

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE TVAROVÉHO BROUŠENÍ SE ZVÝŠENÝMI POŽADAVKY NA KVALITU OBROBENÉ PLOCHY

OPTIMIZATION OF A SHAPE GRINDING WITH
INCREASED DEMANDS ON QUALITY OF MACHINED
SURFACE

DISERTAČNÍ PRÁCE
PhD THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. KAREL OSIČKA

ŠKOLITEL
TRAINER

Doc. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.

BRNO 2009

Janu Osičkovi

Abstrakt

Disertační práce se zabývá hledáním nejvhodnější technologické metody pro způsob výroby drážky ve šroubovici a zohledňuje vysoké požadavky na přesnost a kvalitu obráběného povrchu. Vybranou technologickou metodu podrobně řeší do podoby průmyslové aplikace a využívá přitom řady dostupných informací z oblasti broušení. Současně práce popisuje další nové technologické poznatky, které ovlivňují přesnost a kvalitu povrchu. Nedílnou součástí práce je originální programové řešení využívající maximálním způsobem technologické možnosti čtyřosého broušícího stroje. Vzhledem ke složitosti řídicího programu je tento doplněn i podrobným manuálem k použití. Součástí práce je rovněž výpočet předpokládané pravděpodobnosti dosažení správného výsledku při obrábění a statistické vyhodnocení zhotovené série.

Abstract

The thesis deals with research of an appropriate technology for a helical groove production taking high demands for accuracy and quality into consideration. The selected method is solved into details and is used in practice successfully. A series of technological data and advanced technological information is used also. Some new phenomena influencing the final accuracy and quality of the surface are found and described. A genuine method of four-axes programming and optimum use of the grinding machine is worked out. For any other potential use in the future a detailed manual is given for deep understanding of the whole technological know-how. Statistical assessment of the process and prediction of the expected and needed machining parameters has been done.

Bibliografická citace

Osička, K. *Optimalizace tvarového broušení se zvýšenými požadavky na kvalitu obrobené plochy: Disertační práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2009, 80s, 5 příloh, 81 – 90 s. Školitel doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně a že všechny použité zdroje jsem správně a úplně citoval.

V Brně dne 20.4.2009

.....
Ing.Karel Osička

Poděkování

Děkuji tímto svému školiteli doc.Ing.Miroslavu Píškovi, CSc. za odborné vedení a za zabezpečení mého doktorského studia. Děkuji i panu doc. RNDr. Zdeňkovi Karpíškovi, CSc., ÚM FSI VUT v Brně za cennou spolupráci při statistickém zpracování měřených veličin.

Klíčová slova

Broušení, broušící kotouč, drážka ve šroubovici, tvářecí trn.

Key words

Grinding, grinding wheel, groove in helix, faces thorn.

Obsah	str.
Úvod	10
1 Současný stav metod tvarového broušení	11
1.1 Materiály brousicích kotoučů	11
1.1.1 <i>Konvenční brusivo</i>	11
1.1.2 <i>Kubický nitrid bóru</i>	12
1.1.3 <i>Diamantové brusivo</i>	12
1.2 Metody tvarování brousicích kotoučů	13
1.2.1 <i>Tvarování v brusičské kolébce</i>	13
1.2.2 <i>Tvarování dle šablony</i>	14
1.2.3 <i>Orovnání vtlačáním tvaru do kotouče</i>	14
1.2.4 <i>Brousicí kotouče s naneseným brusivem</i>	15
1.2.5 <i>Tvarování na CNC stroji</i>	15
2 Zaměření disertační práce	16
3 Tvarové broušení	17
3.1 Technologický rozbor součástky tvářecí trn	17
3.2 Návrh metody tvarového broušení	20
3.2.1 <i>Použití veličiny pravděpodobnosti</i>	21
3.2.2 <i>Pravděpodobnost shodného výrobku</i>	22
3.2.3 <i>Spolehlivost soustavy metody s konstantním průměrem brousicího kotouče</i>	23
3.2.4 <i>Spolehlivost soustavy metody s proměnným průměrem brousicího kotouče</i>	24
3.2.5 <i>Volba metody tvarového broušení</i>	26
4 Rozpracování zvolené metody tvarového broušení	27
4.1 Technologické možnosti ostříčky WU 400 CNC Schütte	27
4.2 Možnosti programového vybavení stroje	29
4.3 Volba diamantových orovnávacích hrotů	30
4.4 Volba brousicích kotoučů	32
4.5 Volba řezné kapaliny	32
4.6 Koncept technologické metody	33
4.7 Rozbor vlivu nezávislých prvků spolehlivostní soustavy	35
5 Řešení NC programu pro řídicí systém stroje	37
5.1 Grafické prostředí programového editoru	37
5.2 Základní schéma řídicího NC programu	39
5.3 Schéma jednotlivých podprogramů	43
5.3.1 <i>Podprogramy pro broušení</i>	43

5.3.2 Podprogramy pro orovnávaní	45
6 Metody měření a statistika	54
6.1 Specifikace nejdůležitějších rozměrů	54
6.2 Statistické vyhodnocení	56
7 Manuál k řídicímu NC programu	63
7.1 Vzorový obrobek	63
7.2 Pomůcky a nářadí	63
7.3 Řídicí program	64
7.4 Postup seřízení stroje a NC programu %940608	66
7.5 Sled podprogramů již odladěného programu	71
7.6 Kontrolní protokol	71
7.7 Vliv brousicího kotouče na tvar drážky	71
Závěr	73
Seznam použitých symbolů a zkratk	74
Seznam zdrojů	75
Seznam obrázků	77
Seznam tabulek	78
Seznam vlastních prací vztahující s k tématu disertační práce	79
Seznam příloh	80

Úvod

Tato práce popisuje vývoj a realizaci technologické metody přesného tvarového broušení. Broušení jako takové patří mezi nejstarší metody obrábění materiálů, které člověk znal a využíval již v předhistorických dobách k výrobě nebo úpravě životně důležitých pomůcek, především ostření nástrojů a zbraní. Jako brousící nástroje byly používány v přírodě se volně vyskytující nerosty např. pískovec, křemen, břidlice apod. Tato funkce ostření nástrojů představovala hlavní náplň broušení prakticky až do konce 19. století (8). Prudký rozvoj technologie broušení, který nastal počátkem 20. století, byl vyvolán stupňujícími se požadavky na vysokou přesnost součástí a byl umožněn objevy umělých brousících materiálů s rovnoměrnou a lepší kvalitou, než měly běžné materiály přírodní. Dalším přelomovým zlomem v oblasti broušení byl postupný nástup numerického řízení i v oblasti brousících strojů ve druhé polovině 20. století. Dnes se jedná o prakticky nejrozšířenější dokončovací metodu obrábění ve strojírenské technologii s řadou možností jednotlivých aplikací.

1. Současný stav metod tvarového broušení

Stávající stav možných metod tvarového broušení je posouzen z hlediska brousicích materiálů a možných způsobů tvarování kotoučů.

1.1 Materiály brousicích kotoučů

Materiál brousicích kotoučů tvoří uměle vyrobené látky, které se označují jako konvenční brusivo. Z ostatních materiálů jsou nejdůležitější kubický nitrid bóru rovněž uměle vyrobený a dále syntetický nebo přírodní diamant (9).

1.1.1 Konvenční brusivo

Umělé korundy-materiály na bázi Al_2O_3 zauímají mezi ostatními brousicími materiály výjimečné postavení. Současná světová produkce představuje cca 50 % z objemu výroby všech obráběcích brousicích materiálů. Hlavní předností korundového brusiva je kromě jeho relativně nízké ceny v porovnání s náklady na získání ostatních syntetických materiálů i jeho značná chemická stabilita vůči opracovávaným materiálům (ke vzájemným chemickým reakcím brusiva s obrobkem nedochází ani za vysokých teplot). U nás byl umělý korund poprvé vyroben v roce 1897 v Benátkách nad Jizerou v tehdejší firmě Karborundum Werke dle patentu Američana Achesona (8). Předchůdcem dnešních korundových brusiv byl tzv. černý korund, který se vyráběl na počátku 20. století prostým tavením bauxitu. Svým složením se podobal přírodním smirkům. Obsahoval kolem 55 - 70 % Al_2O_3 . Dnes můžeme rozlišovat podle charakteru výchozích surovin, případně podle obsahu doprovodných složek, korundy čisté (vyráběné pouze z bauxitu, nebo technického kysličníku hlinitého), korundy legované, obsahující přísady projevující se zlepšením některých fyzikálních vlastností výsledného produktu. Obsah přísad nepřesahuje 10 % (vesměs jde o kysličníky kovů jako TiO_2 , Cr_2O_3 , V_2O_5 a další) a o materiály směsné. V posledním případě jde o směsné krystaly s doprovodnou složkou, jejíž množství může dosáhnout až 50 %. Nejběžnější jsou tzv. zirkonové korundy, tj. o směs korund - baddeleyt (ZrO_2) (8). Karbid křemíku (SiC) je umělý materiál, který byl poprvé u nás vyroben v r. 1892 rovněž v Benátkách nad Jizerou tehdejší firmě Karborundum Werke dle patentu Američana Achesona (8). V průmyslové praxi se rozlišují podle vzhledu tři druhy SiC . Vychází se při tom z obsahu přítomných nečistot. Nečistoty pocházejí z výchozích surovin. Čím je karbid světlejší tím je kvalitnější. Rozlišujeme nejčistší zelený, střední šedý a konečně černý SiC . V ČR se vyrábějí dva druhy, a to zelený C 49 a šedý C 48. Ve světě se využívá i speciálně upravovaných (legovaných) SiC . Přísada 1 - 2 % Zr do výrobní vsázky výrazně snižuje oxidovatelnost zrn (2 až 3x), čímž se zvyšuje chemická odolnost (8). Karbid bóru (B_4C), jde o umělý materiál, jehož výroba byla zahájena počátkem třicátých let 20. století. Kromě svých výhodných vlastností, mezi které patří hlavně vysoká tvrdost a schopnost samoostření, má karbid bóru i jednu velkou nevýhodu. Tou je jeho poměrně nízká stálost. Při teplotách kolem 1000°C dochází k jeho postupné oxidaci (7). To výrazně omezuje možnost jeho využití pro vázané brousicí nástroje. Jejich sortiment je proto jen úzký. Jako pojiv lze využít pouze syntetických pryskyřic. Vzhledem ke své vysoké ceně se pro opracování kamenů využívá zrn karbidu bóru hlavně při

vrtání. Suspenzí vytvořenou rozmícháním prášku s vodou se přimazávají během vrtání vrtací jehly u mechanických i ultrazvukových vrtaček.

1.1.2 Kubický nitrid boru

Kubický nitrid boru (KBN) byl uměle připraven poprvé v r. 1957 a v roce 1958 byl objeven patentován firmou General Electric. Šlo o převratný vynález Američana R. H. Wentorfa v oboru brousicích materiálů (8). Vlastnosti kubického nitridu bóru jsou v některých směrech lepší než vlastnosti diamantu. Kubický nitrid boru se získává reakcí základních surovin za vysokých teplot a tlaků v autoklávech (strukturní změny lze srovnávat s přeměnou grafitu na diamant). Kubického nitridu bóru lze využívat jak pro volné broušení tak i pro výrobu nejrůznějších brousicích nástrojů se všemi druhy pojiv od keramických až po kovová. Navíc se z něho podobně jako z diamantu vyrábějí i brousicí pasty. Zvláště vhodný je pro namáhavé brousicí operace a řezání materiálů. Pracovat může i při vysokých provozních teplotách (do 2000°C, zatímco diamant jen do 900°C). Oproti nástrojům z klasických brousicích materiálů mají brousicí nástroje z CBN mnohem nižší specifický obrus, 5 až 50 x vyšší trvanlivost a lepší řezné vlastnosti, které se během broušení nemění.

1.1.3 Diamantové brusivo

Diamant - v technické praxi se používají jednak diamanty přírodní jednak syntetické. Přírodní diamanty se nalézají ve starých štítových oblastech světa jako je africký štít obr. 1.2 (Jihoafrická republika), sibiřský štít (Ruská federace), brazilský štít obr.1.1 (stát Minas Gerais v Brazílii) a konečně australský štít (10). V Austrálii byla objevena bohatá ložiska až v letech (1978 -1981).



Obr.1.1 Stát Minas Gerais v Brazílii (10).

Obr.1.2 Jihoafrická republika (10).

Jen malé procento vytěžených diamantů má kvalitu vhodnou pro výrobu šperků. Jde o monokrystaly od velikosti 0,02 karátu, které jsou čiré nebo hnědé, růžové, žluté, zelené či modře zbarvené (modré odrůdy jsou nejcennější). Většinou se těžbou získají diamanty technické, které se dle kvality dělí na:

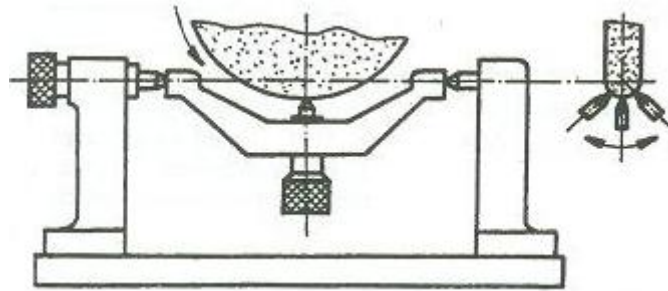
- diamantová drť (boart), většinou pravidelné krystaly, případně jednoduché srůsty, využívané pro nejnamáhavější broušící operace (jde o nejkvalitnější surovinu),
- diamantová drť (balas), tak je označován brazilský materiál tvořený drobnými kulovitými krystaly (srovnatelný s boartem, vhodný je pro přesnější broušení),
- drcená diamantová drť (crashing boart), nepravidelná diamantová zrna více či méně izometrického tvaru obsahující až 20 % nečistot (jde o materiál, který se drtí na prach pro jemné broušení a leštění),
- syntetický diamant, odpovídá svou kvalitou většinou diamantové drti (boartu) i když lze vyrobit i zrna kvalitnější, ale za cenu vyšších výrobních nákladů.

1.2 Metody tvarování broušících kotoučů

Současné možnosti ve strojírenských provozech nabízejí především standardní klasické metody tvarování broušících kotoučů (4). Jejich stručný přehled a následný rozbor je nutný z hlediska volby vhodné metody tvarování pro daný případ.

1.2.1 Tvarování v brusičské kolébce

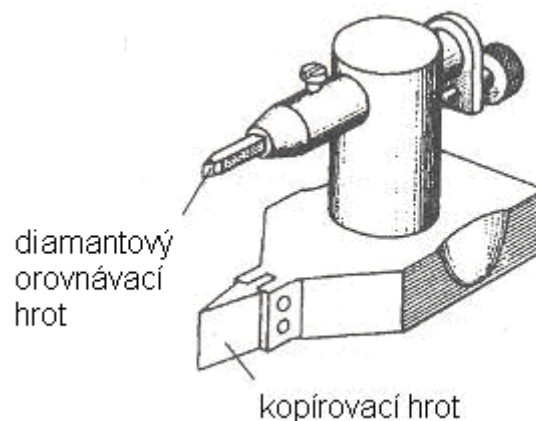
Metoda tvarování v brusičské kolébce) umožňuje přesné vytvarování kruhových oblouků v broušícím kotouči. Konstrukce kolébky se skládá ze základové desky, na které jsou uchyceny dvě stojiny. V jedné ze stojin je pevný opěrný hrot a ve druhé stojině posuvný opěrný hrot, umožňující uchycení vlastní kolébky. Kolébka má ve svém středu stavitelný výsuvný adaptér, na jehož konci je uchycen vlastní orovnávací hrot ze syntetického diamantu. Posunováním adapteru ve svislém směru lze docílit změny velikosti orovnávaného poloměru. Vnější nebo vnitřní rádius na tvarovaném kotouči se docílí změnou polohy diamantového orovnávacího hrotu vůči ose opěrných hrotů ve stojinách. Pokud je diamantový orovnávací hrot pod touto osou, potom se vytváří na orovnávaném kotouči vnější rádius v rozsahu až 180° . Pokud je diamantový orovnávací hrot nad touto osou, potom se vytváří na orovnávaném kotouči vnitřní rádius v rozsahu omezeném tvarem diamantového orovnávacího hrotu v rozsahu cca 90° . Zařízení se umístí na upínací stůl brusky a postupným přibližováním rotujícího broušícího kotouče ke kývajcímu se diamantovému orovnávacímu hrotu se docílí vytvarování celého profilu kotouče. Celý profil kotouče je vytvarován v okamžiku, kdy diamantový orovnávací hrot odeberá broušící zrnka v každém místě profilu (2). Tvarování v brusičské kolébce je znázorněno na obr. 1.3.



Obr.1.3 Tvarování v brusičské kolébce (2).

1.2.2 Tvarování dle šablony

Tvarování dle šablony slouží k vytvoření obecného tvaru na obvodu brousícího kotouče. Přípravek pro tvarování brousícího kotouče se skládá ze základové podložky, ve které je uchycen kopírovací hrot klínovitého tvaru. Dále je na podložce upevněna stojina se stavitelným adaptérem pro uchycení vlastního diamantového orovnávacího hrotu, který má rovněž klínovitý tvar. Nutnou podmínkou pro přesné tvarování brousícího kotouče je shoda tvaru a polohy klínovitého orovnávacího hrotu a vlastního orovnávacího diamantového hrotu v kolmém průmětu. Relativně jednoduchý a přitom přesný způsob jak této shody dosáhnout je naznačen následovně. Diamantovým orovnávacím hrotem vytvoříme rýhu v brousícím kotouči a takto natvarovaným brousícím kotoučem přeneseme tvar diamantového orovnávacího hrotu vybroušením na kopírovací hrot přípravku. Vlastní orovnáání potom proběhne kopírováním dle šablony a postupným vytvarováním celého profilu do brousícího kotouče (2). Tvarování dle šablony je znázorněno na obr.1.4.

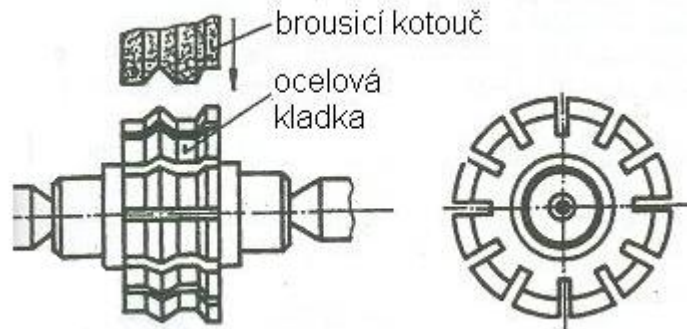


Obr.1.4 Tvarování dle šablony (2).

1.2.3 Orovnání vtlačéním tvaru do kotouče

Orovnávání vtlačéním tvaru do kotouče se realizuje ocelovými kladkami, které mají negativní tvar požadovaného profilu. Vtlačování probíhá při velmi malých otáčkách a zrna brusiva jsou vylamována působením prořezů na obvodu kladek. Naříznutí na obvodu kladek je provedeno obvykle po 30° .

Výroba kladek se realizuje klasickou technologií a jakákoliv korekce tvaru je velmi obtížná (2). Orovnání vtláčením tvaru do kotouče znázorněno na obr.1.5.



Obr.1.5 Orovnání vtláčením tvaru do kotouče (2).

1.2.4 Brousicí kotouče s naneseným brusivem

Brousicí kotouče s naneseným brusivem jsou vhodné pro přesné a jednoznačně definované tvary, jejichž zhotovení je obtížné. Požadovaný tvar je vyroben z ocelového materiálu některou klasickou technologií, obvykle CNC soustružením na stroji přesných parametrů. Kontura tvaru je posunuta směrem do materiálu o hodnotu tloušťky nanesené brousicí vrstvy cca 0,1mm. Brusivo je spojeno se základním materiálem tělesa niklovou maticí. Po nanesení brousicí vrstvy již nelze tvar nijak korigovat. Jako brusivo je u této metody používán kubický nitrid bóru nebo syntetický diamant (3).

1.2.5 Tvarování na CNC stroji

Tvarování na CNC brousícím stroji lze provést pomocí diamantového orovnávacího hrotu, jehož pohyb vůči brousicímu kotouči po kontuře se zrealizuje pomocí CNC řízení. Jako nejvhodnější řešení se považuje použití CNC brousícího stroje jak pro vlastní broušení tvaru tak pro tvarové orovnání. Řídicí program potom musí být složen z vzájemně nezávislých podprogramů, jejichž realizaci tedy zapínání a vypínání bude moci obsluha dle potřeby jednoduše ovlivnit. Použité brusivo je konvenčního charakteru.

2 Zaměření disertační práce

Disertační práce je zaměřena na rozbor technologických možností přesného tvarového broušení se zvýšenými požadavky na kvalitu obrobené plochy, konkrétně velikost průměrné aritmetické úchyly profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$. Práce je dále zaměřena na tvarové plochy charakteru šroubových drážek, které se vyskytují u tvářecích nástrojů, jako jsou tvářecí trny, válcovací kola a měřicí kalibry se šroubovými drážkami, kde průměrná aritmetická úchylna profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ je požadována na všech funkčních tvarových plochách. Jedná se o tvářecí nástroje nové generace zajišťující vyšší kvalitu a produktivitu práce. Tvarové broušení bude dále řešeno na vzorové součástce tvářecí trn, která je určena pro výrobu matic startérů za tepla. Nástroje v původním provedení realizované technologií frézování byly nepřesné a jejich životnost se pohybovala v rozmezí 70 až 80 ks. matic a potom již nevyhovovaly rozměrově nebo jejich životnost skončila ještě dříve destrukcí nástroje. Od nového řešení se očekává snížení rozptylu rozměrů vyráběných matic, což mají zaručit velmi přísné rozměrové tolerance a požadavky na kvalitu obrobené plochy u nově navržených tvářecích nástrojů. Dále je požadováno alespoň dvojnásobné zvýšení životnosti tvářecích nástrojů. Dodržení těchto přísných požadavků na tvar, rozměry a velikost průměrné aritmetické úchyly profilu povrchu šroubové drážky jsou základní zadávací podmínky. V průběhu realizace se ukázalo, že i tvářecí nástroje, u kterých došlo k překročení tolerance o cca 25%, mohly být na výjimku z technologické kázně použity. Informace o skutečnosti, jak mnoho se změnila konečná tolerance vyráběných matic nebyla zjišťována. Za předpokládané výstupy disertační práce se považuje:

- rozbor technologických možností výroby tvarových ploch charakteru šroubových drážek,
- podrobné rozpracování zvolené metody do podoby průmyslové aplikace,
- zpracování CNC programu pro řídicí systém a jeho rozbor,
- statistické vyhodnocení zhotovených sérií,
- zpracování přehledného manuálu k řídicímu programu.

3 Tvarové broušení

Aplikace tvarového broušení bude řešena na součástce tvářecí trn. Vzorovým obrobkem, na který se v další části budeme odvolávat, je součástka tvářecí trn č.v.2510308 (obr.3.1). Díl je vyroben z oceli ČSN ISO 419830 a tepelně zpracován na 61-60 HRC.

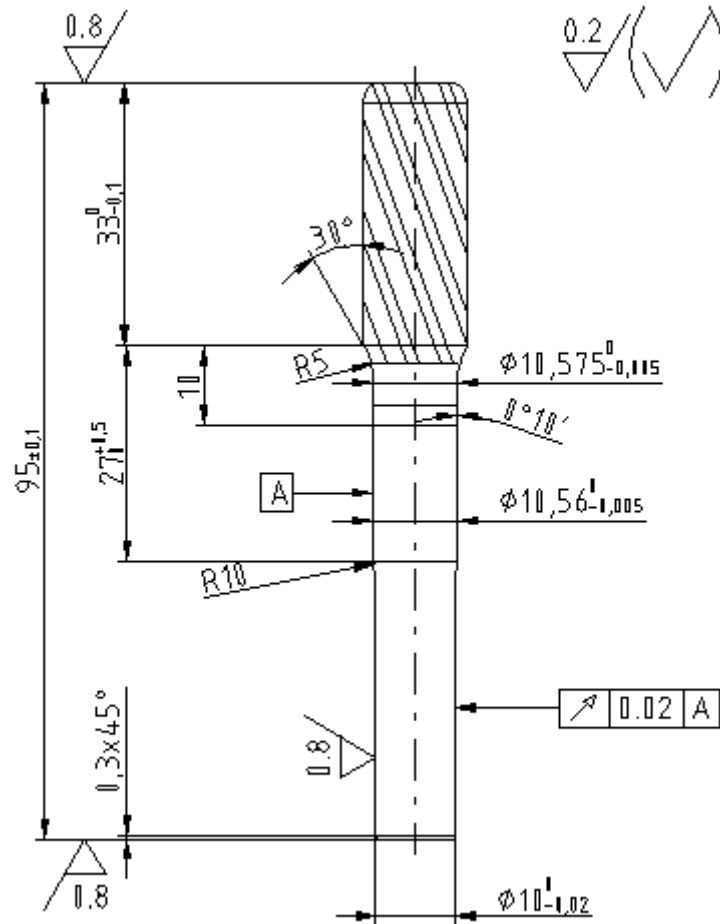
3.1 Technologický rozbor součástky tvářecí trn

Pokud bude pominuta přesná šroubová tvarová drážka, tak součástka tvářecí trn č.v.2510308 (obr.3.1) není z technologického hlediska příliš složitá.

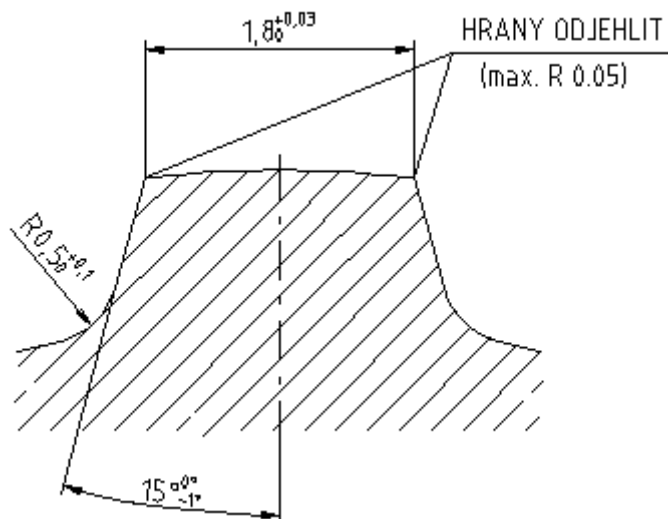


Obr.3.1 Tvářecí trn.

Její výrobu lze realizovat technologiemi soustružení klasického či CNC charakteru a po tepelném zpracování broušením nakulato. Na obr.3.2 jsou uvedeny rozměry tvářecího trnu. Hlavním technologickým problémem zůstává šroubová drážka. Jako prvotní se naskýtá otázka volby finální technologie výroby šroubové drážky. Zde mnoho prostoru k řešení není. Výbrus finálního profilu tvarovým kotoučem lze realizovat na stroji schopném docílit požadovanou toleranci stoupání. Profil může být předfrézován. Varianta výbrusu zcela do již tepelně zpracovaného materiálu je vzhledem k malé hloubce profilu drážky ale vhodnější. V každém případě zůstává jako konečný problém výbrus načisto, kde tolerance a tvar profilu šroubové drážky jsou dány tvarovým broušicím kotoučem, tolerance šroubovice přesností stroje a velikost průměrné aritmetické úchytky profilu $Ra = 0,2 \mu\text{m}$ jakostí broušícího kotouče a reznými podmínkami. Jako samostatný problém zůstává otázka měření jednotlivých kót drážky. Požadované rozměry zubu a drážky v normální rovině jsou uvedeny na obr. 3.3 a obr.3.4.



Obr.3.2. Specifikace tvářecího trnu.



Obr.3.3 Rozměry zubu v normální rovině.

Rozměry zubu v normální rovině jsou definovány tvarem drážky v normální rovině znázorněné na obr.3.4. Pro měření v čelní rovině je nutný přepočít dle požadovaného úhlu stoupání $\varphi = 20^\circ 47' 52''$ což činí ($20,798^\circ$) na průměru 12.09 mm. Na tento úhel je nastaven brousicí kotouč v neřízené ose C viz. obr. 4.2 a obr. 4.6.

Šířka zubu v čelní rovině:

$$b_{\varepsilon} = \frac{b_n}{\cos\varphi} \quad (3.1)$$

$$b_{\varepsilon} = 1,925 \text{ mm}$$

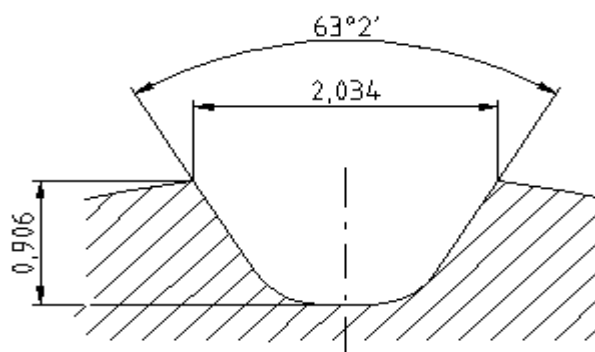
Úhel boku zubu v čelní rovině

$$\arctg\beta_{\varepsilon} = \frac{\tg\beta_n}{\cos\varphi} \quad (3.2)$$

$$\beta_{\varepsilon} = 15,99$$

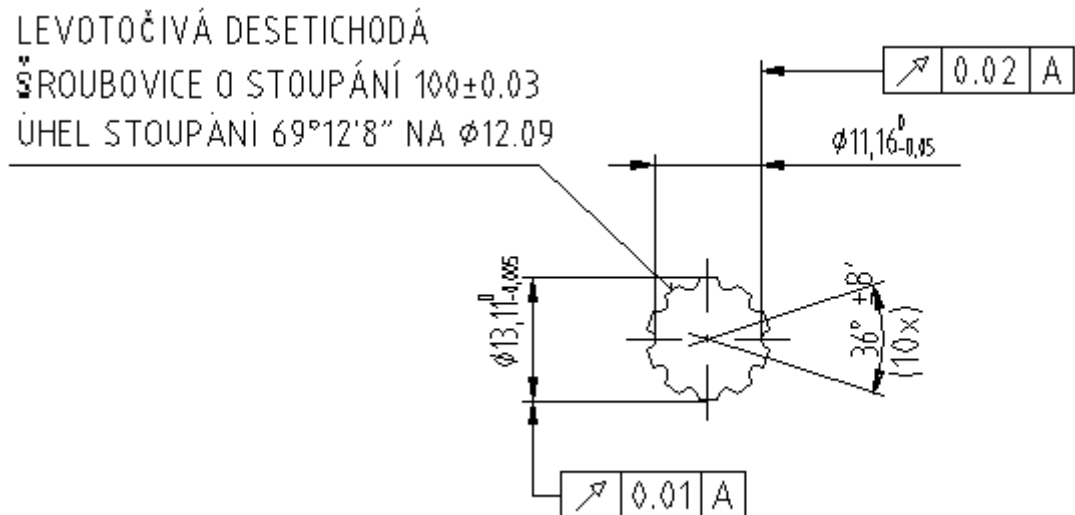
Měřenému rozměru $b_{\varepsilon} = 1,925^{+0,030}_0$ mm v čelní rovině odpovídá požadovaný rozměr $b_n = 1,8^{+0,03}_0$ mm v normální rovině. Úhlu boku zubu v normální rovině $\beta_n=15^\circ-1^0$ odpovídá po přepočtu do čelní roviny $\beta_{\varepsilon} = 15,99$ a následně po zaokrouhlení $\beta_{\varepsilon}=16^\circ-1^0$.

Závislost je potvrzena proměřením jednoho vzorku v normální rovině. Tento vzorek je upraven kolmým výbrusem na čelní rovinu a takto znehodnocen.



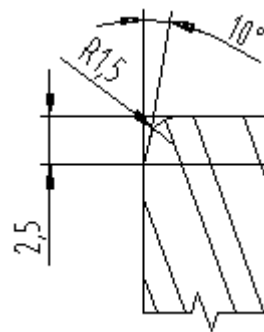
Obr.3.4 Tvar drážky v normální rovině.

Dále jsou určující údaje definující šroubovici, to znamená stoupání s a úhel šroubovice φ na určitém průměru a patní průměr drážky d_1 . Tato data jsou znázorněna na obr.3.5.



Obr.3.5 Definice rozměrů šroubovice.

Náběhová část nástroje je znázorněna na obr. 3.6. Radius 1,5 mm s náběhem 10° je nutné z hlediska technologického sledu vyrobít až po zhotovení šroubovice a proměření všech rozměrů drážky.



Obr.3.6 Náběhová část nástroje.

Materiál tvářecího trnu je rychlořezná ocel ČSN ISO 419 830, která je tepelně zpracována na 61-60 HRC s požadavkem 3-4 x popouštět pro dosažení vysoké houževnatosti. Tento materiál se běžně používá hlavně pro řezné nástroje (frézy, závitníky), kdy se tepelně zpracovává na vyšší hodnotu 62 HRC. Pro tvářecí nástroj může být tvrdost o cca 2 stupně nižší, ale důležitá je vysoká houževnatost, kterou tento materiál splňuje. Tato HSS ocel je srovnatelná s označením dle DIN 1,3343, dále s označením dle Böhlera S600 a označení dle AISI jako M2. Z hlediska chemického složení ocel obsahuje další prvky a to 0,9 % C, 4 % Cr, 5% Mo, 1,8% V a 6,4 % W.

3.2 Návrh metody tvarového broušení

Při volbě metody tvarového broušení je použito metody spolehlivosti soustavy, která definuje pravděpodobnost vzniku shodných výrobků při výrobě šroubové drážky jednotlivými metodami. Vybrány a posuzovány jsou metody uvedené v kapitole 1.2. Pro volbu technologie je rozhodující metoda

zhotovení tvarového kotouče a v případě potřeby možnost pružné změny tvaru kotouče ve vlastním provozu. Z metod uvedených v kapitole 1.2 se z tohoto hlediska jeví jako použitelné metoda „brousicího kotouče s naneseným brusivem“, což je metoda s konstantním tvarem a průměrem vzhledem k brousicímu stroji s ohledem na opotřebení a „metoda orovnění na CNC stroji“, což je metoda s konstantním tvarem, ale proměnným průměrem a možností korekce opotřebení kotouče vzhledem k brousicímu stroji.

Brousicí kotouč s naneseným brusivem umožňuje použití CBN brusiva v tenké vrstvě na předem vytvarovaném kotouči. Možnost případné korekce tvaru ve vlastním provozu není žádná. Při jakékoliv úpravě tvaru je nutné nové naprášení brusiva v kooperaci mimo vlastní provoz. Nevýhodou je i problematické oživení řezivosti kotouče vzhledem k tenké brousicí vrstvě.

Metoda orovnění na CNC stroji, na kterém je rovněž realizována brousicí operace vyžaduje použití konvenčního brusiva, které je reálné tvarovat diamantovým orovňovacím hrotem, jehož relativní pohyb vůči kotouči je realizován řídicím systémem brusky. Nevýhoda klasického brusiva spočívá v tendenci k zanášení kotouče a rovněž řezná hrana ve srovnání s CBN brusivem podstatně hůře drží, nicméně v případě potřeby můžeme brousicí kotouč kdykoliv orovnat a obnovit tak jeho tvar i řezivost přímo na CNC stroji.

Jako prioritní podmínka je možnost ovlivnění tvaru kotouče ve vlastním provozu. Z hlediska statistického posouzení a odhadu pravděpodobnosti vzniku neshodných výrobků budou dále posuzovány metody „brousicí kotouč s naneseným CBN brusivem“ dále *metoda s konstantním průměrem brousicího kotouče* a „metoda orovnění na CNC stroji“ dále *metoda s proměnným průměrem brousicího kotouče*.

3.2.1 Použité veličiny pravděpodobnosti

Náhodný jev vzniku shodného výrobku se vyjádří v číselné formě mírou možnosti jeho nastoupení tedy pravděpodobností. Elementární náhodný jev se vyjádří jako jednoprvková množina označená ω . Všechny výsledky pokusu potom tvoří množinu Ω sestávající se z prvků ω . Množina Ω definuje základní prostor, kde $\omega \in \Omega$. Náhodný jev A je libovolná podmnožina základního prostoru Ω , tedy $A \subseteq \Omega$. Nastane-li jeden elementární náhodný jev ω nastanou současně všechny náhodné jevy, které jej obsahují. Mezi náhodnými jevy platí následující pravidla, která jsou vyjádřena pomocí množinové inkluze (1):

- $A \subseteq B$ znamená, že nastoupení náhodného jevu A má za následek nenastoupení náhodného jevu B ,
- $A = B$ značí rovnost (ekvivalenci) náhodných jevů A a B .

Operace s náhodnými jevy se definují pomocí množinových operací:

- průnik náhodných jevů $A \cap B$ nastane, jestliže nastanou oba náhodné jevy. Analogicky platí $\bigcap_{i=1}^n A_i$, které nastanou, jestliže nastanou všechny náhodné jevy A_i ,
- sjednocení náhodných jevů $A \cup B$ nastane, jestliže nastane alespoň jeden z náhodných jevů. Analogicky platí $\bigcup_{i=1}^n A_i$, které nastanou, jestliže nastane alespoň jeden náhodný jev A_i ,
- rozdíl náhodných jevů $A - B$ nastane, jestliže nastane náhodný jev A a nenastane náhodný jev B ,
- opačný náhodný jev k náhodnému jevu A je jev $\bar{A} = \Omega - A$, který nastane jestliže nenastane náhodný jev A .

Náhodné jevy, u kterých můžeme definovat pravděpodobnost, tvoří následující strukturu. Jevové pole Σ na základním prostoru Ω je množina náhodných jevů s vlastnostmi:

- Pro každý náhodný jev $A \in \Sigma$ je $\bar{A} \in \Sigma$,
- Pro každou posloupnost náhodných jevů $A_i \in \Sigma$ platí $\bigcap_{i=1}^{\infty} A_i \in \Sigma$,

3.2.2 Pravděpodobnost shodného výrobku

Pravděpodobnost vzniku shodného výrobku u obou metod závisí na více vlivech a je proto stanovena jako spolehlivost soustavy. Spolehlivost soustavy je funkcí jejích jednotlivých prvků. Náhodný jev A_i vyjadřuje spolehlivý stav i -tého prvku, kde $i=1, \dots, n$ a náhodné jevy A_i jsou vzájemně nezávislé (1). Shodný výrobek bude zajištěn, jestliže všechny prvky soustavy budou spolehlivé. Charakter takové spolehlivostní soustavy je sériový. Spolehlivost sériové soustavy S vzájemně nezávislých prvků je:

$$P(S) = P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n) \quad (3.3)$$

Dále pro ni platí:

$$P(S) \leq \min P(A_i)$$

$$P(A_i) = p, i = 1, \dots, n \Rightarrow P(S) = p^n$$

Spolehlivost soustavy u každé z metod bude posuzována nejprve pro výrobu nultého kusu, to znamená odladění tvaru drážky. Tato spolehlivost bude označena jako S_0 . Dále bude posuzována spolehlivost soustavy při obrábění prvního kusu při opakovaném najetí nové série již odladěného tvaru drážky. Tato spolehlivost bude označena jako S_1 . Spolehlivost soustavy v průběhu výroby dalších kusů výrobní dávky bude označena jako S_x . Spolehlivosti jednotlivých nezávislých jevů $P(A_i)$ jsou určeny experimentálně.

3.2.3 Spolehlivost soustavy metody s konstantním průměrem brousicího kotouče

a) Nultý kus

Nultým kusem se rozumí vzorek pro odzkoušení neodladěného programu. Spolehlivost sériové soustavy S_{0K} metody s konstantním průměrem brousicího kotouče při výrobě nultého kusu se označuje $P(S_{0K})$. Experimentálně určené spolehlivosti jednotlivých nezávislých prvků pro nultý kus jsou následující.

$P_{0K}(A_1)$	=	0,995	Vliv brousicího kotouče na dodržení průměrné aritmetické úchyly profilu obráběné plochy do Ra 0,2 μm .
$P_{0K}(A_2)$	=	0,550	Vliv prvotního natvarování kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{0K}(A_3)$	=	0,995	Vliv průměru kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{0K}(A_4)$	=	0,995	Vliv přesnosti stroje při najetí délky šroubovice a současného pohybu v rotační ose.
$P_{0K}(A_5)$	=	0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.
$P_{0K}(A_6)$	=	0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.
$P_{0K}(A_7)$	=	0,980	Vliv řezné rychlosti v_c .
$P_{0K}(A_8)$	=	0,995	Vliv posunové rychlosti v_f .

$$P(S_{0K}) = P_{0K}(A_1) \cdot P_{0K}(A_2) \cdot P_{0K}(A_3) \cdot P_{0K}(A_4) \cdot P_{0K}(A_5) \cdot P_{0K}(A_6) \cdot P_{0K}(A_7) \cdot P_{0K}(A_8) \quad (3.4)$$

$$P(S_{0K}) = 0,518$$

b) První kus

Prvním kusem se rozumí vzorek pro odzkoušení již odladěného programu. Spolehlivost sériové soustavy S_{1K} metody s konstantním průměrem brousicího kotouče při obrábění prvního kusu při opakovaném najetí nové dávky již odladěného tvaru drážky se označuje $P(S_{1K})$. Experimentálně určené spolehlivosti jednotlivých nezávislých prvků pro první kus jsou následující.

$P_{1K}(A_1)$	=	0,985	Vliv brousicího kotouče na dodržení průměrné aritmetické úchyly profilu obráběné plochy do Ra 0,2 μm . Předpokládá se již použitý, ale očištěný tvar kotouče.
$P_{1K}(A_2)$	=	0,985	Vliv již natvarovaného kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{1K}(A_3)$	=	0,995	Vliv průměru kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{1K}(A_4)$	=	0,995	Vliv přesnosti stroje při najetí délky šroubovice a současného pohybu v rotační ose.
$P_{1K}(A_5)$	=	0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.
$P_{1K}(A_6)$	=	0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.
$P_{1K}(A_7)$	=	0,990	Vliv řezné rychlosti v_c .

$$P_{1K}(A_8) = 0,995 \quad \text{Vliv posuvu } v_f.$$

$$P(S_{1K}) = P_{1K}(A_1) \cdot P_{1K}(A_2) \cdot P_{1K}(A_3) \cdot P_{1K}(A_4) \cdot P_{1K}(A_5) \cdot P_{1K}(A_6) \cdot P_{1K}(A_7) \cdot P_{1K}(A_8) \quad (3.5)$$

$$P(S_{1K}) = 0,927$$

c) Další kus

Dalším kusem se rozumí libovolný kus z výrobní dávky. Spolehlivost sériové soustavy S_{XK} metody s konstantním průměrem při obrábění dalších kusů nové dávky se označuje $P(S_{XK})$. Experimentálně určené spolehlivosti jednotlivých nezávislých prvků jsou následující.

$$P_{XK}(A_1) = 0,980 \quad \text{Vliv brousicího kotouče na dodržení průměrné aritmetické úchylny profilu obráběné plochy do Ra 0,2 } \mu\text{m. Předpokládá se nepatrné zanesení tvaru kotouče.}$$

$$P_{XK}(A_2) = 0,980 \quad \text{Vliv již natvarovaného kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4. Předpokládá se nepatrná změna tvaru kotouče.}$$

$$P_{XK}(A_3) = 0,995 \quad \text{Vliv průměru kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.}$$

$$P_{XK}(A_4) = 0,995 \quad \text{Vliv přesnosti stroje při najetí délky šroubovice a současného pohybu v rotační ose.}$$

$$P_{XK}(A_5) = 0,990 \quad \text{Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.}$$

$$P_{XK}(A_6) = 0,990 \quad \text{Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.}$$

$$P_{XK}(A_7) = 0,985 \quad \text{Vliv rezné rychlosti } v_c.$$

$$P_{XK}(A_8) = 0,995 \quad \text{Vliv posunové rychlosti } v_f.$$

$$P(S_{XK}) = P_{XK}(A_1) \cdot P_{XK}(A_2) \cdot P_{XK}(A_3) \cdot P_{XK}(A_4) \cdot P_{XK}(A_5) \cdot P_{XK}(A_6) \cdot P_{XK}(A_7) \cdot P_{XK}(A_8) \quad (3.6)$$

$$P(S_{XK}) = 0,913$$

3.2.4 Spolehlivost soustavy metody s proměnným průměrem brousicího kotouče

a) Nultý kus

Nultým kusem se rozumí vzorek pro odzkoušení neodladěného programu. Spolehlivost sériové soustavy S_{0P} metody s proměnným průměrem brousicího kotouče při výrobě nultého kusu se označí $P(S_{0P})$. Experimentálně určené spolehlivosti jednotlivých nezávislých prvků pro nultý kus jsou následující.

$$P_{0P}(A_1) = 0,995 \quad \text{Vliv brousicího kotouče na dodržení průměrné aritmetické úchylny profilu obráběné plochy do Ra 0,2 } \mu\text{m.}$$

$$P_{0P}(A_2) = 0,550 \quad \text{Vliv prvotního natvarování kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.}$$

$$P_{0P}(A_3) = 0,995 \quad \text{Vliv průměru kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.}$$

$$P_{0P}(A_4) = 0,995 \quad \text{Vliv přesnosti stroje při najetí délky šroubovice a současného pohybu v rotační ose.}$$

$P_{0P}(A_5)$	= 0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.
$P_{0P}(A_6)$	= 0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.
$P_{0P}(A_7)$	= 0,980	Vliv řezné rychlosti v_c .
$P_{0P}(A_8)$	= 0,995	Vliv posunové rychlosti v_f .

$$P(S_{0P}) = P_{0P}(A_1) \cdot P_{0P}(A_2) \cdot P_{0P}(A_3) \cdot P_{0P}(A_4) \cdot P_{0P}(A_5) \cdot P_{0P}(A_6) \cdot P_{0P}(A_7) \cdot P_{0P}(A_8) \quad (3.7)$$

$$P(S_{0P}) = 0,518$$

b) První kus

Prvním kusem se rozumí vzorek pro odzkoušení již odladěného programu. Spolehlivost sériové soustavy S_{1P} metody s proměnným průměrem brousicího kotouče při obrábění prvního kusu při opakovaném najetí nové dávky již odladěného tvaru drážky se označuje $P(S_{1P})$. Experimentálně určené spolehlivosti jednotlivých nezávislých prvků pro první kus jsou následující.

$P_{1P}(A_1)$	= 0,995	Vliv brousicího kotouče na dodržení průměrné aritmetické úchytky profilu obráběné plochy do Ra 0,2 μm .
$P_{1P}(A_2)$	= 0,995	Vliv prvotního natvarování kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{1P}(A_3)$	= 0,995	Vliv průměru kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{1P}(A_4)$	= 0,995	Vliv přesnosti stroje při najetí délky šroubovice a současného pohybu v rotační ose.
$P_{1P}(A_5)$	= 0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.
$P_{1P}(A_6)$	= 0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.
$P_{1P}(A_7)$	= 0,990	Vliv řezné rychlosti v_c .
$P_{1P}(A_8)$	= 0,995	Vliv posunové rychlosti v_f .

$$P(S_{1P}) = P_{1P}(A_1) \cdot P_{1P}(A_2) \cdot P_{1P}(A_3) \cdot P_{1P}(A_4) \cdot P_{1P}(A_5) \cdot P_{1P}(A_6) \cdot P_{1P}(A_7) \cdot P_{1P}(A_8) \quad (3.8)$$

$$P(S_{1P}) = 0,946$$

c) Další kus

Dalším kusem se rozumí libovolný kus z výrobní dávky. Experimentálně určené spolehlivosti sériové soustavy S_{XP} metody s proměnným průměrem brousicího kotouče při obrábění dalších kusů nové dávky se označuje $P(S_{XP})$. Spolehlivosti jednotlivých nezávislých prvků jsou následující.

$P_{XP}(A_1)$	= 0,995	Vliv brousicího kotouče na dodržení průměrné aritmetické úchytky profilu obráběné plochy do Ra 0,2 μm . Předpokládá se nepatrné zanesení tvaru kotouče, které
---------------	---------	--

		se odstraní orováním.
$P_{XP}(A_2)$	= 0,995	Vliv již natvarovaného kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{XP}(A_3)$	= 0,990	Vliv průměru kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
$P_{XP}(A_4)$	= 0,995	Vliv přesnosti stroje při najetí délky šroubovice a současného pohybu v rotační ose.
$P_{XP}(A_5)$	= 0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.
$P_{XP}(A_6)$	= 0,990	Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.
$P_{XP}(A_7)$	= 0,980	Vliv řezné rychlosti v_c .
$P_{XP}(A_8)$	= 0,995	Vliv posunové rychlosti v_f .

$$P(S_{XP}) = P_{XP}(A_1) \cdot P_{XP}(A_2) \cdot P_{XP}(A_3) \cdot P_{XP}(A_4) \cdot P_{XP}(A_5) \cdot P_{XP}(A_6) \cdot P_{XP}(A_7) \cdot P_{XP}(A_8) \quad (3.9)$$

$$P(S_{XP}) = 0,932$$

3.2.5 Volba metody tvarového broušení

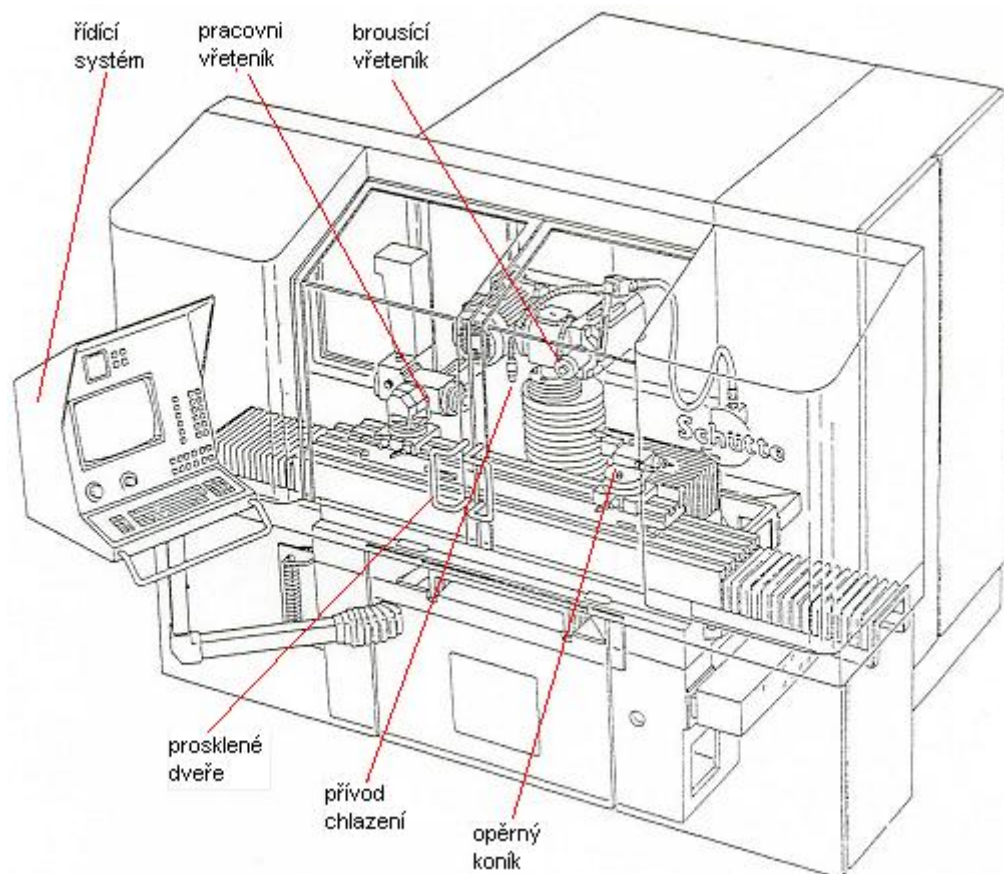
Na základě rozboru spolehlivosti soustavy obou metod a po posouzení možností strojního vybavení je dále rozpracována *metoda s proměnným průměrem broušícího kotouče*. Z hlediska patentové čistoty je nalezen ochranný patent v USA na použití rýhovaného kotouče pro vymezení řezných sil a lepší chlazení. V našem případě je nezávisle použito 4 x naříznutí na obvodu pro lepší přívod řezné kapaliny do místa řezu, které není v rozporu s uvedeným patentem (24).

4 Rozpracování zvolené metody tvarového broušení

Základní návrh řešení zadaného problému spočívá ve sloučení úkonu broušení vytvarovaným kotoučem a realizaci jeho orovnění přímo na vlastní ostříčce (22). Pro realizaci takové technologie je nutný stroj s minimálně čtyřmi řízenými osami a možností kombinací více variant programování. Vzhledem k možnostem strojního parku je řešení koncipováno na ostříčku WU 400 CNC Schütte, která uvedené požadavky splňuje.

4.1 Technologické možnosti stroje ostříčky WU-400-CNC Schütte

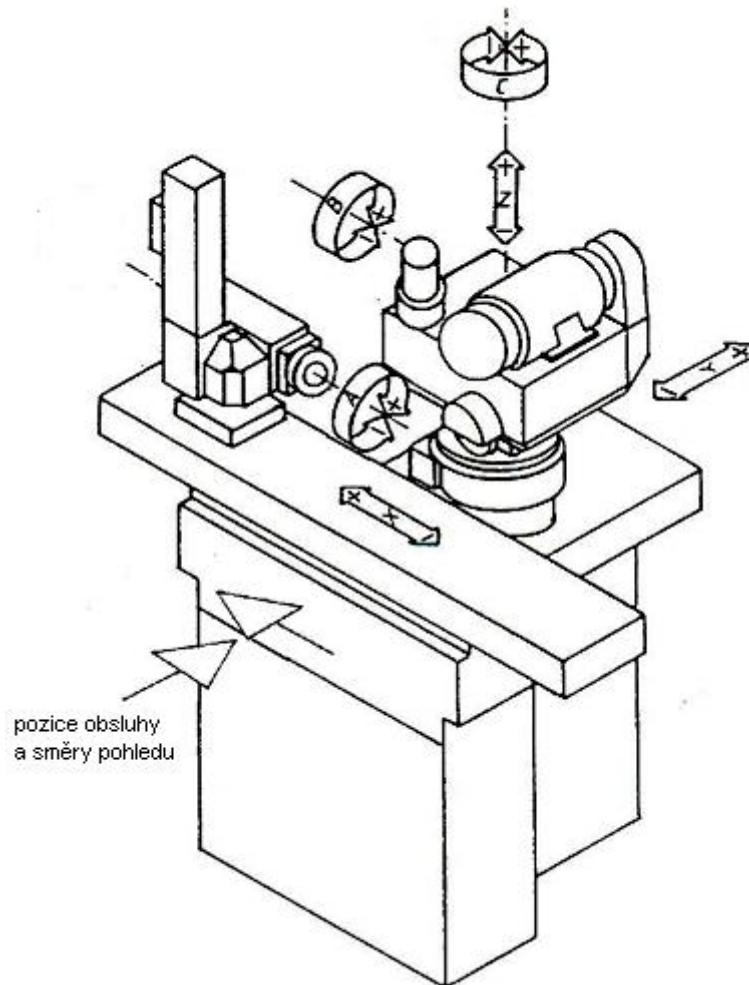
Ostříčka WU-400-CNC je výrobkem německé firmy Schütte. Podnik byl založen Alfredem Heinrichem Schüttem jako obchodní dům s ocelí v roce 1880 a na přelomu století začíná vlastní výroba obráběcích strojů (11). Po druhé světové válce byla firma pro těžké poškození uzavřena a výroba se zde rozběhla až v roce 1955. Hlavní závod firmy sídlí v Kolíně nad Rýnem a výroba strojů se zde nyní orientuje na vícevřetenové automaty a CNC ostříčky. V současné době firma patří mezi nejlepší výrobce CNC ostříček.



Obr.4.1 Ostříčka WU-400-CNC (17).

Schématické znázornění stroje je uvedeno na obr.4.1 (17). Jak je z obr.4.1 zřejmé, jedná se kompaktní pracoviště, kde veškerý brousící proces probíhá

v zakrytovaném prostoru pod intenzivním chlazením. Chladicí nádrž s filtračním papírem je umístěna vzadu za strojem. Strojně technická data ostříčky jsou uvedena v příloze P1 (17). Rozměrová schémata stroje v nárysu a půdorysu z hlediska možností pojezdu jednotlivých os jsou uvedena v příloze P2 (17).



Obr.4.2 Směry pro jednotlivé osy stroje WU-400-CNC (17).

Na obr.4.2 jsou znázorněny směry pohybů jednotlivých os neboť se liší od běžných zvyklostí. Znaménka \pm jsou brána z pozice pohledu obsluhy stojící před strojem a kladný směr os X, Y a Z je dán směry odjezdu broušícího vřeteníku od obrobku. Pro jednotlivé řízené osy platí:

X-osa: pohyb podélných saní doleva + , doprava – ,

Y-osa: pohyb příčných saní broušícího vřeteníku dozadu + ,dopředu – ,

Z-osa: pohyb sloupu broušícího vřeteníku vertikálně nahoru + , dolů – ,

A-osa: rotační osa A při pohledu obsluhy před strojem proti pracovnímu vřeteníku má znaménko + ve směru hodinových ručiček a znaménko – proti směru hodinových ručiček.

(Pozn.: V případě pohledu ve směru rotujícího dílce by znaménka dle běžné konvence z pohledu obsluhy musela být opačná.)

Výše uvedené definování směrů a přiřazení znamének sice neodpovídá standardním zvyklostem, ale z hlediska obsluhy znamená jednodušší ovládání při stanovení směrů přísuvu zvláště při korigování drah během chodu programu, což tento stroj v některých režimech umožňuje. Osy označené jako B a C jsou řízené jen jako zvláštní příslušenství u 6-osých ostříček a u naší varianty stroje jako řízené nejsou k dispozici. Je možné tyto osy manuálně přestavovat a to osu C v rozsahu 355° (výkyv) a osu B (sklopení) v rozsahu 240° , což umožňuje jakékoliv nastavení polohy brousicího kotouče vůči obrobku.

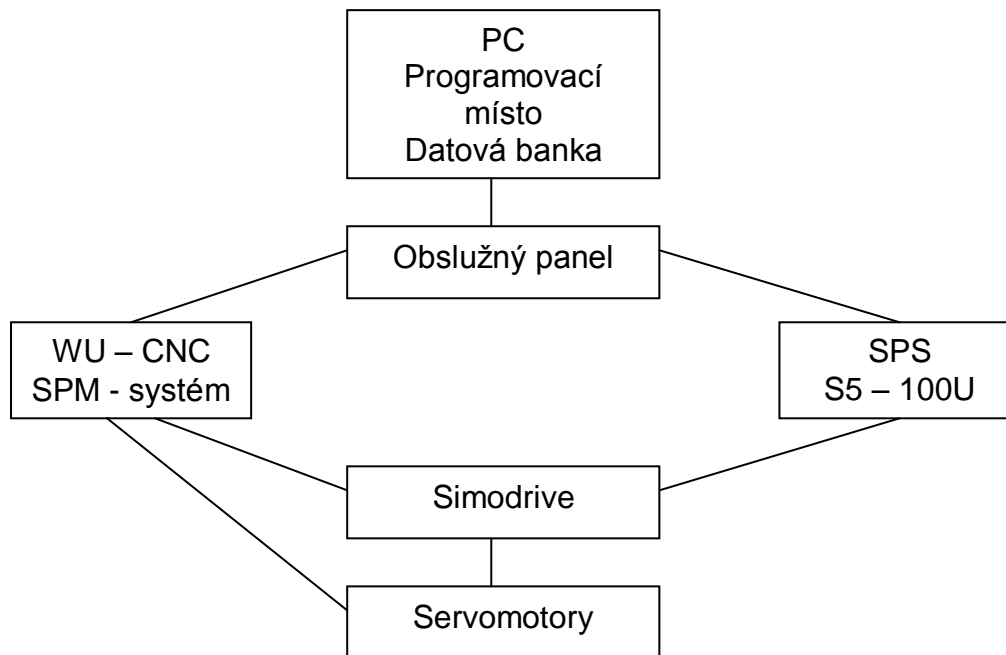
Z konstrukčního hlediska můžeme u stroje WU-400-CNC počítat s řešením uvedeným v příloze P3 (17):

4.2 Možnosti programového vybavení stroje

Veškeré mechanické pohyby a pneumatické funkce stroje jsou centrálně řízeny a regulovány. Tyto funkce vykonává WU – CNC řízení brusky a skládá se ze dvou hlavních skupin (17):

- mikropočítačového systému fy Siemens SPM, které ovládá všechny oblasti měření, řízení a regulace stejně jako veškeré zpracování dat. Regulace osových pohonů se realizuje přes budič Simodrive,
- systému SPS S5 – 100 U fy Siemens, který řídí veškeré zastavěné části a oběhy, které neleží v regulačním okruhu, spínací frekvence, impulsy a jejich trvání např. při mazání, ochrany, koncové spínače, blokování krytů nebo dveří a uvolňování os.

Dvě ostříčky WU-400-CNC Schütte, které jsou k dispozici se vzájemně liší vybavením a to jak po stránce zvláštního příslušenství tak po stránce softwarových funkcí. První stroj má k dispozici většinu softwarových funkcí a měřicí sondu, druhý stroj nemá sondu a některé především M funkce jsou omezeny. Chybí např. funkce programově ovládající start a stop brousicího vřetene, start a stop rezné kapaliny a samozřejmě u obou ostříček všechny funkce, které konstrukční koncepce strojů nemůže využít. Z hlediska programování je důležité, že stroje kromě nulového bodu, který je nepostradatelný, jsou vybaveny alespoň v jednom případě i body referenčními, které rovněž patří do zvláštního příslušenství.



Obr.4.3 Schéma převodu programu (17).

Schéma převodu ručního nebo automatického programu do pohybu os je znázorněno na obr.4.3. Převod mezi PC a obslužným panelem může být realizován síťovým převodem nebo přes disketovou jednotku. Možnosti programování u stroje WU-400-CNC jsou následující (17):

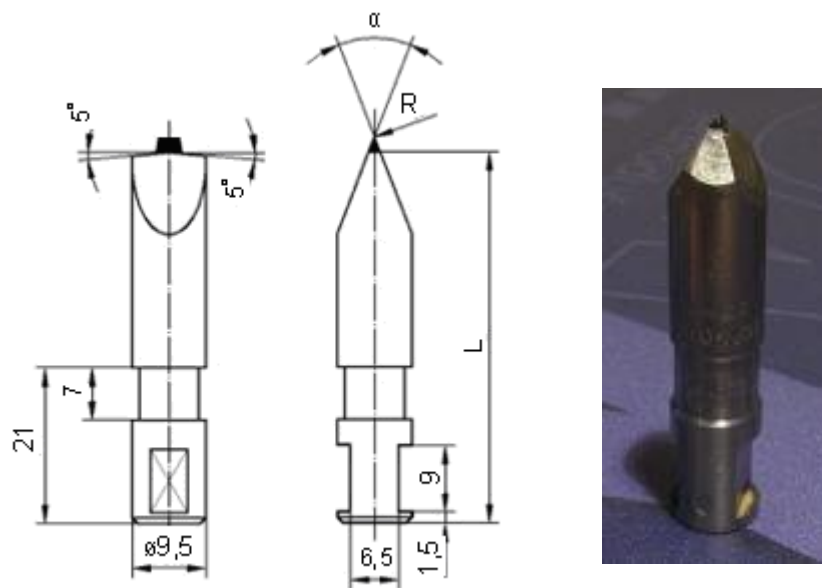
- programování pomocí tabulek MENU, které umožňuje zadávat pohyby v jednotlivých osách v dané zvolené rovině, definovat pohyb ve šroubovici, definovat konturu pomocí přímků a oblouků, definovat technologické veličiny jako velikost posuvu, počet úběrů a počet opakování cyklů. Lze realizovat na obslužném panelu stroje nebo na PC,
- programování ve funkcích dle DIN 66025 tzv. SEP Schütte, které má široké možnosti zadávání jednotlivých dat včetně funkcí pro řízení měřicí sondy Renishaw, ale z hlediska komfortu uživatele je poněkud pracné. Realizace a archivace takto vytvořených programů na PC je nutná,
- kombinace tabulek MENU a SEP programování nabízí maximální využití možností ostříčky, ale je vhodná až pro zkušeného uživatele. Realizace a archivace takto vytvořených programů na PC je rovněž nutná,
- programování na PC pomocí software K4, který je speciálně určen pro broušení stopkových fréz, včetně různých možností provedení čela. Tento program pracuje s uživatelem formou dialogu a archivace takto vygenerovaných NC dat není nutná. Možnost použití tohoto programu je omezena na určitý sortiment.

Nejdůležitější programové funkce SEPU jsou uvedeny v příloze P4 (17).

4.3 Volba diamantových orovnávacích hrotů

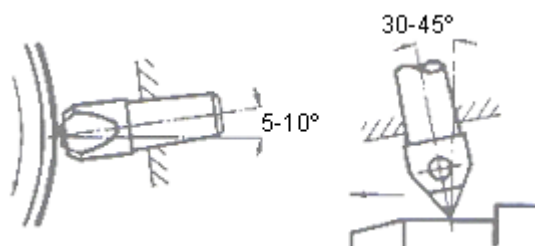
Přestože obě brusky jsou bohatě vybaveny z hlediska upínacího nářadí (kleštiny, redukce, sklíčidla, opěrné koníky atd.), tak orovnávací hroty v nabídce

nejdou, pouze opěrný koník umožňuje uchycení standardního orovnávače. Pro náš případ je nutný diamantový orovnávací hrot klínovitého tvaru, jehož rádius na špičce bude minimální. Zvoleny jsou diamantové orovnávací hroty střežovitěho charakteru s úhlem 40° poloměrem špičky 0,125 mm. Délka hrotů je 44,5 mm, upínací průměr s ploškami na upínací šrouby činí 9,5 mm. Výrobce těchto diamantových orovnávacích hrotů je v ČR je firma DIA-Praha s.r.o. a v katalogu jsou pod typem DIAFORM a objednacím číslem 11-22 (5). Příslušný diamantový orovnávací hrot je zobrazen na obr. 4.4. Zásady orovnávání střežovitě broušenými orovnávacími hroty jsou následující. Je nutné tuhé upnutí diamantového orovnávacího hrotu a co nejintenzivnější chlazení. Radiální záběr a_e se pohybuje mezi 0,01 a 0,05 mm. Posuv zase od 0,05 až 0,15 mm/ot. Špička orovnávače musí být pod osou kotouče nebo mírně skloněna pod úhlem 5 - 12 stupňů. S orovnávačem je vhodné pravidelně otáčet o 90 stupňů kolem vlastní osy.



Obr.4.4 Diamantový orovnávací hrot (5).

Na obr.4.5 jsou naznačeny zásady orovnávání. Z obrázku vyplývá možnost použití střežovitěho diamantového orovnávacího hrotu při realizaci tvarů do brousicích kotoučů.



Obr.4.5 Zásady orovnávání (5).

4.4 Volba brousicích kotoučů

Jako brusivo je navržen kotouč jakosti 98 A 120 K 5V případně 98 A 120 J 5V nebo 98 A 120 L 5V o rozměrech $d_s=150 \times b_s=6 \times h_s=20$ mm od firmy Tyrolit. Značení kotoučů dle firmy Tyrolit není plně v souladu s ČSN ISO 525(26), podle níž je označení navrženého kotouče A 120 K 5V. Jedná se o ušlechtilý růžový korund [98A] o jemné zrnitosti [120], měkké tvrdosti [K případně J nebo L] střední struktury [5] s keramickým pojivem [V]. Požadavek na střední aritmetickou odchylku profilu $Ra=0.2 \mu\text{m}$ je realizovatelný kotoučem o zrnitosti 120. Tvrdost brousicího kotouče K odpovídá stavu materiálu 61-60 HRC. Uvedená kombinace není běžně skladem a je nutné ji objednat. Dřívější značení růžového korundu u firmy Tyrolit je pro naši kombinaci brusiva je 88A 120 K 5V (3). Tento brousicí materiál byl k dispozici a veškerá realizace je s ním provedena. Obecně lze konstatovat pro broušení následující zásady (3):

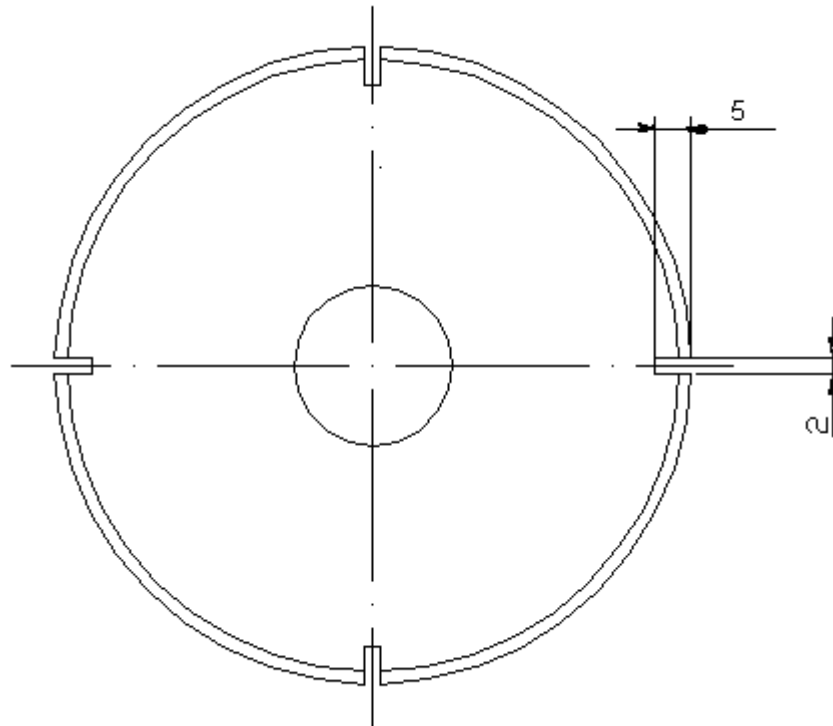
- pro dostatečný úběr materiálu nesmí být kotouč příliš tvrdý a zrnitost příliš jemná,
- příliš měkký kotouč se rychle opotřebovává,
- příliš tvrdý kotouč s příliš jemnou zrnitostí se zamazává a pálí,
- příliš měkký kotouč s příliš hrubou zrnitostí neudrží profil,
- špatně ořvnaný kotouč se zamazává a pálí,
- kotouč se zamazává a pálí při příliš vysoké obvodové rychlosti,
- kotouč neudrží profil při příliš malé obvodové rychlosti,
- příliš tvrdý kotouč způsobuje stopy na obráběné ploše,
- ulpívající nečistoty z řezné kapaliny způsobují stopy na obráběné ploše.

V našem případě některé zásady působí protichůdně a ovlivnit je můžeme především správnou technologií ořvňávání brousicího kotouče a dostatečnou frekvencí ořvňávání i během brousicího procesu.

4.5 Volba řezné kapaliny

Intenzivní chlazení a filtrace řezné kapaliny jsou jednou z podmínek úspěšného broušení. Stroj WU-400-CNC má velmi dobře řešenu cirkulaci chlazení. Z hlediska řezných kapalin určených pro broušení jsou odzkoušeny emulze firmy Cimcool Europe B. V., Blaser Swissslube CZ (6) a rovněž lze použít řezný olej. Je možno konstatovat, že všechny kapaliny vytváří vhodné prostředí v místě styku brousicího kotouče a obrobku a mají značný vliv na kvalitu výbrusu (19). V případě vychýlení směru přívodních trysek vlivem možného kolísání tlaku nebo vzájemné nepevnosti článků trysek dojde k rychlému zalepení kotouče a především ke spálení obrobku v místě výbrusu šroubové drážky. Nastavení trysek je nutno provést velmi svědomitě a dohled obsluhy je nutný i během automatického brousicího cyklu. Současně je samozřejmé napojení stroje na centrální odsávání a to nejen kvůli kvalitě pracovního prostředí. V případě použití řezného oleje je nezbytné napojení na odsávání neboť směs tohoto media se vzduchem v určitém poměru může být výbušná. Pro zlepšení přívodu řezné kapaliny do prostoru broušení je vhodné brousicí kotouč nařeznout na čtyřech místech drážkami širokými cca 2 mm, které zlepšují vyplachování třísek materiálu a nečistot z okolí z broušené

šroubové drážky. Nákres situace na broušicím kotouči je uveden na obrázku 4.6. Tato jednoduchá úprava broušicího kotouče zlepšuje řezné podmínky v místě broušení a má vliv na výslednou průměrnou aritmetickou úchylku profilu R_a .

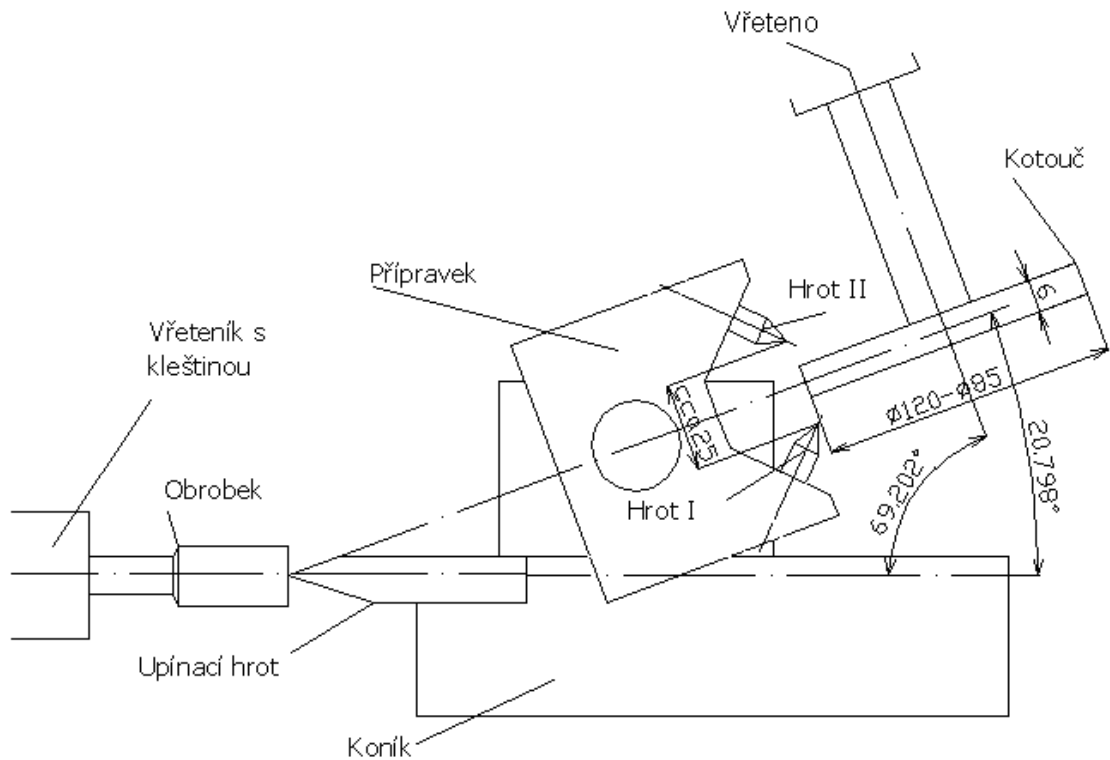


Obr.4.6 Nařiznutí broušicího kotouče.

4.6 Koncept technologické metody

Navržená technologická metoda přesného broušení tvarové šroubové drážky využívá možností kombinovaného programování tabulek MENU a SEPU k realizaci broušicího a ořvňovacího cyklu. Vlastní programové řešení se skládá z hrubovacího a dokončovacího podprogramu a dále ořvňovacího podprogramu. Program využívá v maximální míře nabídku početních funkcí a parametrického zadávání hodnot. V průběhu ořvňovacího cyklu dochází k postupnému zmenšování broušicího kotouče až na hodnotu vnějšího průměru $D=85\text{mm}$. Před vlastním zahájením ořvňování je nutné vnější průměr zmenšit na rozměr $D=120\text{mm}$. V uvedeném rozmezí zmenšující se broušicí kotouč ovlivní tvar a tolerance šroubovitých drážek minimálně (3). Úprava broušicího kotouče na výchozí rozměr se provede klasickým soustružením. Program v jednom z parametrů neustále vyhodnocuje počet proběhů ořvňovacího cyklu při určité hodnotě úběru a koriguje najetí na další proběh. Současně sumarizuje celkový úbytek broušicího kotouče a koriguje najetí do drážky. Tento režim je možný jen díky možnosti zařazení matematických funkcí do programu. Ořvňovací podprogram je řešen ekvidistantní trajektorií korigovanou o hodnotu poloměru špičky 0.125 mm ořvňovacího hrotu. Vzhledem ke skutečnosti, že ořvňovací hrot musí obsáhnout okolo profilu broušicího kotouče cca 180° , je úloha vzhledem k absenci řízených os B a C jedním ořvňovacím hrotem neřešitelná. Pokud použijeme dva ořvňovací hroty s dostatečnou tuhostí

upnutými ve speciálním přípravku, můžeme realizovat programovým způsobem pro každý hrot jinou trajektorii. Programované dráhy mají identický jeden z krajních bodů, to znamená, že oba orovnávací hroty startují svou dráhu ze stejného bodu. Ve skutečnosti je vzájemný pohyb realizován tak, že brousicí kotouč opisuje dráhu nejprve kolem jednoho a pak kolem druhého hrotu. Úhel oblouku, který je schopen každý z hrotů potom obsáhnout je cca 90°. Schéma upnutí polotovaru, poloha orovnávacího přípravku se dvěma hroty a poloha brousicího vřetene je uvedena na obr.4.7 uspořádání broušení v pracovním prostoru stroje.



Obr.4.7 Uspořádání broušení v pracovním prostoru stroje WU-400-CNC Schütte.

Programové řešení dále respektuje odlišnosti v obou provedeních strojů WU-400-CNC. Vzhledem k upínání válcového polotovaru mezi hroty a výbrus z plného materiálu není důležitá měřicí sonda. Dále je předpokládán delší časový cyklus broušení a proto jsou ovládány z panelu stroje i funkce start otáček vřetene a řezné kapaliny. Tato omezení umožňují realizovat program na kterémkoliv z obou strojů. Důležitá byla vybavenost strojů referenčními body, ke kterým lze vztáhnout polohu výchozího nulového bodu. Varianta jednoho ze strojů nemá ve svém vybavení referenční body a toto omezení znamená nutnost velmi opatrné práce s výchozím nulovým bodem, který musí na začátku a na konci režimu skončit v jednom bodě. Pamatování jeho polohy musí být jištěno záložní baterií systému při vypnutí stroje. Podrobný rozbor řešeného programu je uveden v popisu jeho použití (manuál).

4.7 Rozbor vlivu nezávislých prvků spolehlivostní soustavy.

Rozbor je platný pro náhodně vybraný každý další kus libovolné série (7).

Požadovaná velikost průměrné aritmetické úchytky profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ ovlivněna následujícími nezávislými prvky.

- $P_{XP}(A_1)$ = Vliv brousicího kotouče na dodržení velikosti průměrné aritmetické úchytky profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ obráběné plochy do $R_a 0,2 \mu\text{m}$. Předpokládá se nepatrné zanesení tvaru kotouče během série.
- $P_{XP}(A_6)$ = Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.
- $P_{XP}(A_7)$ = Vliv řezné rychlosti v_c .
- $P_{XP}(A_8)$ = Vliv posuvové rychlosti v_f .

Řezné podmínky mají na velikost průměrné aritmetické úchytky profilu obráběné plochy do $R_a 0,2 \mu\text{m}$ proměnný vliv, způsobený poklesem řezné rychlosti vlivem zmenšování se průměru brousicího kotouče při průběžném orovnávaní během brousicího procesu. Brousicí kotouč se využije v rozmezí průměrů $d_s=120 \text{ mm}$ až do hodnoty $d_s =85 \text{ mm}$. Omezující řezná rychlost na keramicky pojeném brousicím tělese je $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a této rychlosti při průměru $d_s =150\text{mm}$ odpovídají otáčky dle vztahu.

$$n = \frac{1000 \cdot v_c \cdot 60}{\pi \cdot d_s} \quad (4.1)$$

$$n = 4456 \text{ min}^{-1}$$

Rozsah otáček, které umožňuje brousicí vřeteno nastavit je omezen na velikosti $2250/3000 \text{ min}^{-1}$ při prvním stupni a $4500/6000 \text{ min}^{-1}$ při druhém stupni. Vzhledem k omezující hodnotě otáček 4456 min^{-1} je druhý stupeň a otáčky kotouče 4500 min^{-1} limitní. Vzhledem k použití kotouče v rozmezí od průměru $d_s =120\text{mm}$ do $d_s =85\text{mm}$ bude řezná rychlost klesat s průměrem. Dle metodiky firmy Tyrolit se řezná rychlost pro tyto otáčky se určí dle vztahu (12).

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (4.2)$$

Pro průměr $d_s =120 \text{ mm}$ potom činí řezná rychlost $v_c=28,27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pro průměr $d_s =85 \text{ mm}$ činí řezná rychlost $v_c=20,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Lze konstatovat, že v tomto rozmezí řezných rychlostí brousicí kotouč udržel tvar aniž se příliš zamazával a páčil.

Požadované rozměry zubu ovlivněny následujícími nezávislými prvky.

Stoupání šroubovice $s = 100 \pm 0,03 \text{ mm}$ a úhlová rozteč $36^\circ \pm 8'$.

- $P_{XP}(A_4)$ = Vliv přesnosti stroje při najetí délky šroubovice a současného

pohybu v rotační ose. Indexování v ose X a v rotační ose W po 0,001.

Šířka boku zubu na vrcholu $b_n = 1,8^{+0.03}$ mm, úhel boku zubů $\beta_n = 15^\circ -1^\circ$ v normální rovině a zaoblení boku profilu drážky vlivem šroubovice. V čelní rovině činí šířka boku zubu na vrcholu $b_c = 1,925_0^{+0.030}$ mm a úhel boku zubů $\beta_c = 16^\circ -1^\circ$.

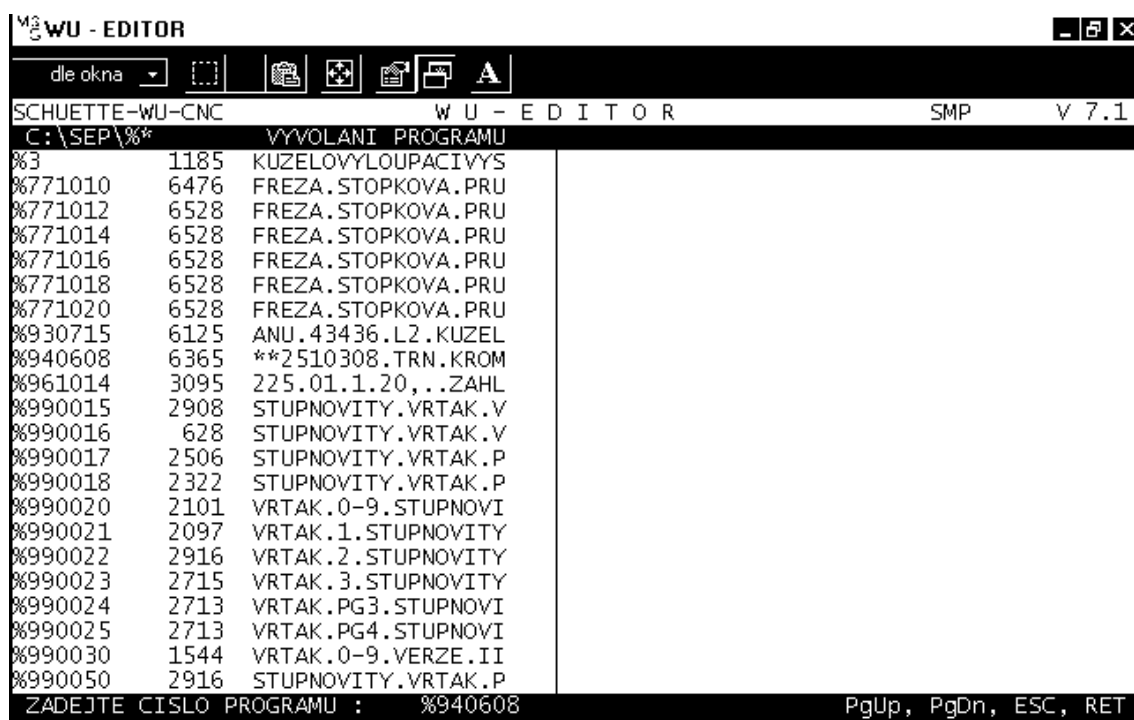
- $P_{XP}(A_2)$ = Vliv již natvarovaného kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4. Předpokládá se nepatrná změna tvaru kotouče během série.
- $P_{XP}(A_3)$ = Vliv průměru kotouče na rozměry drážky dle obr.3.4.
- $P_{XP}(A_5)$ = Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.
- $P_{XP}(A_6)$ = Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.

Patní průměr $d_1 = \varnothing 11,16_{-0.05}$ mm a obvodové házení 0,02 mm

- $P_{XP}(A_5)$ = Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při broušení načisto.
- $P_{XP}(A_6)$ = Vliv přesnosti stroje při najetí hloubky drážky při vyjiskřovacím proběhu.

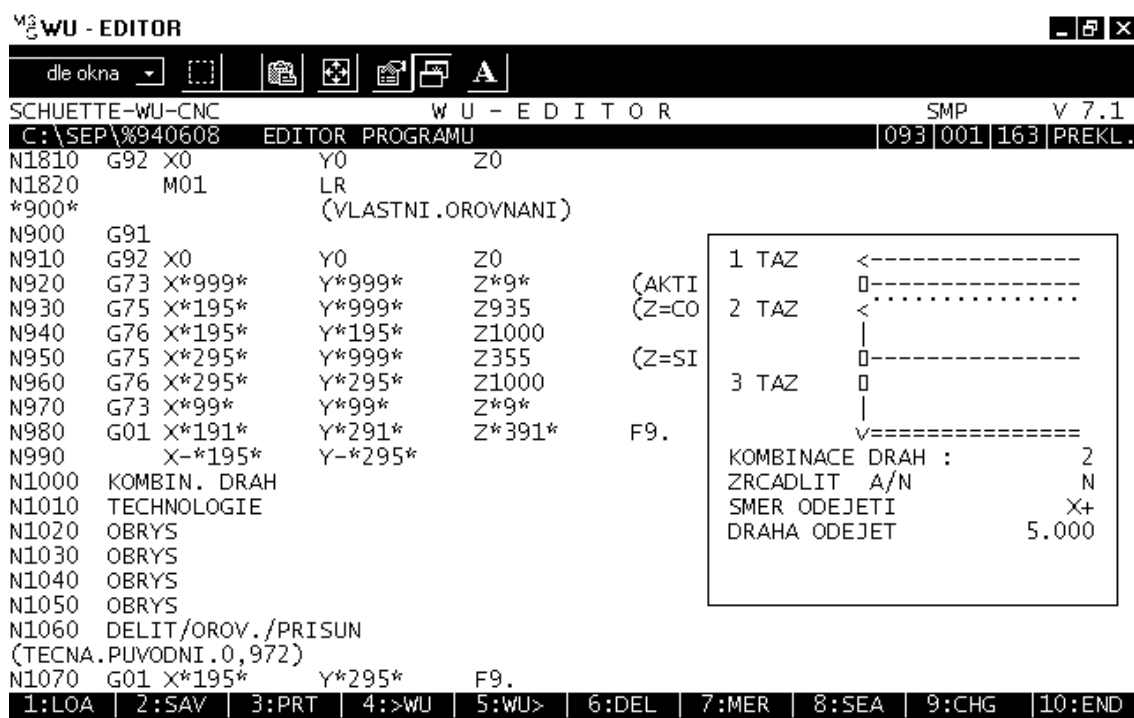
Z výše uvedeného přehledu jednotlivých vlivů na výsledné parametry obrábění vyplývá nutnost stanovení určité provázanosti jednotlivých vlivů a definování základních předpokladů, které budou jednoduchým způsobem ovlivnitelné (14,20):

- orovnávací podprogram je sestaven, odladěn a dráhy kontur zkorigovány tak, aby vybroušené drážky vytvořily v normální rovině tvar zubu dle požadavku na obr.3.3. Korekce tvaru drážky uvedené na obr.3.2 se ukazuje při ladění jako nezbytná (23),
- počet opakování orovnávacího cyklu a frekvence orovnávacího během broušícího procesu jsou stanoveny tak, aby kotouč před hrubovacím i dokončovacím broušením a vyjiskřením měl obnovenu broušící schopnost, to znamená, že musí být naprosto čistý bez jakýchkoliv stop po zalepení (16),
- vliv obsluhy kromě práce s některými parametry nutnými pro ovládání programu je omezen na rozhodnutí, zda a kolik proběhů vyjiskření provést pomocí parametrického přepínání jednotlivých podprogramů. Jediným měřeným údajem z hlediska obsluhy potom je $\varnothing 11,16_{-0.05}$ mm, který je nutno na součástce kontrolovat ještě v upnutém stavu na stroji. (15). Tento rozměr může obsluha ovlivnit změnou parametru hloubky drážky a dále počtem případných vyjiskření (21). Pokud se podaří tento rozměr udržet ve středu tolerance, zůstane ve středu tolerance i rozměr $1,8^{+0.03}$ mm, kterému odpovídá v čelní rovině rozměr $b_c = 1,925_0^{+0.030}$ mm. Tento rozměr již lze zkontrolovat pouze na mikroskopu mimo stroj.



Obr.5.2 Adresář programů SEP.

Po volbě čísla programu v našem případě 940608 se nám otevře další obrazovka, umožňující zápis a případnou editaci programu. Na obr.5.3 je konkrétní situace s nastavením na podprogram *900* (vlastní orovňání) a pozicí kurzoru řádek N1000 KOMBIN.DRAH. V pravé části obrazovky se k této volbě otvírá další okno pro definování dat kombinace drah. Při přesunutí kurzoru na řádek N1010 by se nám adekvátně otevřelo další okno pro definování dat technologie.



Obr.5.3 Editace programu %940608.

Z funkcí uvedených na spodní liště jsou pro práci s editorem WU nejdůležitější následující fce.:

- 1:LOA načtení programu z pevného disku,
- 2:SAV uložení programu na pevný disk,
- 3:PRT tisk programu,
- 4:>WU přenos programu kabelem do řídicího systému stroje,
- 5:<WU načtení programu kabelem z řídicího systému stroje,
- 6:DEL vymazání programu,
- 7:MER míchání programů,
- 8:SEA vyhledání řetězce znaků,
- 10:END ukončení režimu editor.

Pozn.: Verze pro tisk se liší od prostředí při editaci programu na obrazovce.

5.2 Základní schéma řídicího NC programu

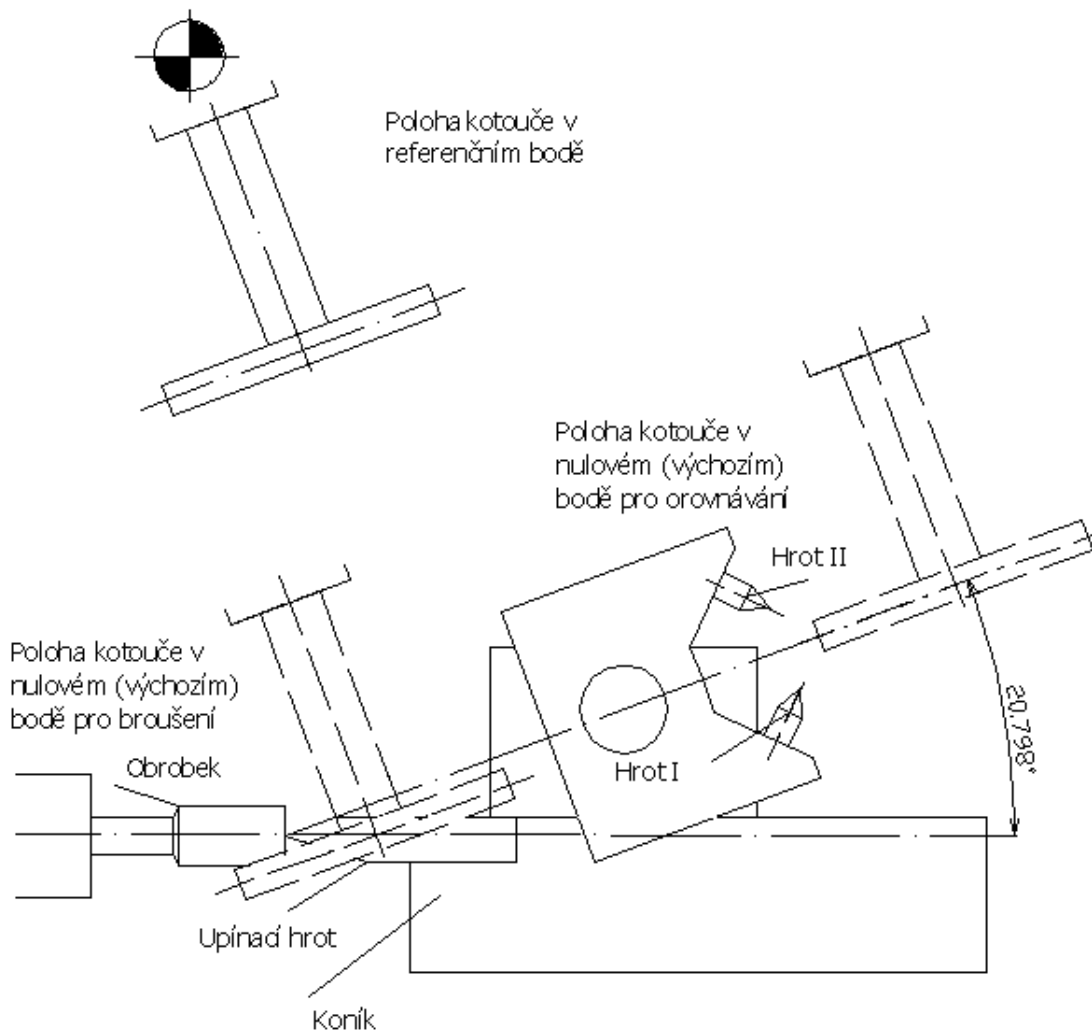
Řídicí NC program je sestaven ve dvou úrovních a to jako hlavní program a následné podprogramy, které mohou mít rovněž více úrovní. Celý vlastní řídicí program je uveden v příloze P5. V celém programu je využíváno parametrického zadávání a to jak konkrétních číselných hodnot jednotlivých souřadnic, tak přepínacích hodnot pro aktivaci jednotlivých podprogramů. Jednotlivé parametry se zobrazují obsluze na obrazovce i v režimu stroj (maschine) a obsluha je může ovlivnit. Do kterých parametrů smí obsluha zasáhnout, je uvedeno manuálu k použití řídicího NC programu v kapitole č.7. Jedná se především o parametry, které fungují jako přepínače nebo parametry definující hloubku vybroušení šroubové drážky. Hlavní program se omezuje na vyvolávání jednotlivých podprogramů, definici číselných hodnot parametrů a doplňující informační instrukce pro obsluhu. Podprogramy řeší nájezdy z referenčního bodu do nulových bodů pro broušení a zpětné odjezdy do referenčního bodu.

Pozn.:V případě, že konfigurace stroje nedisponuje referenčními body, je nutno definovat hlavní nulový bod a tento během obrábění dávky zachovat. Nulový bod zůstane zachován i v případě vypnutí systému vlivem záložní baterie, která jistí strojní data. V další části se předpokládá vybavení stroje referenčními body.

Vlastní broušení je rovněž definováno podprogramy a to zvlášť hrubování a zvlášť dokončování. Orovnávací cyklus je definován podprogramem, který v sobě obsahuje najetí do nulového bodu pro orovnávání i zpětný návrat a současně početní algoritmus pro sledování úbytku broušícího kotouče a následné korekce drah na orovnávání. Uvedená korekce se samozřejmě využije i při najetí z nulového (výchozího) bodu ke kusu. Vzdálenosti mezi nulovými body a referenčním bodem se zjistí při seřizování programu a uloží do parametrů. Schématické znázornění uvedeno na obr.5.4. Pro najetí z referenčního bodu, kde je prvotní nulová poloha do nulového (výchozího) bodu pro broušení jsou souřadnice v jednotlivých osách X, Y a Z uloženy v parametrech *151*,*251* a *351*, souřadnice pro najetí z referenčního bodu do nulového (výchozího) bodu pro orovnávání v jednotlivých osách X, Y a Z

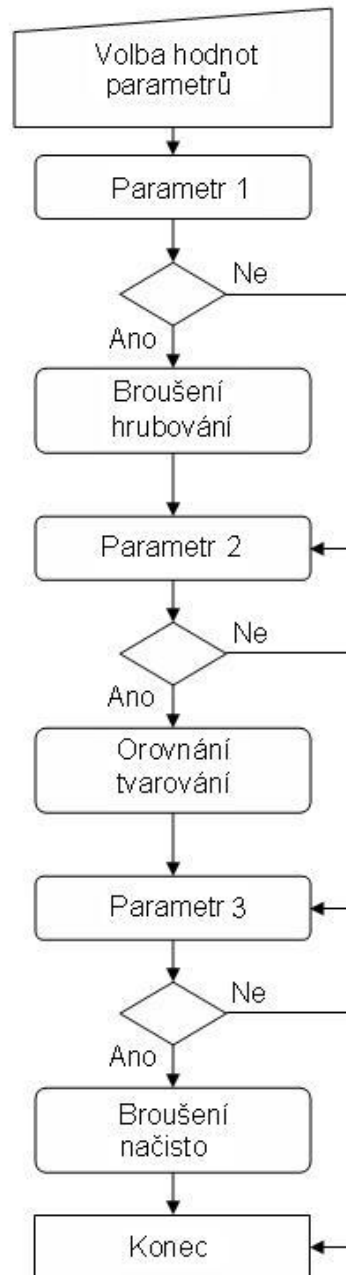
jsou uloženy v parametrech *190*, *290* a *390*. Jednotlivé parametry mohou být definovány jedno až čtyřmístným libovolným číslem. Pro zpřehlednění je vhodné zavést dílčí systém provázanosti jednotlivých os a čísel parametrů a tento uplatňovat u všech vytvářených programů. V našem případě platí následující přiřazení čísel parametrů pro jednotlivé osy:

- osa X parametr *1xx*,
- osa Y parametr *2xx*,
- osa Z parametr *3xx*,
- osa W parametr *4xx*.



Obr.5.4 Polohy brousícího kotouče v referenčním a nulových (výchozích) bodech pro broušení a orovnávaní.

Hlavní program začíná informacemi o součástce a základními instrukcemi pro obsluhu. Tato data jsou uvedena v řádcích bez číselného označení v závorkách. Vlastní nejdůležitější část hlavního programu je tvořena následujícím schématem na obr.5.5.



Obr.5.5 Vývojový diagram programu.

Konkrétní podoba hlavního programu, tak jak ji vyžaduje řídicí systém ostříčky, je uvedena v následujícím schématu.

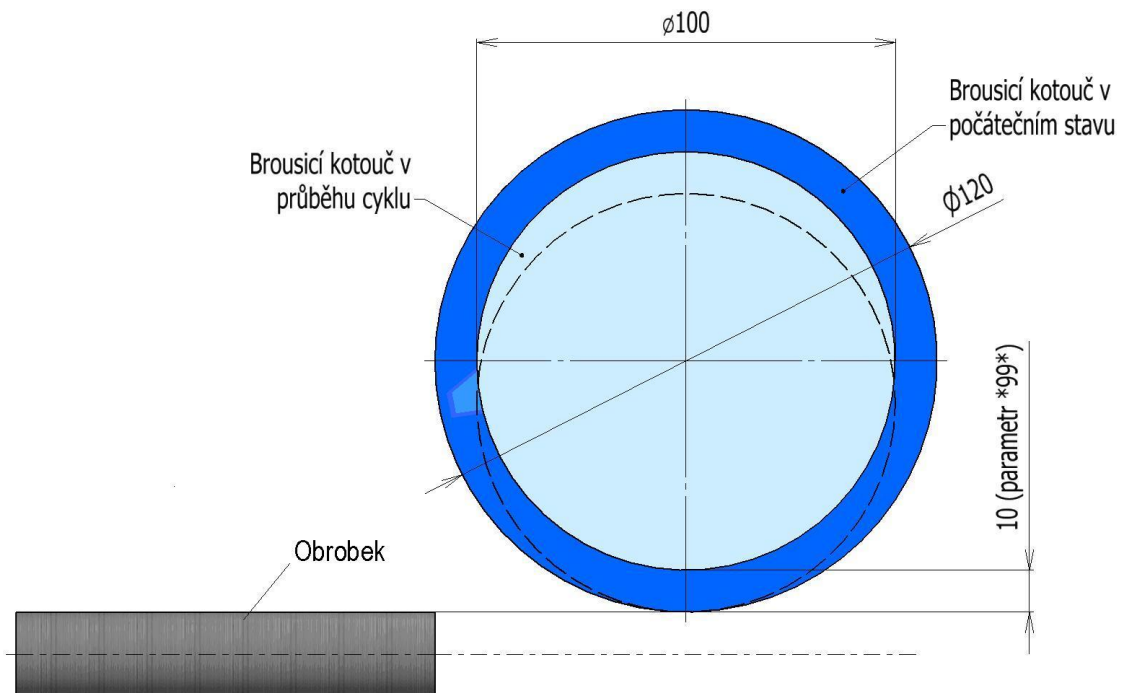
```

*9999*00000010 (POCET.OPAKOVANI.OROVNACIHO.CYKLU)
*9*00000015 (VELIKOST.UBERU)
*99*00006400
(!.NESAHAT.!VELIKOST.UBERU.KOREKCE.UBYTKU.KOTOUCE)
*1*0 (BROUSENI.ANO.NE.1.CI.0)
*2*1 (OROVNANI.ANO.NE.1.CI.0)
  
```

```

*3*0                (NACISTO.ANO.NE.1.CI.0)
*999*00011770
(!.NESAHAT!.CELKOVA.VEL.UBERU.PRUBEZNE.POCITANA)
N10      H*1*  LS*1400*  (NAJEZD.Z.REF.BODU.DO.NUL.BODU)
N20      H*1*  LS*2000*  (BROUSENI)
N30      H*1*  LS*1600*  (NAVRAT.DO.REF.BODU)
N40      H*2*  LS*1700*  (START.OROVNANI.Z.REF.BODU)
N50  M00      (!!!.MERIT.PATNI.PRUMER.A.KORIGOVAT.*3030*!!!)
(PATNI.PRUMER.HRUBU.11MM.VLIVEM.OPOTREBENI.11.16-11.19)
(.KONTROLOVAT.PROFIL.KOTOUCZE.ZDA.NENI.ZALEPEN.PO.OROVNANI.)
N60      H*3*  LS*1400*  (NAJEZD.Z.REF.BODU.DO.NUL.BODU)
N70      H*3*  LS*3000*
(BROUSENI.VYJISKROVACI.PO.OROVNANI)
N80      H*3*  LS*1600*  (NAVRAT.DO.REF.BODU)
N90      M30
    
```

Všechny jednočíselné parametry tzn. *1*, *2*, *3* fungují jako přepínače. Při hodnotě 1 zapínají příslušný podprogram, při hodnotě 0 je podprogram vypnut. Vlastní zapnutí podprogramu je realizováno instrukcí H* * LF* ____* jako skok do podprogramu jednou nebo vícekrát dle velikosti adresy H. V pracovním režimu stroj (maschine) se v části obrazovky objeví aktuální hodnoty všech parametrů a lze provést úpravy. Parametry s číslicemi 9 řeší problematiku orovnávaní a korekci úbytku kotouče. Lze volit velikost úběru kotouče (parametr *9*) a počet opakování orovnávacího cyklu (parametr *9999*). Velikost úběru kotouče 0,015 mm je odzkoušena a počet opakování 10x je minimální pro obnovení tvaru a ostrosti kotouče. Při prvotním tvarování se zadává vyšší počet opakování případně je nutné pustit podprogram vícekrát dokola. Parametr *99* slouží ke korekci úbytku kotouče a je nutné ho před prvním broušením vynulovat. V tomto okamžiku je nulový bod pro broušení shodný s výchozím bodem.



Obr.5.6 Funkce parametru *99*.

Po následujícím orovnání se výpočtovým algoritmem přičte další hodnota úbytku kotouče. Funkce parametru *99* je znázorněna na obr.5.6, kde v okamžiku prvního broušení měl kotouč $\varnothing 120$ mm a během obrábění dávky se vlivem orovnávaní zmenšil na hodnotu $\varnothing 100$ mm. Mezi nulovým bodem pro broušení a výchozím bodem je potom rozdíl v hodnotě parametru *99*. Tento parametr bude aktivní v podprogramu broušení *2000* a podprogramu orovnávaní *1700*, jak bude uvedeno dále.

5.3 Schéma jednotlivých podprogramů

Řídicí NC program je sestaven z podprogramů definujících přejezdy, broušení a orovnávaní broušícího kotouče.

5.3.1 Podprogramy pro broušení

Podprogram *1400* definuje najetí z referenčního bodu, kde je prvotní nulová poloha do nulového bodu pro broušení a to jak v případě hrubování tak dokončování .

```
*1400*      (NAJEZD.Z.REF.BODU.DO.NUL.BODU.PRO.BROUSENI)
N1410      G91
N1420      G01  Z-*351*      F9.
N1430      X-*151*
N1440      Y-*251*
N1450      G92  X0          Y0          Z0          W0
N1460      M01  LR
```

Veškeré programování až na výjimky je řešeno přírůstkovým způsobem. Z bezpečnostních důvodů je pro najetí volena lineární interpolace rychlejším pracovním posuvem postupně v ose Z, X a nakonec Y. Velikost jednotlivých souřadnic je dána parametrickými hodnotami *151*, *251* a *351*. Po najetí do požadované pozice nám fce G92 definuje nový nulový bod v daném místě.

Podprogram *1600* definuje návrat z nulového bodu pro broušení do referenčního bodu a to jak v případě hrubování tak dokončování .

```
*1600*(NAVRAT.Z.NUL.BODU.DO.REF.BODU.PRO.BROUSENI)
N1600      G91
N1610      G01  Y*251*      F9.
N1620      X*151*
N1630      Z*351*
N1640      G92  X0          Y0          Z0
N1650      M01  LR
```

Přesun v jednotlivých osách je realizován v opačném pořadí než u najetí tedy nejprve ose Y, následně v ose X a nakonec v ose Z. Funkce G92 nám opětovně definuje prvotní pozici nulového bodu v referenčním bodě.

Podprogram *2000* definuje vybroušení deseti profilových tvarových drážek ve šroubovici zplna s přídavkem na dokončení. V úvodních řádcích se nejprve koriguje poloha výchozího bodu pro broušení v ose Z pomocí aktuální hodnoty parametru *99* (viz obr.5.5). Funkce G92 definuje aktuální pozici nulového bodu. Parametry X*152*, Y*252*, Z*352* a W*452* mají při standardním režimu

nulovou hodnotu a slouží pouze při ladění.

```
*2000*      (BROUS.VNITRKU.G77,NAVRAT.DO.0)
N1940      G91
N1950      G01 Z-*99*      F9.
N1960      G92 X0        Y0        Z0
N1970      G01 X*152*     Y*252*
N1980      Z*352*     W*452*
*452*000.00 (KOREKCNI.UHEL)
```

Vlastní broušení hrubování výbrusem zplně je určeno v oknech menu následujícími daty v řádcích N2000 až 2040. Řádek N2000 kombinace drah definuje dráhu 2 s odejetím od kontury 5 mm ve směru Z+ bez zrcadlení. Řádek N2010 technologie určuje velikost posuvu 0,04 m.min⁻¹.

Pozn.: Symbol * značí, že parametr posuvu odpovídající řádku N2010 se nám objeví na obrazovce řídicího systému i v režimu stroj a obsluha může tento parametr ovlivnit. Tento význam platí obecně pro všechna data označená * v oknech menu.

Řádek N2020 typ broušení šroubovice definuje pravou šroubovici o velikosti stoupání 100 mm. Řádek N2030 obrys umožňuje definovat konturu broušení v tomto případě najetí na hloubku broušení 0,79 mm, dráhu posuvu 68 mm včetně náběhu a výběhu a určení roviny X – Z pro obrábění. Řádek N2040 definuje počet dělení (počet pramenů šroubovice), to znamená, že cyklus broušení se bude 10 x opakovat s roztečí 36°.

```
N2000 KOMBIN.DRAH
      KOMBINACE.DRAH      2
      ZRCADLIT A/N       N
      SMĚR ODEJETI       Z+
      DRAHA ODEJETI      5.000
N2010 TECHNOLOGIE
      RYCHLOST POSUVU    .040*
      KOREKCE RADIUSU    .000
      SMĚR.PRISUVU      00
N2020 TYP :BROUS.SROUBOV.
      PRAVA/LEVA SR. 0/1  1
      STRID. OZUBENI     N
      STOUPANI SROUB     100.000
      LEVOREZN NASTR     N
N2030 OBRYS
      PRICNA DRAHA       .790*
      DRAHA POSUVU       68.000*
      DVA ZUBY PRODLOU.  N
      X-Y:O X-Z:1        1
      VYPNUTI SROUBOVICE 0
N2040 DELIT/OROV./PRISUN
      POCET DELENI      10
      DELENI VLEVO      N
```

V závěru podprogramu je použita funkce G77, která při zapnutém absolutním programování (fce G90) provede načtení rozdílu mezi aktuálním nulovým bodem a polohou, kde skočil cyklus broušení. Načtené hodnoty se objeví v parametrech X*152, *Y*252* a Z*352*.a při dalším spuštění programu se automaticky použijí. Tento režim se využije při ladění, jinak ve standardním režimu použití programu se již korekce drah neprovádí a tyto parametry mají nulovou hodnotu. Návrat do poslední výchozí polohy je realizován v absolutních souřadnicích (fce G90). Potom následuje povýjetí o parametr *99* a opětovná definice počátečního nulového bodu pro broušení.

N2050	G90			
N2060	G77	X*152	*Y*252*	Z*352*
N2070	G01	Z0	F9.	
N2080	X0	Y0		
N2090	G91			
N2100	Z*99*			
N2110	G92	X0	Y0	Z0
N2120	M01	LR		

Podprogram *3000* definuje vybroušení deseti profilových tvarových drážek ve šroubovici nahotovo. Struktura podprogramu je téměř shodná s podprogramem *2000*, ale liší jiným označením parametrů a technologickými daty.

N3000	KOMBIN.DRAH	
	KOMBINACE.DRAH	2
	ZRCADLIT A/N	N
	SMĚR ODEJETI	Z+
	DRAHA ODEJETI	5.000
N3010	TECHNOLOGIE	
	RYCHLOST POSUVU	.100*
	KOREKCE RADIUSU	.000
	SMĚR.PRISUVU	00
N3020	TYP :BROUS.SROUBOV.	
	PRAVA/LEVA SR. 0/1	1
	STRID. OZUBENI	N
	STOUPANI SROUB	100.000
	LEVOREZN NASTR	N
N3030	OBRYS	
	PRICNA DRAHA	.994*
	DRAHA POSUVU	68.000
	DVA ZUBY PRODLOU.	N
	X-Y:0 X-Z:1	1
	VYPNUTI SROUBOVICE	0
N3040	DELIT/OROV./PRISUN	
	POCET DELENI	10
	DELENI VLEVO	N

Pro dokončovací broušení je zde vyšší velikost posuvu $0,1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a finální hodnota hloubky výbrusu 0,994 v řádku N3030 obrys. Tuto hodnotu může obsluha v případě potřeby rovněž korigovat. Podprogram *3000* může obsluha libovolně zopakovat jako vyjiskřovací v počtu 1 x až 3x podle výsledku kontroly patního průměru $11,16_{-0,05}$.

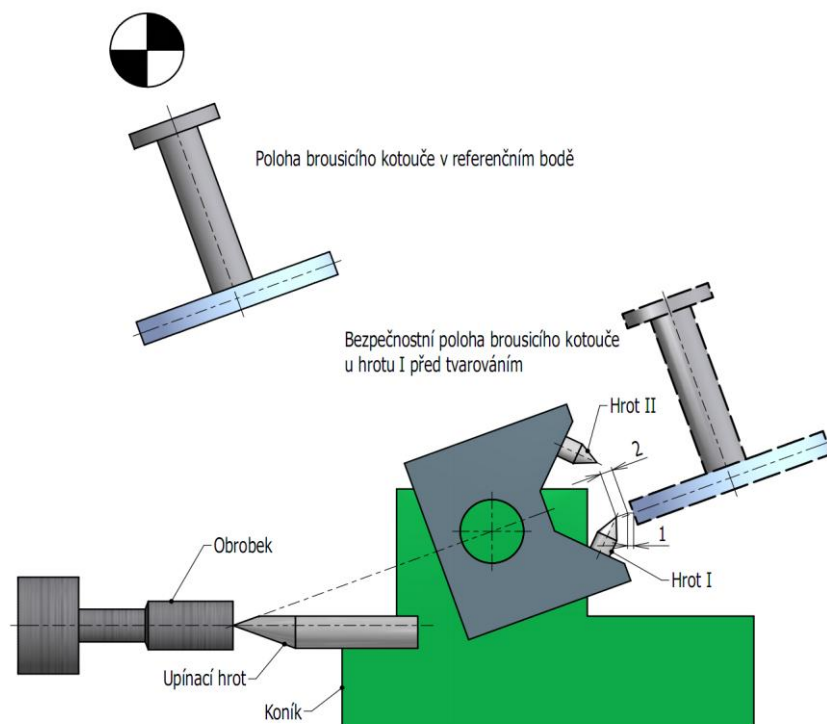
5.3.2 Podprogramy pro orovnávaní

Orovnávací podprogram *1700* má dvě úrovně a má v sobě zakomponován nájezd z referenčního bodu do nulového (výchozího) bodu pro orovnávaní, propočítání úbytku kotouče (parametr *99*) a postupné přisunování orovnávacích kontur (parametr *999*) a nakonec vlastní definování kontur pro oba orovnávací hroty.

1700(NAJEZD.Z.REF.BODU.NA.OROVNANI)
 N1710 G91
 N1720 G01 X-*190* Z-*390* F9.

N1730	Y_*290*			
N1770	G92 X0		Y0	Z0
N1780	H*9999*	LS*900*		
N1790	G01 Y*290*			
N1800	X*190*	Z*390*		
N1810	G92 X0		Y0	Z0
N1820	M01 LR			

Brousicí kotouč najede z referenčního bodu prostřednictvím parametrických souřadnic nejprve v osách X-*190*, Z-*390* a potom Y-*290* do nulového (výchozího) bodu pro orovnávací, který leží v pozici mezi orovnávacími hroty jak je naznačeno na obr.5.4. Zde po aktualizaci nulového bodu funkcí G92 následuje skok do podprogramu *900*, který řeší vlastní orovnávací. Počet opakování tohoto podprogramu je dán parametrem *9999*. Tento parametr obsluha volí podle toho, jedná-li se o prvotní natvarování brousicího kotouče nebo o orovnávací kotouče před dokončovacím broušením. Po několikerém proběhu orovnávacího cyklu podprogramu *900* se brousicí kotouč vrátí zpět do referenčního bodu a fce G92 provede opětovnou aktualizaci nulového bodu. Vlastní orovnávací brousicího kotouče je realizováno podprogramem *900*, který má v sobě zakomponován výpočtový algoritmus, korigující úbytek brousicího kotouče vlivem tvarování nebo orovnávací brousicího kotouče. Bezpečnostní poloha brousicího kotouče před prvotním natvarováním je dána vzdáleností 2 mm kolmo od příslušného orovnávacího hrotu a dále ještě bezpečnostní vzdáleností 1 mm v ose X.



Obr.5.7 Bezpečnostní poloha brousicího kotouče u hrotu I před tvarováním.

Tato skutečnost se promítne do hodnot parametrů X*191*,Y*291* a Z*391* pro diamantový orovnávací hrot I a do hodnot parametrů X*192*,Y*292* a

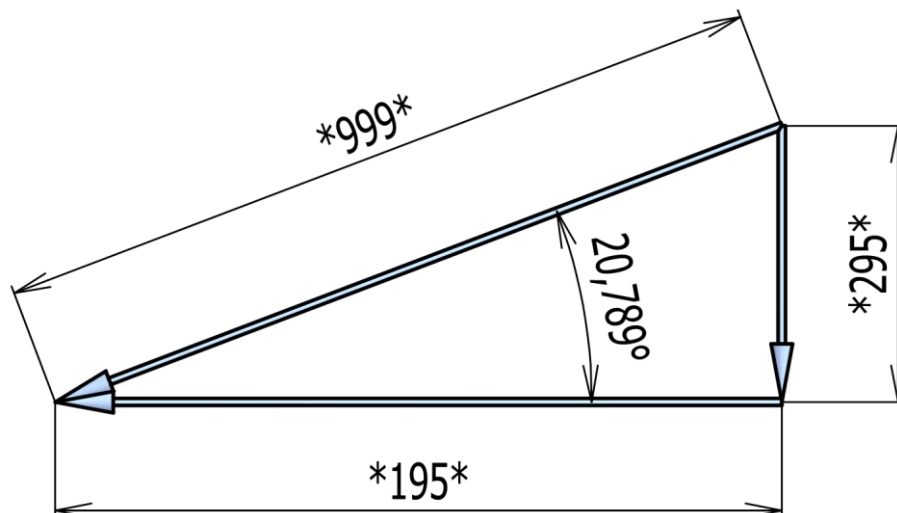
Z*392* pro diamantový orovnávací hrot II. V případě, že umístíte nulový (výchozí) bod orovnávacího hrotu přímo do bezpečnostní polohy před prvotním natvarováním brousicího kotouče, potom hodnota parametrů X*191*, Y*291* a Z*391* bude nulová. Situace definující bezpečnostní vzdálenosti je naznačena na obr. 5.7. Před začátkem tvarování brousicího kotouče je několik proběhů naprázdno než začne orovnávací hrot zabírat v krajních polohách kontury a jsou využity obě bezpečnostní vzdálenosti. Při orovnávacím hrotu již natvarovaného brousicího kotouče zůstane funkční už jen bezpečnostní vzdálenost 1 mm v ose X, která je součástí kontury. Vlastní přibližování kotouče k diamantovému orovnávacímu hrotu o hodnotu úběru při orovnávacím hrotu je řešeno výpočtovým algoritmem, který je v úvodu podprogramu *900*. Početní funkce, které lze v programu realizovat jsou pouze základní, tedy sčítání G 73, odčítání G74, násobení G75 a dělení G76 a platí pro ně následující pravidla:

- parametry použité při výpočtech musí být definovány 8 číselnými pozicemi, přičemž nelze použít desetinnou tečku, což znamená, že výpočet probíhá v tisícinách mm. Přesáhne-li výpočtová hodnota 8 číselných pozic, je nutné vložit řádek s dělením 10. Jinými slovy, rozsah výpočtů je tedy omezen,
- adresy Y a Z mají význam dvou zadaných údajů pro výpočet dle příslušné funkce G a výsledek se zobrazí v adrese X. Do zadaných údajů lze kromě parametrů zadat i konkrétní číselné hodnoty např. goniometrických funkcí. Výsledek pod adresou X musí být definován parametricky,
- výpočet se realizuje při každém proběhu programu a jednotlivé parametry se aktualizují.

900(VLASTNÍ. OROVNANÍ)

N900	G91				
N910	G92	X0	Y0	Z0	
N920	G73	X*999*	Y*999*	Z*9*	
(AKTIVACE. OD. I. OROVNANÍ)					
N930	G75	X*195*	Y*999*	Z935	
(Z=COS. UHLU. VYKLOENENI. KOT)					
N940	G76	X*195*	Y*195*	Z1000	
N950	G75	X*295*	Y*999*	Z355	
(Z=SIN. UHLU. VYKLOENENI. KOT)					
N960	G76	X*295*	Y*295*	Z1000	
N970	G73	X*99*	Y*99*	Z*9*	
N980	G01	X*191*	Y*291*	Z*391*	F9.
N990		X-*195*	Y-*295*		

V řádku N920 se sumarizuje vzdálenost dotykového bodu brousicího kotouče od orovnávacího hrotu, to znamená, že při každém opakování podprogramu se zvětší hodnota vektoru parametru *999* o hodnotu parametru *9*. Aktuální hodnotu vektoru parametru *999* je nutno rozdělit dle úhlu vyklonění 20° 47' 52" do dvou aktuálních pravoúhlých souřadnic v ose X parametr *195* a v ose Y parametr *295*, jak je znázorněno na obr. 5.8. V řádku N930 je provedeno násobení hodnotou 935 (cosinus úhlu vyklonění), čímž je získána hodnota parametru *195* řádově ale zvětšená 10³. Správnou velikost řádu získáme dělením parametru *195* hodnotou 10³ v adrese Z, což je realizováno v řádku N940.

Obr.5.8 Rozklad vektoru $*999*$.

Pro parametr $*295*$ platí stejný algoritmus v řádcích N950 a N960 jen s tím rozdílem, že je použit sinus úhlu vyklonění hodnota 355 v adrese Z. V řádku N970 se sumarizuje úbytek broušícího kotouče parametr $*99*$ vlivem orovnávaní. Tento parametr je nutno vynulovat po vytvarování broušícího kotouče před prvním broušením. Situace je znázorněna na obr.5.5 v okamžiku úbytku broušícího kotouče např. o 10 mm na poloměru. Vlastní tvarování a orovnávaní broušícího kotouče je realizováno dvěma diamantovými orovnávacími hroty, které realizují vzájemně zrcadlový pohyb po kontuře, která odpovídá požadovanému tvaru mezery mezi jednotlivými prameny šroubovice. Při přesném zadání tvaru mezery dle detailu na výkrese viz. obr.3.4 ale nedocílíme požadovaného tvaru pramene dle obr.3.3. Dochází k tzv. rozmazání tvaru a nepřesnost se zvyšuje se strmostí šroubovice a velikostí broušícího kotouče. Největší rozdíl mezi údajem na výkrese a potřebným definovaným rozměrem kotouče je u úhlu mezery, kde výkresový údaj dle obr.3.4 činí $63,033^\circ$, ale potřebný úhel na kotouči pro jeho dosažení činí $57,612^\circ$, tak jak je uvedeno na obr.5.12. Tento rozdíl činí téměř 6° a v případě jednostranné drážky lze korigovat prostým vykloněním broušícího kotouče. U oboustranné drážky je ale nezbytné definovat tvar kotouče. Nejlepšího výsledku z hlediska tvaru je dosaženo při použití spodních hodnot tolerancí, kdy korekce úhlových hodnot tvaru byly minimální, ale přesto nezbytné. Konkrétně u průměru $11,16_{-0,05}$ mm je počítáno v programu s hodnotou 11,13 mm a u poloměru $0,5^{+0,1}$ se spodním rozměrem neboť i nepatrné opotřebení broušícího kotouče při obrábění načisto poloměr zvětší. Samozřejmě je rovněž korekce poloměru diamantového orovnávacího hrotu o velikosti 0,125 mm. V následujících řádcích N1000 až N1060 jsou uvedeny kromě kombinace drah a technologie i jednotlivé definice obrysů kontury pro orovnávací hrot I. V jednotlivých tabulkách menu jsou vyplněny pouze nutné údaje, ostatní mají nulovou hodnotu.

N1000 KOMBIN.DRAH

KOMBINACE.DRAH

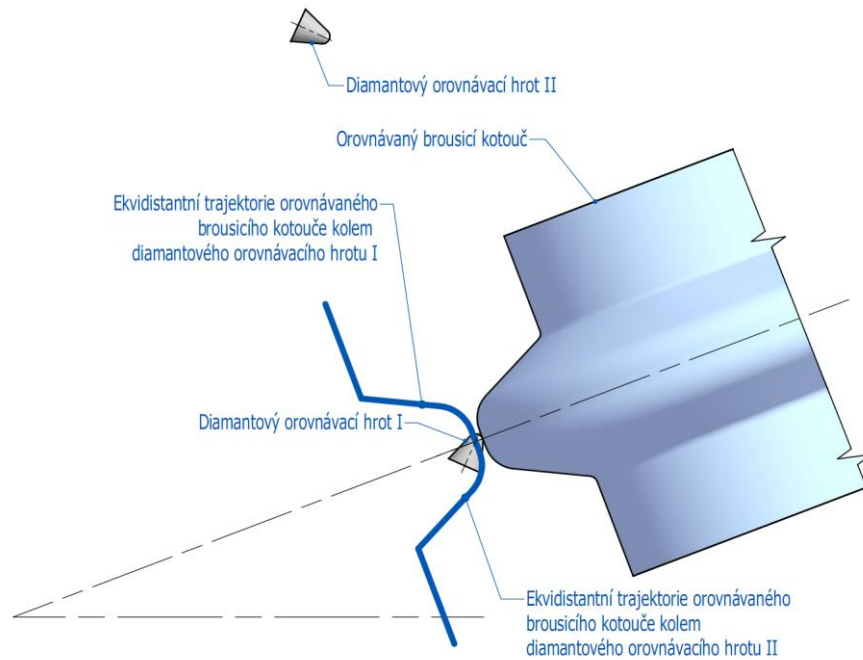
ZRCADLIT A/N

2

N

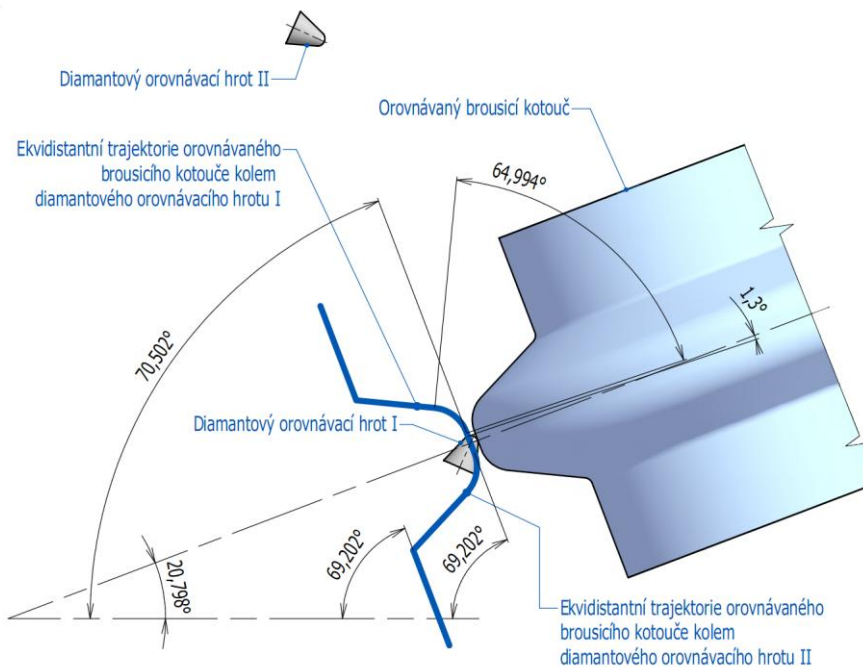
	SMĚR ODEJETI			X+
	DRAHA ODEJETI			5.000
N1010	TECHNOLOGIE			
	RYCHLOST POSUVU			.050*
	KOREKCE RADIUSU			.000
	SMĚR.PRISUVU			00
N1020	OBRYS			
	DRAHA POSUVU			1.000
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1030	OBRYS			
	UHEL 1			-69.202
	RADIUS 1			5.440
	UHEL 2			-1.3
	TECNA 2			0.05
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1040	OBRYS			
	UHEL 1			-70.502
	RADIUS 1			.625
	UHEL 2			64.994
	TECNA 2			1.3
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1050	OBRYS			
	UHEL 1			-69.202
	TECNA 1			2.000
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1060	DELIT/OROVNAT/PRISUN			
	DELENI VLEVO			N
N1070	G01	X*195*	Y*295*	F9.
N1080	G90			
N1090	G77	X*191*	Y*291*	Z*391*
N1100	G01	X0	Y0	Z0
N1110	G91			
N1120	G01	X*192*	Y*292*	Z*392*
N1130		X-*195*	Y-*295*	

V řádcích N1070 až N1130 se realizuje přejezd brousicího kotouče mezi diamantovým orovnávacím hrotem I a II s respektováním aktuální hodnoty parametrů *195* a *295* a mezi návratem do nulového výchozího bodu pro orovnávací. Funkce G77 se využije jen při ladění programu. Na následujícím obr.5.9 jsou nakresleny kontury vzájemného pohybu brousicího kotouče v ose Y a diamantových orovnávacích hrotů umístěných v přípravku na stole v ose X. Situace je ve výchozím časovém okamžiku dotyku diamantového orovnávacího hrotu I s orovnávaným brousicím kotoučem pro jeden dílčí proběh trajektorie.



Obr.5.9 Kontury pohybu diamantových orovnávacích hrotů I a II.

Na obr. 5.10 jsou uvedeny jednotlivé úhly trajektorie v podobě, jakou vyžaduje pro zadání editor WU.



Obr.5.10 Úhly trajektorií pro zadání v editoru WU.

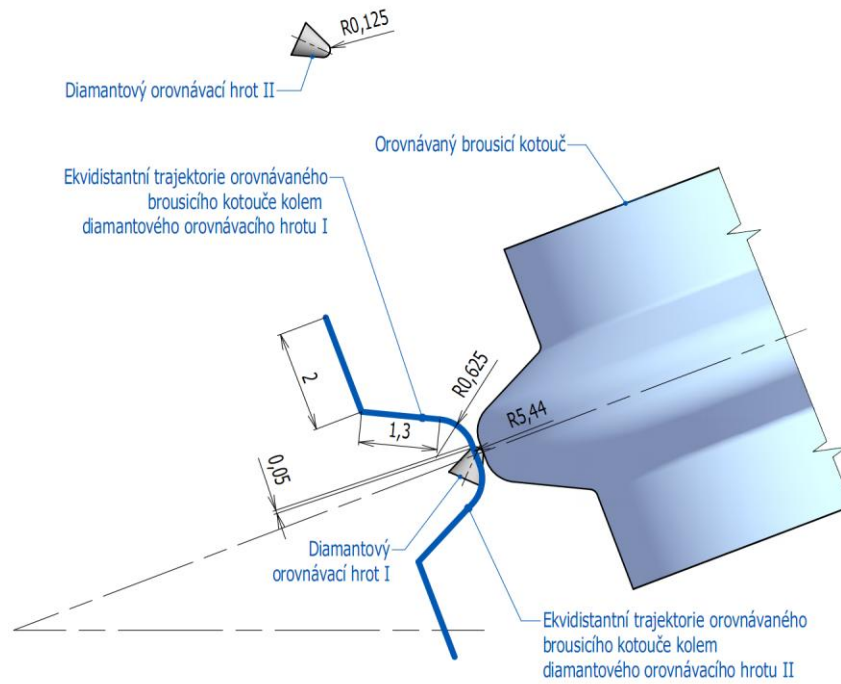
V řádcích N1140 až N1200 jsou rovněž uvedeny kromě kombinace drah a

technologie i jednotlivé definice obrysů kontury pro orovnávací hrot II.

N1140	KOMBIN.DRAH			
	KOMBINACE.DRAH		2	
	ZRCADLIT A/N		A	
	SMĚR ODEJETI		X+	
	DRAHA ODEJETI		5.000	
N1150	TECHNOLOGIE			
	RYCHLOST POSUVU		.050*	
	KOREKCE RADIUSU		.000	
	SMĚR.PRISUVU		00	
N1160	OBRYS			
	UHEL 1		180.000	
	TECNA 1		1.000	
	DVA ZUBY PRODLOU.		N	
	X-Y:0 X-Z:I		0	
	VYPNUTI SROUBOVICE		0	
N1170	OBRYS			
	UHEL 1		69.202	
	RADIUS 1		5.440	
	UHEL 2		-1.300	
	TECNA 2		0.050	
	DVA ZUBY PRODLOU.		N	
	X-Y:0 X-Z:I		0	
	VYPNUTI SROUBOVICE		0	
N1180	OBRYS			
	UHEL 1		67.902	
	RADIUS 1		.625	
	UHEL 2		64.994	
	TECNA 2		1.3	
	DVA ZUBY PRODLOU.		N	
	X-Y:0 X-Z:I		0	
	VYPNUTI SROUBOVICE		0	
N1190	OBRYS			
	UHEL 1		69.202	
	TECNA 1		2.000	
	DVA ZUBY PRODLOU.		N	
	X-Y:0 X-Z:I		0	
	VYPNUTI SROUBOVICE		0	
N1200	DELIT/OROVNAT/PRISUN			
	DELENI VLEVO		N	

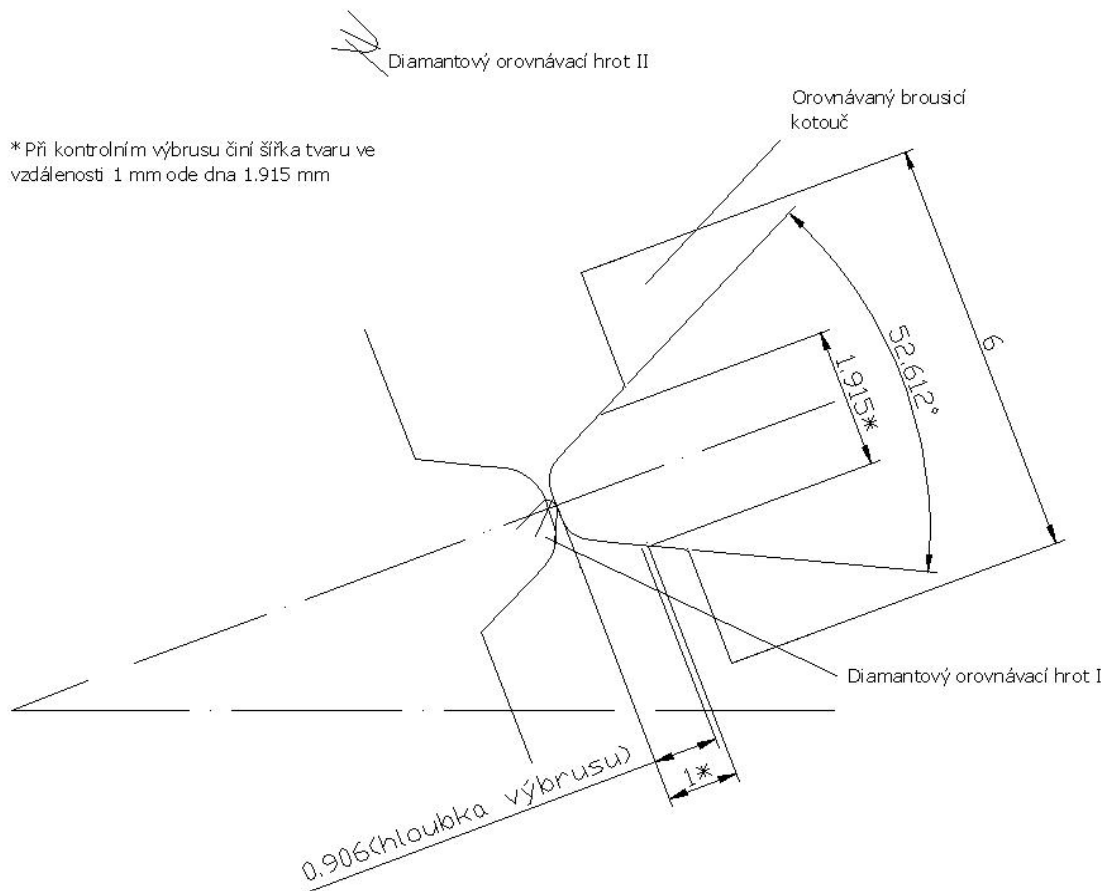
Na obr.5.11 jsou uvedeny jednotlivé tečny a radiusy potřebné pro zadání trajektorie v editoru WU. V řádcích N1230 až N1270 se realizuje návrat brousicího kotouče do nulového výchozího bodu pro orovnávací s respektováním aktuální hodnoty parametrů *195* a *295*.

N1230	G01	X*195*	Y*295*	F9.
N1240	G90			
N1250	G77	X*192*	Y*292*	Z*392*
N1260	G01	X0	Y0	Z0
N1270	M01	LR		



Obr.5.11 Tečny a radiusy potřebné pro zadání v editoru WU.

Na obr.5.12 jsou uvedeny základní výsledné rozměry kotouče, které jsou



Obr.5.12 Základní výsledné rozměry kotouče.

nutné pro seřízení hrotů. Trajektorie obou diamantových orovnávacích hrotů závisí na vzájemné poloze obou ekvididant, jejichž vzájemná poloha musí zaručit na brousicím kotouči ve vzdálenosti 1 mm od dna (vrchol kotouče) rozměr 1,915 mm.

Podrobný postup seřízení je uveden v kapitole 7 Manuál k řídicímu NC programu.

6 Metody měření a statistika

6.1 Specifikace nejdůležitějších rozměrů

Náročnost šroubové drážky na měření je při ladění programu, kdy je nutné měřit všechny rozměry. Naopak v průběhu série stačí měřit jen některé rozměry neboť ostatní jsou s nimi vzájemně provázány. Jako polotovár před broušením šroubové drážky zcela se předpokládá tepelně zpracovaná součástka s obroušeným upínacím průměrem $10_{-0,02}^{+0}$ mm a funkčním průměrem $13,11_{-0,005}^{+0}$ mm. Tyto rozměry v toleranci jsou nutnou podmínkou pro konečný shodný výrobek v oblasti šroubové drážky. Měřené rozměry jsou následující.

Šířka pramene na vnějším obvodu šroubovice v normální rovině $1,8_0^{+0,03}$

Tento stěžejní rozměr se měří na mikroskopu v čelní rovině v hodnotě $1,925_0^{+0,030}$ a jeho vliv na celý tvar profilu je již podrobně popsán v kapitole 3.1.

Patní průměr $11,16_{-0,05}^{+0}$ mm

Rozměr lze měřit pomocí mikrometru s vyměnitelnými kuželovými doteky, kterými se dá dostat do prostoru drážky. Rozměr je zobrazen na obr.3.5 definice rozměrů šroubovice. Tento rozměr je určující jak při ladění programu tak na odladěném programu a závisí na něm výsledná shoda profilu drážky.

Levá šroubovice $100 \pm 0,03$ mm

Šroubovice $100 \pm 0,03$ mm lze změřit na mikroskopu. Vzhledem k délce funkční části 33 mm před zaoblením náběhu dá se šroubovice měřit jen na vzdálenosti 30 mm, tedy s tolerancí $\pm 0,009$ mm. Po natočení součásti o úhel 108° a posunutí o 30 mm nesmí se hrana šroubovice odchylovat více než $\pm 0,009$ mm. Tento způsob měření je nezávislý a je nutné ho provést při prvotním odladění tvaru.

Stroj Schütte WU-400-CNC umožňuje dále měřit šroubovice pomocí přídavného číselníkového úchylkoměru. Dotyk číselníkového úchylkoměru umožňuje neustálý kontakt s hranou šroubovice a při zadání spřaženého pohybu v ose X a v rotační ose W, kdy je realizována v obou zmíněných osách s tisícinovým inkrementem příslušná šroubovice, v našem případě $100 \pm 0,03$ mm. Tolerance je v ose X je třeba ji přepočítat do osy Y. Při úhlu stoupání $\varphi = 20^\circ 47' 52''$ což činí ($20,798^\circ$) je povolený odklon tolerance šroubovice v ose Y na vzdálenosti $100 \pm 0,011$ mm a na vzdálenosti 30 mm $\pm 0,0034$. Vzhledem ke spřaženosti osy X a rotační osy W a tisícinovému inkrementu nepřesáhla oscilace rafičky úchylkoměru hodnotu $\pm 0,001$ mm což následně potvrdil i nezávislý způsob měření. Z uvedeného vyplývá, že rozměr délky šroubovice je jednoznačně dán parametry nastavitelnými na stroji. Tuto metodu měření přímo na stroji lze použít i pro určení délky neznámých šroubovic.

Úhel boku pramene šroubovice 15^{+0}_{-1}

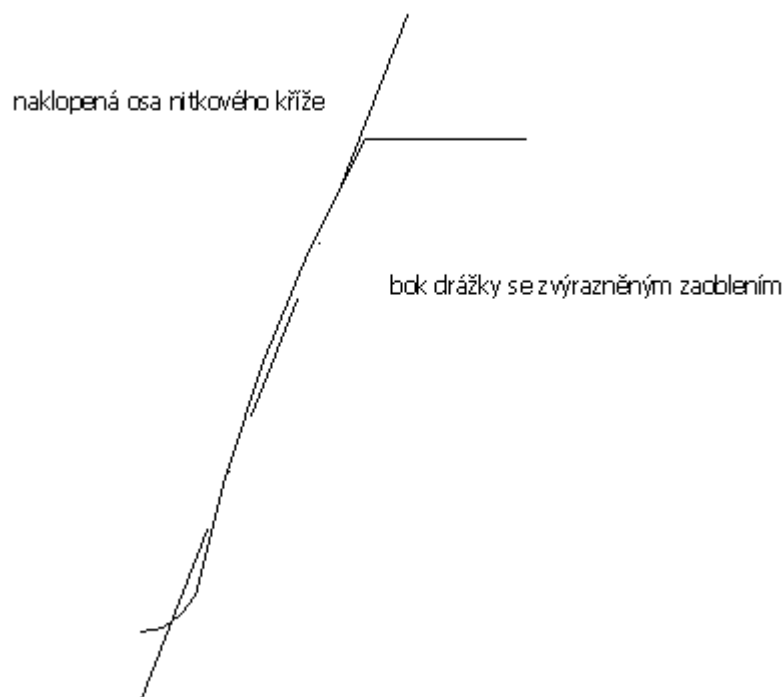
Úhel boku pramene šroubovice 15^{+0}_{-1} v normální rovině nelze měřit bez znehodnocení součásti, proto se provede přepoččet do roviny čelní, kde lze měření provést na mikroskopu s úhlovou hlavou.

$$\operatorname{tg} \beta_{\varepsilon} = \frac{\operatorname{tg} \beta_n}{\cos \varphi} \quad (6.1)$$

$$\beta_{\varepsilon} = \operatorname{arctg} \beta_{\varepsilon} \quad (6.2)$$

$$\beta_{\varepsilon} = 15,99^{\circ}$$

Jmenovitá hodnota úhlu v čelní rovině potom činí $15,99^{+0}_{-1}$. Vzhledem ke skutečnosti, že ořvnaný přímkový tvar kotouče vytvoří vlivem šroubovice na boku místo přímky oblouk s velkým radiusem, kde výška tedy vzdálenost tětiny od oblouku nepřesahuje 0,01 mm. Tato skutečnost se dá v programu korigovat zadáním obloukové dráhy o velkém poloměru místo tečny, což bylo realizováno při výbrusu drážky porovnávacího měřidla. V tomto případě je dostačující zohlednit tuto skutečnost při měření úhlu. Situace v okuláru mikroskopu je naznačena na obr. 6.1.



Obr.6.1 Nastavení osy úhlového kříže mikroskopu vůči boku drážky.

Vzhledem k toleranci -1° je kotouč natvarován tak, aby se úhel pohyboval ve středu tolerance to je $15^{\circ} 30'$ v čelní rovině. Tento požadavek je zaručen

naprogramováním drah při orovnávaní. Úhel β_{ϵ} se může lišit v rámci tolerance na jednom boku do plusové hodnoty od středu a na druhém boku do minusové hodnoty od středu. Tento stav by byl způsoben polohou kotouče mimo osu. Způsob seřízení je popsán v kapitole 7 Manuál k řídicímu NC programu.

Průměrná aritmetická úchylka profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ se týká prakticky celé funkční části dílu tvářecí trn a její dosažení je nejobtížnější v místě šroubové drážky. Po provedení výbrusu je vhodné provést přešetření lapovací pastou na filcovém kotouči. Touto doplňující operací se zaoblí hrany a sníží se rozptyl měřených hodnot průměrné aritmetické úchylky posuzovaného profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí 0,16 až 0,2 μm .

6.2 Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení vychází ze skutečných sérií vyrobených tvářecích trnů. Prvotní předpoklady o náběhu výroby počítaly s velikostí série tvářecích trnů v počtu 80 ks. Tento předpoklad se ale nikdy nenaplnil a to z následujících příčin:

- výroba startérů rostla podstatně pomaleji,
- broušené tvářecí trny vyrobené ve shodě podle výkresu měly až 8x větší životnost oproti původnímu provedení, cca přes 600 ks matic a současně došlo pouze výjimečně k destrukci tvářecího trnu před dosažením tohoto počtu.

Velikost výrobní dávky tvářecích trnů se potom pohybuje v rozmezí 8 až 18 ks. Statistické vyhodnocení vychází z naměřených údajů z těchto velmi malých dávek a řeší eventuální možnou neshodu při přechodu na původní plánované počty. Pro konečné statistické vyhodnocení je použito údajů ze výrobní dávky, která obsahuje 18 měřených kusů. Statistické vyhodnocení je provedeno pro rozměr $b_{\epsilon} = 1,925_0^{+0,03}$ mm v čelní rovině, kterému odpovídá $b_n = 1,8_0^{+0,03}$ mm v normální rovině viz. rovnice (3.1) a obr. 3.3 a od kterého se odvozuje profil drážky. Druhou statisticky posuzovanou veličinou je průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$

Šířka pramene vnějšího obvodu šroubovice v čelní rovině $b_{\epsilon} = 1,925_0^{+0,030}$.

V následující tabulce 6.1 jsou uvedeny hodnoty rozměru $b_{\epsilon} = 1,925_0^{+0,030}$ pro jednotlivé ks. série měřené vždy na libovolném zubu. Při namátkovém kontrolním proměření jiného zubu stejné součásti bylo vždy dosaženo stejného výsledku v rámci přesnosti měření, což vytváří předpoklad možnosti použití desetinásobku jednotlivých změřených hodnot pro statistické vyhodnocení.

Tab.6.1 Rozměr $b_{\check{c}}$.

Kus č.	x (mm)
1	1,940
2	1,945
3	1,935
4	1,940
5	1,935
6	1,935
7	1,930
8	1,935
9	1,935
10	1,940
11	1,935
12	1,935
13	1,940
14	1,945
15	1,940
16	1,940
17	1,935
18	1,940

Pro výpočet tolerančních mezí je použit dvoustranný statistický toleranční interval, kde rozptyl není předem znám dle ČSN ISO 3207 (18). Tato norma předpokládá normální rozdělení sledovaného znaku jakosti. V případě, že tomu tak není, nabízí pro libovolné rozdělení sledovaného znaku jakosti řešení založené na extrémních hodnotách ve výběru. Naměřené hodnoty x a jejich čtverce x^2 jsou znázorněny na obr.4.7. Podle testu Kolmogorov – Smirnov sice výběr vykazuje určité znaky normálního rozdělení, ale nijak výrazně. Je to zapříčiněno menším počtem hodnot ve výběru a především opakujícími se hodnotami ve výběru, což je způsobeno přesností měření na 0,005 mm. V případě zvýšení přesnosti měření na 0,001 se dá předpokládat potvrzení normálního rozdělení. Vyhodnocení statistických veličin bylo proto provedeno pro případ normálního i libovolného rozdělení sledovaného znaku jakosti.

Použité statistické údaje (18).

Rozsah výběru :

$$n = 18$$

Součet pozorovaných hodnot:

$$\sum x = 34,880 \text{ mm} \quad (6.3)$$

Podíl souboru pro statistický toleranční interval (18):

$$p = 0,95$$

Zvolená konfidenční úroveň (18):

$$1 - \alpha = 0,95 \quad (6.4)$$

Součet čtverců pozorovaných hodnot:

$$\sum x^2 = 67,590 \text{ mm}^2 \quad (6.5)$$

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (6.6)$$

$$\bar{x} = 1,938 \text{ mm}$$

Zvolená konfideční úroveň (18):

$$k_2 = k_{(8, 0,95, 0,95)} = 2,82$$

Součet čtverců rozdílů od průměru:

$$\sum (x - \bar{x})^2 = \sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2 \quad (6.7)$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 0,000261 \text{ mm}^2$$

Odhad rozptylu:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2 \quad (6.8)$$

$$s^2 = 0,0000153595 \text{ mm}^2$$

Odhad směrodatné odchylky:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (6.9)$$

$$s = 0,00391912 \text{ mm}$$

Za předpokladu normálního rozdělení lze s pravděpodobností $1 - \alpha = 0,95$ tvrdit, že v předpokládané velikosti dávky podíl shodných výrobků, jejichž rozměry se budou pohybovat v mezích L_i a L_s , bude roven alespoň $p = 0,95$ (18).

$$L_i = \bar{x} - k_2 \cdot s \quad (6.10)$$

$$L_i = 1,938 - 2,82 \cdot 0,00391912 = 1,927 \text{ mm}$$

$$L_s = \bar{x} + k_2 \cdot s \quad (6.11)$$

$$L_s = 1,938 + 2,82 \cdot 0,00391912 = 1,949 \text{ mm}$$

Tyto toleranční meze odpovídají toleranci rozměru $b_{\bar{c}} = 1,925_{-0,030}^{\pm 0,030}$ mm v čelní rovině.

Konfidenční interval (27):

$$\bar{x} - \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} \cdot s \quad (6.12)$$

$$\bar{x} - \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} \cdot s = 1,938 - 0,497 \cdot 0,00391912 = 1,936 \text{ mm}$$

$$\bar{x} + \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} \cdot s \quad (6.13)$$

$$\bar{x} + \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} \cdot s = 1,938 + 0,497 \cdot 0,00391912 = 1,940 \text{ mm}$$

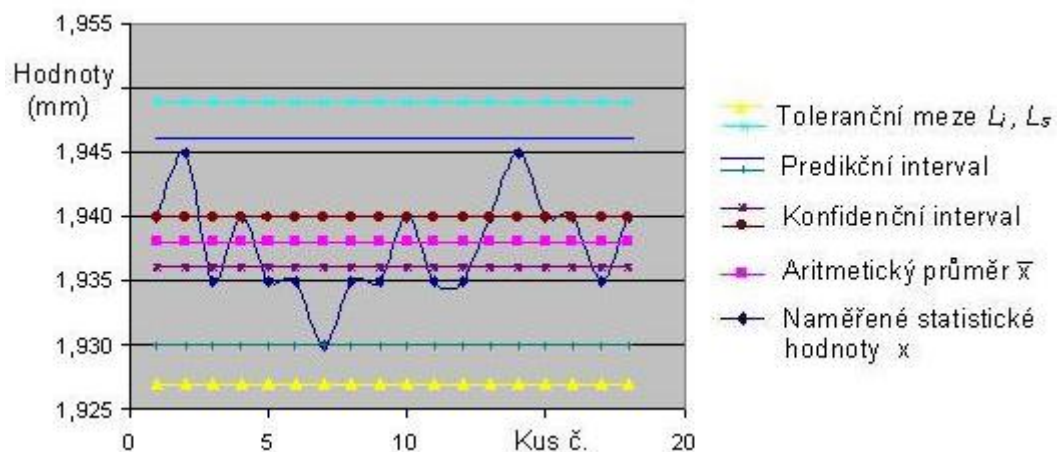
Predikční interval (konfidenční interval pro individuální hodnotu) (1):

$$\bar{x} - t_{0,975} \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (6.14)$$

$$\bar{x} - t_{0,975} \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}} = 1,938 - 2,101 \cdot 0,00391912 \cdot 1,0274 = 1,930 \text{ mm}$$

$$\bar{x} + t_{0,975} \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (6.15)$$

$$\bar{x} + t_{0,975} \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}} = 1,938 + 2,101 \cdot 0,00391912 \cdot 1,0274 = 1,946 \text{ mm}$$



Obr.6.2 Naměřené a vypočtené statistické hodnoty.

Pro případ libovolného rozdělení bude platit vztah (18):

$$n \cdot p^{n-1} - (n-1) \cdot p^n = \alpha \quad (6.16)$$

Závislost dle vztahu 6.16 pro neparametrické dvoustranné statistické intervaly mezi rozsahem výběru n pro podíl p při konfidenční úrovni $1 - \alpha$ je uvedena v tabulce č. 6.2. Pro zadaný rozsah výběru $n = 18$ a konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$ je odpovídající podíl $p = 0,75$. Pro požadavek na konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$ a podíl $p = 0,95$ je nutný odpovídající rozsah výběru $n = 93$. Toho lze dosáhnout vytvořením potřebného rozsahu výběru z více vyráběných dávek. Vzhledem ke skutečnosti, že i u ostatních vyráběných dávek se pohybují hodnoty rozměru $b_{\varepsilon} = 1,925_0^{+0,030}$ mm v tolerančních mezích a v podobných velikostech hodnot jako v tabulce 4.1, jeví se tento předpoklad jako správný. Současně lze rovněž konstatovat, jednotlivé měřené rozměry se vzhledem k desetichodé šroubovici prakticky 10x opakují ve stejné hodnotě a to znamená, že použitý rozsah výběru $n=18$ je rovněž 10x větší, tedy až 180 hodnot, což už překračuje požadavek na rozsah výběru $n=93$ pro konfidenční úroveň $1 - \alpha = 0,95$ a podíl $p = 0,95$.

Tab. 6.2 - Neparametrické dvoustranné statistické toleranční intervaly.

$1 - \alpha \backslash p$	0,500	0,750	0,900	0,950	0,990	0,999
0,500	3	7	17	34	168	1679
0,750	5	10	27	53	269	2692
0,900	7	15	38	77	388	3889
0,950	8	18	46	93	473	4742
0,990	11	24	64	130	662	6636
0,999	14	33	89	181	920	9230

Průměrná aritmetická úchylka profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$

Průměrná aritmetická úchylka profilu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ je požadována prakticky na celém profilu součástky. V místech, kde lze použít broušení na kulato, je dosažení této hodnoty reálné bez komplikací. V místech šroubové drážky je však dodržení požadované hodnoty $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ poněkud obtížnější. Průměrná aritmetická úchylka profilu je zde limitována možnostmi broušení kotouče, konkrétně hodnotou zrnitosti 120, která umožňuje dosažení této průměrné aritmetické úchyly profilu a současně i dostatečný úběr materiálu. Nutnou podmínkou je ale udržení broušícího kotouče v nezálepeném stavu. Znamená to dodržovat doporučené cykly orovnávací před dokončovacím broušením.

Tab.6.3 Hodnota Ra ve vybraných šroubových drážkách.

Kus č.	Drážka č.1	Drážka č.2	Drážka č.3	Drážka č.4
1	0,18	0,18	0,18	0,19
2	0,18	0,18	0,18	0,19
3	0,17	0,18	0,18	0,19
4	0,18	0,18	0,18	0,19
5	0,18	0,18	0,19	0,20
6	0,17	0,18	0,18	0,19
7	0,18	0,18	0,19	0,20
8	0,18	0,18	0,18	0,19
9	0,18	0,17	0,18	0,19
10	0,18	0,18	0,18	0,19
11	0,17	0,18	0,19	0,19
12	0,18	0,18	0,18	0,19
13	0,18	0,18	0,18	0,19
14	0,18	0,18	0,18	0,19
15	0,18	0,17	0,18	0,19
16	0,18	0,18	0,19	0,19
17	0,18	0,18	0,18	0,19
18	0,18	0,18	0,18	0,19

Po vybroušení šroubové drážky zůstanou na hranách pramenů jemné sotva patrné ostřiny, které je nutno odstranit dřevěným hranolem, aby zůstala zachována ostrost hran pro měření. Případné nečistoty, které mohou ulpět během broušícího procesu ve šroubové drážce lze odstranit přešetřením filcovým kotoučem. Hodnoty průměrné aritmetické úchylnosti profilu se u měřené dávky potom pohybují v rozmezí $Ra = 0,19 - 0,18 \mu\text{m}$ ve většině případů a ojediněle v hodnotě $Ra = 0,2 \mu\text{m}$ nebo $Ra = 0,17 \mu\text{m}$. Konkrétní hodnoty Ra u jednotlivých kusů vždy ve čtyřech náhodně vybraných šroubových drážkách jsou uvedeny v tabulce 6.3. Pro statistické vyhodnocení zde použijeme případ libovolného rozdělení s jednostranně omezeným rozptýlením (18). Mezi rozsahem výběru n , konfidenční úrovní $1 - \alpha$ a podílem p souboru pod x_M platí vztah.

$$p^n = \alpha \quad (6.17)$$

Závislost dle vztahu 6.17 pro neparametrické jednostranné statistické intervaly mezi rozsahem výběru n pro podíl p při konfidenční úrovni $1 - \alpha$ je uvedena v tabulce č. 6.4. Pro požadavek na konfidenční úroveň $(1 - \alpha) = 0,95$ a podíl $p = 0,95$ je nutný odpovídající rozsah výběru $n = 59$. Pro rozsah výběru $n = 72$, který je daný 4 měřeními šroubovými drážkami na každém z 18 kusů vyráběné dávky, lze při tomto výběru n tvrdit, že s pravděpodobností alespoň rovnou $(1 - \alpha)$ bude podíl souboru pod největší hodnotou $Ra = 0,2$ roven $p = 0,95$.

Tab. 6.4 Neparametrické jednostranné statistické toleranční intervaly.

$1 - \alpha$ \ p	0,500	0,750	0,900	0,950	0,990	0,999
0,500	1	3	7	14	60	693
0,750	3	5	14	28	138	1366
0,900	4	9	22	45	230	2302
0,950	5	11	29	59	299	2995
0,990	7	17	44	90	459	4603
0,999	10	25	66	135	688	6905

7 Manuál k řídicímu NC programu

Manuál je určen jako doplňková instrukce pro použití CNC programu na výrobu tvarových šroubových drážek brousicím kotoučem zcela. Manuál předpokládá základní znalost ovládnutí ostříčky WU-400-CNC a základní orientaci v programech vytvořených pomocí editoru WU.

7.1 Vzorový obrobek

Technologie je určena pro součástky charakteru tvářecích trnů s požadavkem na přesnou výrobu tvarové šroubové drážky. Vzorovým obrobkem je součástka tvářecí trn č.v. 2510308. Díl je vyroben z materiálu ČSN ISO 419830 a tepelně zpracován 61-1 na HRC. Na součástce jsou provedeny měkké operace, tepelné zpracování a brusičské operace nakulato kromě zaoblení R 1,5 na čele. Tento rozměr může být zhotoven až po vybroušení šroubovitě drážky, protože rovinná čelní plocha navazující na válcovou plochu ostrým rohem slouží k měření jednotlivých rozměrů tvarové šroubové drážky.

7.2 Pomůcky a nářadí

Upnutí polotovaru se provede pomocí kleštiny pro $\phi 10$ a z čelní strany se opře hrotem koníku. Házení polotovaru je bezpodmínečně nutné vymezením poklepem dřevěnou nebo gumovou paličkou a hodnota házení na číselníkovém úchylkoměru může činit maximálně 0,01 mm, ideálně 0,005 mm a méně. Jako orovnávací zařízení slouží speciální přípravek se dvěma orovnávacími diamantovými hroty, které vzájemně směřují ve vodorovné rovině na sebe kolmo a vzdálenost mezi špičkami hrotů je vymezena na cca 25-30mm. Orovnávací hroty jsou střechovitěho charakteru s úhlem 40° a radiem špičky 0,125 mm. Délka hrotů je 44,5 mm, upínací průměr s ploškami na upínací šrouby činí 9,5 mm. Výrobce těchto orovnávačů je v ČR firma DIA-Praha s.r.o. a ve starším katalogu jsou pod typem DIAFORM a objednávacím číslem 11-22. Jako brusivo je doporučen kotouč jakosti 98 A 120 K 5V dříve značený 88 A 120 K 5V 217 o rozměrech 150x6x20 mm od firmy Tyrolit. Před vlastním použitím je nutné vnější průměr zmenšit na rozměr 120 mm. Umístění jednotlivých pomůcek na upínacím stole ostříčky při základní poloze jednotlivých os cca 5 mm před koncovými body (tzv. *poloha v referenčních bodech*, pokud je jimi stroj vybaven) je následující:

- zleva vřeteník, koník s hroty, brousicí kotouč, motor vřetene,
- přípravek s orovnávacími hroty umístěn na koníku pomocí kostky v otvorech 4 a 5,
- vzdálenost středů hrotů cca 25 mm.

Pro měření jsou nutné následující pomůcky:

- posuvné měřítko,
- mikrometr,
- mikrometr s kuželovými hroty na měření průměru $11,16_{-0,05}^{+0}$,
- indikátorové hodinky se stojánkem,

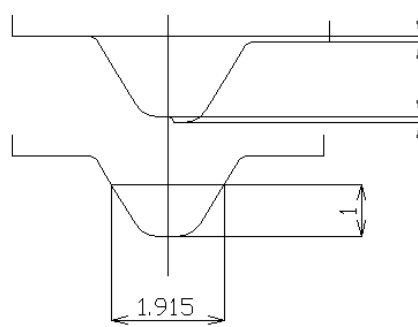
- dílenský mikroskop s úhlovou hlavou na měření úhlu $15^\circ - 1^\circ$ a rozměru $1,8_0^{+0,03}$ mm (úhel i rozměr jsou přepočteny z normální do čelní roviny na hodnoty $16^\circ - 1^\circ$ a $1,925_0^{+0,030}$ mm). Mikroskop musí být dále dovybaven prizmatickou kostkou na uchycení válcové části tvářecího trnu.

7.3 Řídicí program

Poznámky k technologii

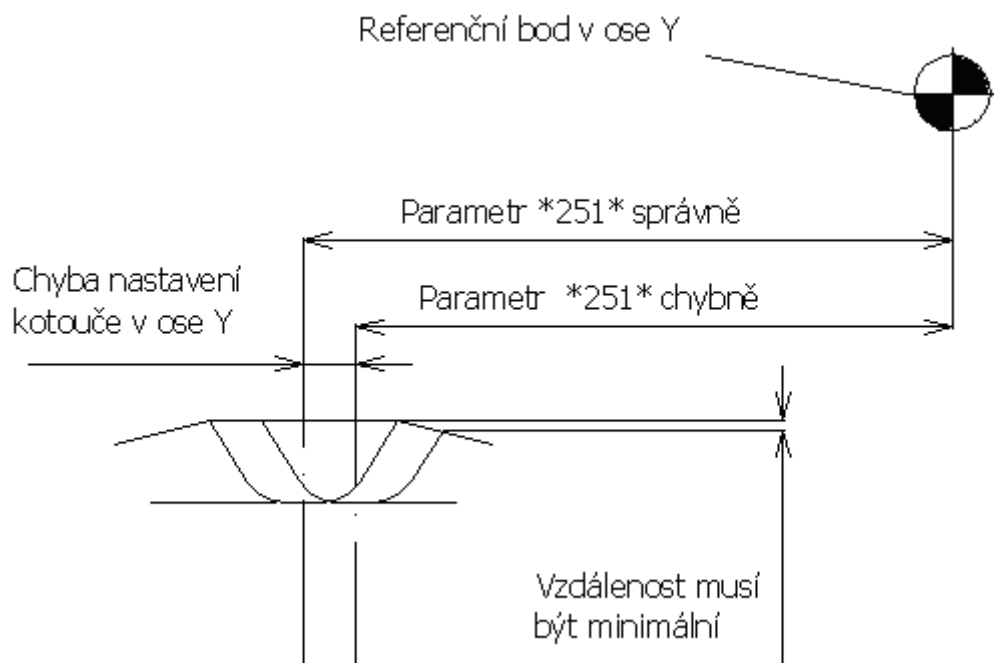
Řídicí program je postaven obecně pro ostříčku charakteru CNC vybavenou 3 podélnými osami X, Y, Z a rotační osou W. To znamená, že veškeré technologické postupy pro výrobu tvarové šroubové drážky platí obecně a lze je realizovat na obdobném stroji. Konkrétní odvolávky na příslušné parametry či odstavce programu už platí pouze pro stroj Schütte WU-400-CNC, u kterého se předpokládá vybavení nulovým bodem a referenčními body ve všech osách. Dále musí být stroj vybaven buď propojením s PC nebo minimálně disketovou jednotkou umožňující načtení a zálohování programu. Program v textové podobě je uveden v příloze č.5. Konkrétní řídicí program %940608 lze korigovat v editoru WU na stroji Schütte WU-400-CNC nebo na PC vybaveném editorem WU. Součástí manuálu je disketa s programem %940608 vytvořeném v editoru WU. Při seřizování bude použit ruční a automatický režim stroje. Pro úspěšnou realizaci programu je nutné respektovat následující podmínky:

- dodržet vstupní a výstupní velikost broušícího kotouče v průběhu procesu. Kotouč je doporučeno použít v rozmezí průměrů 120 až 85mm. V tomto rozmezí dochází k minimální odlišnosti tvaru drážky zhotovené kotoučem na počátku orovnávacího a kotoučem již průměrově spotřebovaným vlivem orovnávacího,
- dodržet kvalitu a přesný rozměr diamantových orovnávacích hrotů (radius špičky 0,125 mm),
- dodržet sled průběžného orovnávacího kotouče po hrubování před broušením načisto a před vyjiskřením. Velikost úběru pro orovnávací činí 0.01mm a počet orovnávací před broušením načisto alespoň 20 cyklů a před vyjiskřením 10 cyklů. Uvedené hodnoty mohou být menší o cca 30% podle opotřebení a zalepení kotouče,
- zajistit stálý přívod chladícího media do oblasti broušení. Pro lepší chlazení je vhodné kotouč na čtyřech místech radiálně naříznout a vytvořit v něm cca 2 mm široké mezery,
- tvar drážky v normální rovině kontrolovat výbrusem do žiletky a korigovat příslušné parametry *191*, *192*, *291*, *292* tak, aby byla 1 mm ode dna dosažena vzdálenost mezi boky drážky uvedená v úvodních řádcích programu (viz obr.7.1). Z matematického hlediska lze konstatovat, že hodnota derivace oblouku na dně musí být zprava i zleva stejná.



Obr.7.1 Plynulé napojení dna.

- výše uvedené parametry ovlivňují vzájemnou polohu konturových drah diamantových hrotů č.1 a č.2. Po dosažení tohoto tvaru je zaručen profil drážky v požadovaných tolerancích (rozměry $1,8_0^{+0,03}$ a 15°_{-1}), ale za předpokladu dodržení rozměru průměr $11,16_{-0,05}^{+0}$ na středu tolerance v rozmezí $\pm 0,015$ m,
- stejná velikost úhlu boků drážek je závislá na přesném nájezdu broušícího kotouče v ose Y do broušící roviny X-Y, jak je znázorněno na obr.7.2. Nájezd nutno korigovat v příslušném parametru *251* najetí z referenčního bodu v ose Y do nulového výchozího bodu pro broušení. Odměření lze provést na mikroskopu s úhlovou hlavou na zkušebním kusu po vybroušení prvního zubu (dvě drážky). Proměřují se oba úhly v čelní rovině rozměr $15,99^{\circ} - 1^{\circ}$ a rozměr $1,925_0^{+0,03}$. Pozn.: Odjehlení hran se provádí pouze dřevěným hranolem, aby zůstala zachována ostrost hran pro měření.



Obr.7.2 Kontrola parametru *251*

7.4 Postup seřízení stroje a NC programu %940608

Ustavení pomůcek na stroji:

- najet v ručním režimu postupně v jednotlivých osách do referenčních bodů. V této poloze má program výchozí nulovou polohu,
- umístit zleva vřeteník, koník s hroty, brousící kotouč, motor vřetene. Upínací kostka přípravku s hroty umístěna v koníku v otvorech 4 a 5, přičemž chordála os hrotů svírá s osou X úhel šroubovice $20,498^{\circ}$ (směr cca 2 hod.). Osa brousícího kotouče svírá s osou X úhel $-69,502^{\circ}$ (směr cca 5 hod.),
- odzkoušet v ručním režimu najetí z referenčních bodů do prostoru orovnávacího mezi hroty a následně do prostoru broušení. V případě možnosti kolize či najetí na koncový bod upravit polohy či změnit délku upínacího trnu brousícího kotouče.

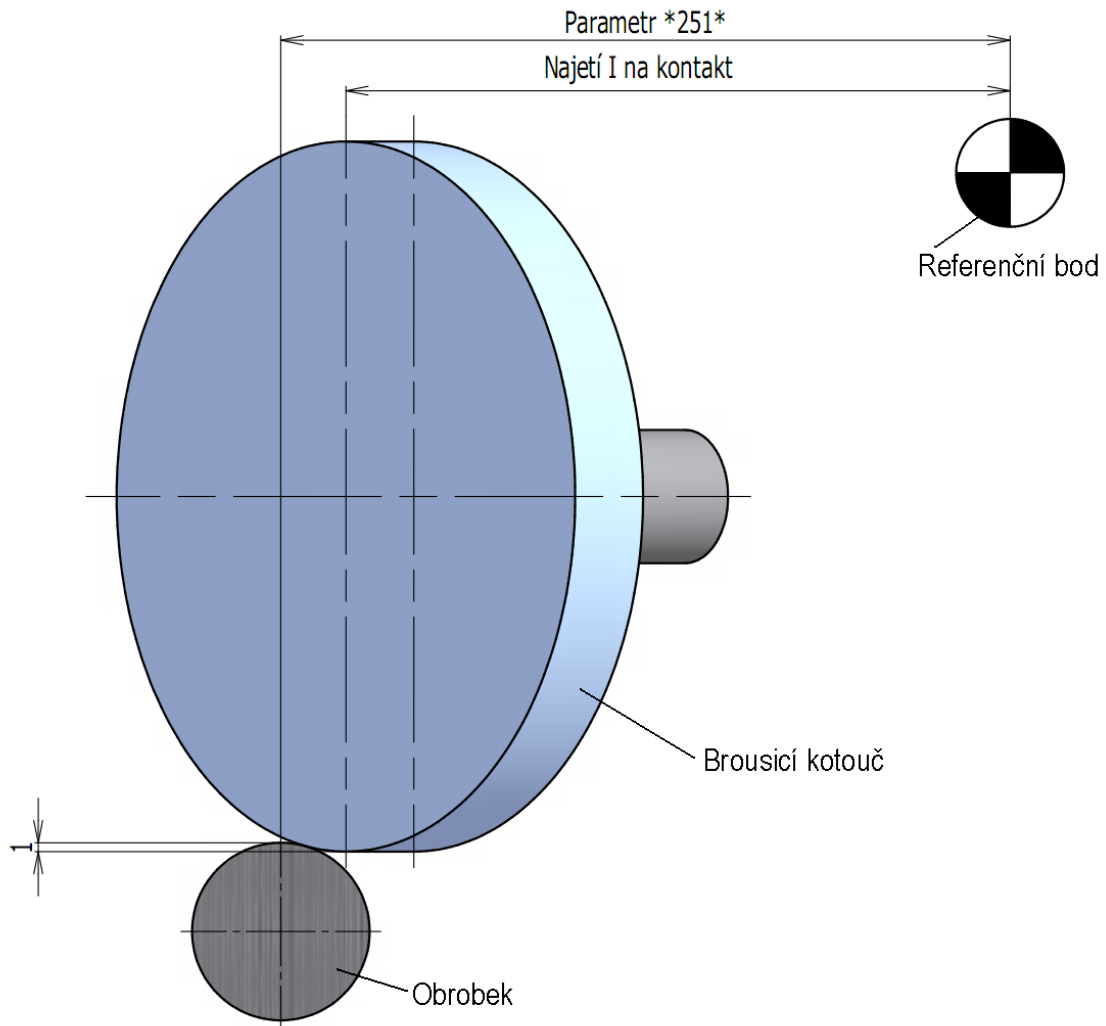
Seřízení orovnávacího podprogramu *1700* a prvotní spuštění orovnávacího:

- pro všechny zadávané parametry platí, že *počet jejich číslic* je jednoznačně definován a *musí být dodržen*,
- nejprve je nutno definovat jednotlivé parametry pro automatické orovnávací. Najet ručně z referenčních bodů do polohy mezi hroty tak, aby střed brousící úsečky kotouče a koncové body orovnávacích hrotů tvořily cca rovnostranný trojúhelník (vzdálenost koncových bodů hrotů činí cca 25 mm) a osa kotouče ležela těsně (cca 0.1 mm) pod nebo nad (dle smyslu otáčení kotouče) uběrací hranou diamantů v rovině hrotů. V této poloze odečíst z obrazovky hodnoty v jednotlivých osách a postupně je zadat bez ohledu na znaménko jako absolutní hodnoty do příslušných parametrů pro osu X parametr *190*, pro osu Y parametr *290* a pro osu Z parametr *390*. V tomto bodě definovat *nulový bod* pro orovnávací,
- následně ručně najet kotoučem v rovině x-y ke hrotu č.I (blíže k obsluze) a jemně se dotknout ve středu brousící úsečky. Vzhledem k hloubce profil drážky je nutné se před prvním orovnávacím *vzdálit kolmo o hodnotu minimálně hloubky drážky*. Pro snadnější výpočet je použito 2* násobku 1 mm. Vzhledem k úhlu šroubovice činí úsek v ose X $2 \cdot 0.937 = 1.874$ mm a v ose Y $2 \cdot 0.350 = 0.700$ mm. V ose X je třeba dále odjet ještě o 1 mm což je příjezdová dráha hrotů ke kotouči pevně zadaná v menu kontur pro jednotlivé hroty (je realizována pouze v ose X). Směr odejetí v ose X plus a v ose Y plus. Odečíst z obrazovky hodnoty v jednotlivých osách a tyto postupně zadat včetně znamének do příslušných parametrů pro osu X parametr *191*, pro osu Y parametr *291*. Tímto je definován startovací výchozí bod pro orovnávací hrotem I,
- obdobně ručně najet kotoučem v rovině X-Y ke hrotu č.II (dále od obsluhy) a jemně se dotknout stejného místa ve středu brousící úsečky. Opět odjet v ose X +1.874 , v ose Y +0.700 a v ose X ještě +1.000. Odečíst z obrazovky hodnoty v jednotlivých osách a tyto postupně zadat včetně znamének do příslušných parametrů pro osu x parametr *192*, pro osu y parametr *292*. Tímto je definován startovací výchozí bod pro orovnávací hrotem II,
- vzhledem k použití funkce G77 v částech podprogramu pro definování kontur hrotů I a II je možné zde použít tipování a systém si po proběhu

- řádku s funkcí G77 sám načte upravenou hodnotu parametrů a v dalším proběhu ji použije. Dále je možné sloučit nulový bod pro orovnávaní s výchozím bodem pro hrot I. Parametr *191* a *291* má potom hodnotu 0 a příjezd z referenčních bodů do vzdálenosti v ose X 2.874 a v ose Y 0.700 je definován přímo parametry *190* pro osu X a *290* pro osu Y,
- po provedení těchto úkonů návrat do referenčních bodů,
 - v seznamu parametrů následně definovat:
 - parametr *1 *0 (žádné broušení),
 - parametr *2 *1 (orovnávaní ano),
 - parametr *3 *0 (žádné broušení načisto),
 - pozn.: Hodnota 0 značí, že podprogram nebude realizován, hodnota 1, že bude realizován,
 - parametr *9999*00000020 (počet opakování orovnávacího cyklu např.20 opakování),
 - parametr *9*00000015 (hloubka úběru orovnávaní v 0.001 mm),
 - parametr *999*00000000 (celkový úbytek kotouče od prvního startu orovnávacího podprogramu- před *prvním startem orovnávaní vynulovat*- parametr se průběžně načítá),
 - parametr *99*00000000 (parametr vynulovat-je aktivní až v podprogramech broušení, kde před prvním najetím musí být opět vynulován),
 - zvolit otáčky ve vyšší řadě (4500 ot/min) ,spustit kotouč a pustit podprogram v automatickém režimu. Podprogram postupně opakovat tak dlouho, až je v kotouči vytvořen tvar mezery drážky. *Pozn.:* Podprogram startuje z referenčních bodů, přemístí kotouč do nulového bodu pro orovnávaní, odtud střídavě k hrotu I a II, přičemž průběžně sčítá velikosti úběrů a posunuje startovací výchozí bod konturových pohybů hrotů ve směru úhlu šroubovice. Z nulového bodu pro orovnávaní se vrací do referenčních bodů,
 - vybrousit do kaleného plechu tl.0.2 mm (žiletka) tvar mezery. Na mikroskopu zkontrolovat tvar dna, konkrétně je-li plynule napojeno (viz obr.7.1), pokud nikoli tak pozměnit v příslušném směru parametry hrotu II *192 * a *292 *. Z matematického hlediska musí být zaručena stejná hodnota derivace oblouku zprava a zleva v místě spojení konturových oblouků.
 - Dále odměřit na mikroskopu vzdálenost boků drážek ve výšce 1 mm ode dna (dno již musí být plynule napojeno) . Hodnota vzdálenosti pro náš program činí 1.915 mm a je nutné se k ní co nejvíce přiblížit. Po korekci parametrů opětovně pustit orovnávací režim, opakovat tak dlouho až jsou oba hroty v záběru. Provést nový výbrus do žiletky, tento proměřit a v případě potřeby opětovně korigovat parametry hrotu II *192 * a *292 *. Uvedený postup dle potřeby opakovat,
 - po ukončení základního orovnávaní před zahájením seřizování broušení vynulovat parametr *99 * ,ale parametr *999 * ponechat v hodnotě tak jak ho systém načtl.

Seřizení podprogramu *2000 * broušení - hrubování

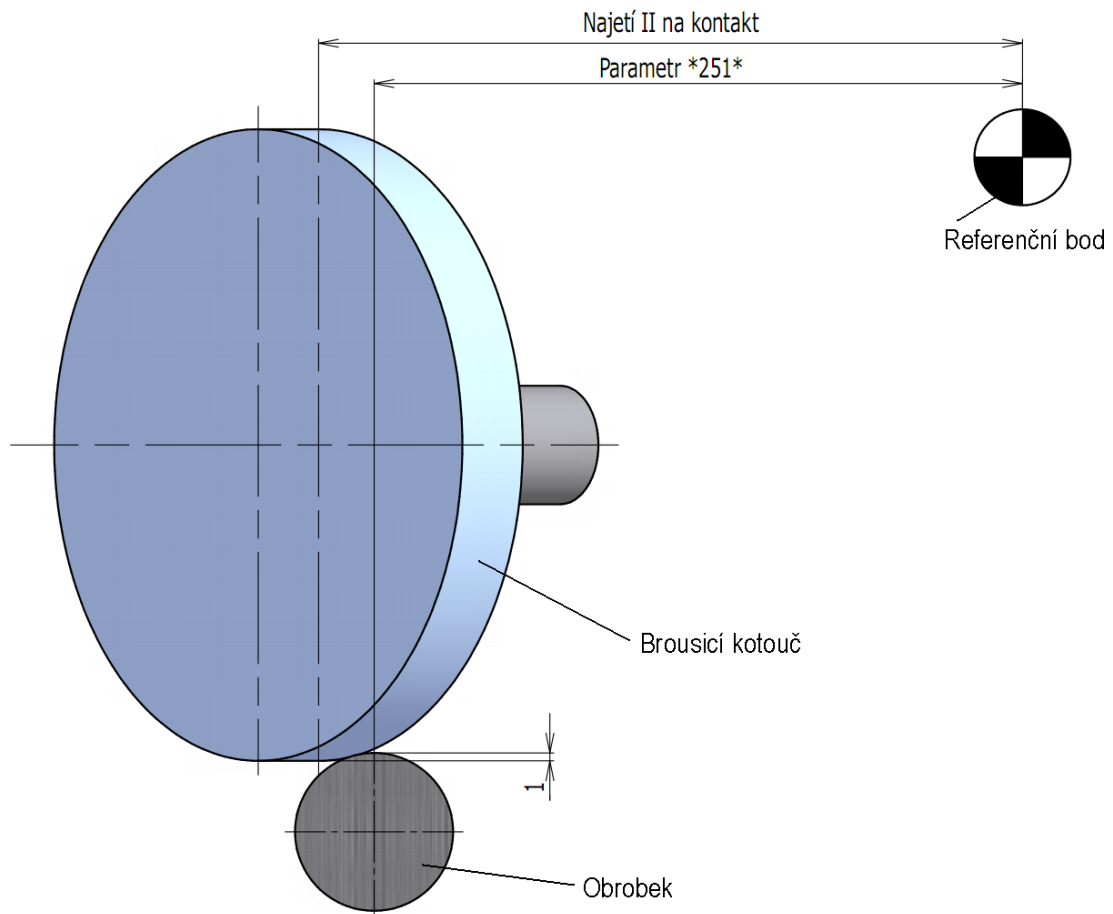
- zkontrolovat vynulování parametru *99 *. *Pozn.:*Tento parametr koriguje následně úbytek kotouče při průběžném orovnávaní a zajišťuje opakované najetí brousícího kotouče do stejné polohy,



Obr.7.3 Nastavení polohy osy brousícího kotouče do osy obrobku - najetí I.

- dále se musí určit nájezdové dráhy kotouče. V ručním režimu najet z referenčních bodů nad upnutý a přesně vystředěný obrobek. Jemně se dotknout kotoučem obrobku a popojíždět v ose Y a Z až se nám podaří dotyk kotouče a obrobku v nejvyšším bodě. V tomto okamžiku odečíst bez ohledu na znaménko (absolutní) hodnoty na obrazovce v ose Y a Z. Do parametrů *251* pro osu Y a *351* pro osu Z vložit výše uvedené hodnoty. (Pozn.: Tento úkon je pracný a velmi záleží na citu a zkušenosti obsluhy.) Druhý pro obsluhu snazší a přesnější způsob, jak docílit přesné polohy osy brousícího kotouče a osy obrobku je naznačen na obr 7.3 a 7.4, kde funkční částí brousícího kotouče je nutno najet ze zadní strany jemným dotykem na přesně vystředěný obrobek a odečíst aktuální hodnotu v ose Y. Následně totéž provést z přední strany a obě aktuální hodnoty najetí sečíst a vydělit dvěma. Takto získanou hodnotu přesného najetí v ose Y vložit do parametru *251* a případně ji zkontrolovat dle postupu na obr 7.2,
- poodjet v ose Z od obrobku o 2 mm a najet v ose Y hodnotu parametru *251*. V ose Z najet na kontakt s obrobkem a odečíst z obrazovky hodnotu a vložit ji bez ohledu na znaménko do parametru *351*. V ose Z povyjet o 1 mm a v ose V ose X najet před obrobek tak, abychom po opětovném sjetí k obrobku o 1 mm měli mezi hranou obrobku a obvodovou hranou

kotouče vzdálenost cca 5mm. Odečíst z obrazovky hodnotu v ose X bez ohledu na znaménko a vložit ji do parametru *151 *. Vrátit se do referenčních bodů,



Obr.7.4 Nastavení polohy osy broušícího kotouče do osy obrobku - najetí II.

- hloubka drážky se zadává s přídavkem 0,4 mm na průměr (cca 0,2 mm na plochu) konkrétně 0.79 mm do parametru obrys-příčná dráha a délka broušení konkrétně 68 mm se zadává do parametru obrys-dráha posuvu. Oba tyto parametry jsou označeny * a proto je možno je korigovat . Na obrazovce se objeví pod číslem řádku *N2020 příčná dráha *a *N2020 dráha posuvu *. Současně lze korigovat pod číslem řádku *N2010 rychlost posuvu *. Všechny tyto hodnoty jsou v programu již zadány,
- pečlivě seřídít trysky chladícího média tak, aby maximální množství proudilo do oblasti řezu,
- nastavit parametr *1 * na 1 (broušení ano) a parametry *2 * a *3 * na 0 (orovnávaní a broušení načisto ne). Zapnout start otáček kotouče (4500ot/min) a chlazení. Spustit automatický režim. Podprogram *2000 * provede vyhrubování 10-ti tvarových drážek a vrátí se do referenčních bodů,

Seřízení podprogramu *3000 * broušení – načisto

Podprogram *3000 * se liší od podprogramu *2000 * jen v některých parametrech a proto jsou dále uvedeny dále pouze odlišnosti:

- hloubka drážky se zadává načisto konkrétně 0.994 mm do parametru obrys-příčná dráha a délka broušení konkrétně 68 mm se zadává do parametru obrys-dráha posuvu. Oba tyto parametry jsou rovněž označeny * a proto je možno je korigovat. Na obrazovce se objeví pod číslem řádku *N3020 příčná dráha * a *N3020 dráha posuvu*. Současně lze korigovat pod číslem řádku *N3010 rychlost posuvu*. Všechny tyto hodnoty jsou v programu již zadány,
- nastavit parametr *3 * na 1 (broušení načisto ano) a parametry *2 * a *3 * na 0 (orovnávání a broušení ne). Zapnout start otáček kotouče (4500 ot/min) a chlazení. Spustit automatický režim. Podprogram *3000 * provede vybroušení načisto 10-ti tvarových drážek a vrátí se do referenčních bodů,
- parametry *152 *, *252 *, *352 *, *153 *, *253 * a *353 * mají nulové hodnoty. Vzhledem k použití funkce G77 v částech podprogramu broušení - hrubování *2000 * a podprogramu broušení načisto *3000 * je možné zde použít tipování a systém si po proběhu řádku s funkcí G77 sám načte upravenou hodnotu parametrů a v dalším proběhu ji použije. Jako alternativa dále možno hodnotu z parametru *351 * vložit současně do parametrů *352 * a *353 *, ale tyto již s ohledem na znaménko a parametr *351 * vynulovat) *Tyto kombinace možno provádět až po důkladném seznámení se s programem.*

Sled kontrolních úkonů a použití podprogramů v dílčím rozsahu:

- po orovnání kotouče a kontrole na žiletku provést vybroušení tvaru drážky do zkušebního kusu tak, aby byl zhotoven jeden zub (to znamená dvě drážky). Podprogram *2000* po projetí druhé drážky zastavit a v ručním režimu se vrátit v rotační ose do nulové výchozí polohy,
- orovnat kotouč podprogramem *1700 *,
- vybrousit dvě drážky načisto včetně vyjiskření podprogramem *3000 *. Po projetí druhé drážky zastavit a v ručním režimu se vrátit v rotační ose do nulové výchozí polohy, provést vyjiskření a opětovně se vrátit do nulové polohy,
- *v tomto okamžiku musíme obrobek vyjmout pro měření na mikroskopu. Pokud se chceme dostat v rotační ose do výchozí polohy tak před vyjmutím kusu upevníme do fixované polohy na loži stojánek s indikátorovými hodinkami, dotkneme se hrany první drážky a hodinky vynulujeme. Nyní stojánek vyjmeme z fixované polohy a vyjmeme obrobek. Při zpětném postupu upneme kus, vystředíme ho, přiložíme indikátor do fixované polohy a v ruční režimu jemně natáčíme obrobek až se dotkneme hrany první drážky v místě, kde nám indikátorové hodinky ukáží nulu. Nyní pootočíme kus o úhel dvou drážek (72°) a můžeme provést další dvě drážky (třetí a čtvrtá) pro vytvoření nového zkušebního zubu. Po opětovném vyjmutí můžeme změřit na mikroskopu třetí zub a zjistit, jak přesně se nám tento úkon podařilo provést. Pro měření rozměrů $15^\circ-1^\circ$ a $1,8^{+0.03}$ však vždy použijeme zub vybroušený dvěma drážkami na jedno upnutí. Rozměry měříme v čelní rovině, to znamená, že míry jsou přepočteny z normální do čelní roviny, kde hodnoty činí $16^\circ-1^\circ$ a $1,925_0^{+0.030}$ mm. Hodnoty tolerancí v normální a čelní rovině se liší minimálně a byla ponechána přísnější hodnota v normální rovině. Rozměr $1.925^{+0.03}$*

můžeme korigovat ve vazbě na $\phi 11.16_{-0.05}$, tedy úpravou hloubky broušení v parametru *N3020 příčná drážka *. Rozměr úhlu $16^{\circ}-1^{\circ}$ musí mít v rámci tolerance z obou stran stejnou hodnotu. Pokud tomu tak není, je nutno korigovat dráhu najetí kotouče v ose Y, to znamená parametr *251 * (viz. obr.7,2)..Vzhledem k určitému rozmazání přímkového boku drážky (nepřesnost vzniklá zaoblením nepřesahuje 0.01 mm) je nutné při měření proložit osu nitkového kříže zaoblením bokem,

- při pečlivém provedení výše uvedených seřizovacích úkonů je jeden zkušební kus dostačující,
- Pozn.: Celý program lze pustit v automatickém cyklu, to znamená, že všechny podprogramy *2000 *, *1700 * a *3000 * mají hodnoty svých spouštěcích parametrů *1 *, *2 * a *3 * na 1. Zkušenosti však ukazují, že je vhodnější podprogramy zapínat jednotlivě a kontrolovat jednotlivé fáze procesu. Rovněž vyjiskřovací část nemá úmyslně vlastní podprogram, ale je realizována opakováním podprogramu *3000 *.

7.5 Sled podprogramů již odladěného programu

Za předpokladu, že jsme docílili rozměrů v tolerancích postupujeme při vybrušování již rutinním způsobem. Postupně pouštíme podprogram *2000 * hrubování, podprogram *1700 * orovnávání, podprogram *3000 * broušení načisto, podprogram *1700 * orovnávání a podprogram *3000 * broušení vyjiskření. Kontrolujeme $\phi 11.16_{-0.05}$ a po vyjmutí kusu míry $16^{\circ}-1^{\circ}$ a $1.925^{+0.03}$ v čelní rovině.

7.6 Kontrolní protokol

Vzhledem k zavedení ISO 9000 u odběratele je nutné dodat atest pro vyráběné kusy minimálně s uvedením, že rozměry $15^{\circ}-1^{\circ}$ a $1,8^{+0.03}$ leží v tolerančním poli pro všechny kusy dávky.

7.7 Vliv broušícího kotouče na tvar drážky

Tvar drážky zubové mezery, tak jak je definován na výkrese součásti, nelze použít jako přesný podklad pro řešení kontur obtahovacího programu. Přímkový bok způsobuje na výsledném obrobku téměř neznamenné zaoblení. Vzhledem k malé délce boku nepřesahuje tato nerovnost 0.01 mm a můžeme ji zanedbat. Ale v případě řešení např. programu měřidel, kde je větší požadavek na přesnost, je tato skutečnost korigována zadáním oblouku místo přímky, tak abychom se ve výsledné kontuře co nejvíce přiblížili přímce. Vzhledem ke skutečnosti, že v průběhu obrábění se nám mění průměr kotouče, mění se také vliv dřívějšího a pozdějšího najetí a opuštění prostoru broušené drážky. Stabilního výsledku bylo dosaženo v rozmezí průměru 120-85 mm, pro který byl korigován tvar vliv dřívějšího a pozdějšího najetí a opuštění prostoru broušené drážky tak, aby bylo dosaženo geometricky správného výsledku. Korigované dráhy broušícího kotouče kolem orovnávacích hrotů jsou uvedeny v menu dílčího podprogramu *900 * vlastní orovnáání. Korigované dráhy mají ekviditandní charakter respektující poloměr orovnávacích hrotů 0.125 mm. Vliv dřívějšího a pozdějšího najetí a opuštění prostoru broušené drážky jednotlivými

úseky brousicí kontury kotouče na její tvar je korigováno ve všech úsecích drážky empirickým způsobem a nelze je matematicky jednoznačně popsat.

Závěr

Proces broušení je složitý a velké množství proměnných parametrů řezného nástroje – broušícího kotouče nebo jeho modifikací (vlastnosti a geometrie zrna, jejich rozložení na pracovním povrchu, vlastnosti pojiva, tvrdost atd) – působí při experimentálním i teoretickém studiu tohoto procesu značné potíže. Produktivní broušení předpokládá režim práce s vysokými řeznými rychlostmi a posuvy, automatizaci obráběcího cyklu stroje, použití moderních přípravků, racionalizaci práce a splnění dalších podmínek, nezbytných pro zabezpečení růstu výroby při dosažení vysoké kvality s nízkými vlastními náklady. Dále je třeba teoreticky i experimentálně zkoumat fyzikální podstatu dějů, probíhajících při obrábění materiálu broušením (tedy vzájemné působení brusiva a obráběného materiálu, opotřebením nástroje, tepelné jevy, vznik zpevněné povrchové vrstvy atd.). Problematika tvarového broušení přesných šroubovitých drážek, orientovaná na malosériovou až kusovou výrobu je v předložené studii zpracována s respektováním těchto skutečností. Do konečného řešení jsou promítnuty poznatky z oblasti broušení týkající se jednotlivých broušících materiálů a řezných médií a především je v maximální míře využito technologických možností ostříčky WU-400-CNC od německé firmy Schütte a jejího řídicího systému. Z předložené studie a provedené experimentální části vyplývá:

- je navržena nejvhodnější varianta výroby šroubové drážky,
- je zpracován řídicí program pro obrábění,
- je zhotovena ověřovací série,
- je provedeno proměření a statistické vyhodnocení ověřovací série,
- je zpracován podrobný manuál způsobu použití řídicího programu.

Kromě zmíněné součástky tvářecí trn je předložená metoda s úspěchem aplikována i u dalších součástek podobného charakteru např. při výrobě měřidel a při výrobě válcovacích kol. Dále jsou při řešení použity dílčí nové technologické metody jako např. nařiznutí broušícího kotouče ve čtyřech místech pro lepší přívod řezné kapaliny a odvod třísek a metoda ustavení osy broušícího kotouče do osy obrobku prostřednictvím dvou dotyků. Metoda je dále dostatečně obecná a lze následně rozšířit a použít na stroji s 5 a více osami, kde stačí jeden orovnávací hrot a dále je reálné použití dvou broušících kotoučů, jednoho s CBN brusivem a jen základním tvarem drážky na vyhrubování a na dokončování použít v disertační práci již navrženou metodu. Podmínkou je dostatečný pojezd v ose X a ose Y broušícího stroje a samozřejmě úprava řídicího programu.

Seznam použitých symbolů a zkratek (13,1)

označení	jednotka	popis proměnné
A,B		náhodné jevy
CBN		kubický nitrid bóru
CNC		computer numerical control (počítačové řízení)
HRC		tvrdost dle Rockwela
HSS		high-speed steel (rychlořezná ocel)
L_i	(mm)	dolní toleranční mez
L_s	(mm)	horní toleranční mez
PKBN		polykrystalický kubický nitrid bóru
P(A _i)		spolehlivost i-tého prvku soustavy
P(S)		spolehlivost soustavy
PC		osobní počítač
Ra	(μ m)	průměrná aritmetická úchylka profilu
S		soustava
a_e	(mm)	radiální záběr
b_n	(mm)	šířka boku zubu v normální rovině
$b_{\check{c}}$	(mm)	šířka boku zubu v čelní rovině
b_s	(mm)	šířka brousicího kotouče
d_1	(mm)	patní průměr zubu
d_s	(mm)	vnější průměr brousicího kotouče
h_s	(mm)	upínací průměr brousicího kotouče
k_2		součinitel
n	(min^{-1})	otáčky nástroje
n		rozsah výběru
ρ		podíl souboru pro statistický toleranční interval
s	(mm)	stoupání šroubovice
s	(mm)	odhad směrodatné odchytky
s^2	(mm^2)	odhad rozptylu
$t_{0,975}$		součinitel (hodnota Studentova t-rozdělení)
v_c	($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	řezná rychlost pro broušení
v_f	($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	posuvová rychlost
x	(mm)	pozorovaná hodnota
\bar{x}	(mm)	aritmetický průměr
X_m	(mm)	extrémní minimální hodnota ve výběru
X_M	(mm)	extrémní maximální hodnota ve výběru
α		riziko konfidenční úrovně
β_n	($^\circ$)	úhel boku zubu v normální rovině
$\beta_{\check{c}}$	($^\circ$)	úhel boku zubu v čelní rovině
φ	($^\circ$)	úhel stoupání šroubovice
Ω	($^\circ$)	základní prostor
ω	($^\circ$)	elementární náhodný jev

Seznam zdrojů (25)

1. KARPÍŠEK, Z. *Matematika IV, statistika a pravděpodobnost*, 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80—214-2522-9
2. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*, Akademické nakladatelství CERM,s.r.o. Brno, 2001,270 s. ISBN 80-214-1996-2
3. MASLOV, J. N., *Teorie broušení kovů*, přeložil J.Klůna. 1.vyd. Praha: SNTL, 1979. 246 s.
4. PŘIKRYL, Z. a MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*, 3. vyd. Praha: SNTL/ALFA, 1982. 235 s.
5. *DIA - Praha s.r.o.* [online] Praha: DIA - Praha s.r.o., posl. úpravy 15.1.2007, [cit.2007-3-14]. Dostupné na WWW: <http://www.diapraha.cz/>
6. *Blaser Swissslube CZ, spol. s r.o.* [online] Brno: Blaser Swissslube CZ, spol. s r.o. posl. úpravy 25.1.2007, [cit.2007-3-4]. Dostupné na WWW: <http://www.blaser.cz/>
7. SWOBODA, H. *Moderní statistika*, přeložil J.Císař. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Svoboda, 1977. 351 s.
8. VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*, 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 800 s.
9. VLACH, B a kol. *Technologie obrábění a montáží*, 1. vyd. Praha: 1990, 464 s.
10. *Wikipedie otevřená encyklopedie*. posl. úpravy 14.1.2008, [cit.2008-1-20]. Dostupné na WWW: <http://cs.wikipedia.org/>
11. *Willkommen bei Schütte* [online] Köln-Poll: Alfred H. Schütte GmbH & Co KG, posl. úpravy 20.2.2007, [cit.2007-3-30]. Dostupné na WWW: <http://www.schuette.de/>
12. *Tyrolit* [online] Benátky nad Jizerou: TYROLIT CEE K.S., posl. úpravy 20.11.2007, [cit.2008-1-30]. Dostupné na WWW: <http://www.tyrolit.cz/>
13. ČSN ISO 3002-5. *Základné veličiny pri rezaní a brúsení*. Praha: Český normalizační institut , 1994. 17 s.
14. KOČMAN, K. *Speciální technologie - Obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, akademické nakladatelství, s.r.o., 2004. 227 s. ISBN: 80-214-2562-8.
15. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologické aspekty přesnosti obrobene plochy. In *ICPM 2001 Sborník přednášek*. Ústí nad Labem: ÚTRV Ústí nad Labem, 2001. s. 45-54. ISBN: 80-7044-358-8.

16. KOCMAN, K., PROKOP, J. Kvantifikace radiálního opotřebení brousícího kotouče. In *Mezinárodní konference Náradie 2000*. Trenčín, SR: Trenčín, Výstavnisko TMM, a.s., s. 29-32.
17. *Dokumentace ke stroji WU-400-CNC*, Alfred H. Schütte GmbH & Co KG.
18. ČSN ISO 3207. *Statistická interpretace údajů. Stanovení statistického tolerančního intervalu*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 30 s.
19. MALKIN, S. and GUO, C. Thermal Analysis of Grinding, *Annals of the CIRP, Vol. 56, No. 2, 2007*, p. 760 – 782.
20. CHIU, N. and MALKIN, S. Computer Simulation for Creep-Feed Form Grinding, *Transactions of NAMRI/SME, Vol. 22, 1994*, p. 119 -126.
21. DONG, S., DANAI, K., MALKIN, S. and DESHMUKH, A., Continuous Optimal Infeed Control for Cylindrical Plunge Grinding – Part I: Methodology, *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 126, 2004*, pp. 327-333.
22. MALKIN, S. and GUO, C., Simulation, Optimization, and Control of Cylindrical Grinding Processes, *Keynote Paper presented at 11th Grinding and Machining Conference, Quanzhou, China, June 1 – 7, 2001*, Key Engineering Materials, Vols. 202 - 203, 2001, pp. 1 – 9.
23. SHANBHANG N., RAJAN M., MANJUNATHAIAH J., KRISHNAMURTY S., and MALKIN S., Analysis and Simulation of Double Disc Grinding, *Trans. of NAMRI/SME, Vol. 26, 1998*, presented at NAMRC XXVI, Atlanta, Georgia, 1998. pp. 111 – 116.
24. Kopp Werkzeugmaschinen GmbH, *Grinding wheel with spiral proved face*, DULIN, JACQUES M. DENNIS, ROBERT F., United States Patent 6062969 Issued on [May 16, 2000](#)
25. ČSN ISO 690. *Dokumentace : bibliografické citace : obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.
26. ČSN ISO 525. *Brousící nástroje. Označování a značení brousících nástrojů. Rozmezí vnějších průměrů a tolerance*. Praha : Český normalizační institut, 1993. 34 s.
27. ČSN ISO 2602. *Statistická interpretace výsledků zkoušek. Odhad průměru. Konfidenční interval*. Praha : Český normalizační institut, 1993. 12 s.

Seznam obrázků

Obr.1.1 Stát Minas Gerais v Brazílii (10)	12
Obr.1.2 Jihoafrická republika (10)	12
Obr.1.3 Tvarování v brusičské kolébce (2)	14
Obr.1.4 Tvarování dle šablony (2)	14
Obr.1.5 Orovnání vtlačení tvaru do kotouče (2)	15
Obr.3.1 Tvářecí trn	17
Obr.3.2. Specifikace tvářecího trnu	18
Obr.3.3 Rozměry zubu v normální rovině	18
Obr.3.4 Tvar drážky v normální rovině	19
Obr.3.5 Definice rozměrů šroubovice	20
Obr.3.6 Náběhová část nástroje	20
Obr.4.1 Ostříčka WU-400-CNC (17)	27
Obr.4.2 Směry pro jednotlivé osy stroje WU-400-CNC (17)	28
Obr.4.3 Schéma převodu programu (17)	30
Obr.4.4 Diamantový orovnávací hrot (5)	31
Obr.4.5 Zásady orovnávací (5)	31
Obr.4.6 Nařiznutí broušícího kotouče	33
Obr.4.7 Uspořádání broušení v pracovním prostoru stroje WU-400-CNC Schütte	34
Obr.5.1 Základní vstupní obrazovka	37
Obr.5.2 Adresář programů SEP	38
Obr.5.3 Editace programu %940608	38
Obr.5.4 Polohy broušícího kotouče v referenčním a nulových (výchozích) bodech pro broušení a orovnávací	40
Obr.5.5 Vývojový diagram programu	41
Obr.5.6 Funkce parametru *99*	42
Obr.5.7 Bezpečnostní poloha broušícího kotouče u hrotu I před tvarováním	46
Obr.5.8 Rozklad vektoru parametru *999*	48
Obr.5.9 Kontury pohybu diamantových orovnávacích hrotů I a II	50
Obr.5.10 Úhly trajektorií pro zadání v editoru WU	50
Obr.5.11 Tečny a radiusy potřebné pro zadání v editoru WU	52
Obr.5.12 Základní výsledné rozměry kotouče	52
Obr.6.1 Nastavení osy úhlového kříže mikroskopu vůči boku drážky	55
Obr.6.2 Naměřené a vypočtené statistické hodnoty	59
Obr.7.1 Plynulé napojení dna	65
Obr.7.2 Kontrola parametru *251*	65
Obr.7.3 Nastavení polohy osy broušícího kotouče do osy obrobku - najetí I	68
Obr.7.4 Nastavení polohy osy broušícího kotouče do osy obrobku - najetí II	69

Seznam tabulek

Tab.6.1 Rozměr $b_{\bar{c}}$	57
Tab.6.2 Neparametrické dvoustranné statistické toleranční intervaly	60
Tab.6.3 Hodnota R_a ve vybraných šroubových drážkách	61
Tab.6.4 Neparametrické jednostranné statistické toleranční intervaly	62

Seznam vlastních prací vztahující s k tématu disertační práce

1. OSIČKA, K. Pravdepodobnosť správneho výsledku při brúsení. *Abstrakty prednášok, Elektronický zborník prednášok, 10. medzinárodná konferencia*, Trenčín: Digital Graphic, 2008. s.57. ISBN 978-80-8075-357-3
2. OSIČKA, K. Průměrná aritmetická úchylka drsnosti povrchu – statistické vyhodnocení plochy. *Strojírenská technologie, časopis pro vědu výzkum a výrobu*, ročník 14, č.1, Ústí nad Labem: Fakulta výrobních technologií a managementu, 2009. ISSN 1211-4162
3. OSIČKA, K. Statistické vyhodnocení rozměrů broušených ploch. *Strojírenská technologie, časopis pro vědu výzkum a výrobu*, ročník 14, č.1, Ústí nad Labem: Fakulta výrobních technologií a managementu, 2009. ISSN 1211-4162
4. OSIČKA, K. Dílčí technologické metody při tvarovém broušení šroubových drážek. *Strojírenská technologie, časopis pro vědu výzkum a výrobu*, ročník 14, č.1, Ústí nad Labem: Fakulta výrobních technologií a managementu, 2009. ISSN 1211-4162
5. OSIČKA, K. Technologické možnosti výroby tvarové šroubové drážky. *Strojírenská technologie, časopis pro vědu výzkum a výrobu*, ročník 14, č.1, Ústí nad Labem: Fakulta výrobních technologií a managementu, 2009. ISSN 1211-4162
6. OSIČKA, K. Řešení programu pro orovnávaní brousicího kotouče. *Výrobné inžinierstvo*, ročník VIII, č.2, Prešov: Technická univerzita Košice – Děkanát Fakulty výrobních technológií so sídlom v Prešove, 2009, ISSN 1335-7972
7. OSIČKA, K. New technological Methods for Shape Grinding of Screw Grooves. *MM Průmyslové spektrum*, 2009 (v tisku).
8. OSIČKA, K. On the Grinding of Complex Surfaces with High Demands for Duality and Accuracy . *Intercut 2009, Cluny* (v tisku).
9. OSIČKA, K. 4-Axes CNC Programming of Screw Grooves with High Demands for Quality and Accuracy . *Swedish Production Symposium 2010, Jöteborg, Švédsko* (přihlášeno k publikaci).

Seznam příloh

Příloha P 1	Strojně technická data stroje WU-400-CNC
Příloha P 2	Pojezdy os stroje WU-400-CNC v nárysu a půdorysu
Příloha P 3	Konstrukční řešení stroje WU-400-CNC
Příloha P 4	Programové a pomocné funkce SEPU řídicího systému stroje WU-400-CNC
Příloha P 5	Řídicí program

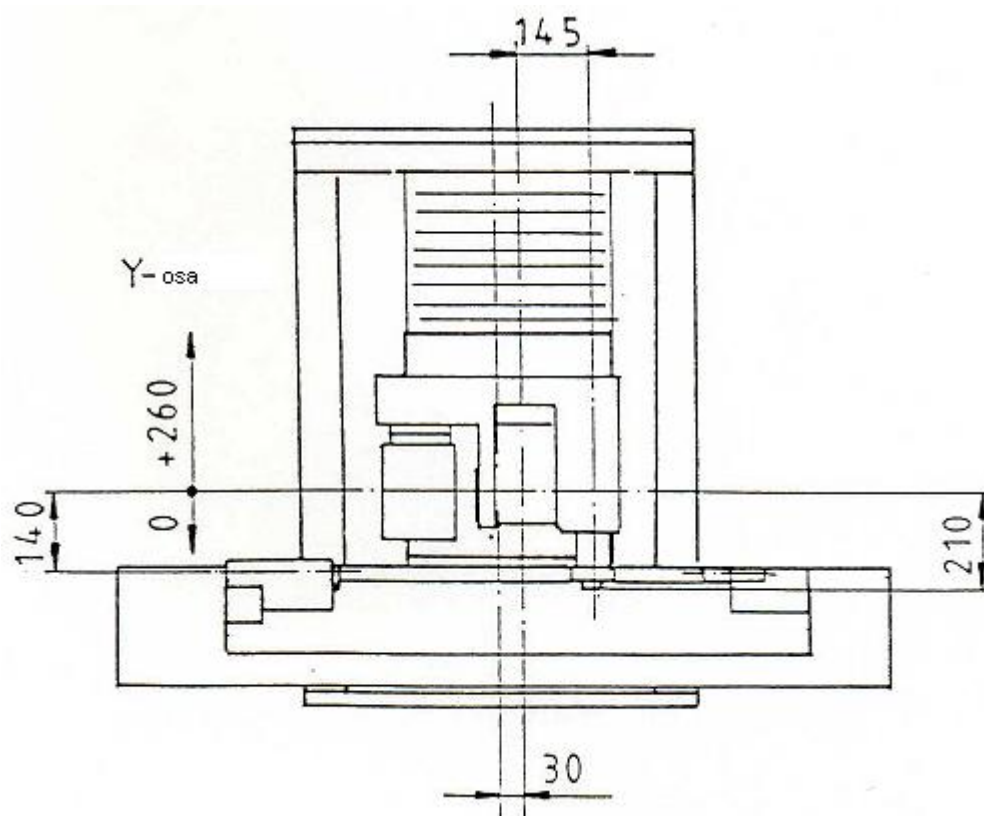
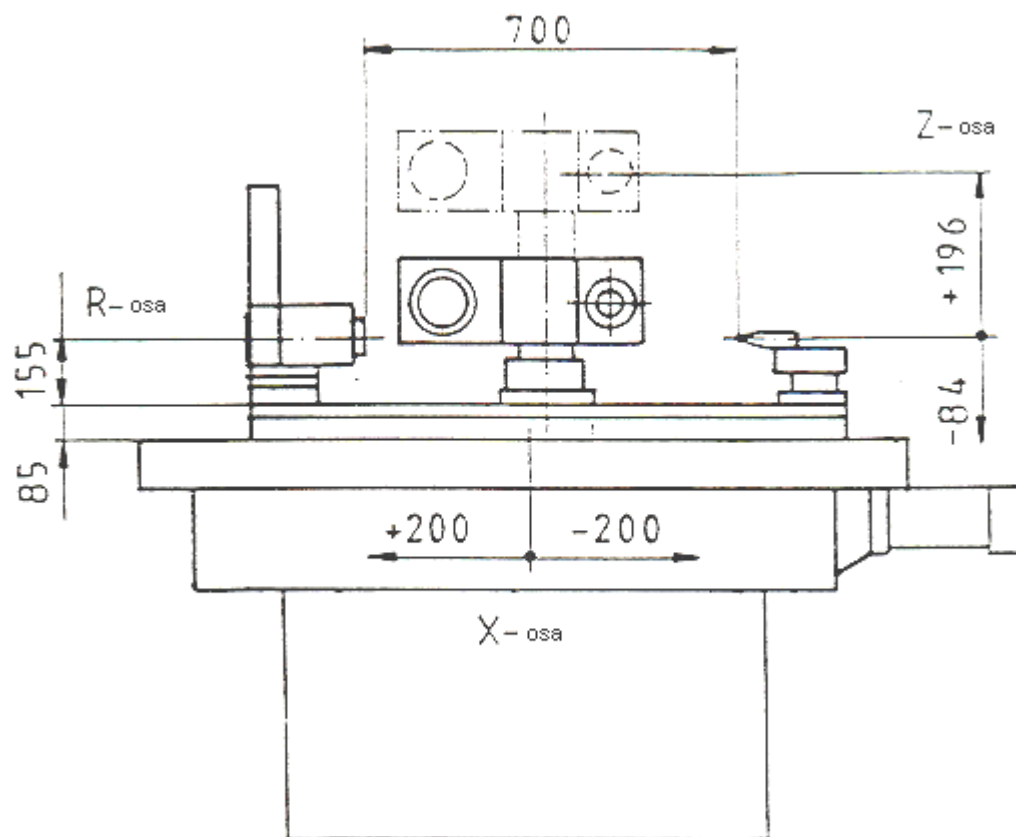
Příloha P1

Strojně technická data stroje WU-400-CNC (17)

Parametr	Jednotka	Rozsah
Osa X		
Pojezd	mm	400
Velikost posuvu	mm.min ⁻¹	0.1-10000
Inkrement	mm	0.001
Volitelný rychloposuv do	m.min ⁻¹	10
Osa Y		
Pojezd	mm	260
Velikost posuvu	mm.min ⁻¹	0.1-10000
Inkrement	mm	0.001
Volitelný rychloposuv do	m.min ⁻¹	10
Osa Z		
Pojezd	mm	280
Velikost posuvu	mm.min ⁻¹	0.1-10000
Inkrement	mm	0.001
Volitelný rychloposuv do	m.min ⁻¹	5
Osa R (pracovní vřeteník)		
Rozsah otáček	min ⁻¹	0-50
Sklopný v rozsahu	°	±30
Otočný v rozsahu	°	355
Inkrement	°	0.001
Počet dělení		999
Minimální / maximální stoupání	mm	0.5/10000
Upínací kužel dle DIN 2080		SK50
Hmotnost obrobku		
Při upnutí mezi hroty	kg	50
Při letném upnutí	kg	15
Upínací stůl		
Upínací plocha	mm	116x1210
Vyklonění vřeteníku	°	±6
Maximální délka upnutí mezi hroty	mm	700
Počet otáček brousícího vřetene – první stupeň	min ⁻¹	2250/3000
Počet otáček brousícího vřetene – druhý stupeň	min ⁻¹	4500/6000
Výkon motoru	kW	4
Kompletní hmotnost	kg	2500
Pracovní napětí / síť	V/Hz	380/50
Řídicí systém	V	24
Celkový příkon stroje	kVA	12

Příloha P2

Pojezdy os stroje WU-400-CNC v nárysu a půdorysu (17)



Příloha P3

Konstrukční řešení stroje WU-400-CNC (17) :

- lože stroje je vyrobeno z minerální litiny, která se vyznačuje vysokým tlumením a teplotní stabilitou. Obzvláště silně redukuje vibrace , čímž se zvyšuje kvalita výbrusu. Minerální litina rovněž dobře odolává rezným olejům a emulsím. Materiál je stálobarevný v celém profilu, takže nepotřebuje žádný nástřik,
- výkyvný stůl je namontován na saních osy X a je výkyvný $\pm 6^\circ$,
- náhony pro osy X a Y jsou stejnosměrné servomotory s tachogenerátorem a otočným snímačem pracujícím v reléovém okruhu. Jako přenosový element slouží předpjaté kuličkové šrouby, přičemž motory pohání přímo kuličkové šrouby. Náhon v ose Z je proveden nepřímo ozubeným hřebenem,
- rotační osa je vysoce precizní dílčí přístroj se stejnosměrným servomotorem jako náhonem a bez vůle nastavitelným převodem jako přenosovým elementem. Motor s tachogenerátorem a otočným čidlem pracují zase v uzavřeném reléovém okruhu,
- broušící hlava se skládá z litinového tělesa a je manuálně přestavitelná ve dvou osách. Osu C lze nastavit v rozsahu 355° (výkyv) a osu B (sklopení) v rozsahu 240° , což umožňuje jakékoliv nastavení polohy broušícího kotouče vůči obrobku. Tvar broušícího kotouče musí být dostatečně univerzální neboť jeho úhlová poloha během pracovního procesu se nebude moci programově měnit, což znamená určité omezení. Broušící hlava je větrána, aby se ve vnitřním prostoru vytvářel slabý přetlak, který zabraňuje vnikání vlhkosti a nečistot,
- broušící vřeteno je použitelné pro 3 kW a 6 kW náhonový výkon.
- pneumatický systém je napojen na externí tlakový zdroj. Systém v součinnosti s olejovým čerpadle zajišťuje centrální mazání všech vedení, což jsou podélné a příčné saně a vedení sloupku. Požadovaný tlak rozvodu vzduchu je 0.5 - 0.6 MPa (5 – 6 Barů). Tlak v systému musí být stabilní, při poklesu na 0.45 MPa od předepsané hodnoty se stroj zastaví a uvede chybové hlášení,
- stroj je dále vybaven měřicí sondou Renishaw, která je schopna definovat polohu obrobku vůči referenčním bodům a úhlovou polohu v rotační ose např. u nástrojů, které již mají předpracovány zuby. Pro řízení sondy je nutno zpracovat samostatný podprogram.

Příloha P4

Programové a pomocné funkce SEPu řídicího systému stroje WU-400-CNC (17)

- % číslo programu
- N číslo řádku
- G00 rychloposuv
- G01 přímková interpolace
- G02 kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
- G03 kruhová interpolace proti hodinových ručiček
- G04 časová prodleva
- G17 volba roviny XY pro korekci radiusu
- G18 volba roviny XZ pro korekci radiusu
- G19 volba roviny YZ pro korekci radiusu
- G40 zrušení korekce radiusu
- G41 navolení korekce radiusu, ekvidistanta vlevo ve směru pohybu
- G42 navolení korekce radiusu, ekvidistanta vpravo ve směru pohybu
- G33 řezání závitů
- G54 stanovení nulového bodu
- G55 polohování měřicí sondy
- G73 početní funkce sečítání
- G74 početní funkce odečítání
- G75 početní funkce násobení
- G76 početní funkce dělení
- G77 načtení skutečných hodnot
- G90 absolutní programování
- G91 přírůstkové programování
- G92 vložení konkrétních hodnot
- X dráha v ose X
- X časová prodleva v sekundách u G04
- Y dráha v ose Y
- Z dráha v ose Z
- I stoupání se znaménkem +pravá, – levá šroubovice
- I vzdálenost středu kruhu k poč. bodu k ose X u G02 a G03
- J vzdálenost středu kruhu k poč. bodu k ose Y u G02 a G03
- K vzdálenost středu kruhu k poč. bodu k ose Z u G02 a G03
- W úhel rotační osy, současně otáčkami S
- F posunová rychlost lineárních os (m. min^{-1})
- D korekce radiusu současně s G41 a G42

- M00 stop programu
- M01 podmíněný stop programu
- M03 otáčení R osy ve směru hodinových ručiček
- M04 otáčení R osy proti směru hodinových ručiček
- M05 stop R osy
- M30 konec programu
- M60 předvolba vřetene, nižší otáčková řada

- M61 otáčky brousicího vřetene doleva
- M62 předvolba vřetene, vyšší řada otáček
- M63 otáčky brousicího vřetene doprava
- M64 brousicí vřeteno stop
- M65 zapnutí čerpadla chlazení
- M66 vypnutí čerpadla chlazení
- M67 aktivace měřicí sondy
- M68 vypnutí měřicí sondy
- H opakování cyklu
- LS skok do podprogramu
- LR návrat z podprogramu
- * * označení pro podprogramy a parametry
- () poznámky

Příloha P5

Řídicí program

```

%940608
(**2510308.TRN.KROMERIZ.ISO.OROVMNAVACI.PROGRAM.DRAZKY)
(LEVA.SROUBOVICE)
(ROZMEROVA.VARIANTA.15.ST.1,82+0,03MM.PLATNA.PRO)
(NEMECKA.KOLA)
(V.CELNI.ROVINE.15,99.ST.1,925+0,030MM.)
(VYCHOZI.POLOHA.REFERENCNI.BODY.V.OSACH.!!!..X,Y,Z..!!!.)
(DVA.OROVMNAV.HROTY.0.ROZPETI.90.ST.VODOROVNE.V.KONIKU)
(ZLEVA.OTVORY.4.A.5)
(PRI.POLOZE.V.REF.BODECH.ZLEVA.VRETIENIK.KONIK.S.HROTY)
(KOTOUC.MOTOR)
(PRUSECIK.OS.HROTU.V.POLOZE.DLE.UHLU.SROUBOVICE.20,798.ST)
(CCA.2.HOD)
(VZDALENOST.STREDU.RADIUSU.HROTU.23,1.MM)
(RADIUS.STRISKY.HROTU.R=0,125MM)
(PRI.JINEM.RADIUSU.NUTNO.MENIT.V.TAB.RADIUSY,TECNU.NAJEZDU)
(!!!.NA.VYTVAROVANEM.KOTOUCI.PRI.KONTROLE.NA.ZILETKU.JE.VE)
(VYSCE.1.MM.OD.DNA.VZDALENOST.1,915.MM.PRI.PRUMERU)
(KOTOUCE.91.MM)
(PRO.PRIVOTNI.VYTVAROVANI.KOTOUCE.AKTIVOVAT.PROGRAM.*1700*)
(OSTATNI.PROG.RAMY.VYPNOUT)
(POTOM.PO.VYTVAROVANI.KOTOUCE.VSE.AKTIVOVAT)
(PRED.PRVNIM.BROUSENIM.NUTNO.VYNULOVAT.PARAMETR.*99*)
(PARAMETR*9999*UVEST.NA.1.CI.VICE.TAK,ABY.KOTOUC.BYL)
(OROVNAN.BEZ.ZALEPENI.)
(!!!.DIAMANTY.NAD.OSU-OTACENI.KOTOUCE.VPRAVO.!!!)
(!!!.PRI.VOLBE.JEN.OROVMNANI.Z.REF.BODU.OSTATNI.PROGRAMY)
(VYNULOVAT!!!)
*9999*00000010      (POCET.OPAKOVANI.OROVMNAVACIHO.CYKLU)
*9*00000015        (VELIKOST.UBERU)
*99*00006400
(!.NESAHAT.!.VELIKOST.UBERU.KOREKCE.UBYTKU.KOTOUCE)
*1*0                (BROUSENI.ANO.NE.1.CI.0)
*2*1                (OROVMNANI.ANO.NE.1.CI.0)
*3*0                (NACISTO.ANO.NE.1.CI.0)
*999*00011770
(!.NESAHAT.!.CELKOVA.VEL.UBERU.PRUBEZNE.POCITANA)
N10      H*1*  LS*1400*  (NAJEZD.Z.REF.BODU.DO.NUL.BODU)
N20      H*1*  LS*2000*  (BROUSENI)
N30      H*1*  LS*1600*  (NAVRAT.DO.REF.BODU)
N40      H*2*  LS*1700*  (START.OROVMNANI.Z.REF.BODU)
N50  M00      (!!!.MERIT.PATNI.PRUMER.A.KORIGOVAT.*3030*..!!!)
(PATNI.PRUMER.HRUBU.11MM.VLIVEM.OPOTREBENI.11.16-11.19)
(.KONTROLOVAT.PROFIL.KOTOUCE.ZDA.NENI.ZALEPEN.PO.OROVMNANI.)
N60      H*3*  LS*1400*  (NAJEZD.Z.REF.BODU.DO.NUL.BODU)
N70      H*3*  LS*3000*
(BROUSENI.VYJISKROVACI.PO.OROVMNANI)
N80      H*3*  LS*1600*  (NAVRAT.DO.REF.BODU)
N90      M30
*1400*   (NAJEZD.Z.REF.BODU.DO.NUL.BODU.PRO.BROUSENI)
N1410    G91
N1420    G01  Z-*351*    F9.
N1430    X-*151*

```

N1440		Y-*251*			
N1450	G92	X0	Y0	Z0	W0
N1460	M01	LR			
2000	(BROUS.VNITRKU.G77,NAVRAT.DO.0)				
N1940	G91				
N1950	G01	Z-*99*	F9.		
N1960	G92	X0	Y0	Z0	
N1970	G01	X*152*	Y*252*		
N1980		Z*352*	W*452*		
*452*000.00	(KOREKCNI.UHEL)				
N2000	KOMBIN.DRAH				
		KOMBINACE.DRAH		2	
		ZRCADLIT A/N		N	
		SMĚR ODEJETI		Z+	
		DRAHA ODEJETI		5.000	
N2010	TECHNOLOGIE				
		RYCHLOST POSUVU		.040*	
		KOREKCE RADIUSU		.000	
		SMĚR.PRISUVU		00	
N2020	TYP :BROUS.SROUBOV.				
		PRAVA/LEVA SR. 0/1		1	
		STRID. OZUBENI		N	
		STOUPANI SROUB		100.000	
		LEVOREZN NASTR		N	
N2030	OBRYS				
		PRICNA DRAHA		.790*	
		DRAHA POSUVU		68.000*	
		DVA ZUBY PRODLOU.		N	
		X-Y:0 X-Z:1		1	
		VYPNUTI SROUBOVICE		0	
N2040	DELIT/OROV./PRISUN				
		POCET DELENI		10	
		DELENI VLEVO		N	
N2050	G90				
N2060	G77	X*152	*Y*252*	Z*352*	
N2070	G01	Z0	F9.		
N2080	X0	Y0			
N2090	G91				
N2100	Z*99*				
N2110	G92	X0	Y0	Z0	
N2120	M01	LR			
1600	(NAVRAT.Z.NUL.BODU.DO.REF.BODU.PRO.BROUSENI)				
N1600	G91				
N1610	G01	Y*251*	F9.		
N1620	X*151*				
N1630	Z*351*				
N1640	G92	X0	Y0	Z0	
N1650	M01	LR			
1700	(NAJEZD.Z.REF.BODU.NA.OROVNANI)				
N1710	G91				
N1720	G01	X-*190*	Z-*390*	F9.	
N1730	Y-*290*				
N1770	G92	X0	Y0	Z0	
N1780	H*9999*	LS*900*			
N1790	G01	Y*290*			
N1800	X*190*	Z*390*			
N1810	G92	X0	Y0	Z0	
N1820	M01	LR			

900(VLASTNI.OROVNANI)				
N900	G91			
N910	G92	X0	Y0	Z0
N920	G73	X*999*	Y*999*	Z*9*
(AKTIVACE.OD.I.OROVNANI)				
N930	G75	X*195*	Y*999*	Z935
(Z=COS.UHLU.VYKLONENI.KOT)				
N940	G76	X*195*	Y*195*	Z1000
N950	G75	X*295*	Y*999*	Z355
(Z=SIN.UHLU.VYKLONENI.KOT)				
N960	G76	X*295*	Y*295*	Z1000
N970	G73	X*99*	Y*99*	Z*9*
N980	G01	X*191*	Y*291*	Z*391*
N990		X-*195*	Y-*295*	
N1000 KOMBIN.DRAH				
	KOMBINACE.DRAH			2
	ZRCADLIT A/N			N
	SMĚR ODEJETI			X+
	DRAHA ODEJETI			5.000
N1010 TECHNOLOGIE				
	RYCHLOST POSUVU			.050*
	KOREKCE RADIUSU			.000
	SMĚR.PRISUVU			00
N1020 OBRYS				
	DRAHA POSUVU			1.000
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1030 OBRYS				
	UHEL 1			-69.202
	RADIUS 1			5.440
	UHEL 2			-1.3
	TECNA 2			0.05
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1040 OBRYS				
	UHEL 1			-70.502
	RADIUS 1			.625
	UHEL 2			64.994
	TECNA 2			1.3
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1050 OBRYS				
	UHEL 1			-69.202
	TECNA 1			2.000
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:I			0
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N1060 DELIT/OROVNAT/PRISUN				
	DELENI VLEVO			N
N1070	G01	X*195*	Y*295*	F9.
N1080	G90			
N1090	G77	X*191*	Y*291*	Z*391*
N1100	G01	X0	Y0	Z0
N1110	G91			
N1120	G01	X*192*	Y*292*	Z*392*

N1130	X-*195*	Y-*295*	
N1140	KOMBIN.DRAH		
	KOMBINACE.DRAH		2
	ZRČADLIT A/N		A
	SMĚR ODEJETI		X+
	DRAHA ODEJETI		5.000
N1150	TECHNOLOGIE		
	RYCHLOST POSUVU		.050*
	KOREKCE RADIUSU		.000
	SMĚR.PRISUVU		00
N1160	OBRYS		
	UHEL 1		180.000
	TECNA 1		1.000
	DVA ZUBY PRODLOU.		N
	X-Y:0 X-Z:I		0
	VYPNUTI SROUBOVICE		0
N1170	OBRYS		
	UHEL 1		69.202
	RADIUS 1		5.440
	UHEL 2		-1.300
	TECNA 2		0.050
	DVA ZUBY PRODLOU.		N
	X-Y:0 X-Z:I		0
	VYPNUTI SROUBOVICE		0
N1180	OBRYS		
	UHEL 1		67.902
	RADIUS 1		.625
	UHEL 2		64.994
	TECNA 2		1.3
	DVA ZUBY PRODLOU.		N
	X-Y:0 X-Z:I		0
	VYPNUTI SROUBOVICE		0
N1190	OBRYS		
	UHEL 1		69.202
	TECNA 1		2.000
	DVA ZUBY PRODLOU.		N
	X-Y:0 X-Z:I		0
	VYPNUTI SROUBOVICE		0
N1200	DELIT/OROVNAT/PRISUN		
	DELENI VLEVO		N
N1230	G01 X*195*	Y*295*	F9.
N1240	G90		
N1250	G77 X*192*	Y*292*	Z*392*
N1260	G01 X0	Y0	Z0
N1270	M01 LR		
	3000(VYJISKROVACI.BROUS.VNITRKU.G77,NAVRAT.DO.0)		
N2940	G91		
N2950	G01 Z-*99*	F9.	
N2960	G92 X0	Y0	Z0
N2970	G01 X*153*	Y*253*	
N2980	Z*353*	W*453*	
	*453*000.00(KOREKCNI.UHEL)		
N3000	KOMBIN.DRAH		
	KOMBINACE.DRAH		2
	ZRČADLIT A/N		N
	SMĚR ODEJETI		Z+
	DRAHA ODEJETI		5.000

N3010	TECHNOLOGIE			
	RYCHLOST POSUVU			.100*
	KOREKCE RADIUSU			.000
	SMĚR.PRISUVU			00
N3020	TYP :BROUS.SROUBOV.			
	PRAVA/LEVA SR. 0/1			1
	STRID. OZUBENI			N
	STOUPANI SROUB			100.000
	LEVOREZN NASTR			N
N3030	OBRYS			
	PRICNA DRAHA			.994*
	DRAHA POSUVU			68.000
	DVA ZUBY PRODLOU.			N
	X-Y:0 X-Z:1			1
	VYPNUTI SROUBOVICE			0
N3040	DELIT/OROV./PRISUN			
	POCET DELENI			10
	DELENI VLEVO			N
N3050	G01 X0	I0		
N3060	G90			
N3070	G77 X*153*	Y*253*	Z*353*	
N3080	G01 Z0	F9.		
N3090	X0 Y0			
N3100	G91			
N3110	Z*99*			
N3120	G92 X0	Y0	Z0	
N3130	M01 LR			
	*151*00281000(NAJEZD.DO.0.BODU.V.OSE.X.PRO.BROUSENI)			
	*251*00086718(.....0.....Y.....)			
	*351*00000000(.....0.....Z.....)			
	*152*00000000(NAVRAT.DO.0.G77..V.OSE.X)			
	*252*00000000(.....Y)			
	*352*0-126913(NA.PATNI.PRUMER.11.VLIVEM.OPOTREB.VYCHAZI.11,07)			
	*153*00000000(NAVRAT.DO.0.G77..V.OSE.X)			
	*253*00000000(.....Y)			
	*353*0-126913(.....Z)			
	*190*00050166(Z.REF.BODU.DO.NUL.BODU.PRO.OROVNANI)			
	*290*00030129(.....)			
	*390*00153000(.DIAMANTY.NAD.OSU.....)			
	*195*00011028(X-SLOZKA.PARAMETRU.*999*COSINUS.0,935)			
	*295*00004119(Y-SLOZKA.PARAMETRU*999*SINUS*0,355)			
	*191*00000000			
	(Z.NUL.BODU.OROV.DO.VYCH.BODU.HROTU.I.-G77.V.OSE.X)			
	*291*00000000(.....Y)			
	*391*00000000(.....Z)			
	*192*000-9314(.....HROTU.II.-G77.V.OSE.X)			
	*292*00025352(.....Y)			
	*392*00000000(.....Z)			