-12	0,0053	0,0037	0,0034	0,0031	0,0022	0,0010	0,0048	0,0038	0,0040	0,0012	0,0053	0,0010	0,0033
Kruhovitost Z-4	0,0014	0,0033	0,0027	0,0020	0,0030	0,0010	0,0031	0,0024	0,0013	0,0034	0,0034	0,0010	0,0024
Valcovitost D9,8	0,0109	0,0092	0,0083	0,0173	0,0073	0,0118	0,0145	0,0161	0,0077	0,0101	0,0173	0,0073	0,0113
Válcovitost D9,8_povrch_přímky	0,0113	0,0107	0,0111	0,0172	0,0082	0,0146	0,0139	0,0212	0,0124	0,0135	0,0212	0,0082	0,0134
D14,2_5xZ-4;-25	14,1891	14,1548	14,1544	14,1897	14,1569	14,1889	14,1704	14,1541	14,1801	14,1797	14,1897	14,1541	14,1718
Obv_haz_D14,2_k_zakl_A	0,0173	0,0169	0,0131	0,0301	0,0149	0,0152	0,0328	0,0352	0,0183	0,0199	0,0352	0,0131	0,0214
Válcovitost D14,2	0,0052	0,0092	0,0099	0,0081	0,0083	0,0054	0,0085	0,0102	0,0077	0,0053	0,0102	0,0052	0,0078
Přímmost_osy_zakl_A	0,0050	0,0030	0,0029	0,0075	0,0030	0,0078	0,0091	0,0139	0,0058	0,0067	0,0139	0,0029	0,0065

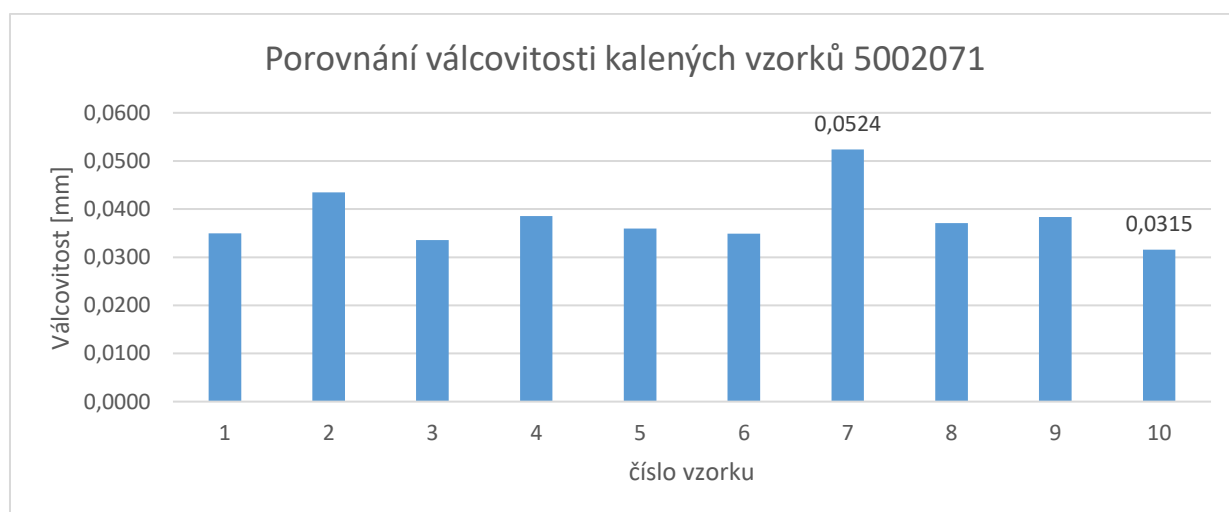
7.2. Výsledky měření kalených vzorků 5002071

Opět kvůli menším průměrům by vzorky neměli mít tak velké odchylky. Očekávám ovšem značnou změnu tvaru.



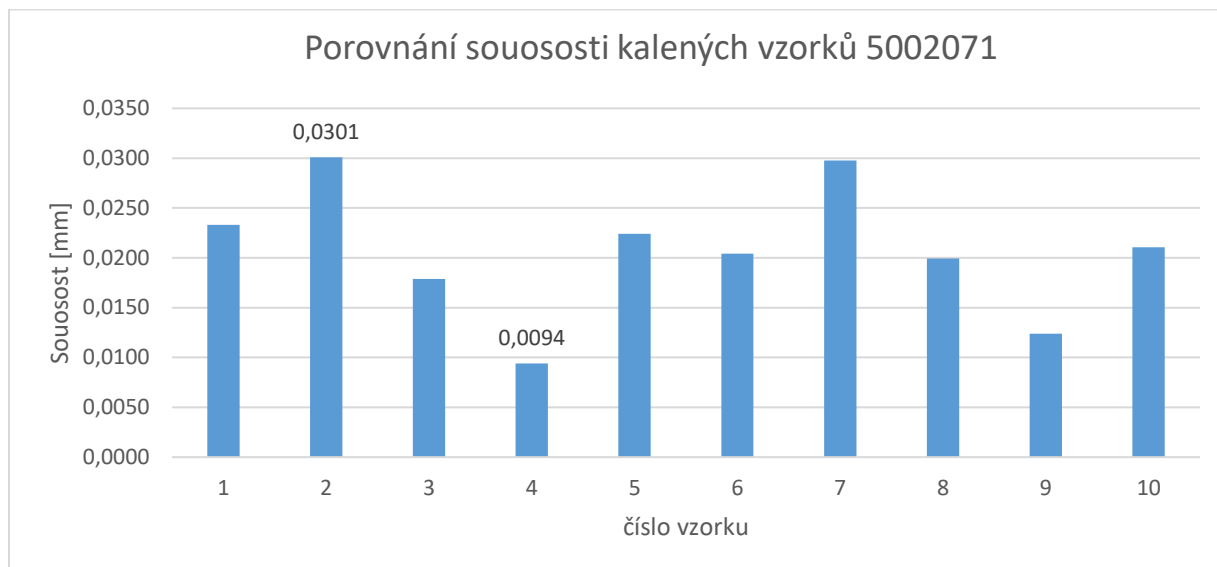
Obrázek 21 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002071 vycházející z tabulky 5

Z obrázku 17 je patrná jedna hlavní vlastnost kalených vzorků 5002071. Objevuje se zde, až na výjimku vzorku 10, značně zvýšená kruhovitosť krajní části vzorku. To může být zapříčiněno uložením vzorků v kalící peci, kdy je tato část vzorku příliš rychle, nebo naopak příliš pomalu, ohřívána oproti zbytku dílu. Je tedy více ovlivněna zdrojem tepla. Hodnota maxima kruhovitosti je 0,04 mm a minima 0,0025 mm. V případě vymezení tepelně ovlivněných krajů, a tedy upravení výsledků o maxima by průměrná kruhovitosť byla přibližně 0,005 mm. Při srovnání krajních maximálních hodnot měření se průměrná kruhovitosť pohybuje kolem 0,015 mm.



Obrázek 22 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002071 vycházející z tabulky 5

Válcovitost kalených vzorků má minimum u vzorku 10, s hodnotou 0,0315 mm a maximum u vzorku 7, které činí 0,0524 mm. Průměrná hodnota válcovitosti kalených vzorků se pohybuje kolem 0,0381 mm.



Obrázek 23 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002071 vycházející z tabulky 5

Maximální sousost kalených vzorků je 0,0301 mm u vzorku 2 a minimum je 0,0094 u vzorku 4. Není vidět návaznost sousosti vzorků po soustružení a po kalení. Maxima a minima jsou podobná, ale průměrná hodnota se zvedla z 0,007 mm na 0,01 mm.

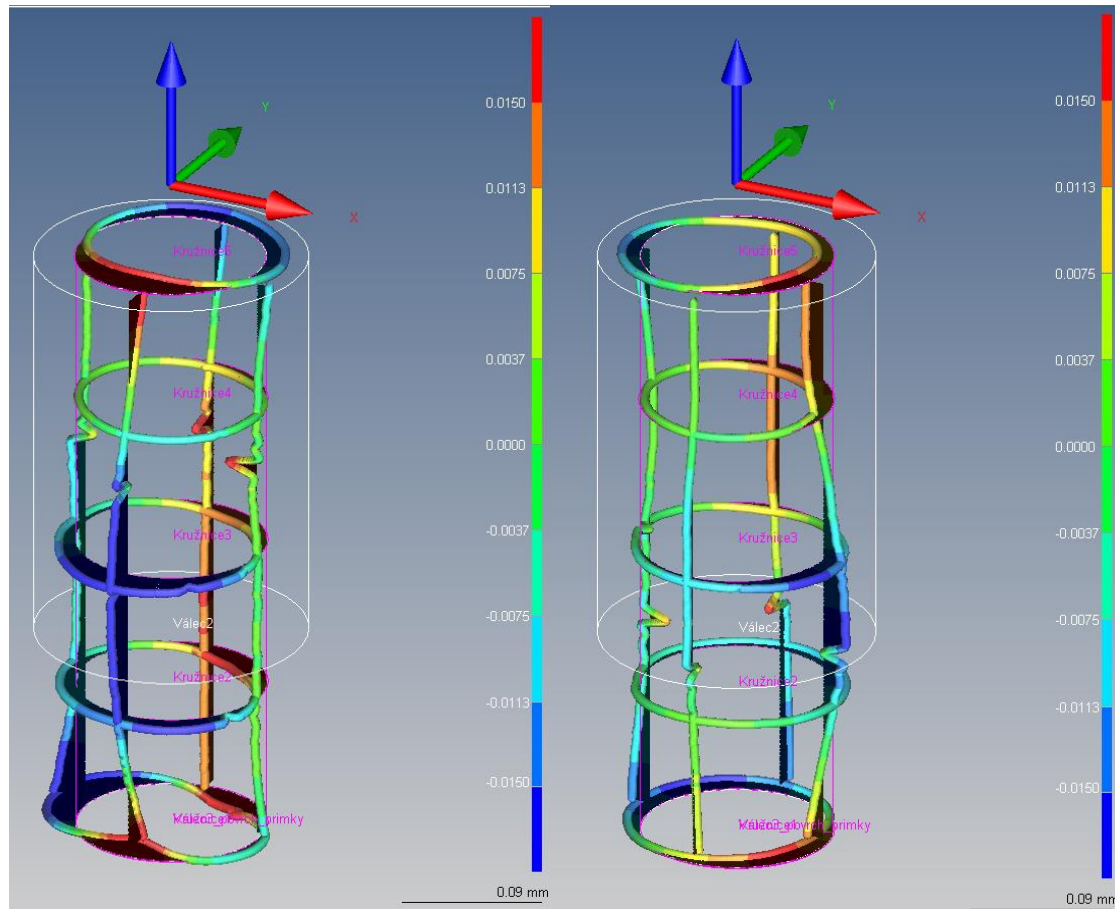
Shrnutí

Na základě těchto výsledků jsem určil tři vzorky, na kterých bude naměřen čas operace honování. Vzorky jsem zvolil jako maximum a minimum válcovitosti a vzorek třetí jako porovnávací.

Hlavní rozhodovací složkou při hodnocení vzorku je čas operace honování. Nejkratší čas by měl být zaznamenán u vzorku 10. Nejdelší u vzorku 7 a mezi nimi by měl ležet vzorek 5.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 80



Obrázek 24 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002071 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí

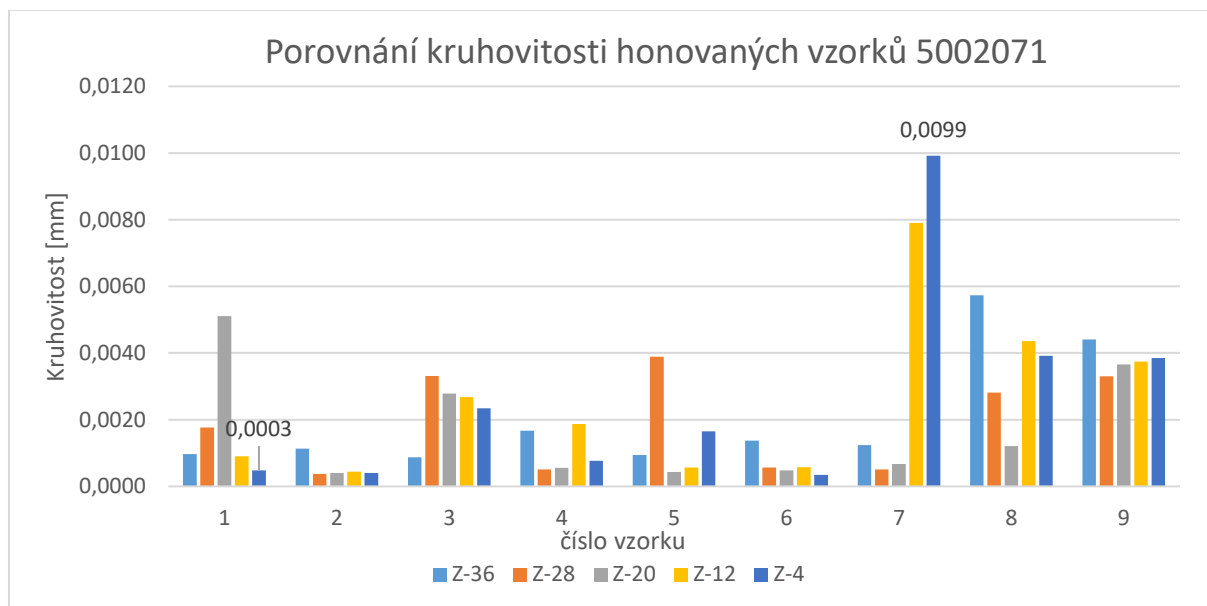
Z obrázku vyplývá, jak tepelným ovlivněním došlo k větší deformaci jedné části vzorku. Přechod od soustružení je stále patrný a v realitě navyšuje výslednou válcovitost.

Tabulka 5 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002071

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-36	9,8697	9,8111	9,8182	9,8903	9,8406	9,8377	9,8294	9,8507	9,8236	9,8657	9,8903	9,8111	9,8437
Z-28	9,8623	9,8365	9,8389	9,8818	9,8402	9,8671	9,8671	9,8517	9,8633	9,8721	9,8818	9,8365	9,8581
Z-20	9,8793	9,8611	9,8577	9,8799	9,8511	9,8536	9,8766	9,8459	9,8634	9,8665	9,8799	9,8459	9,8635
Z-12	9,8669	9,8521	9,8460	9,8603	9,8426	9,8624	9,8662	9,8340	9,8639	9,8511	9,8669	9,8340	9,8546
Z-4	9,8499	9,8540	9,8499	9,8429	9,8137	9,8661	9,8634	9,8158	9,8700	9,8462	9,8700	9,8137	9,8472
Kruhovitost Z-36	0,0048	0,0342	0,0269	0,0033	0,0145	0,0306	0,0400	0,0117	0,0383	0,0025	0,0400	0,0025	0,0207
Kruhovitost Z-28	0,0131	0,0160	0,0114	0,0193	0,0158	0,0089	0,0117	0,0117	0,0047	0,0043	0,0193	0,0043	0,0117
Kruhovitost Z-20	0,0085	0,0084	0,0059	0,0190	0,0114	0,0161	0,0106	0,0073	0,0137	0,0090	0,0190	0,0059	0,0110
Kruhovitost Z-12	0,0113	0,0116	0,0086	0,0057	0,0097	0,0082	0,0068	0,0155	0,0098	0,0051	0,0155	0,0051	0,0092
Kruhovitost Z-4	0,0275	0,0097	0,0051	0,0326	0,0360	0,0050	0,0113	0,0360	0,0086	0,0116	0,0360	0,0050	0,0183
Valcovitost D9,8	0,0349	0,0435	0,0336	0,0386	0,0360	0,0349	0,0524	0,0371	0,0383	0,0315	0,0524	0,0315	0,0381
Válcovitost D9,8_povrch_primky	0,0243	0,0319	0,0203	0,0384	0,0310	0,0345	0,0462	0,0267	0,0334	0,0277	0,0462	0,0203	0,0314
D14,2_5xZ-4;-25	14,2278	14,1881	14,1762	14,2432	14,2040	14,2289	14,2015	14,2056	14,2177	14,2147	14,2432	14,1762	14,2108
Obv_haz_D14,2_k_zakl_A	0,0424	0,0508	0,0415	0,0473	0,0587	0,0462	0,0596	0,0583	0,0378	0,0390	0,0596	0,0378	0,0482
Válcovitost_D14,2	0,0323	0,0261	0,0130	0,0352	0,0402	0,0190	0,0172	0,0394	0,0181	0,0222	0,0402	0,0130	0,0263
Přímmost_osy_zakl_A	0,0233	0,0301	0,0179	0,0094	0,0224	0,0204	0,0298	0,0199	0,0124	0,0211	0,0301	0,0094	0,0207

7.3. Výsledky měření honovaných vzorků 5002071

Jak již bylo zmíněno, finální počet poslaných dílů byl 9 kusů. Označení dílu v této části nijak neodpovídá předešlému značení.



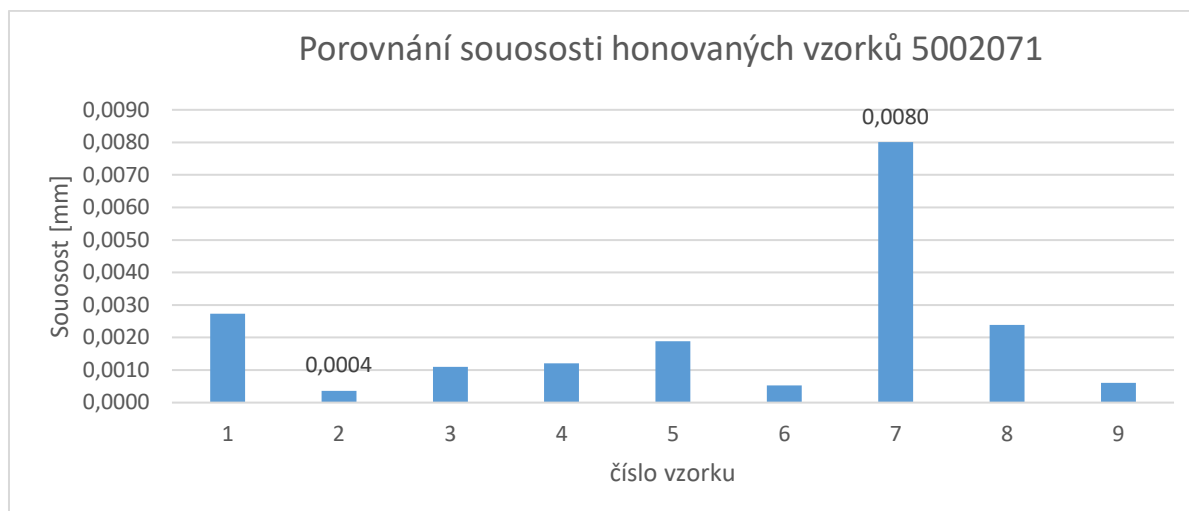
Obrázek 25 - Graf porovnání kruhovitosti honovaných vzorků 5002071 vycházející z tabulky 6

U honování je výsledná kruhovitost velice přesná. Vzorky se dostávají na minima o hodnotě 0,3 μm . Nejpřesněji vychází vzorek 2. Maximum se objevuje u vzorku 7 s hodnotou takřka 10 μm . Z výsledků kruhovitosti (a naměřeného průměru) vyplývá, že u vzorku 7 mohlo dojít k nesprávné manipulaci při vyndávání tělesa z honovací hlavy nebo nebyl vzorek řádně očištěn před měřením.



Obrázek 26 - Graf porovnání válcovitosti honovaných vzorků 5002071 vycházející z tabulky 6

Z tabulky vychází přímkové měření válcovitosti několikanásobně nižší, a to do 1 μm . Z grafu je pak jasně zřetelné, že maximální naměřená válcovitost byla dosažena u vzorku měřeného v sedmém pořadí s výsledkem 0,0099 mm. Minimální válcovitost vyšla u vzorku číslo 2 o hodnotě 1,1 μm . V případě našeho měření jsou výsledky válcovitosti rovny výsledkům maxima kruhovitostí.



Obrázek 27 - Graf porovnání sousosti honovaných vzorků 5002071 vycházející z tabulky 6

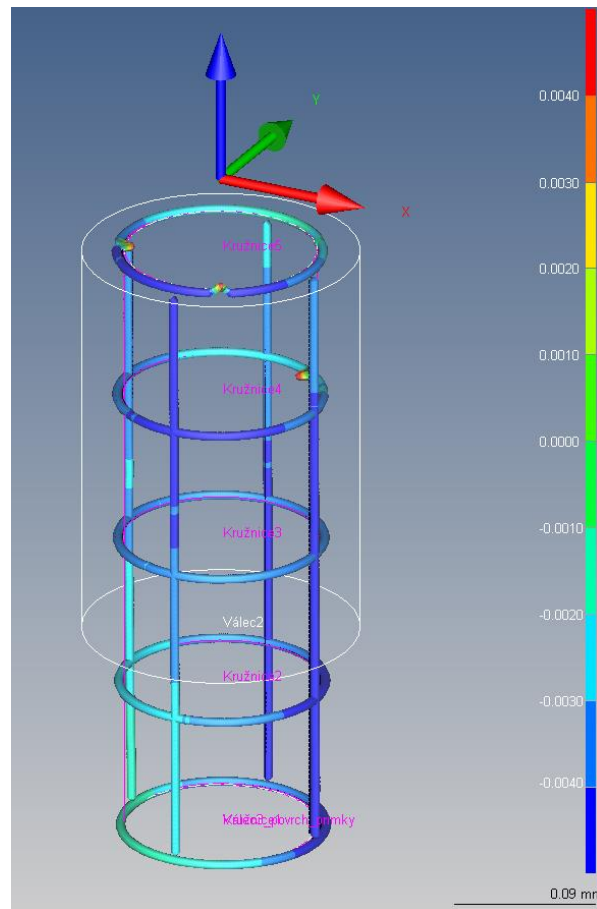
Sousost má opět maximum u 7. vzorku, 8 μm a minimum u 2. vzorku, 0,4 μm .

Shrnutí

V tabulce jsou vidět naměřené průměry. Tolerance na výkrese je 9,995 +0,002. Z výsledků hodnocení je tak patrné, že i při uvažování chyby $\pm 1 \mu\text{m}$ tato tolerance nebyla dosažena u některých vzorků. Výsledné naměřené vnitřní průměry jsou nižší, než je požadovaná tolerance a v případě potřeby jsou opravitelné. V případě nesprávně očištěného vzorku by tyto výsledky dávaly smysl. Smítko z utěrky mezi kuličkou a měřeným materiálem může značně ovlivnit výsledek. Při odkazech na Mahr katalog a porovnávání dosahovaných přesností geometrických tolerancí je nutno říci, že tyto hodnoty nejsou předepsány na výkresech, a tedy nejsou pevně dodržovány a nemusí tak být součástí vyhodnocení jako nevyhovující. Ve výsledcích naměřených hodnot není patrné, že by měli spojitost s měřením po kalení. Hlavním porovnáním bude tabulka časů obrábění v následujících kapitolách.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 80



Obrázek 28 - Obrázek grafického znázornění honovaného vzorku 5002071 s naměřenou maximální válcovostí

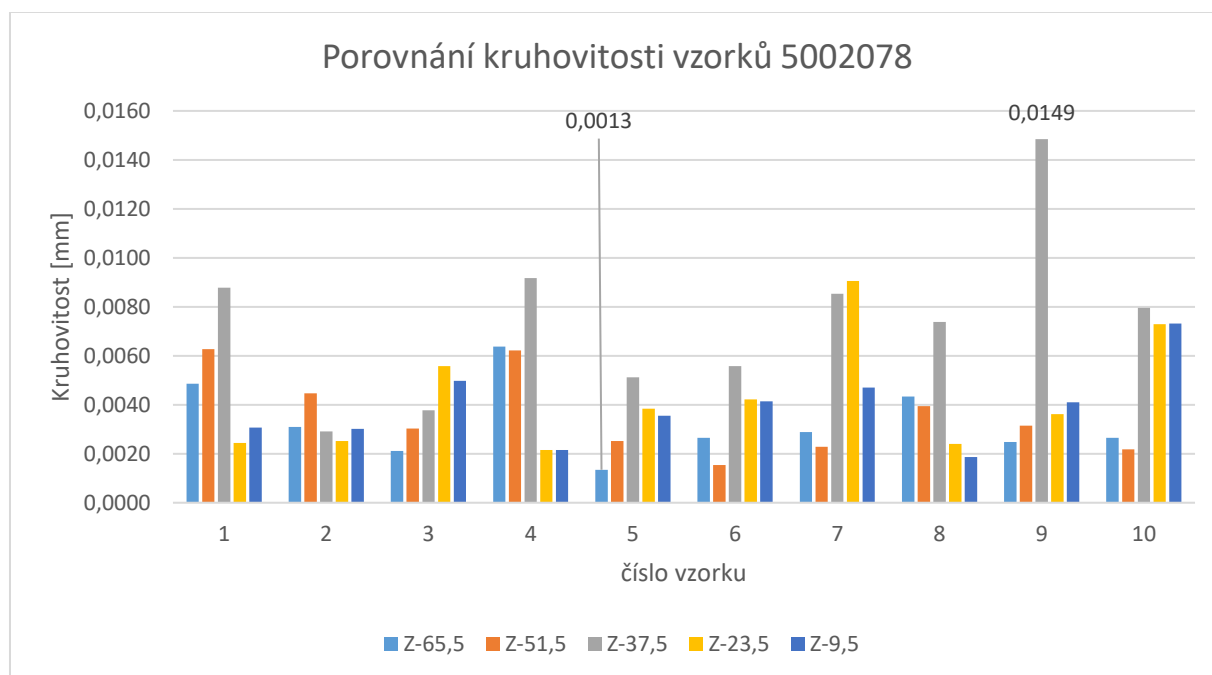
Vzhledem k přesnosti finálních vzorků, jejich kontrole a vyřazení zmetkových dílů ve firmě Mahr, je patrné, že všechny díly jsou rozměrově a geometricky v pořádku. Z obrázku je patrné, že na výsledky má vliv nečistota. Pro měření takto přesných dílů by bylo zapotřebí zachovat maximální snahu o výslednou čistotu povrchu. Lidské oko vidí částice nad 0,004 mm. Je tedy zapotřebí ideálních čistících pomůcek, nezanechávající smítka.

Tabulka 6 - číselné výsledky měření honovaných vzorků 5002071

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Max	Min	Průměr
Z-36	9,9935	9,9948	9,9949	9,9939	9,9956	9,9941	9,9941	9,9890	9,9918	9,9956	9,9890	9,9935
Z-28	9,9931	9,9961	9,9931	9,9955	9,9931	9,9953	9,9956	9,9921	9,9937	9,9961	9,9921	9,9942
Z-20	9,9900	9,9961	9,9932	9,9955	9,9965	9,9954	9,9957	9,9946	9,9938	9,9965	9,9900	9,9945
Z-12	9,9947	9,9961	9,9932	9,9945	9,9964	9,9954	9,9880	9,9908	9,9937	9,9964	9,9880	9,9936
Z-4	9,9947	9,9959	9,9936	9,9951	9,9951	9,9954	9,9854	9,9906	9,9933	9,9959	9,9854	9,9932
Kruhovitost Z-36	0,0010	0,0011	0,0009	0,0017	0,0009	0,0014	0,0012	0,0057	0,0044	0,0057	0,0009	0,0020
Kruhovitost Z-28	0,0018	0,0004	0,0033	0,0005	0,0039	0,0006	0,0005	0,0028	0,0033	0,0039	0,0004	0,0019
Kruhovitost Z-20	0,0051	0,0004	0,0028	0,0006	0,0004	0,0005	0,0007	0,0012	0,0037	0,0051	0,0004	0,0017
Kruhovitost Z-12	0,0009	0,0004	0,0027	0,0019	0,0006	0,0006	0,0079	0,0044	0,0037	0,0079	0,0004	0,0026
Kruhovitost Z-4	0,0005	0,0004	0,0023	0,0008	0,0017	0,0003	0,0099	0,0039	0,0039	0,0099	0,0003	0,0026
Valcovitost_D10	0,0052	0,0011	0,0033	0,0021	0,0039	0,0014	0,0099	0,0057	0,0044	0,0099	0,0011	0,0041
Válcovitost_D10_povrch_přímky	0,0015	0,0006	0,0006	0,0017	0,0006	0,0007	0,0011	0,0011	0,0021	0,0021	0,0006	0,0011
D14_5xZ-4;-25	14,0185	14,0179	14,0187	14,0148	14,0192	14,0176	14,0142	14,0190	14,0195	14,0195	14,0142	14,0177
Obv_haz_D14_k_zakl_A	0,0125	0,0147	0,0111	0,0155	0,0183	0,0087	0,0187	0,0137	0,0143	0,0187	0,0087	0,0142
Válcovitost_D14	0,0019	0,0016	0,0015	0,0014	0,0013	0,0014	0,0014	0,0034	0,0014	0,0034	0,0013	0,0017

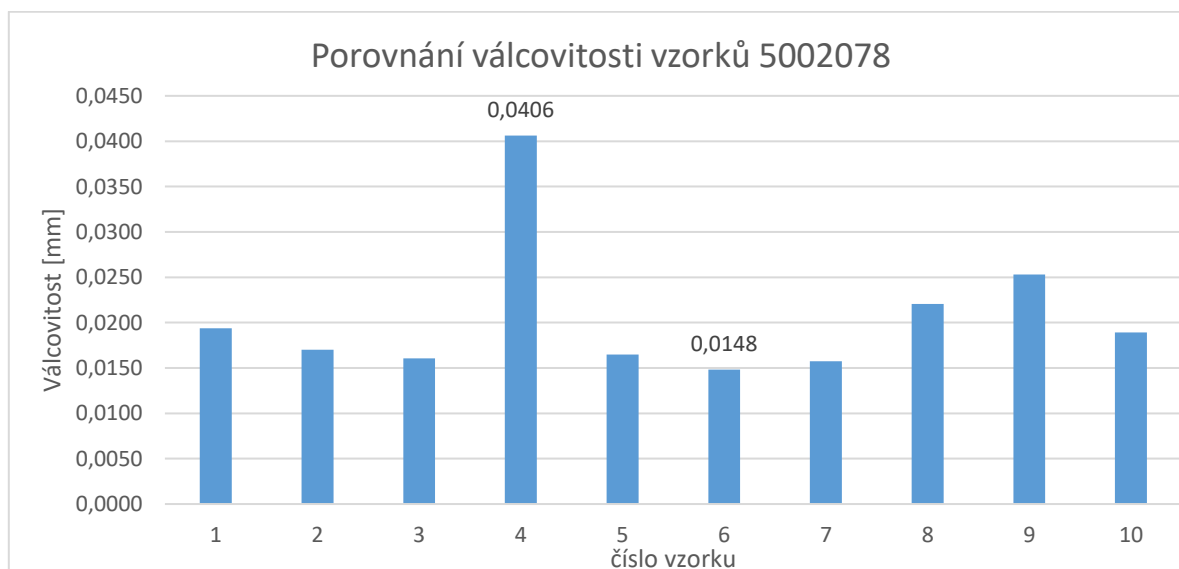
7.4. Výsledky měření soustružených vzorků 5002078

Vzorky 5002078 mají průměr 22 mm a délku 75 mm. Jedná se o vzorky s menším průměrem ale větší délkou.



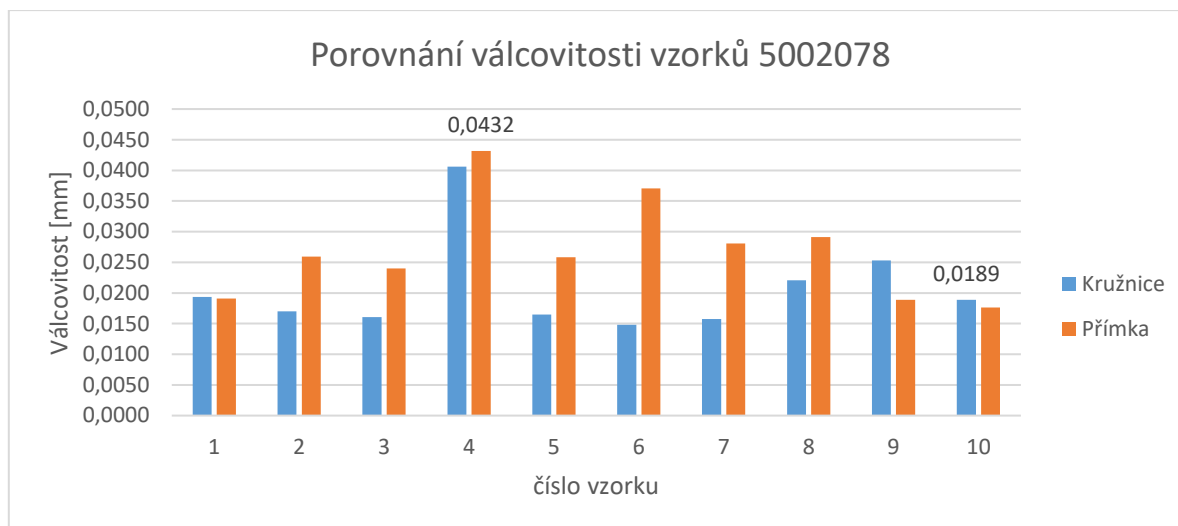
Obrázek 29 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7

Kruhovitost vzorků 5002078 je rozdílná. Maximální kruhovitost je u 9. vzorku o hodnotě 0,0149 mm, minimální kruhovitost je u 5. vzorku a má hodnotu 0,0013 mm. U těchto vzorků začíná být vidět rozdíl mezi přechody. Tomu nejvíce odpovídá 9. vzorek, u kterého jsem pravděpodobně naměřil na středu právě přechod mezi soustružením zprava a zleva. Jev největší kruhovitosti na středu se objevuje celkem u 7 dílů. Průměrná kruhovitost je 0,0045 mm.



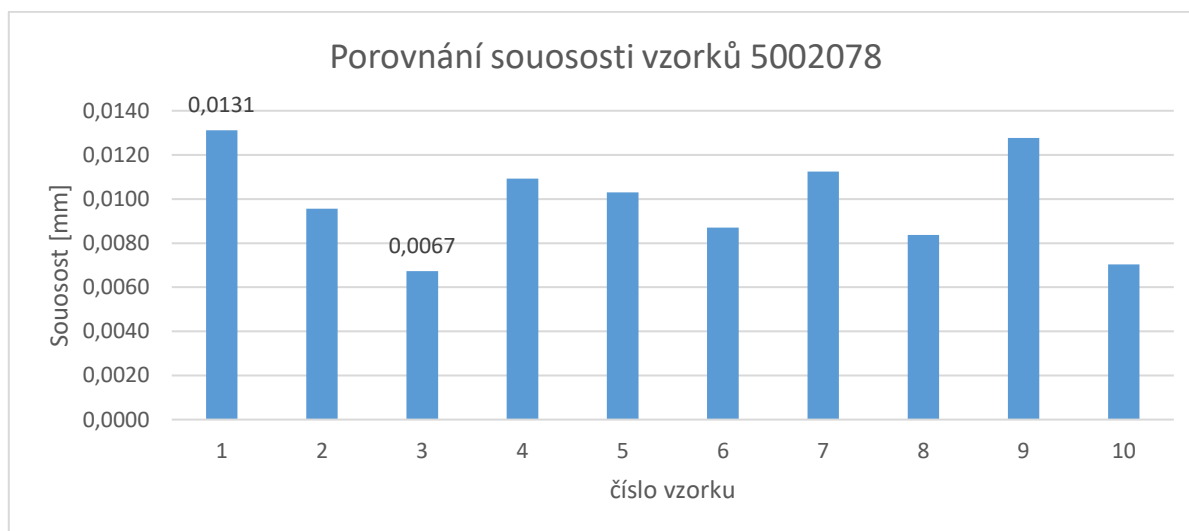
Obrázek 30 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7

Válcovitost soustružených vzorků 5002078 vychází v minimu 0,0148 mm u vzorku 6 a v maximu 0,0406 mm u vzorku 4. Hodnota 4. vzorku značně vyčnívá. Může to být způsobeno rozdílným opotřebením soustružnických nožů. Oproti vzorkům 5002071 jsou výsledky téměř dvojnásobné. Průměrná hodnota válcovitosti je 0,0206 mm.



Obrázek 31 - Graf porovnání válcovitostí vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7

Při vyhodnocení válcovitosti jak pomocí kružnic, tak pomocí povrchových přímek se výsledky značně liší. Měřením kružnicemi jsem pravděpodobně nepokryl kritické části. Zvýšila se maximální válcovitost na 0,0432 mm u vzorku 4. Minimum válcovitosti se nachází nově u vzorku 10, z kružnicového vyhodnocení o hodnotě 0,0189 mm. Významně jsou i zvýšené hodnoty válcovitosti pro vzorky 2, 3, 5, 6, 7, 8.



Obrázek 32 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7

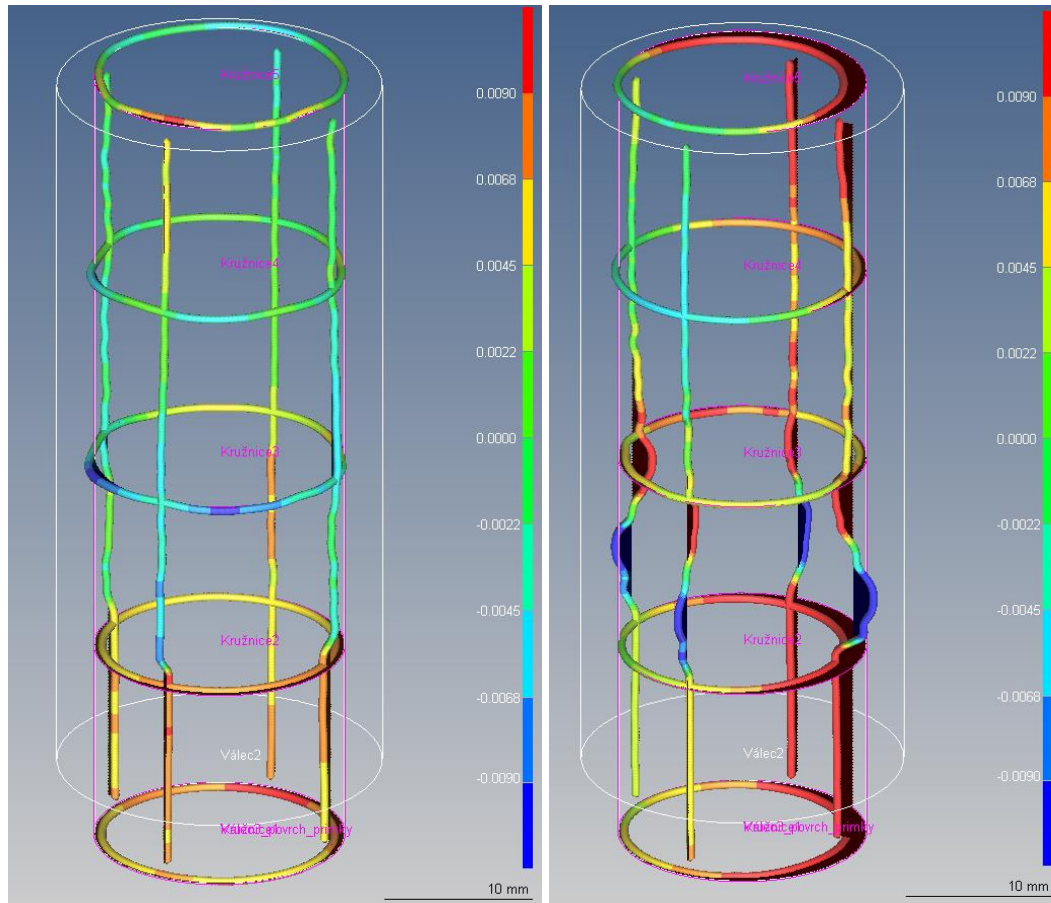
Minimální sousost vychází u 1. vzorku 0,0131 mm a maximální u 3. vzorku 0,0067 mm. Průměrná sousost je 0,0099 mm. Výsledky sousosti vzorků jsou podobné. Nic extrémně nevyčnívá. Vnější a vnitřní část vzorku má sousost očekávanou od operace soustružení.

Shrnutí

Vzorek 4 a 9 vychází jako vzorky, které bych podezřival z největší tvarové změny po tepelném zpracování, v případě, že vlastnosti jako kruhovitost a válcovitost na to mají velký vliv. Vyráběné vnitřní průměry 17 mm se opět blíží nižší k hranici tolerance -0,15 mm. Všeobecně výsledky odpovídají výsledkům z operace soustružení a je zde vidět první větší rozdíl u válcovitosti, který může indikovat rozdílné opotřebení soustružnických nožů, které součást obráběly z obou stran.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 80



Obrázek 33 - Obrázek grafického znázornění soustružených vzorků 5002078 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí po kalení

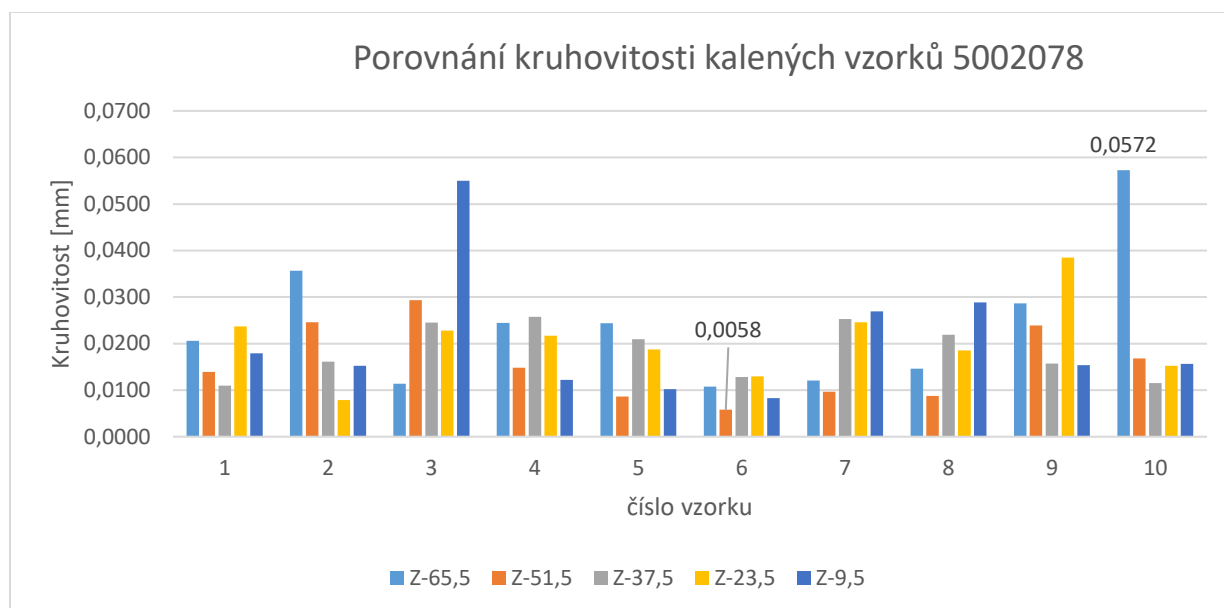
I přes větší hodnoty válcovitosti u kalení není na levém obrázku patrná větší nepřesnost při soustružení. Na rozdíl u pravého obrázku, který u kalení vyšel s nejlepší válcovitostí, zde je velice patrné soustružení z obou stran.

Tabulka 7 - číselné výsledky měření soustružených vzorků 5002078

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-65,5	16,8223	16,8127	16,8214	16,7762	16,8130	16,8218	16,8168	16,7980	16,8147	16,8230	16,8230	16,7762	16,8120
Z-51,5	16,8184	16,8217	16,8192	16,7804	16,8121	16,8218	16,8174	16,8102	16,8150	16,8240	16,8240	16,7804	16,8140
Z-37,5	16,8091	16,8288	16,8185	16,7746	16,8196	16,8272	16,8176	16,7911	16,7896	16,8359	16,8359	16,7746	16,8112
Z-23,5	16,8176	16,8159	16,8132	16,8382	16,8207	16,8353	16,8070	16,8211	16,8195	16,8350	16,8382	16,8070	16,8224
Z-9,5	16,8198	16,8156	16,8011	16,8409	16,8154	16,8216	16,8198	16,8208	16,8167	16,8318	16,8409	16,8011	16,8204
Kruhovitost Z-65,5	0,0049	0,0031	0,0021	0,0064	0,0013	0,0026	0,0029	0,0043	0,0025	0,0027	0,0064	0,0013	0,0033
Kruhovitost Z-51,5	0,0063	0,0045	0,0030	0,0062	0,0025	0,0015	0,0023	0,0039	0,0031	0,0022	0,0063	0,0015	0,0036
Kruhovitost Z-37,5	0,0088	0,0029	0,0038	0,0092	0,0051	0,0056	0,0085	0,0074	0,0149	0,0080	0,0149	0,0029	0,0074
Kruhovitost Z-23,5	0,0024	0,0025	0,0056	0,0022	0,0038	0,0042	0,0091	0,0024	0,0036	0,0073	0,0091	0,0022	0,0043
Kruhovitost Z-9,5	0,0031	0,0030	0,0050	0,0022	0,0036	0,0041	0,0047	0,0019	0,0041	0,0073	0,0073	0,0019	0,0039
Valcovitost_D16,8	0,0194	0,0170	0,0161	0,0406	0,0165	0,0148	0,0157	0,0221	0,0253	0,0189	0,0406	0,0148	0,0206
Válcovitost-D16,8_povrch_primky	0,0191	0,0259	0,0240	0,0432	0,0259	0,0371	0,0281	0,0291	0,0189	0,0176	0,0432	0,0176	0,0269
D22,25_5xZ-10;-60	22,2540	22,2531	22,2424	22,2428	22,2573	22,2669	22,2543	22,2480	22,2582	22,2563	22,2669	22,2424	22,2533
Obv_haz_D22,25_k_zakl_A	0,0336	0,0364	0,0290	0,0288	0,0327	0,0263	0,0284	0,0162	0,0285	0,0299	0,0364	0,0162	0,0290
Válcovitost_D_22,25	0,0086	0,0091	0,0082	0,0061	0,0050	0,0043	0,0073	0,0073	0,0042	0,0066	0,0091	0,0042	0,0067
Přímmost_osy_zakl_A	0,0131	0,0096	0,0067	0,0109	0,0103	0,0087	0,0112	0,0084	0,0128	0,0070	0,0131	0,0067	0,0099

7.5. Výsledky měření kalených vzorků 5002078

Kalené vzorky s malým průměrem ale větší délkou mohou být náchylné k ohnutí ve směru délky.



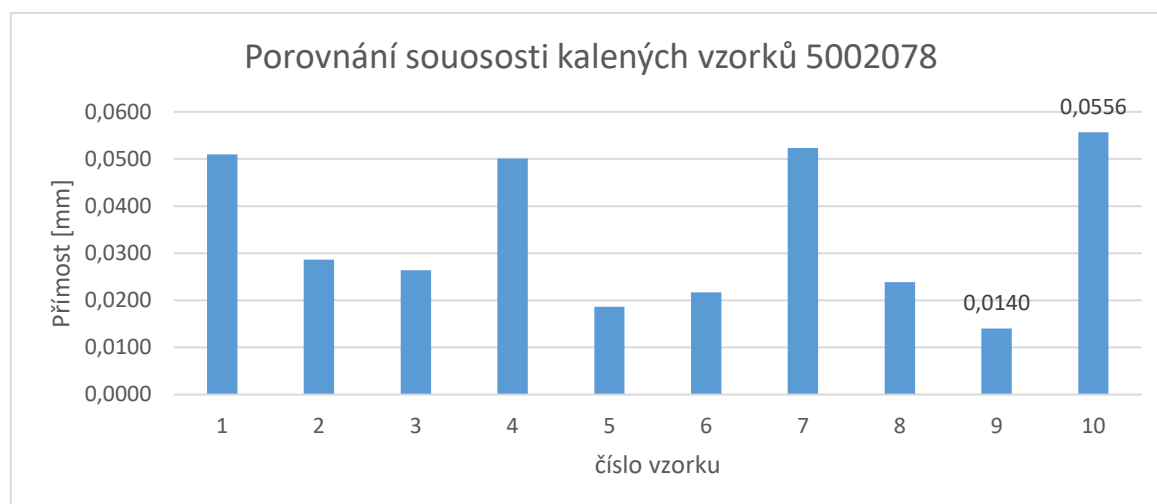
Obrázek 34 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002078 vycházející z tabulky 9

Kruhovitost kalených vzorků má průměrnou hodnotu 0,02 mm. Maximum kruhovitosti zaznamenávám u vzorku 10 o velikosti 0,0572 mm a minimum u vzorku 6 o velikosti 0,0058 mm. Opět se zde objevuje náznak většího tepelného ovlivnění na koncích vzorků, celkem 6 vzorků má větší hodnotu kruhovitosti na jednom z konců. Značně se tento jev objevuje jen u vzorku 10 a 3.



Obrázek 35 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002078 vycházející z tabulky 9

Minimální válcovitost kalených vzorků 5002078 vychází 0,0377 mm pro vzorek 5 se vzorkem 6 poblíž a maximální je 0,0762 mm u vzorku 10. U vzorku 4 a 7 je vysoká válcovitost i přes to, že hodnoty kruhovitosti jsou v porovnání s ostatními vzorky menší. Jednotlivé naměřené kružnice jsou u těchto vzorků tedy více vyosené. Průměrná válcovitost je 0,0572 mm.



Obrázek 36 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002078 vycházející z tabulky 9

Sousosti kalených vzorků je rozdílná. Čtyři vzorky mají sousost nad 0,05 mm s maximálním 10. vzorkem s hodnotou 0,0556 mm. Šest vzorků má hodnotu pod 0,03 mm s minimem u 9. vzorku s hodnotou 0,014 mm. Průměrná hodnota je 0,0342 mm.

Shrnutí

Kalené vzorky nemají tak patrnou chybu. Neobvykle velké hodnoty kruhovitosti jsou jen výjimkou u dvou vzorků. Válcovitost je ovšem všeobecně větší než u vzorku 5002071, s těmito hodnotami to odpovídá ohnutí vzorku po délce. Vzorky podezřelé z krajních hodnot, a tedy vzorky zvolené pro měření času jsou:

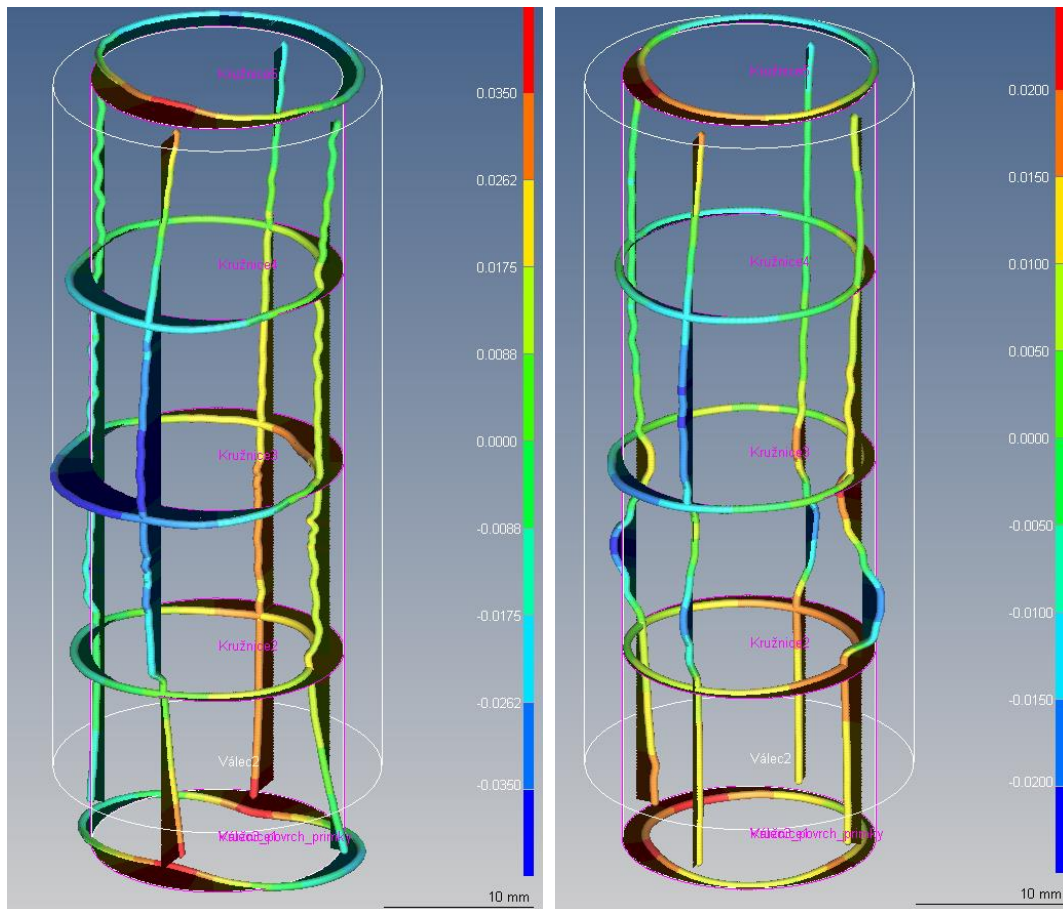
- vzorek 10, maximální čas
- vzorek 6, minimální čas
- vzorek 3, maximální průměr kruhovitosti – střední čas

Tabulka 8 – tabulka průměrných hodnot kruhovitosti vzorku 5002078

číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
průměr kruhovitosti	0,0174	0,0199	0,0286	0,0198	0,0166	0,0101	0,0197	0,0185	0,0244	0,0233

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 80



Obrázek 37 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002078 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí

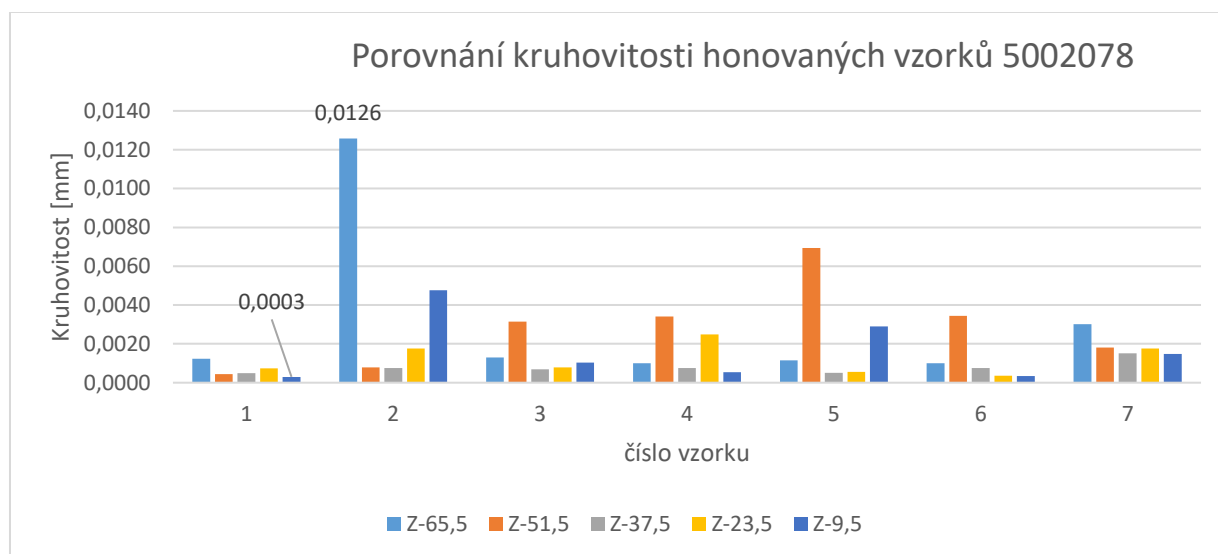
Z obrázku je patrné, větší tepelné ovlivnění dominující u jedné strany vzorku. Vzorek s větší válcovitostí názorně označuje prohnutí vzorku. Vlnitost povrchových přímek válcovitosti je dána nesprávným nastavením filtrace při vytváření grafického znázornění. Ve výsledcích (tabulce) je tato hodnota filtrována správně. U obrázku minimální válcovitosti jsou stále patrné zbytky tvaru přímek po soustružení. Deformace kružnic ovšem vytváří podobné hodnoty.

Tabulka 9 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002078

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-65,5	16,8005	16,7683	16,8334	16,7664	16,7812	16,8190	16,8119	16,8093	16,7795	16,7652	16,8334	16,7652	16,7935
Z-51,5	16,8086	16,7955	16,8203	16,7818	16,8082	16,8274	16,8154	16,8231	16,7895	16,8083	16,8274	16,7818	16,8078
Z-37,5	16,8114	16,8235	16,8267	16,7808	16,8141	16,8443	16,8169	16,8006	16,7953	16,8361	16,8443	16,7808	16,8150
Z-23,5	16,8114	16,8172	16,8105	16,8371	16,8163	16,8471	16,7961	16,8251	16,8021	16,8370	16,8471	16,7961	16,8200
Z-9,5	16,8118	16,8128	16,7529	16,8474	16,8175	16,8365	16,7929	16,8036	16,8146	16,8286	16,8474	16,7529	16,8118
Kruhovitost Z-65,5	0,0206	0,0357	0,0114	0,0244	0,0244	0,0108	0,0120	0,0146	0,0286	0,0572	0,0572	0,0108	0,0240
Kruhovitost Z-51,5	0,0139	0,0246	0,0294	0,0148	0,0086	0,0058	0,0097	0,0088	0,0239	0,0168	0,0294	0,0058	0,0156
Kruhovitost Z-37,5	0,0110	0,0161	0,0245	0,0258	0,0209	0,0128	0,0253	0,0219	0,0157	0,0115	0,0258	0,0110	0,0185
Kruhovitost Z-23,5	0,0237	0,0079	0,0228	0,0217	0,0187	0,0130	0,0246	0,0185	0,0385	0,0152	0,0385	0,0079	0,0205
Kruhovitost Z-9,5	0,0179	0,0153	0,0550	0,0122	0,0102	0,0083	0,0269	0,0289	0,0154	0,0157	0,0550	0,0083	0,0206
Valcovitost D16,8	0,0544	0,0513	0,0636	0,0727	0,0377	0,0379	0,0744	0,0532	0,0503	0,0762	0,0762	0,0377	0,0572
Válcovitost-D16,8_povrch_primky	0,0536	0,0426	0,0641	0,0604	0,0341	0,0372	0,0745	0,0403	0,0484	0,0712	0,0745	0,0341	0,0526
D22,25_5xZ-10;-60	22,2341	22,2206	22,2049	22,2487	22,2494	22,2705	22,2298	22,2429	22,2384	22,2266	22,2705	22,2049	22,2366
Obv_haz_D22,25_k_zakl_A	0,0585	0,0609	0,0886	0,0722	0,0491	0,0484	0,0793	0,0916	0,0563	0,0954	0,0954	0,0484	0,0700
Válcovitost_D_22,25	0,0482	0,0448	0,0710	0,0448	0,0240	0,0454	0,0664	0,0487	0,0425	0,0561	0,0710	0,0240	0,0492
Přímmost_osy_zakl_A	0,0510	0,0286	0,0264	0,0501	0,0186	0,0217	0,0523	0,0239	0,0140	0,0556	0,0556	0,0140	0,0342

7.6. Výsledky měření honovaných vzorků 5002078

Měření honovaných vzorků probíhalo se 7 vzorky. Vzorky nebyly nijak označeny, a tak zde není souvislost značení s předchozím vyhodnocením.



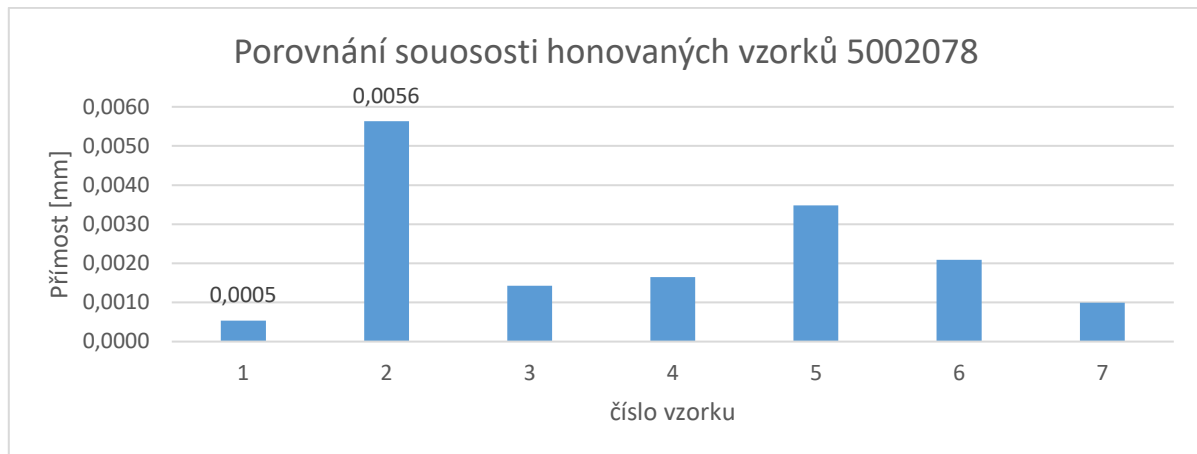
Obrázek 38 - Graf porovnání kruhovitosti honovaných vzorků 5002078 vycházející z tabulky 10

Nejvýraznější maximum se zde objevuje na kraji vzorku. Maximum kruhovitosti je u měřeného vzorku 2 o velikosti 12,6 μm . Minimum bylo dosaženo u vzorku 1, a to 0,3 μm . Dle katalogu Mahr se cílí u tohoto průměru na kruhovitost 3 μm . Výsledky ovšem mohou být ovlivněny nečistotami na vzorku.



Obrázek 39 - Graf porovnání válcovitosti honovaných vzorků 5002078 vycházející z tabulky 10

Válcovitost vzorků opět vychází podobně, jako maxima kruhovitosti. Maximální válcovitost u vzorku 5002078 je 12,6 μm a minimální je u vzorku 1 s hodnotou 1,6 μm . Hodnota minima válcovitosti se liší od maxima kruhovitosti. Naznačuje to lehké vychýlení os měřených kružnic v řádu desetin mikrometru, nebo nepřesnost měření.



Obrázek 40 - Graf porovnání souososti honovaných vzorků 5002078 vycházející z tabulky 10

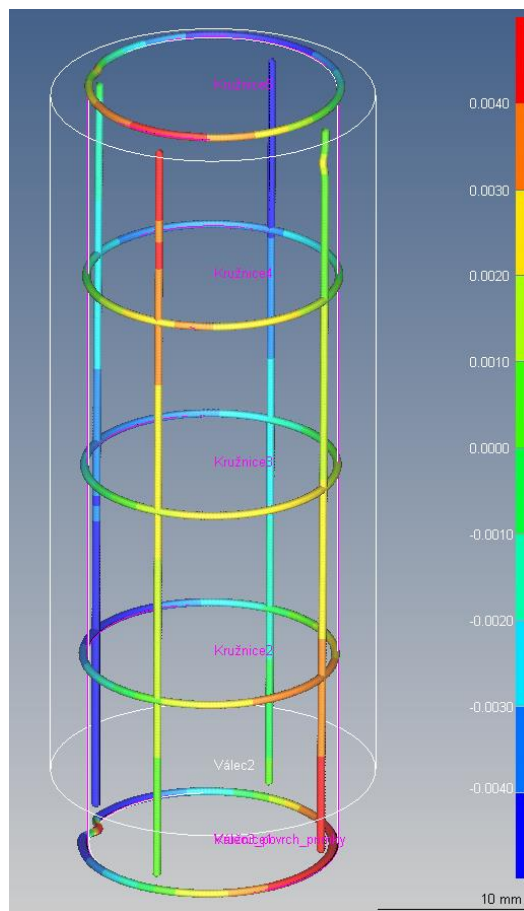
Graf souososti poměrově odpovídá grafu válcovitosti. Maximum u 2. vzorku je 5,6 μm a minimum u 1. vzorku 0,5 μm .

Shrnutí

Tolerance průměru 16,995 mm u vzorků 5002078 je + 0,003 mm. Při uvažování chyby $\pm 1 \mu\text{m}$ tato tolerance nebyla dosažena u některých vzorků a u jiných není rozměr v toleranci zaručen. Obvodové házení se pohybuje od 3 μm do 8 μm a předepsanou toleranci 5 μm tak s jistotou dosahuje jen u vzorku 4 a 6. Mezi vzorky naměřenými po kalení a po honování není viditelná spojitost. Finální výsledky jsou již zkontrolovány společností Mahr a 7 poslaných vzorků prošlo kontrolou. Naznačuje to tak nepřesnost měření, u největších chyb danou nesprávným očištěním vzorků.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 80



Obrázek 41 - Obrázek grafického znázornění honovaného vzorku 5002078 s naměřenou maximální válcovitostí

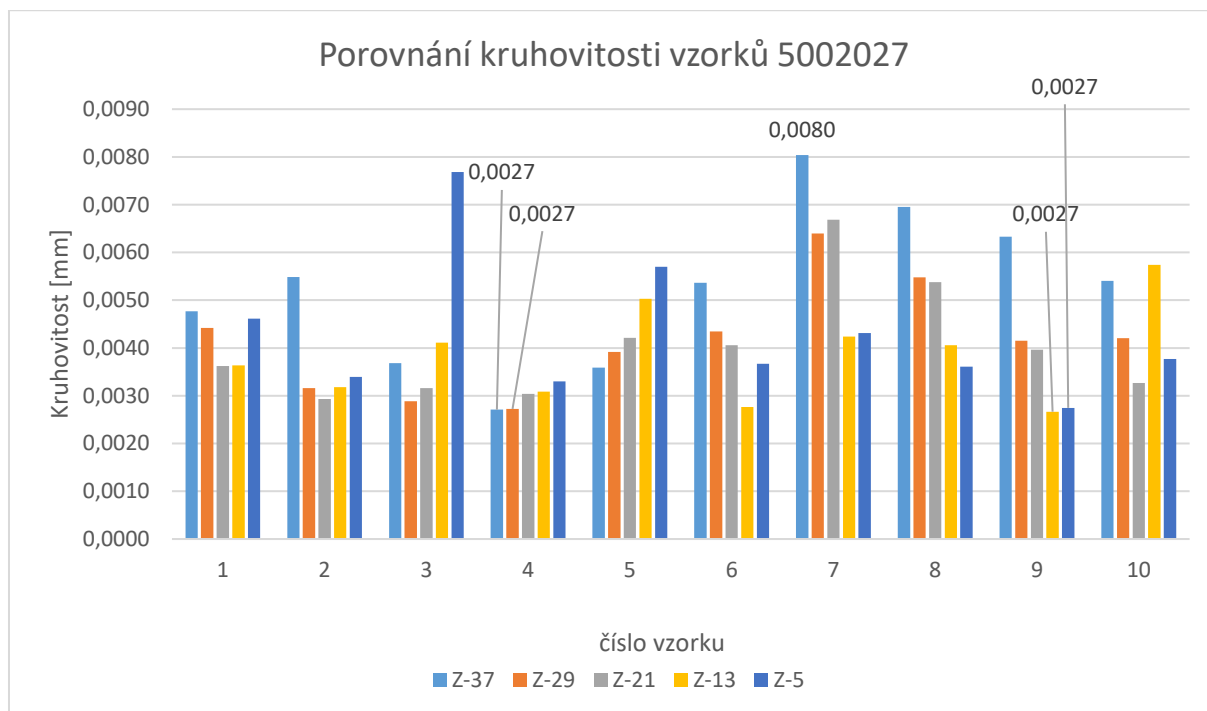
Na měřeném vzorku jsou patrné nepřesnosti způsobené prachem z utěrky.

Tabulka 10 - číselné výsledky měření honovaných vzorků 5002078

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	Max	Min	Průměr
Z-65,5	16,9960	16,9828	16,9934	16,9941	16,9942	16,9942	16,9912	16,9960	16,9828	16,9923
Z-51,5	16,9976	16,9952	16,9920	16,9924	16,9889	16,9923	16,9929	16,9976	16,9889	16,9930
Z-37,5	16,9977	16,9955	16,9944	16,9945	16,9957	16,9950	16,9935	16,9977	16,9935	16,9952
Z-23,5	16,9974	16,9942	16,9944	16,9930	16,9956	16,9965	16,9935	16,9974	16,9930	16,9949
Z-9,5	16,9977	16,9910	16,9940	16,9946	16,9929	16,9970	16,9935	16,9977	16,9910	16,9944
Kruhovitost Z-65,5	0,0012	0,0126	0,0013	0,0010	0,0012	0,0010	0,0030	0,0126	0,0010	0,0030
Kruhovitost Z-51,5	0,0004	0,0008	0,0031	0,0034	0,0069	0,0034	0,0018	0,0069	0,0004	0,0029
Kruhovitost Z-37,5	0,0005	0,0008	0,0007	0,0008	0,0005	0,0007	0,0015	0,0015	0,0005	0,0008
Kruhovitost Z-23,5	0,0007	0,0018	0,0008	0,0025	0,0006	0,0004	0,0018	0,0025	0,0004	0,0012
Kruhovitost Z-9,5	0,0003	0,0048	0,0010	0,0005	0,0029	0,0004	0,0015	0,0048	0,0003	0,0016
Valcovitost_D17	0,0016	0,0126	0,0031	0,0034	0,0069	0,0037	0,0030	0,0126	0,0016	0,0049
Válcovitost-D17_povrch_primky	0,0009	0,0021	0,0011	0,0009	0,0012	0,0015	0,0025	0,0025	0,0009	0,0014
D22_5xZ-10;-60	22,0164	22,0143	22,0174	22,0161	22,0166	22,0166	22,0144	22,0174	22,0143	22,0160
Obv_haz_D22_k_zakl_A	0,0149	0,0161	0,0110	0,0059	0,0106	0,0075	0,0117	0,0161	0,0059	0,0111
Válcovitost_D_22	0,0034	0,0029	0,0026	0,0023	0,0027	0,0017	0,0027	0,0034	0,0017	0,0026
Přímost_osy_zakl_A	0,0005	0,0056	0,0014	0,0017	0,0035	0,0021	0,0010	0,0056	0,0005	0,0023

7.7. Výsledky měření soustružených vzorků 5002027

Vzorky 5002027 mají větší průměr 32 mm ale malou délku 42 mm.



Obrázek 42 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002027 vycházející z tabulky 11

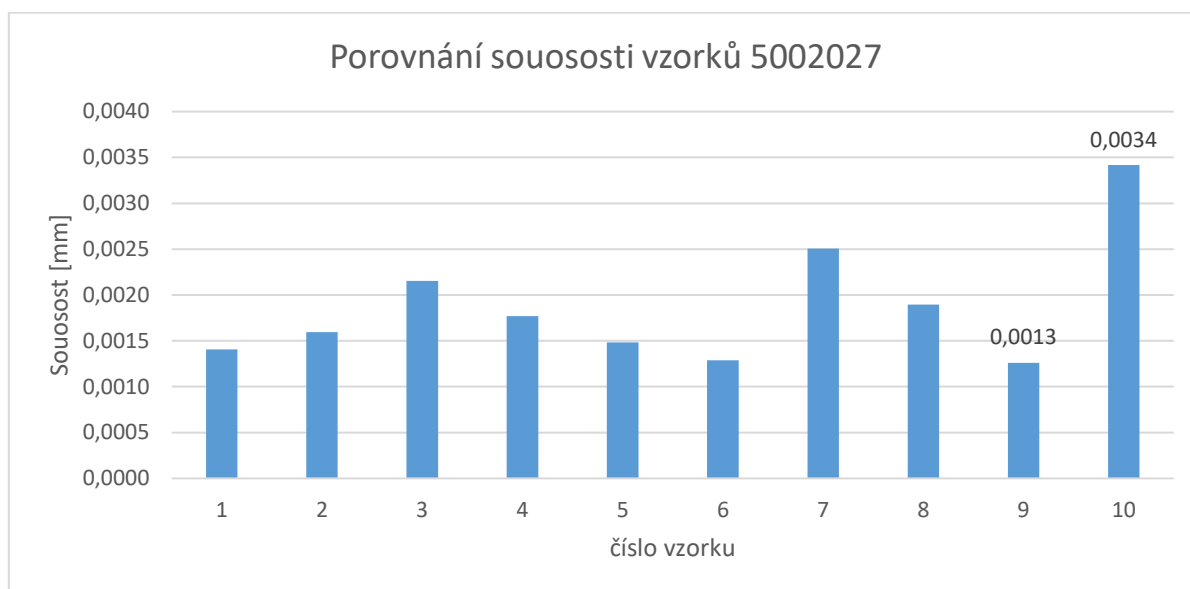
Kruhovitost vzorků 5002027 je velmi přijatelná. Průměrná kruhovitost je 0,0045 mm. Vychází tak stejně jako průměrná kruhovitost u vzorků 5002078. Vzorky 5002027 jsou pravděpodobně soustruženy pouze z jednoho směru. Odpovídá tomu vývoj kruhovitosti v rozdílných řezech. Objevuje se zde poprvé trend u soustružených vzorků, kde se kruhovitost zmenšuje od začátku, respektive od konce, vzorků. Minimum kruhovitosti se objevuje u vzorků 4 a 9 o hodnotě 0,0027 mm a maximum u vzorku 7 o hodnotě 0,008 mm.



Obrázek 43 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002027 vycházející z tabulky 11

Válcovitost vzorků 5002027 je v maximu u vzorku 8, hodnota válcovitosti je 0,008 mm. Minimum válcovitosti je 0,0056 mm u vzorku 1. Je nutné podotknout, že jisté válcovitosti jsou pouze tak velké, jako kruhovitosti. Takto to vychází u vzorků 3, 7 a 9. V těchto případech maxima kruhovitosti jsou vyšší než výchylka ostatních naměřených vzorků s nižší kruhovitostí. Průměrná hodnota válcovitosti je 0,0068 mm.

Pouze u vzorků 5002027 je válcovitost měřená povrchovými přímkami vždy menší než válcovitost měřená kružnicemi.



Obrázek 44 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002027 vycházející z tabulky 11

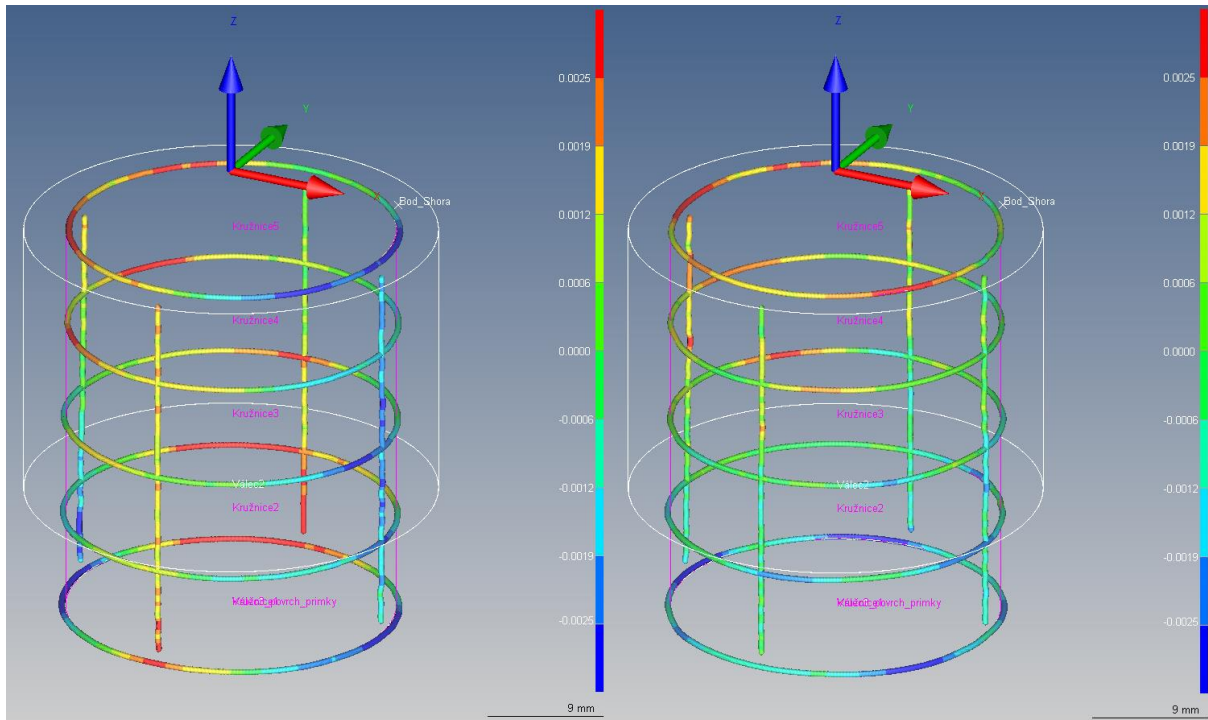
Soulosost vzorků vychází ze všech vzorků nejlépe. Minimum sousosti je u vzorku 9, 0,0013 mm a u vzorku 10 se nachází maximum, 0,0034 mm.

Souhrn

Použití robustnějších nástrojů díky větším vnitřním průměrům a odebrání materiálu z jedné strany značně prospělo válcovitosti a sousosti vzorků. Tyto hodnoty vycházejí ze všech typů vzorků nejlépe. Z větší tvarové změny bych mohl podezírat vzorky 3, 7 a 10. Průměry by měli být soustruženy v upravené toleranci v rozmezí -0,18 mm a -0,23 mm. Minima průměrů jsou mimo toleranci, nejnižší hodnota průměru je 25,7657 mm a tedy o 0,0043 mm mimo průměr. Mimo toleranci je dohromady 14 hodnot. Odchylna od tolerance je minimální, ovšem pro lepší časy operace honování by bylo vhodnější, cílit soustružení k hranici -0,18 mm.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 100



Obrázek 45 - Obrázek grafického znázornění soustruženého vzorku 5002027 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí po kalení

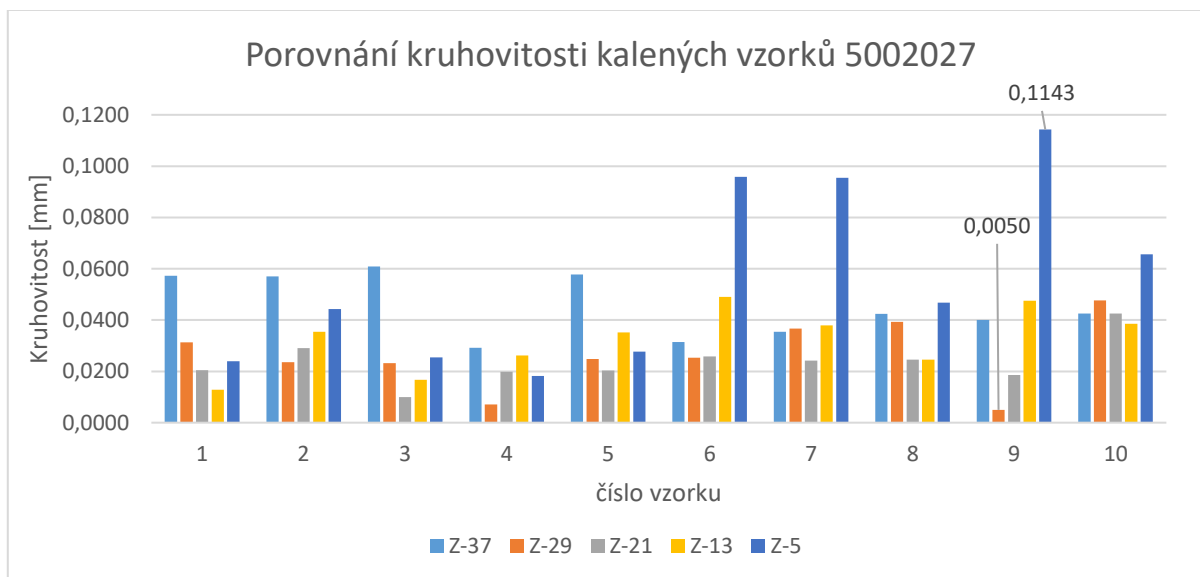
U tohoto vzorku je patrné, že soustružení není prováděno z obou stran. Je to tak díky možnosti robustnějšího soustružnického nože, který je použit u většího vnitřního průměru a krátké délce.

Tabulka 11 - číselné výsledky měření soustružených vzorků 5002027

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-37	25,7740	25,7711	25,7762	25,7927	25,7694	25,7826	25,7702	25,7669	25,7643	25,7686	25,7927	25,7643	25,7736
Z-29	25,7732	25,7740	25,7734	25,7910	25,7688	25,7837	25,7719	25,7675	25,7657	25,7717	25,7910	25,7657	25,7741
Z-21	25,7754	25,7740	25,7733	25,7886	25,7706	25,7851	25,7713	25,7713	25,7661	25,7705	25,7886	25,7661	25,7746
Z-13	25,7756	25,7759	25,7717	25,7876	25,7671	25,7873	25,7767	25,7730	25,7663	25,7669	25,7876	25,7663	25,7748
Z-5	25,7760	25,7778	25,7697	25,7854	25,7678	25,7889	25,7745	25,7709	25,7669	25,7698	25,7889	25,7669	25,7748
Kruhovitost Z-37	0,0048	0,0055	0,0037	0,0027	0,0036	0,0054	0,0080	0,0070	0,0063	0,0054	0,0080	0,0027	0,0052
Kruhovitost Z-29	0,0044	0,0032	0,0029	0,0027	0,0039	0,0043	0,0064	0,0055	0,0042	0,0042	0,0064	0,0027	0,0042
Kruhovitost Z-21	0,0036	0,0029	0,0032	0,0030	0,0042	0,0041	0,0067	0,0054	0,0040	0,0033	0,0067	0,0029	0,0040
Kruhovitost Z-13	0,0036	0,0032	0,0041	0,0031	0,0050	0,0028	0,0042	0,0041	0,0027	0,0057	0,0057	0,0027	0,0039
Kruhovitost Z-5	0,0046	0,0034	0,0077	0,0033	0,0057	0,0037	0,0043	0,0036	0,0027	0,0038	0,0077	0,0027	0,0043
Valcovitost D25,7	0,0056	0,0065	0,0077	0,0062	0,0065	0,0065	0,0080	0,0075	0,0063	0,0072	0,0080	0,0056	0,0068
Válcovitost D25,7_povrch_přímky	0,0035	0,0030	0,0035	0,0033	0,0034	0,0050	0,0056	0,0065	0,0055	0,0033	0,0065	0,0030	0,0043
D32,25_5xZ-5;-27	32,2161	32,2250	32,2092	32,2211	32,2175	32,2237	32,2090	32,2175	32,2349	32,2210	32,2349	32,2090	32,2195
Obv_haz_D32,25_k_zakl_A	0,0092	0,0073	0,0187	0,0061	0,0131	0,0111	0,0135	0,0094	0,0066	0,0139	0,0187	0,0061	0,0109
Válcovitost D32,25	0,0080	0,0047	0,0158	0,0051	0,0113	0,0102	0,0110	0,0061	0,0047	0,0042	0,0158	0,0042	0,0081
Přímmost_osy_zakl_A	0,0014	0,0016	0,0022	0,0018	0,0015	0,0013	0,0025	0,0019	0,0013	0,0034	0,0034	0,0013	0,0019

7.8. Výsledky měření kalených vzorků 5002027

S větším průměrem a malou délkou bych očekával problémy s kruhovitostí a deformace hlavně po obvodu.



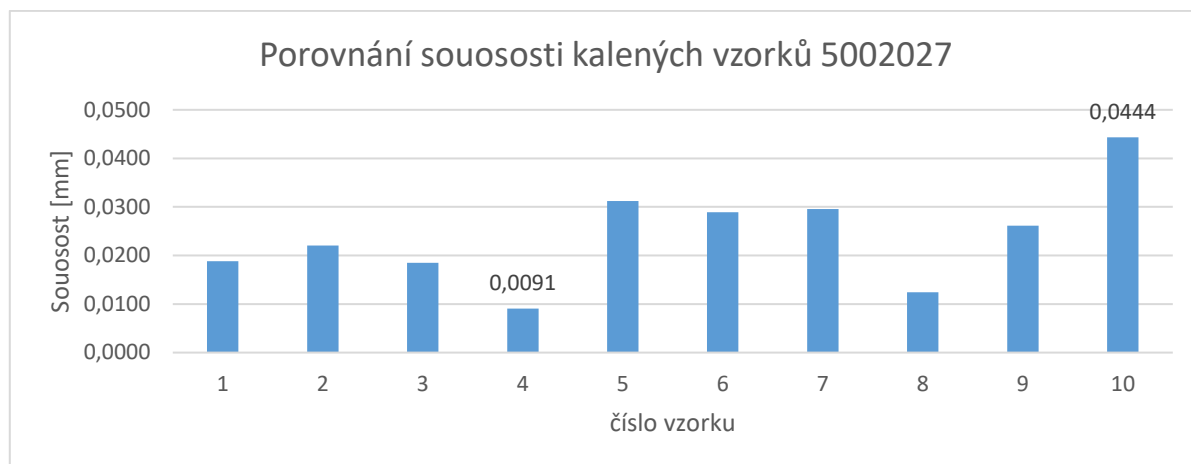
Obrázek 46 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002027 vycházející z tabulky 12

Kruhovitost u vzorků 5002027 je v průměru 0,0367 mm. Opět je zde větší nárůst kruhovitosti u konců, respektive začátků vzorků. Stejně jako vzorků 5002071 mám podezření, že jedna strana vzorku byla více tepelně ovlivněna než zbytek vzorku a tím došlo k nárůstu kruhovitosti. Návaznost kruhovitosti soustružených a kalených dílů nevidím. Minimální hodnota kruhovitosti je u vzorku 9, 29 mm od kraje o hodnotě 0,005 mm. Maximální hodnota kruhovitosti je u stejného vzorku, o hodnotě 0,0571 mm naměřena 5 mm od kraje.



Obrázek 47 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002027 vycházející z tabulky 12

U válcovitosti se opět projevuje velké ovlivnění kruhovitostí jako u soustružených dílů. Maxima kruhovitosti mají vliv na všechny vzorky, ale přímo určují válcovitost u vzorků 6, 7 a 9. Maximální hodnota válcovitosti je u vzorku 9, 0,1142 mm a minimum je 0,0397 u vzorku 4. Průměrná hodnota válcovitosti vzorků 5002027 je 0,0736 mm.



Obrázek 48 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002027 vycházející z tabulky 12

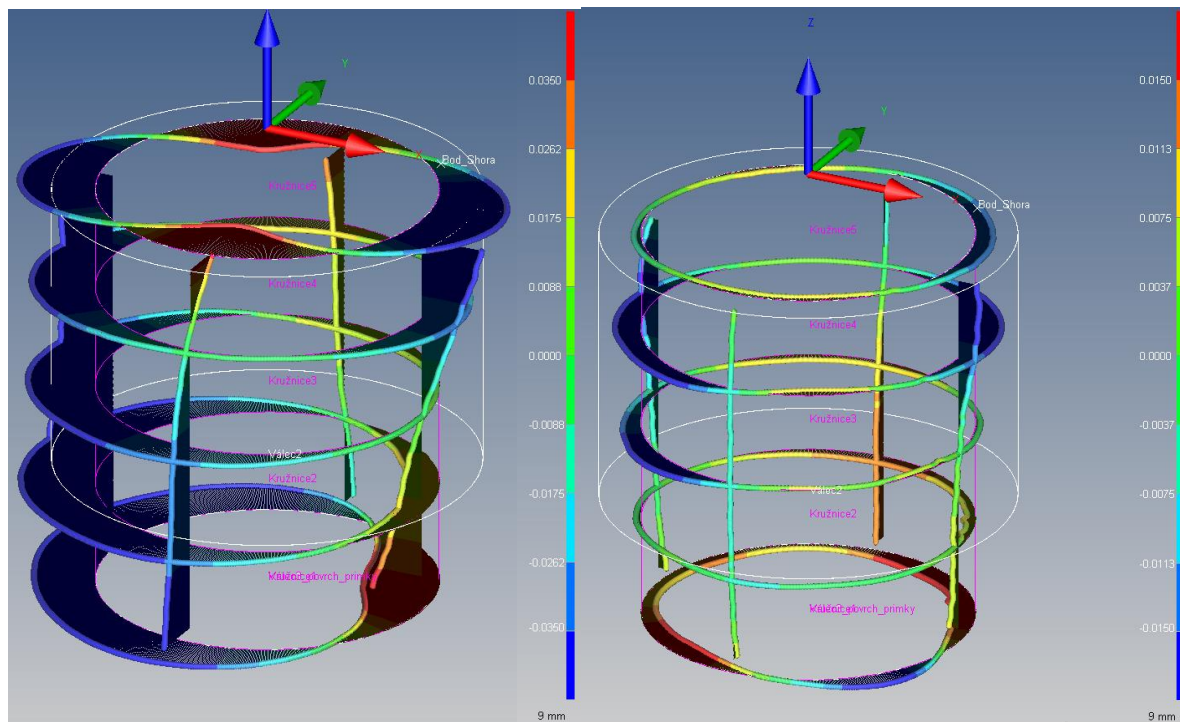
Sousost vzorků 5002027 je největší u vzorku 10 o velikosti 0,0444 mm a nejmenší u vzorku 4, 0,0091 mm. Průměr sousosti je 0,0241 mm.

Souhrn

Návaznost na soustružené vzorky zde není patrná. Opět se zde objevuje výrazně větší kruhovitost na jednom konci vzorku, která pak hodně ovlivňuje válcovitost celého vzorku. Při vyřešení této zvýšené kruhovitosti je reálné snížit válcovitost až o 0,04 mm a tím snížit jak přídavek, tak čas honování. Je tedy opět možné, že vzorek byl v kalící peci postaven tak, že jeden konec byl rychleji ohříván a tím zde proběhla větší tvarová změna. V porovnání se vzorky 5002071 a 5002078 měly vzorky 5002027 nejlepší hodnoty po soustružení, ale po kalení mají nejvyšší hodnoty geometrických tolerancí. Pro změření časů honování jsem vybral vzorky 4, 9 a 10. Vzorek 4 s podezřením na nejnižší čas, vzorek 9 s podezřením na nejvyšší a vzorek 10 kvůli nahlédnutí na vliv sousosti a kvůli rovnoměrné kruhovitosti.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 100



Obrázek 49 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002027 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí

U vzorku s maximální válcovitostí je patrné teplotní deformaci vrchní části. V této části se pak vyskytují extrémy kruhovitosti. U vzorku s minimální válcovitostí není teplotní deformace tak patrná. Je možné, že tento vzorek byl na kraji vsázky a roh základní desky, na které byly vzorky položeny, se ohřál relativně podobně vůči okolí vzorku.

Tabulka 12 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002027

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-37	25,7100	25,7055	25,7001	25,7564	25,7073	25,7809	25,7654	25,7649	25,7491	25,7415	25,7809	25,7001	25,7381
Z-29	25,7673	25,7593	25,7610	25,7822	25,7485	25,7879	25,7754	25,7661	25,7875	25,7541	25,7879	25,7485	25,7689
Z-21	25,7789	25,7622	25,7840	25,7805	25,7652	25,7767	25,7720	25,7678	25,7735	25,7467	25,7840	25,7467	25,7707
Z-13	25,7880	25,7743	25,7795	25,7836	25,7539	25,7450	25,7497	25,7512	25,7410	25,7397	25,7880	25,7397	25,7606
Z-5	25,7748	25,7595	25,7663	25,7795	25,7681	25,6898	25,6930	25,7400	25,6516	25,7013	25,7795	25,6516	25,7324
Kruhovitost Z-37	0,0572	0,0571	0,0608	0,0292	0,0577	0,0314	0,0355	0,0425	0,0400	0,0426	0,0608	0,0292	0,0454
Kruhovitost Z-29	0,0312	0,0235	0,0232	0,0071	0,0248	0,0254	0,0367	0,0393	0,0050	0,0476	0,0476	0,0050	0,0264
Kruhovitost Z-21	0,0204	0,0291	0,0100	0,0199	0,0204	0,0258	0,0242	0,0245	0,0186	0,0426	0,0426	0,0100	0,0235
Kruhovitost Z-13	0,0128	0,0354	0,0167	0,0261	0,0351	0,0490	0,0379	0,0245	0,0475	0,0386	0,0490	0,0128	0,0324
Kruhovitost Z-5	0,0240	0,0443	0,0254	0,0182	0,0276	0,0958	0,0955	0,0468	0,1143	0,0656	0,1143	0,0182	0,0558
Valcovitost D25,7	0,0620	0,0665	0,0639	0,0397	0,0674	0,0958	0,0955	0,0555	0,1142	0,0758	0,1142	0,0397	0,0736
Válcovitost D25,7_primky	0,0423	0,0553	0,0522	0,0259	0,0481	0,0711	0,0602	0,0459	0,0804	0,0628	0,0804	0,0259	0,0544
D32,25_5xZ-5;-27	32,2238	32,2183	32,2162	32,2258	32,2144	32,1457	32,1408	32,2019	32,1341	32,1618	32,2258	32,1341	32,1883
Obv_haz_D32,25_k_zakl_A	0,0457	0,0614	0,0531	0,0380	0,0593	0,1274	0,1134	0,0646	0,1501	0,0914	0,1501	0,0380	0,0804
Válcovitost D32,25	0,0292	0,0453	0,0359	0,0296	0,0454	0,0989	0,1013	0,0536	0,1149	0,0707	0,1149	0,0292	0,0625
Přímot_osa_zakl_A	0,0188	0,0221	0,0185	0,0091	0,0312	0,0289	0,0296	0,0124	0,0262	0,0444	0,0444	0,0091	0,0241

7.9. Výsledky měření honovaných (a znovu zakalených) vzorků 5002027

Výsledky v této části vznikly v důsledku několika faktorů. Vzorky po honování byly bohužel zaslány na opětovné tepelné zpracování. Tento stav nastal důsledkem atypické spolupráce na tomto projektu, dovolenými a náběrem nových zaměstnanců. Výsledkem je tak deset vzorků, které již nelze opravit.

Ze zvědavosti jsem naměřil 3 díly. Z průměrů a kruhovitostí je opět patrné tepelné ovlivnění poloviny délky vzorku. Toto ovlivnění zapříčiňuje větší válcovitost a ve finále delší obráběcí časy. V případě druhého měřeného vzorku je patrná větší kruhovitost po celé délce a tím větší válcovitost v důsledku vyosení jednotlivých řezů naměřené kruhovitosti. Nejsem si ale jistý, do jaké míry výsledky ovlivnilo předchozí tepelné zpracování.

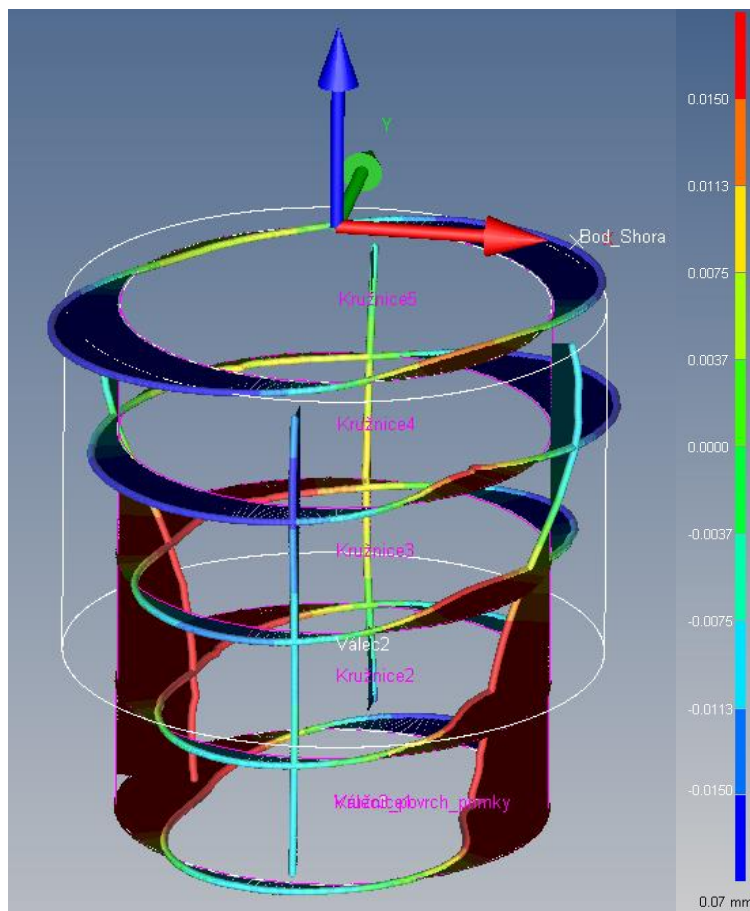
Tabulka 13 – číselné výsledky měření honovaných (a znovu zakalených) vzorků 5002027

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	Max	Min	Průměr
Z-37	25,9193	25,8992	25,9720	25,9720	25,8992	25,9302
Z-29	25,9272	25,9072	25,9776	25,9776	25,9072	25,9374
Z-21	25,9439	25,9222	25,9521	25,9521	25,9222	25,9394
Z-13	25,9647	25,9398	25,9320	25,9647	25,9320	25,9455
Z-5	25,9678	25,9416	25,9298	25,9678	25,9298	25,9464
Kruhovitost Z-37	0,0470	0,0480	0,0102	0,0480	0,0102	0,0351
Kruhovitost Z-29	0,0269	0,0380	0,0057	0,0380	0,0057	0,0236
Kruhovitost Z-21	0,0168	0,0356	0,0143	0,0356	0,0143	0,0222
Kruhovitost Z-13	0,0143	0,0420	0,0247	0,0420	0,0143	0,0270
Kruhovitost Z-5	0,0183	0,0396	0,0401	0,0401	0,0183	0,0327
Válcovitost_D26	0,0481	0,0643	0,0401	0,0643	0,0401	0,0508
Válcovitost_D26_primky	0,0284	0,0404	0,0274	0,0404	0,0274	0,0321
D32_5xZ-5; -27	31,9636	31,9431	31,9625	31,9636	31,9431	31,9564
Obv_haz_D32_k_zakl_A	0,0380	0,0726	0,0501	0,0726	0,0380	0,0535
Válcovitost_D32	0,0323	0,0616	0,0415	0,0616	0,0323	0,0451
Přímmost_osy_zakl_A	0,0186	0,0124	0,0058	0,0186	0,0058	0,0123

Druhý vzorek vykazuje vlastnosti dosud neviděné v tomto experimentu. Má po celé délce rovnoměrně vysokou kruhovitost a zároveň nejvyšší válcovitost. Přičemž nejvyšší válcovitostí se vždy vyznačovali vzorky s jednou nejvyšší hodnotou kruhovitosti. Je možné, že tento vzorek nebyl vhodně uložen do kalící pece.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 150

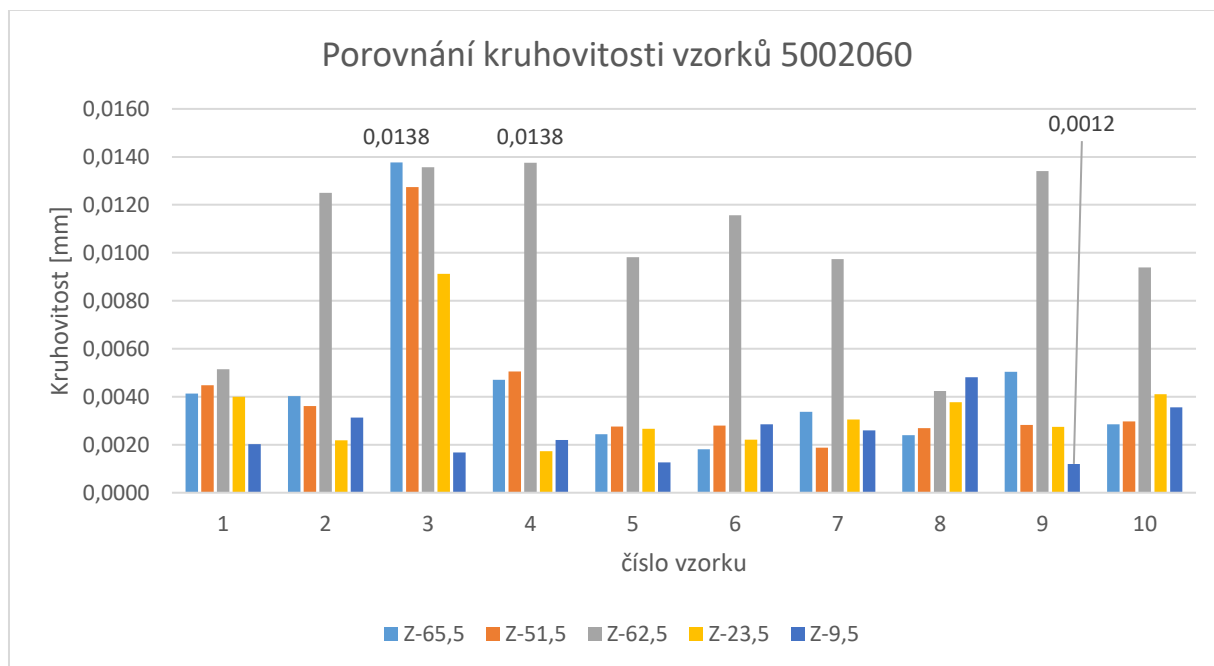


Obrázek 50 - Obrázek grafického znázornění honovaných a znovu kalených vzorků 5002027, válcovitost vzorku 1

Opět je patrná deformace v důsledku teplotních rozdílů během kalení.

7.10. Výsledky měření soustružených vzorků 5002060

Vzorky 5002060 se vyznačují jak velkým průměrem, tak velkou délkou. Vnější průměr d_B je 90 mm a délka vzorku je 125 mm.



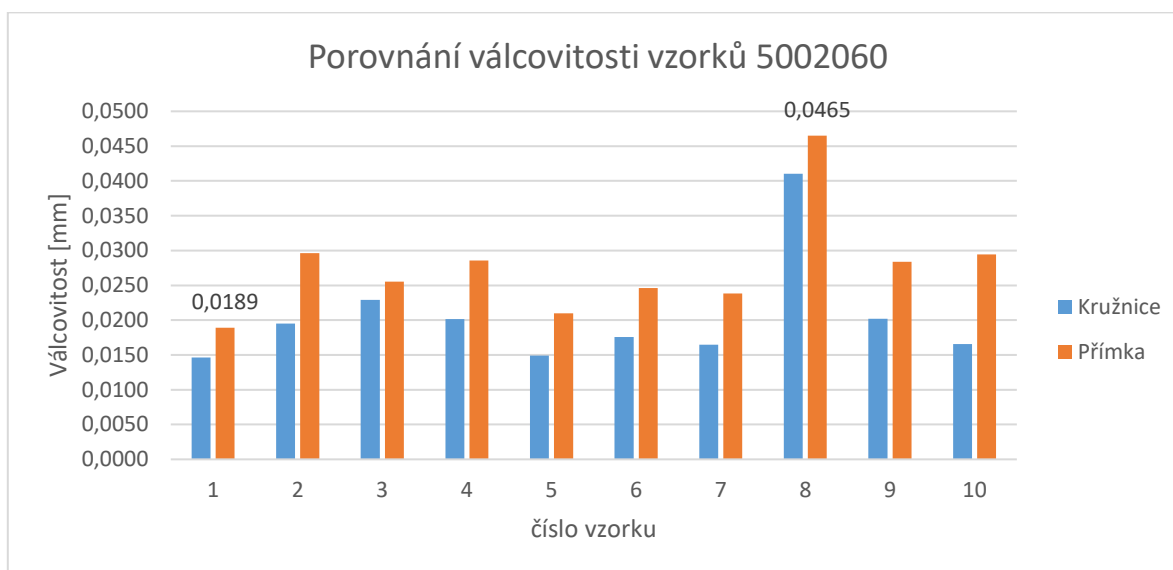
Obrázek 51 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14

Běžné výsledky kruhovitosti jsou stejně nízké, jako u nejmenšího vzorku. Pohybují se kolem 0,0035 mm. Při měření součásti jsem většinou narazil na přechod mezi částí soustruženou zleva a zprava. Výsledky kruhovitosti jsou poté až trojnásobně větší u měření 62,5 mm od kraje součásti oproti ostatním. Výsledky kruhovitosti se v tomto průřezu pohybují od 0,009 mm do 0,014 mm. U vzorků 1 a 8 jsem přechod neměřil a u vzorku 3 se kromě naměřeného maxima 0,0138 mm objevila atypicky větší kruhovitosť po obou stranách. Minimum bylo naměřeno u vzorku 9 s hodnotou 0,0012 mm. Průměrná hodnota kruhovitosti je 0,0052 mm.



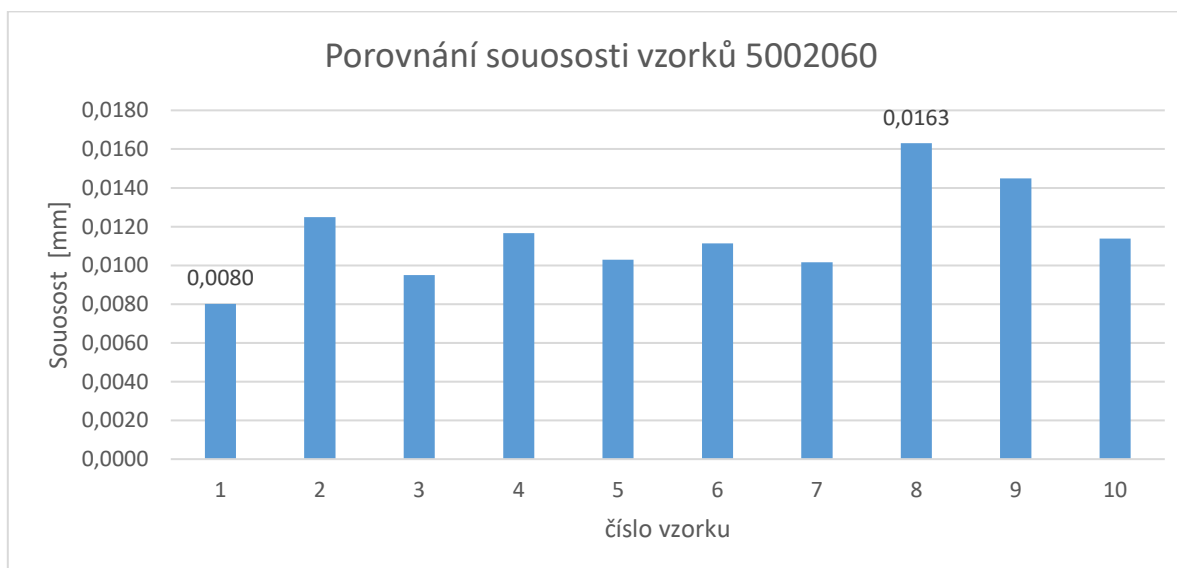
Obrázek 52 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14

Válcovitost vzorků 5002060 je velice podobná válcovitosti vzorků 5002078. Průměrná hodnota je 0,0204 mm. Značně zde vyčnívá maximum vzorku 8, o velikosti 0,0410 mm. Minimální hodnota válcovitosti 0,0146 mm je poté u vzorku číslo 1.



Obrázek 53 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14

U vzorku 5002060 je válcovitost měřená pomocí přímek u všech vzorků vyšší. Je to pravděpodobně tím, že nebyla změřena válcovitost poblíž středu ve více řezech. U měření pomocí přímek byla tato část pokryta. Maximum je posunuto na hodnotu 0,0465 mm u vzorku 8 a minimum na 0,0189 u vzorku 1.



Obrázek 54 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14

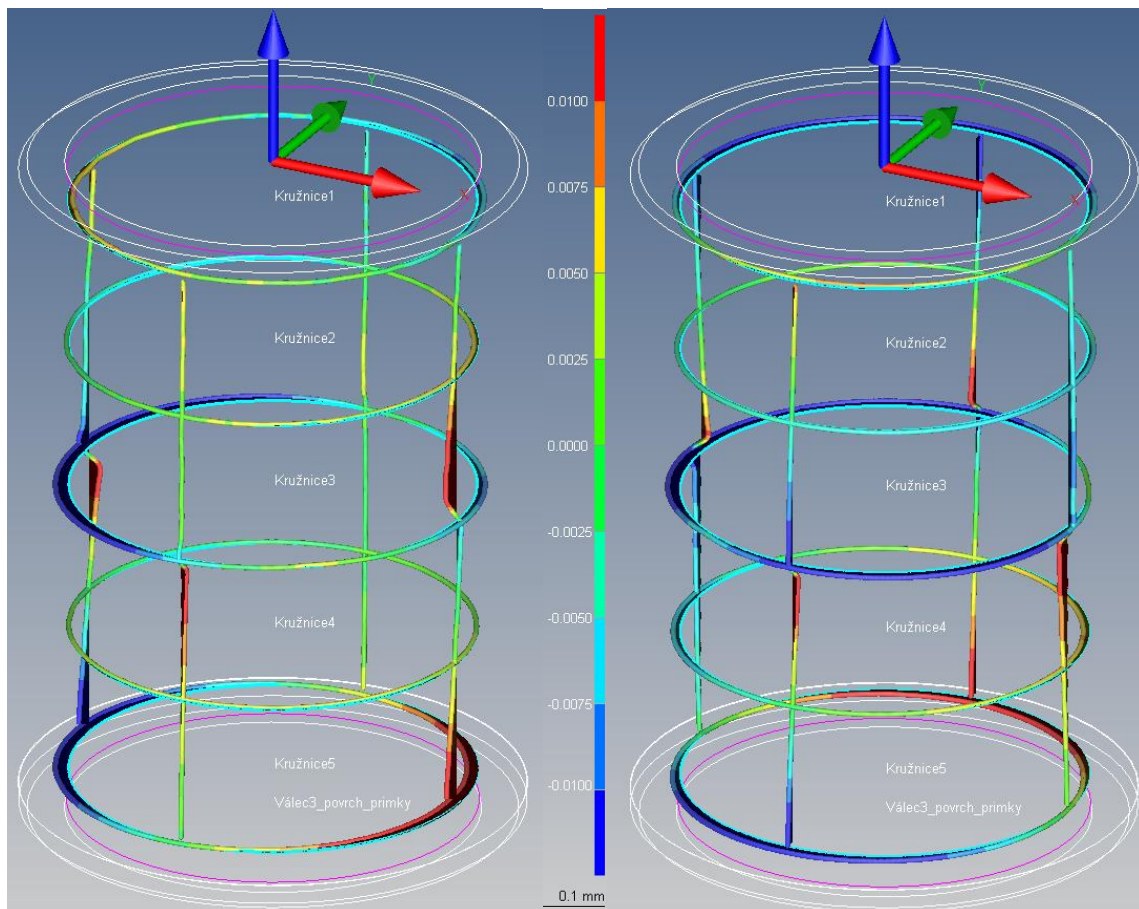
Minimální sousost je u vzorku 1 o hodnotě 0,008 mm a maximální sousost je u vzorku 8 o hodnotě 0,0163 mm. Opět jsou tyto hodnoty podobné s vzorky 5002078. Průměrná hodnota sousosti je 0,0115 mm.

Souhrn

Překvapivě dosahované hodnoty geometrických tolerancí nejsou tak rozdílné, oproti vzorkům 5002078. U vzorků 5002060 jsem náhodou narazil na přechod mezi soustruženou částí zleva a zprava. Válcovitost vzorku 8 je atypická. Je potřeba dále tento vzorek prozkoumat z grafického hlediska výsledků měření. Právě tento vzorek má největší šanci na ovlivnění výsledků po kalení. Naměřené průměry vzorku odpovídají stanoveným upraveným tolerancím $-0,4/-0,45$.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 150



Obrázek 55 - Obrázek grafického znázornění soustružených vzorků 5002060, vzorek 2 (vlevo) a vzorek 9

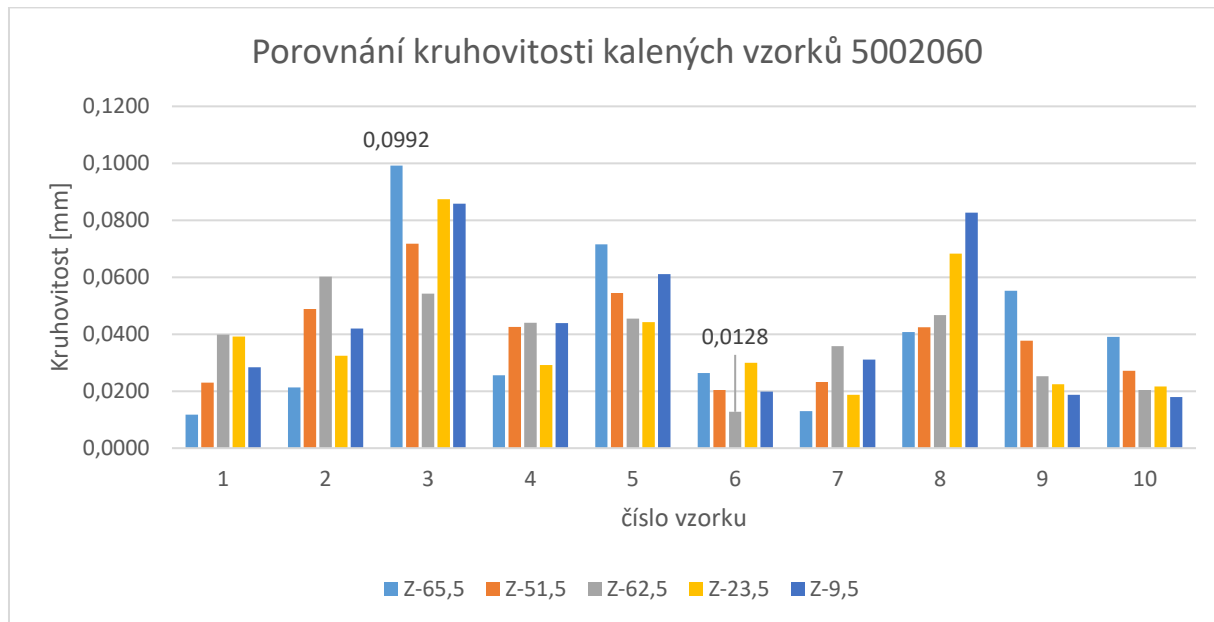
U těchto vzorků je patrný přechod mezi soustružením z obou stran. Bohužel tento přechod vyšel přímo uprostřed, a tak jsou ním ovlivněny i naměřené hodnoty kruhovitosti v tomto řezu.

Tabulka 14 - číselné výsledky měření soustružených vzorků 5002060

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-65,5	72,5670	72,5675	72,5627	72,5715	72,5726	72,5648	72,5709	72,5682	72,5689	72,5660	72,5726	72,5627	72,5680
Z-51,5	72,5651	72,5662	72,5630	72,5692	72,5696	72,5633	72,5718	72,5646	72,5691	72,5630	72,5718	72,5630	72,5665
Z-62,5	72,5732	72,5756	72,5740	72,5741	72,5715	72,5747	72,5777	72,6125	72,5734	72,5758	72,6125	72,5715	72,5783
Z-23,5	72,5610	72,5653	72,5567	72,5632	72,5633	72,5688	72,5662	72,6225	72,5623	72,5700	72,6225	72,5567	72,5699
Z-9,5	72,5648	72,5666	72,5672	72,5651	72,5659	72,5701	72,5696	72,6235	72,5653	72,5714	72,6235	72,5648	72,5730
Kruhovitost Z-65,5	0,0041	0,0040	0,0138	0,0047	0,0024	0,0018	0,0034	0,0024	0,0050	0,0029	0,0138	0,0018	0,0045
Kruhovitost Z-51,5	0,0045	0,0036	0,0127	0,0051	0,0028	0,0028	0,0019	0,0027	0,0028	0,0030	0,0127	0,0019	0,0042
Kruhovitost Z-37,5	0,0051	0,0125	0,0136	0,0138	0,0098	0,0116	0,0097	0,0042	0,0134	0,0094	0,0138	0,0042	0,0103
Kruhovitost Z-23,5	0,0040	0,0022	0,0091	0,0017	0,0027	0,0022	0,0030	0,0038	0,0027	0,0041	0,0091	0,0017	0,0036
Kruhovitost Z-9,5	0,0020	0,0031	0,0017	0,0022	0,0013	0,0029	0,0026	0,0048	0,0012	0,0036	0,0048	0,0012	0,0025
Valcovitost D72,3	0,0146	0,0195	0,0229	0,0202	0,0149	0,0176	0,0165	0,0410	0,0202	0,0166	0,0410	0,0146	0,0204
Valcovitost D72,3_povrch_primky	0,0189	0,0296	0,0256	0,0285	0,0210	0,0246	0,0238	0,0465	0,0284	0,0294	0,0465	0,0189	0,0276
D90,4_5xZ-7,5;-110	90,3750	90,3881	90,3898	90,3848	90,3786	90,3796	90,3844	90,3863	90,3829	90,3917	90,3917	90,3750	90,3841
Válcovitost D90,4	0,0142	0,0151	0,0157	0,0148	0,0135	0,0119	0,0119	0,0136	0,0136	0,0225	0,0225	0,0119	0,0147
Obv_haz_D90,4_k_zakl_A	0,0185	0,0287	0,0302	0,0270	0,0193	0,0217	0,0201	0,0474	0,0238	0,0230	0,0474	0,0185	0,0260
Primost_osy_zakl_A	0,0080	0,0125	0,0095	0,0117	0,0103	0,0111	0,0102	0,0163	0,0145	0,0114	0,0163	0,0080	0,0115

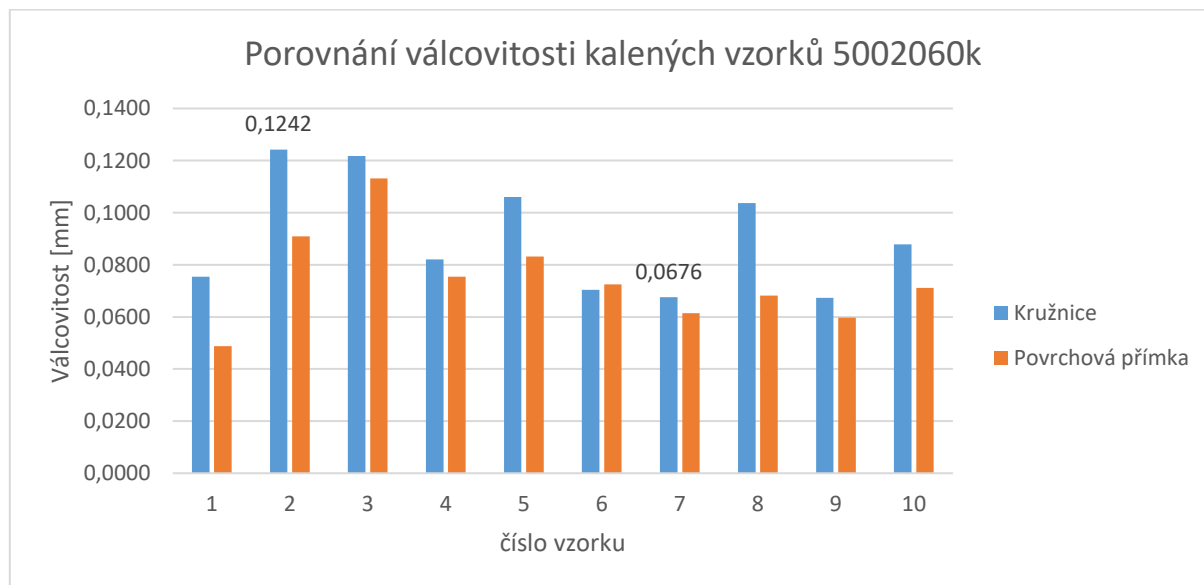
7.11. Výsledky měření kalených vzorků 5002060

Přeprava kalených vzorků trvala delší dobu než obvykle. Není tak divu, že vzorky dorazili lehce narezlé. Bohužel, tyto vzorky nebyly označeny před tepelným zpracováním, a proto číslování v této části diplomové práce nemá návaznost na část měření soustružených vzorků 5002060.



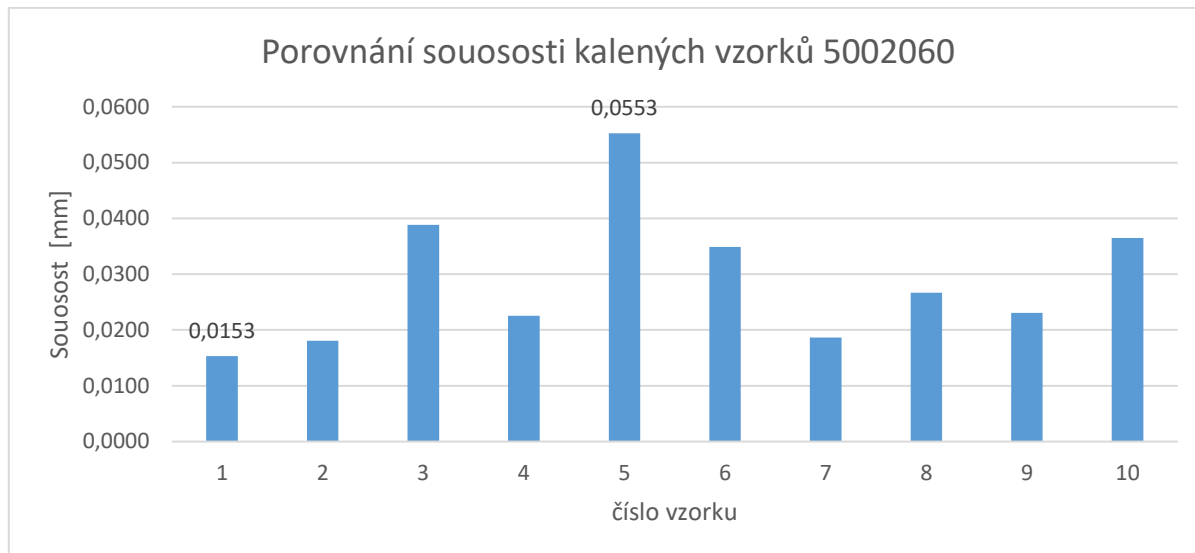
Obrázek 56 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002060 vycházející z tabulky 15

Z pohledu kruhovitosti, vzorky 5002060 netrpí tak velkou deformací, jako znatelně menší vzorky 5002027. Maximum kruhovitosti je menší a vyskytuje se u vzorku 3. Velikost maxima kruhovitosti je 0,0992 mm a minima, u vzorku 6, je 0,0128 mm. U šesti vzorků je náznak větší teplotní deformace na jedné straně.



Obrázek 57 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002060 vycházející z tabulky 15

Válcovitost kalených vzorků 5002060 je rozdílná, oproti ostatním měřeným typům. Vyskytuje se zde menší spojitost s kruhovitostí. Především u druhého vzorku, který vykazuje nižší všeobecnou kruhovitost, ale maximum válcovitosti o hodnotě 0,1242. Naznačuje to tak vyosení jednotlivých naměřených profilů kruhovitosti. Minimum válcovitosti se nachází u vzorku 7. Naměřená válcovitost je 0,0676 mm.



Obrázek 58 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002060 vycházející z tabulky 15

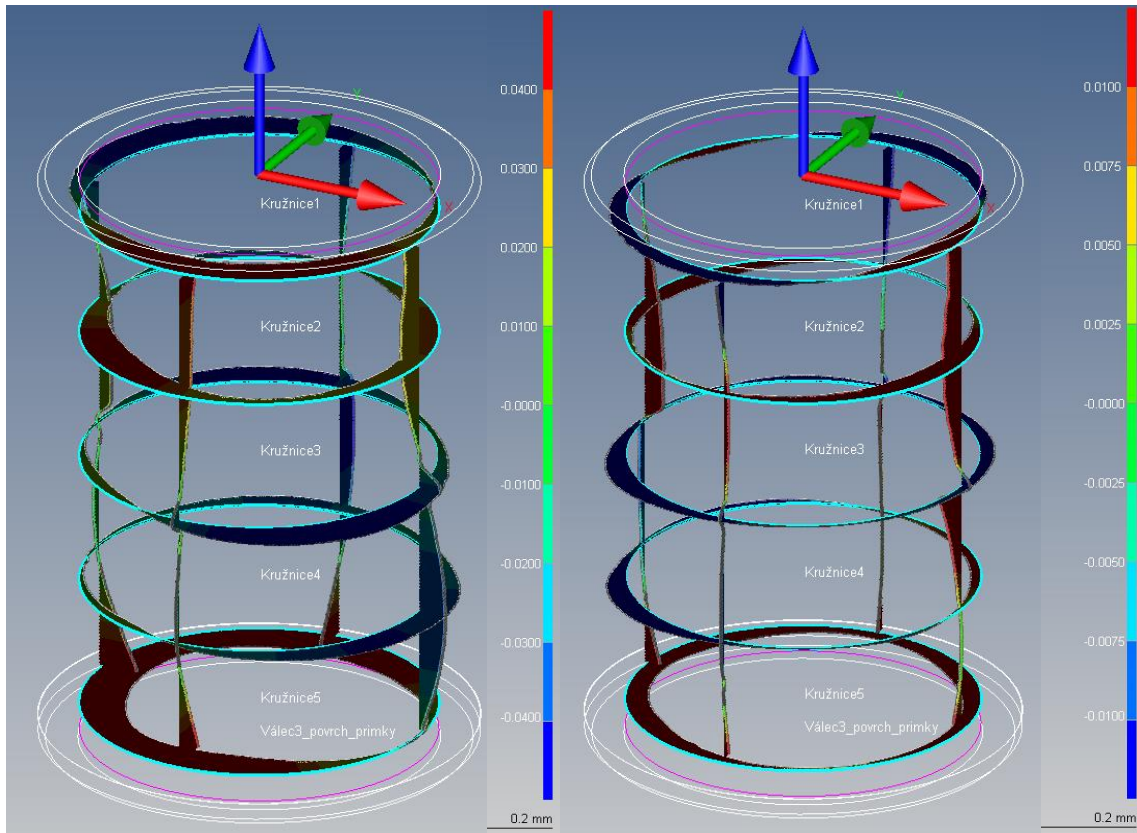
Sousost kalených vzorků vychází v maximum 0,0553 mm u vzorku 5 a 0,0153 mm jako minimum u vzorku 1.

Souhrn

Vzorky 5002060, i přes jejich velikost, mají velice podobné hodnoty se vzorky 5002027, aspoň co se týče maximálních hodnot. Je tedy patrné, že poměrové zvětšení šířky stěny polotovaru přispívá k udržení lepších hodnot geometrických odchylek. Tyto vzorky jsou prvními vzorky, kterým se po tepelném zpracování zvětšil vnitřní průměr.

Grafické znázornění naměřených hodnot

Zvětšení: 100



Obrázek 59 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002060 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí

Z obrázku je patrný vývoj válcovitosti vzorků 5002060. Vidět je přechod mezi konkávní a konvexní částí vzorku. Stále se zde objevuje dominantnější tepelné ovlivnění na jedné straně, není již ale tak výrazné, jako u jiných typů vzorku.

Tabulka 15 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002060

vyhodnocení/číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Průměr
Z-65,5	72,6382	72,6193	72,5709	72,5581	72,5805	72,6548	72,6458	72,5858	72,6340	72,6140	72,6548	72,5581	72,6101
Z-51,5	72,6675	72,5603	72,5542	72,6190	72,5844	72,6019	72,6699	72,6515	72,6088	72,6048	72,6699	72,5542	72,6122
Z-62,5	72,6752	72,6368	72,6497	72,6336	72,6667	72,6947	72,6845	72,6659	72,6887	72,6828	72,6947	72,6336	72,6679
Z-23,5	72,6098	72,6486	72,6074	72,5943	72,6302	72,6843	72,6083	72,5789	72,6724	72,6575	72,6843	72,5789	72,6292
Z-9,5	72,6574	72,5214	72,5589	72,6347	72,5485	72,6178	72,6395	72,6090	72,6130	72,5680	72,6574	72,5214	72,5968
Kruhovitost Z-65,5	0,0118	0,0213	0,0992	0,0255	0,0716	0,0264	0,0130	0,0408	0,0552	0,0391	0,0992	0,0118	0,0404
Kruhovitost Z-51,5	0,0230	0,0489	0,0718	0,0425	0,0544	0,0204	0,0232	0,0425	0,0377	0,0272	0,0718	0,0204	0,0392
Kruhovitost Z-37,5	0,0398	0,0602	0,0542	0,0440	0,0454	0,0128	0,0358	0,0467	0,0252	0,0204	0,0602	0,0128	0,0385
Kruhovitost Z-23,5	0,0392	0,0325	0,0874	0,0291	0,0442	0,0299	0,0187	0,0683	0,0224	0,0216	0,0874	0,0187	0,0393
Kruhovitost Z-9,5	0,0284	0,0420	0,0858	0,0440	0,0611	0,0198	0,0311	0,0826	0,0187	0,0180	0,0858	0,0180	0,0432
Valcovitost_D72,3	0,0755	0,1242	0,1218	0,0821	0,1060	0,0704	0,0676	0,1037	0,0674	0,0878	0,1242	0,0674	0,0906
Válcovitost_D72,3_povrch_přímky	0,0487	0,0909	0,1131	0,0755	0,0831	0,0725	0,0615	0,0682	0,0597	0,0712	0,1131	0,0487	0,0744
D90,4_5xZ-7,5;-110	90,5366	90,5362	90,5962	90,5505	90,5623	90,6300	90,5359	90,5873	90,5543	90,5280	90,6300	90,5280	90,5617
Válcovitost_D90,4	0,0635	0,0930	0,1137	0,0726	0,0934	0,0919	0,0475	0,0988	0,0613	0,0683	0,1137	0,0475	0,0804
Obv_haz_D90,4_k_zakl_A	0,1004	0,1452	0,1542	0,1338	0,1482	0,1442	0,0810	0,1544	0,1025	0,1132	0,1544	0,0810	0,1277
Príměst_osy_zakl_A	0,0153	0,0181	0,0389	0,0225	0,0553	0,0349	0,0186	0,0267	0,0231	0,0365	0,0553	0,0153	0,0290

7.12. Porovnání výsledných hodnot

V této části bych se věnuji porovnání průměrných hodnot a nálezu většího přídavku.

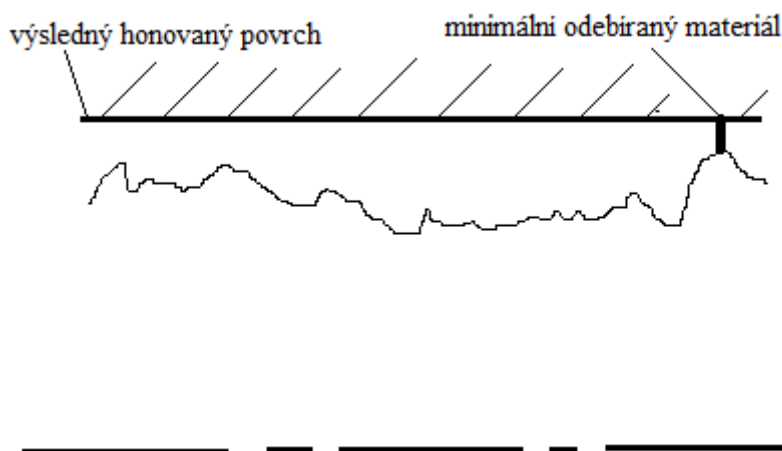
Tabulka 16 – Přídávky na honování u ocelí (viz honování)

Velikost přídavku na honování	
Průměr [mm]	Přídavek [mm]
20-50	0,01-0,02
50-100	0,015-0,03

Tabulka 17 – Znárodnění minimální potřebné tloušťky materiálu k odebrání honováním

	5002027K [mm]	5002078K [mm]	5002071K [mm]	5002060K [mm]
Cílený průměr	25,9910	16,9930	9,9950	72,9860
Maximální průměr	25,7880	16,8474	9,8903	72,6947
Rozdíl od cíle	0,2030	0,1456	0,1047	0,2913
Max. válcovitost, kružnice	0,1142	0,0762	0,0524	0,1242
Max. válcovitost, přímky	0,0804	0,0745	0,0462	0,1131
Max válcovitosti	0,1142	0,0762	0,0524	0,1242
K odebrání	0,0888	0,0694	0,0523	0,1671
Návrh snížení tolerance	0,0730	0,0570	0,0420	0,1500

Z tabulky 16 a 17 jsou patrné rozdíly předepsaného přídavku na honování. Přídavek slouží k odstranění geometrických nepřesností a drsností z předešlé operace. Je zde vidět velký nepoměr ideálního přídavku a reálně odebíraného materiálu, to vede k delším honovacím časům a větším nákladům na výrobu součásti. V tabulce 17 jsou brány nejhorší nalezené možnosti. Například u kalených vzorků 5002027 je maximální průměr v tabulce ze vzorku 1, měření v Z-13, kde válcovitost vzorku byla pouze 0,031 mm. Maximální válcovitost je brána ze vzorku 9. Při uvážení maximální chyby stroje mohou do výpočtu přidat 1 μm , ale tato hodnota je zanedbatelná. Navrhují tak snížení tolerancí dle výsledků tabulky 17.



Obrázek 60 – znázornění minimálního odebíraného materiálu v souvislosti s maximálním naměřeným průměrem

V případě odebrání tloušťky maximální válcovitosti, jsou odebrány geometrické nerovnosti. Honování neprobíhá celou plochou nástroje. Celý nástroj zabírá právě až po odebrání tloušťky válcovitosti. V realitě nelze jednoduše sčítat maximální průměr a maximální válcovitost. Je to ale bližší hodnota k extrému, který může nastat u větší geometrické deformace.

V tabulce 18 porovnávám průměrné naměřené hodnoty všech měření. V průměru, po kalení, hodnota vnitřního průměru vzorků klesá o pár setin, oproti soustruženým dílům. To je pravděpodobně dáno metodou vyhodnocování (největší vepsaná kružnice) a větší kruhovitosti. Neplatí to u součásti 5002060. Tepelně jsou nejvíce ovlivněny průměry a kruhovitosti na koncích součástí, to může být ovlivněno přenosem tepla na součást (polohou v peci). V případě vyřešení této problematiky by se teoreticky dala zmenšit válcovitost o pár setin milimetru, dle každého vzorku. Z menších vzorků (5002027, 71 a 78) se po kalení nejvíce změnila hodnota kruhovitosti a válcovitosti u vzorku 5002027, tato kruhovitost. S růstem délky a/nebo průměru roste i válcovitost po kalení a tím tedy roste objem materiálu k odebrání (a nutný přídavek před honováním).

Válcovitost u soustružených vzorků 5002027 vychází velice poblíž kruhovitosti. Ta u ostatních soustružených vzorků vychází zhruba čtyřnásobně větší. Vzorky 5002027 jsou charakteristické větším průměrem a velmi malou délkou. Tyto výsledky mohou mít souvislost s tuhostí soustružnických nožů a jejich nutností délky vysunutí. Výsledky válcovitosti po kalení nemají viditelnou souvislost s hodnotami po soustružení.

Tabulka 18 – Tabulka porovnání průměrných naměřených hodnot všech dílů po jednotlivých operacích (bez označení, po soustružení, K – po tepelném zpracování, H – po honování)

vyhodnocení/číslo vzorku	5002071	5002071K	5002071H	5002078	5002078K	5002078H	5002027	5002027K	5002027H	5002060	5002060K
Z5	9,8606	9,8437	9,9935	16,8120	16,7935	16,9923	25,7736	25,7381	25,9302	72,5680	72,6101
Z4	9,8615	9,8581	9,9942	16,8140	16,8078	16,9930	25,7741	25,7689	25,9374	72,5665	72,6122
Z3	9,8646	9,8635	9,9945	16,8112	16,8150	16,9952	25,7746	25,7707	25,9394	72,5783	72,6679
Z2	9,8593	9,8546	9,9936	16,8224	16,8200	16,9949	25,7748	25,7606	25,9455	72,5699	72,6292
Z1	9,8591	9,8472	9,9932	16,8204	16,8118	16,9944	25,7748	25,7324	25,9464	72,5730	72,5968
Kruhovitost Z5	0,0029	0,0207	0,0020	0,0033	0,0240	0,0030	0,0052	0,0454	0,0351	0,0045	0,0404
Kruhovitost Z4	0,0026	0,0117	0,0019	0,0036	0,0156	0,0029	0,0042	0,0264	0,0236	0,0042	0,0392
Kruhovitost Z3	0,0022	0,0110	0,0017	0,0074	0,0185	0,0008	0,0040	0,0235	0,0222	0,0103	0,0385
Kruhovitost Z2	0,0033	0,0092	0,0026	0,0043	0,0205	0,0012	0,0039	0,0324	0,0270	0,0036	0,0393
Kruhovitost Z1	0,0024	0,0183	0,0026	0,0039	0,0206	0,0016	0,0043	0,0558	0,0327	0,0025	0,0432
Valcovitost_vnitřní	0,0113	0,0381	0,0041	0,0206	0,0572	0,0049	0,0068	0,0736	0,0508	0,0204	0,0906
Valcovitost_vnitřní_povrch_primky	0,0134	0,0314	0,0011	0,0269	0,0526	0,0014	0,0043	0,0544	0,0321	0,0276	0,0744
D vnější průměr	14,1718	14,2108	14,0177	22,2533	22,2366	22,0160	32,2195	32,1883	31,9564	90,3841	90,5617
Obv_haz_vnější_k_zakl_A	0,0214	0,0482	0,0142	0,0290	0,0700	0,0111	0,0109	0,0804	0,0535	0,0167	0,1080
Valcovitost_vnější	0,0078	0,0263	0,0017	0,0067	0,0492	0,0026	0,0081	0,0625	0,0451	0,0260	0,1277
Přímmost_osy_zakl_A	0,0065	0,0207	0,0021	0,0099	0,0342	0,0023	0,0019	0,0241	0,0123	0,0115	0,0290

8. Operační náklady

V této části přibližně počítám s možnými úsporami, které se mohou dostavit při zavedení optimalizace snížení přídavek.

Tabulka 19 – tabulka popisující časy a náklady na operaci

operace	hodinová sazba: 566 [Kč/hod]	5002071	5002078	5002027	5002060
vnitřní broušení	čas operace [min]				31,5
	Náklady na operaci [Kč]				297,15
honování	čas operace [min]	7	10	9	30
	Náklady na operaci [Kč]	66,03	94,33	84,9	283

Vyhodnocení časů kritických operací

Pro mnou zvolené součásti byly ve firmě Mahr naměřeny časy potřebné k dokončení kritických operacích. Kritickými operacemi označuji operace vnitřní broušení a hlavně honování. Součásti 5002060 nebudou zahrnuty do těchto výpočtů v důsledku pozdější výroby, tepelného zpracování. Objemy produkce rok 2017 popisuje tato tabulka.

Tabulka 20 – Objem produkce jednotlivých vzorků za rok 2017

Vzorek	Roční produkce [ks]
5002071	1148
5002078	1722
5002027	612

V tabulce níže můžeme vidět výsledky naměřených časů a jejich porovnání s naměřenými rozměrovými vlastnostmi součástí. Největší rozdíly v časech je možné pozorovat u prvních hrubovacích operací. Ostatní časy jsou lehce ovlivněny manipulací operátora. Všechny časy pro naše měřené vzorky byly pod hodnotou času na průvodce. Výsledné časy je potřeba brát s rezervou. Byly měřeny stejným operátorem, obsluhující stroj a výsledky z těchto výpočtů jsou pouze orientační. S jistotou se nedá říct, zda byly naměřeny i vzorky s příslušným označením. Proto budu v budoucích výpočtech zhodnocovat pouze krajní hodnoty.

Tabulka 21 – tabulka naměřených časů honování a porovnání s naměřenými hodnotami rozměrů a úchylek

položka	vnitřní průměr d2 [mm]	Délka [mm]	čas / číslo kusu			č. operace	čas na průvodce
			10	3	6		
5002078	17	42	2:57	2:45	2:59	1	10 min
			2:50	3:00	2:32	2	
			1:50	1:55	1:40	3	
			0:21	0:20	0:16	4	
suma			7:58	8:00	7:27		
Předpověď		max d2 [mm]	min d2 [mm]	průměr d2 [mm]	Válcovitost [mm]	max-min [mm]	čas honování [min: s]
10	max	16,8370	16,7652	16,8151	0,0762	0,0718	7:58
3	mid	16,8334	16,7529	16,8088	0,0636	0,0806	8:00
6	min	16,8471	16,8190	16,8349	0,0379	0,0280	7:27

položka	vnitřní průměr d2 [mm]	Délka [mm]	čas / číslo kusu			č. operace	čas na průvodce
			10	5	7		
5002071	10	36	3:06	3:14	3:35	1	7 min
			1:54	1:45	1:49	2+3	
			0:19	0:21	0:22	4	
suma			5:19	5:20	5:46		
Předpověď		max d2 [mm]	min d2 [mm]	průměr d2 [mm]	Válcovitost [mm]	max-min [mm]	čas honování [min: s]
7	max	9,8766	9,8294	9,8605	0,0524	0,0473	5:46
5	mid	9,8511	9,8137	9,8376	0,0360	0,0374	5:20
10	min	9,8721	9,8462	9,8603	0,0315	0,0258	5:19

položka	vnitřní průměr d2 [mm]	Délka [mm]	čas / číslo kusu			č. operace	čas na průvodce
			9	10	4		
5002027	26	56	5:06	4:00	3:58	1	9 min
			2:44	2:48	2:43	2+3	
			0:18	0:16	0:15	4	
suma			8:08	7:04	6:56		
Předpověď		max d2 [mm]	min d2 [mm]	průměr d2 [mm]	Válcovitost [mm]	max-min [mm]	čas honování [min: s]
9	max	25,7875	25,6516	25,7405	0,1142	0,1359	8:08
10	mid	25,7541	25,7013	25,7367	0,0758	0,0528	7:04
4	min	25,7836	25,7564	25,7764	0,0397	0,0272	6:56

Zhodnocení případných úspor

Výsledné porovnání bude vycházet ze součtu (max-min) a válcovitosti u krajních hodnot. Tyto krajní hodnoty se pak od sebe odečtou a výsledkem bude navíc odebíraný materiál. Stejně tak se odečtou i časy.

Rovnice 1 – rovnice použité ve zhodnocení úspor vycházející z tabulky 21

$$OM_{extra} = (max - min) + válcovitost$$

$$\Delta OM_{extra} = OM_{extramax} - OM_{extramin}$$

$$\Delta T = T_{Maxhon} - T_{minhon}$$

Tabulka 22 – tabulka popisující výsledky rovnic 1

	OM _{extramax} [mm]	Δ OM _{extramin} [mm]	Δ OM _{extra} [mm]	Δ T [min: s]
5002078	0,1480	0,0659	0,0821	0:33
5002071	0,0997	0,0573	0,0423	0:27
5002027	0,2501	0,0669	0,1833	1:12

Po porovnání výsledných časů a ΔOM_{extra} s návrhem snížení přídávku jsem došel k výsledku, že průměrně se uspoří přibližně 30 sekund na jednom obrobeném dílu. Kdyby byla brána v potaz vyšší přípustná míra snížení přídávku (až 100 % přebytečného materiálu) ušetřila by se tím 1 minuta honování.

S ohledem na roční produkce by to znamenalo úsporu ve výši:

	Tpřídávky [s]	časové úspory [%]	roční objem výroby [ks]	Roční úspora [Kč]
5002078	0:22	4,77	1148	3790
5002071	0:26	7,75	1722	7039
5002027	0:28	5,88	612	2694

Celková roční úspora za tři vybrané součásti: **13 523 Kč**

Tento výsledek platí v případě odebrání rozdílné geometrické odchylky. Při snížení přídávku se reálně odebrá plný materiál a tvarové změny po tepelném zpracování zůstávají podobné. Rozdíl v tomto přístupu je takový, že se uvažuje odebrání plného materiálu, ne jenom vzniklých tvarových nepřesností, a proto tedy většího objemu materiálu. Pro zjednodušení využiji minimální průměr d₂ jako výchozí rozměr, zjistím čas úběru 1 μm materiálu, dosadím do návrhu snížení přídávku a vyjádřím tak úspory z pohledu přímé úměry času operace k odebíranému materiálu.

Tabulka 23 – tabulka součástí 5002078, 5002071, 5002027 a po ročním součtu 5002060 popisující úspory s ohledem na odebrání plného materiálu

D2 hon [mm]	d2 min [mm]	rozdíl [mm]	čas honování [s]	rychlost odběru [mm/s]	úspora [s]	úspora [%]	úspora [Kč/díl]	úspora [Kč/rok]
16,993	16,8151	0,1779	478,00	0,00037	153,1	32,04	24,08	41464,26
16,993	16,8088	0,1842	480,00	0,00038	148,5	30,94	23,35	40213,65
16,993	16,8349	0,1581	447,00	0,00035	161,1	36,05	25,34	43631,24
			průměr	0,00037	154,2	33,01	24,26	41769,72

D2 hon [mm]	d2 min [mm]	rozdíl [mm]	čas honování [s]	rychlost odběru [mm/s]	úspora [s]	úspora [%]	úspora [Kč/díl]	úspora [Kč/rok]
9,995	9,8605	0,1345	346	0,00039	108,0	31,23	16,99	19501,09
9,995	9,8376	0,1574	320	0,00049	85,3	26,68	13,42	15411,69
9,995	9,8603	0,1347	319	0,00042	99,4	31,18	15,64	17952,63
			průměr	0,00043	97,6	29,70	15,35	17621,81

D2 hon [mm]	d2 min [mm]	rozdíl [mm]	čas honování [s]	rychlost odběru [mm/s]	úspora [s]	úspora [%]	úspora [Kč/díl]	úspora [Kč/rok]
25,991	25,6516	0,3394	488	0,0007	104,9	21,51	16,50	10099,41
25,991	25,7013	0,2897	424	0,00068	106,8	25,20	16,80	10280,29
25,991	25,7564	0,2346	416	0,00056	129,4	31,12	20,35	12455,28
			průměr	0,00065	113,7	25,94	17,88	10945,00

Celková průměrná roční úspora za tři vybrané součásti: **70 335 Kč**

D2 hon [mm]	d2 min [mm]	rozdíl [mm]	čas honování [s]	rychlost odběru [mm/s]	úspora [s]	úspora [%]	úspora [Kč/díl]
72,986	72,5214	0,4646	1800,00	0,00026	581,145071	32,2858	91,3689

Takto vychází přibližný odhad za vypočtené součásti. Jedná se o součásti vyráběné nejvíce. Vzhledem k nedostatkům údajů ze vzorků 5002060 je zde alespoň náznak úspory na jednom dílu. Jelikož ale nemám zmapovanou celou součást, reálně se na vzorcích nacházejí menší průměry. To povede ke všeobecnému snížení úspor o menší podíl než ve výpočtech. Firma Mahr s.r.o., Proboštov vyrábí desítky druhů ložiskových pouzder a zavedením této optimalizace lze dosáhnout na roční úspory, které se mohou pohybovat kolem milionu Kč.

9. Návrhy optimalizace

9.1. Odůvodnění

U ložiskových pouzder bylo dlouhodobě dosahováno dlouhých časů honování. Z důvodu úspor v tomto ohledu bylo z mé strany provedeno měření a vyhodnocení součástí. Samotné měření vedlo k závěru, že jednotlivá pouzdra mají větší přídavky po soustružení, než je nutné po tepelném zpracování. Z toho ohledu bych jako hlavní a nejjednodušší část optimalizace viděl snížení přídavků. V sekci 9.2. nastíním možné další kroky optimalizace, které mohou být využity v kombinaci se snížením přídavků nebo zvlášť.

9.2. Jednotlivé návrhy

Snížení přídavků

Odůvodnění tohoto návrhu vychází ze sekce 7, z prováděného měření. Teoretickými úsporami se zabývám v sekci 8, operační náklady.

Řešení: Postupné snižování přídavků. Výzkum v oblasti, do jaké míry lze přídavky snižovat, aby úspory u honování nebyly ve finále nižší než cena zmetkových dílů. Jednotlivé snížení přídavků pak bude snižovat odebíraný materiál honování v setinách až desetínách milimetrů.

Poznámka: V případě snahy snížit přídavky ještě o větší podíl, doporučuji zvážit odběr poslední třísky vystružením (po soustružení).

Změna v tepelném zpracování

V této části je prostor pro několik úprav.

Kalící přípravek

Vzorky jsou do kalící pece přiváženy na vozíku. Ten při ohřívání s největší pravděpodobností odebírá mnoho energie na ohřátí jeho základní desky, kde jsou ložisková pouzdra vyskládána. Tento jev pak zapříčiní, že spodní část pouzder je pomaleji ohřívána než zbytek pouzdra a tím dochází k vyšší kruhovitosti, válcovitosti, nižšímu vnitřnímu průměru a tím i k nutnosti odebrání většímu objemu materiálu při následující operaci. To vše zvětšuje velikost předepsaných přídavků po soustružení.

Řešení: Je potřeba navrhnout opěrnou plochu, na které budou pouzdra položeny, která jejich spodní část nebude tolik tepelně ovlivňovat. Osobně mě napadá něco podobného roštu, respektive mřížce, která by byla vyzdvižena od základní desky. Řešení rozmanitosti velikosti dílů v sázce by se dala korigovat vložkami nebo atypicky navrženou mřížkou. Výsledkem pak může být snížení přídavku v řádu setin.

Okamžité mražení kalených dílů

Další položkou v rámci tepelného zpracování je zamražení kalených dílů. Jeho funkcí je zmenšení podílu zbytkového austenitu. Oproti nynějším praktikám, je potřeba, místo jednoho až tří dnů, přenést zakalený předmět co nejdříve do prostředí s teplotou pod bodem mrazu. Zajistí se tím tak rozměrová stabilita. [17, 19]

Řešení: V případě jednoduché domluvy a dobré kooperace, domluvit s kalírnou tento postup. V důsledku je možné opět snížit přírůstek.

Laserové kalení

Poslední změnou tepelného zpracování může být změna technologie kalení. V tomto případě se bavíme o změně na kalení laserové. Pomocí laserového svazku je možné rychle a kvalitně tepelně zpracovat povrch materiálu až do hloubky 2,5 mm. [16]

Hlavními výhodami laserového kalení jsou pro ložisková pouzdra jsou nízké teplotní deformace, online řízení procesní teploty, vysoká procesní rychlost a efektivita, nízká oxidace povrchu. [16]

Řešení: Výsledkem by byla pouzdra s malou teplotní deformací a tím snížení přírůstků a času honování. Pro technologii laserového kalení by byla vhodná pravděpodobně jen menší pouzdra s tloušťkou stěny 2,5 mm. Kalení z vnitřní i vnější strany by bylo časově a finančně náročnější.

Změna technologie obrábění

Využití vysokorychlostního soustružení

Operace honování by kvůli své nákladnosti měla odstraňovat pouze minimální geometrické odchylky a drsnost povrchu po předchozí operaci. Využití honování po kalení není efektivní z pohledu nutnosti odebrat větší množství materiálu. Z tohoto důvodu by mezi tepelným zpracováním a honováním měla být operace, která odebírá větší objem materiálu rychleji. Tou by mělo být tvrdé obrábění vysokorychlostním soustružením.

Řešení: Toto řešení by výrazně snížilo honovací časy. Po této operaci by již největší nepřesnosti byly odebrány a honovalo by se jen pár setin materiálu. Na úspory by ovšem měly dopad i náklady na případný nový stroj, jeho časové využití, další náklady z pohledu logistiky a toku materiálu.

Elektrolytické honování

Z důvodu většího přírůvku a menší rychlosti úběru materiálu je vhodné jednu z těchto záležitostí vyřešit. Elektrolytické honování by zajistilo větší rychlost úběru oproti běžnému honování pomocí elektrolytického rozpouštění. [8]

Řešení: Tento způsob honování by snížil honovací časy. Nastává zde otázka, jak moc je zapotřebí upravit nynější stroje, nebo jestli je potřeba koupit nové. Je tedy nezbytné si ujasnit výhodnost případné investice.

10. Závěr

V diplomové práci zaměřené na ložisková pouzdra firmy Mahr s.r.o., Proboštov, se zabývám optimalizací výroby pouzder. Pouzdra mají jednoduchý technologický postup. Skládá se ze soustružení, tepelného zpracování, honování a broušení vnějších průměrů a vnitřních větších průměrů. Tepelné zpracování se provádí formou kooperace, kde jsou pouzdra po odeslání zakalena a popuštěna.

Pro navržení optimalizace bylo zapotřebí získat bližší informace o součásti. Rozhodl jsem se pro analýzu geometrických odchylek a rozměrů po každé operaci. K tomuto účelu byly firmou Mahr vybrány čtyři rozdílná pouzdra s nejvyšším ročním objemem výroby. Jako způsob měření jsem vybral vyhodnocení průměrů a geometrických tolerancí na souřadnicovém měřicím stroji Carl Zeiss Prismo. Navrhl jsem metodiku kontroly, která spočívala v měření průměrů a geometrických odchylek. Vše bylo prováděno na souřadnicovém měřicím stroji Carl Zeiss Prismo.

Výsledky měření jsem vyhodnocoval v tabulkách, z kterých jsem následně vytvořil grafy znázorňující rozdíly jak mezi jednotlivými kusy, tak i typy vzorků. Našly se tak mezi nimi jisté podobnosti i naprosté odlišnosti. Jednou z nich je vyšší hodnota válcovitosti v důsledku soustružení ze dvou stran součásti. Po kalení se objevuje rozdílnost kruhovitosti na obou koncích součásti, kde je možným vysvětlením teplotní ovlivnění vzorků podložkou během kalení. Takto ovlivněný materiál nemá rovnoměrné zahřívání a výsledkem jsou větší geometrické odchylky, převážně kruhovitost a válcovitost. Posledním výsledkem bylo zjištění, že průměry po kalení nebyly značně ovlivněny tepelným zpracováním. Všechny výsledky a jejich analýza posloužily k návrhům optimalizace.

Optimalizace je prováděna s myšlenkou snížení nákladů na výrobu a podle toho se také musí vyhodnocovat. Pro implementaci do celé výroby je potřeba každý návrh dopodrobna spočítat s použitím interních dat.

Jako hlavní a nejjednodušší návrh volím snížení přídavků po soustružení. Touto úpravou lze ušetřit setiny odebíraného materiálu při honování. Zavedení této optimalizace u zkoumaných dílů vyžaduje pouze minimální náklady na změnu technologických postupů a návodek ve výrobě. V případě implementace optimalizace na ostatní vyráběné díly závodu je potřeba vlastního průzkumu v Mahr, Proboštov. Je zde ovšem velká pravděpodobnost, že plošným snížením přídavku o 10 % nedojde k zvýšení zmetkovitosti výroby, ale k snížení nákladů na výrobu. Detailní implementace možných úspor, u mnou měřených vzorků, je přibližně vyhodnocena v části operační náklady. Zde popisují dva teoretické výsledky úspor. Jeden s průměrnými úspory 6 % a druhý s přibližně 30 %. Obě varianty výpočtu popisují extrém a reálná úspora bude pravděpodobně někde mezi nimi.

Další návrhy optimalizace a jejich efektivita jsou závislé na mnoha faktorech. Veškeré jejich výsledky mají zaručit menší geometrické odchylky po tepelném zpracování a tím snížit přídavek. V případě tepelného ovlivnění dílu a předpokladu, že je díl ovlivněn z jedné strany podložkou vsázky, je potřeba navrhnout přípravek, který by se rychleji zahřál a tepelně neovlivňovala pouzdra při kalení. Pro zaručené zjištění původu tepelného ovlivnění je vhodné kraje dílu označit a dokumentovat jejich vložení do sázky. Pro větší rozměrovou stabilitu je vhodné díly zamrazovat v co nejkratší době po tepelném zpracování. V případě změny

tepelného zpracování a zlepšení tak výsledného tvaru se nabízí laserové kalení. To je vhodné pro pouzdra s tloušťkou stěny do 2,5 mm.

Posledním návrhem, který jsem zvažoval hned po zadání diplomové práce je přidání mezioperace před honováním. Operace honování nemá velký úběr materiálu a není tedy výkonná. Hlavní předností je přesnost a drsnost výsledné plochy. Pro případ vyššího úběru materiálu by se nabízelo využití vysokorychlostního soustružení s břity určenými pro tvrdé obrábění. Výhodnost ovšem závisí na velikosti investice, dosaženém výsledku a reálnosti návratu investice. Jako další možnost je zavedení elektrolytického honování.

Ve výsledku je zde tedy mnoho možností, jak postupovat. V diplomové práci je zmapování stavu dílů po jednotlivých operacích. Tato data se mohou nadále použít k vlastním úvahám a možnostem optimalizace lidmi uvnitř firmy Mahr, kteří s jednotlivými díly přišli více do styku.

11. Seznam použité literatury

- [1] Mahr [online]. [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <https://www.mahr.com/>
- [2] Marmotion: HIGH-PRESITION ROTARY STROKE BEARINGS [online]. 3rd ver. Göttingen: Mahr, 2005 [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: https://www.mahr.com/images/OnlineKataloge/MarMotion/MarMotion-Gesamtkatalog--EN/blatterkatalog/index.html#page_16
- [3] MarMotion--FI--HochgenauKugelführung--DE. In: Youtube [online]. [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=R_HTV2KIig8
- [4] STEINEL. Standardisierte Modulsysteme für die Folgeverbundtechnik. In: Youtube [online]. [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=JuZrcBvasvs>
- [5] (materiálový list oceli 14 109) ČSN 144109. Chromová ocel pro valivá ložiska: ocel 14 109. Praha: český normalizační institut, 1978.
- [6] Nízkolegované konstrukční oceli třídy 14, jejich složení a tepelné zpracování. In: TumliKOVO [online]. c2010 [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nizkolegovane-konstrukcni-oceli-tridy-14-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
- [7] Dokončovací metody úpravy povrchu: Honování. In: ELUC [online]. [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1384>
- [8] HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část. Brno, 2005. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE.
- [9] Následné doladění pro obráběcí stroje. In: Cnckonstrukce [online]. c2018 [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/novinka-121/nasledne-doladeni-pro-obrabeci-stroje.html>
- [10] Kruhovitost a tolerance měření v praxi. Hommel etamic [online]. [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: https://www.hommel-etamic.cz/files/094_14-hommel-plakat-kruhovitost-1000x700mm.pdf
- [11] METROLOGICKÁ PŘÍRUČKA: pro přesné měřicí přístroje [online]. In: MITUTOYO. Teplice, 40 - 41 [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <http://www.ms-kalibrace.cz/pdf/katalog/mitutoyo/prc1389.pdf>
- [12] ISO 1101: Geometrical Product Specifications (GPS)–Geometrical tolerancing–Tolerances of form, orientation, location and run-out. 4th ed. Geneva, 2017.
- [13] MAHR. Form. Úchyly tvaru a polohy: ISO 1101.
- [14] Strojírenská metrologie: Přesné měření na CMM Carl Zeiss. Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie [online]. [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <http://technologie.fs.cvut.cz/provide/mereni>

[15] ZEISS PRISMO: Ideal for All Measuring Tasks. In: Zeiss [online]. Minneapolis: Carl Zeiss Industrial Metrology, 2017 [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/bridge-type-cmms/prismo.html>

[16] LASEROVÉ KALENÍ. VÚTS [online]. Liberec: VÚTS Liberec, c2013 [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <http://www.vuts.cz/laserove-kaleni-1.html>

[17] PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-720-4283-1.

[18] Vzduchová měřidla. Aeropan [online]. [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <http://www.aeropan.eu/vyrobky/vzduchova-meridla>

[19] Kryogenní zpracování. Zps - frézovací nástroje [online]. ZPS-FN, c2018 [cit. 2018-07-28]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/kryogenni-zpracovani/>

12. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 - Foto a nákres vyráběného ložiskového pouzdra N 550 [2]	8
Obrázek 2 - Princip použití otevřeného ložiskového pouzdra N 550 [1]	9
Obrázek 3 - Použití valivých ocelových ložisek v praxi 133, 136 [3, 4].....	9
Obrázek 4 - Ukázka honovací hlavy s brusnými kameny [9].....	13
Obrázek 5 - Znázornění vyhodnocovacích metod. 1 - MZC, 2 - MIC, 3 - LSC, 4 – MCC [10]	14
Obrázek 6 - Značení a vzhled tolerance kruhovitosti a její měření [11, 12].....	15
Obrázek 7- Značení a vzhled tolerance válcovitosti a způsob měření [11, 12]	15
Obrázek 8 - Značení a vzhled tolerance sousosti a způsob měření [11, 12].....	16
Obrázek 9 - Vliv zavedení filtru měření na výsledky měření [11]	17
Obrázek 10 - Souřadnicový měřicí stroj Carl Zeiss Prismo ultra [15]	18
Obrázek 11 – Průběh měření na vzorku 5002078	19
Obrázek 12 - Způsob uchycení dílu 5002060 (kuličkové pouzdro s vnitřním průměrem 73 mm.	20
Obrázek 13 - příchozí stav dílů po soustružení	21
Obrázek 14 – stav dílů po kalení.....	22
Obrázek 15 - Stav dílů po honování (foto s navíc poslanými díly).....	23
Obrázek 16 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002071 vycházející z tabulky 4.....	24
Obrázek 17 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002071 vycházející z tabulky 4	24
Obrázek 18 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002071 kružnice/přímka vycházející z tabulky 4	25
Obrázek 19 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002071 vycházející z tabulky 4.....	25
Obrázek 20 – Obrázek grafického znázornění soustružených vzorků 5002071 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí po kalení	26
Obrázek 21 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002071 vycházející z tabulky 5	28
Obrázek 22 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002071 vycházející z tabulky 5.....	28
Obrázek 23 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002071 vycházející z tabulky 5.....	29
Obrázek 24 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002071 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí.....	30
Obrázek 25 - Graf porovnání kruhovitosti honovaných vzorků 5002071 vycházející z tabulky 6	32
Obrázek 26 - Graf porovnání válcovitosti honovaných vzorků 5002071 vycházející z tabulky 6	32
Obrázek 27 - Graf porovnání sousosti honovaných vzorků 5002071 vycházející z tabulky 6.....	33
Obrázek 28 - Obrázek grafického znázornění honovaného vzorku 5002071 s naměřenou maximální válcovitostí	34
Obrázek 29 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7.....	36
Obrázek 30 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7	36
Obrázek 31 - Graf porovnání válcovitostí vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7	37
Obrázek 32 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002078 vycházející z tabulky 7.....	37
Obrázek 33 - Obrázek grafického znázornění soustružených vzorků 5002078 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí	38
Obrázek 34 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002078 vycházející z tabulky 9	40
Obrázek 35 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002078 vycházející z tabulky 9.....	40
Obrázek 36 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002078 vycházející z tabulky 9.....	41
Obrázek 37 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002078 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí.....	42
Obrázek 38 - Graf porovnání kruhovitosti honovaných vzorků 5002078 vycházející z tabulky 10	44
Obrázek 39 - Graf porovnání válcovitosti honovaných vzorků 5002078 vycházející z tabulky 10.....	44
Obrázek 40 - Graf porovnání sousosti honovaných vzorků 5002078 vycházející z tabulky 10.....	45
Obrázek 41 - Obrázek grafického znázornění honovaného vzorku 5002078 s naměřenou maximální válcovitostí	46
Obrázek 42 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002027 vycházející z tabulky 11.....	48
Obrázek 43 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002027 vycházející z tabulky 11	48
Obrázek 44 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002027 vycházející z tabulky 11	49
Obrázek 45 - Obrázek grafického znázornění soustruženého vzorku 5002027 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí	50
Obrázek 46 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002027 vycházející z tabulky 12	52
Obrázek 47 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002027 vycházející z tabulky 12.....	52

Obrázek 48 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002027 vycházející z tabulky 12.....	53
Obrázek 49 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002027 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí.....	54
Obrázek 50 - Obrázek grafického znázornění honovaných a znovu kalených vzorků 5002027, válcovitost vzorku 1	57
Obrázek 51 - Graf porovnání kruhovitosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14.....	58
Obrázek 52 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14	58
Obrázek 53 - Graf porovnání válcovitosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14	59
Obrázek 54 - Graf porovnání sousosti vzorků 5002060 vycházející z tabulky 14	59
Obrázek 55 - Obrázek grafického znázornění soustružených vzorků 5002060, vzorek 2 (vlevo) a vzorek 9.....	60
Obrázek 56 - Graf porovnání kruhovitosti kalených vzorků 5002060 vycházející z tabulky 15	62
Obrázek 57 - Graf porovnání válcovitosti kalených vzorků 5002060 vycházející z tabulky 15.....	62
Obrázek 58 - Graf porovnání sousosti kalených vzorků 5002060 vycházející z tabulky 15.....	63
Obrázek 59 - Obrázek grafického znázornění kalených vzorků 5002060 s naměřenou maximální (vlevo) a minimální válcovitostí.....	64
Obrázek 60 – znázornění minimálního odebíraného materiálu v souvislosti s maximálním naměřeným průměrem	66
Tabulka 1 - Tabulka vnitřních přídavek původně navržených po soustružení.....	10
Tabulka 2 - Tabulka vnitřních přídavek změněná kvůli tepelnému zpracování.....	11
Tabulka 3 - Chemické složení oceli 14 109 [hm. %] [6].....	12
Tabulka 4 - číselné výsledky měření vzorků 5002071	27
Tabulka 5 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002071.....	31
Tabulka 6 - číselné výsledky měření honovaných vzorků 5002071.....	35
Tabulka 7 - číselné výsledky měření soustružených vzorků 5002078	39
Tabulka 8 – tabulka průměrných hodnot kruhovitosti vzorku 5002078.....	41
Tabulka 9 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002078.....	43
Tabulka 10 - číselné výsledky měření honovaných vzorků 5002078.....	47
Tabulka 11 - číselné výsledky měření soustružených vzorků 5002027	51
Tabulka 12 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002027.....	55
Tabulka 13 - číselné výsledky měření honovaných (a znovu zakalených) vzorků 5002027	56
Tabulka 14 - číselné výsledky měření soustružených vzorků 5002060	61
Tabulka 15 - číselné výsledky měření kalených vzorků 5002060.....	65
Tabulka 16 – Přídavky na honování u ocelí (viz honování).....	66
Tabulka 17 – Znázornění minimální potřebné tloušťky materiálu k odebrání honováním	66
Tabulka 18 – Tabulka porovnání průměrných naměřených hodnot všech dílů po jednotlivých operacích (bez označení, po soustružení, K – po tepelném zpracování, H – po honování).....	68
Tabulka 19 – tabulka popisující časy a náklady na operaci	69
Tabulka 20 – Objem produkce jednotlivých vzorků za rok 2017	69
Tabulka 21 – tabulka naměřených časů honování a porovnání s naměřenými hodnotami rozměrů a úchylek.....	70
Tabulka 22 – tabulka popisující výsledky rovnic 1.....	71
Tabulka 23 – tabulka součástí 5002078, 5002071, 5002027 a po ročním součtu 5002060 popisující úspory s ohledem na odebrání plného materiálu.....	72