

Chyba rozměru šroubové drážky

Karel Jandečka, Prof. Ing. CSc. Katedra technologie obrábění, FST, ZČU v Plzni, Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, ČR, jandecka@kto.zcu.cz

Článek prezentuje další výsledky v řešení této problematiky a navazuje na výsledky získané v rámci projektu GAČR č. 101/07/0751 a také na poznatky a informace získané při zpracování grantového projektu GAČR č. 101/05/2562. Zpracovávaná problematika je orientována do oblastí výroby a ostření rotačních nástrojů, především proto, že veškeré know-how je majetkem zahraničních firem. Hlavní kapitola je věnovaná „Řešení závislosti podříznutí (rozvalu) šroubovité drážky na průměru brusného kotouče, jeho tloušťce a hloubce řezu“ při nulové tloušťce brusného kotouče. Tato metoda je původní analytickou metodu výpočtu podříznutí a je součástí teoretického studia problematiky broušení šroubové drážky. Na to pak navazuje pasáž, která definuje skutečnou šířku šroubové drážky u různých profilů brusného kotouče. Předkládaný článek shrnuje pouze část širokého spektra problémů v dané oblasti.

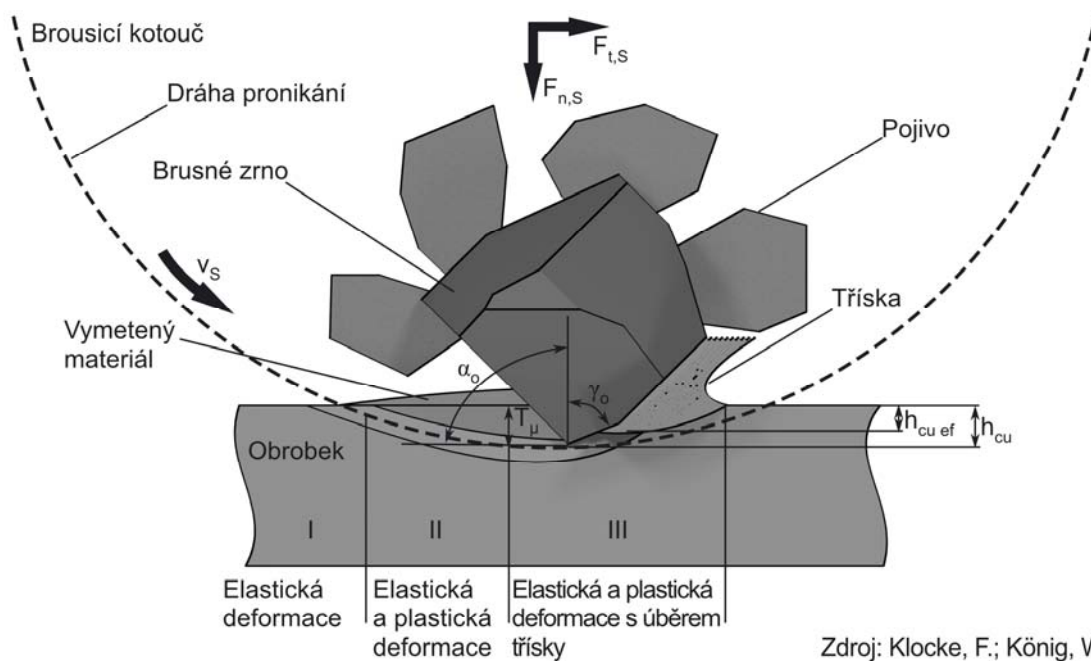
↔ **Klíčová slova** : broušení, tvarové plochy, CAD/CAM systém Cimatron, technologický modul, postprocesor, NC program

1 Úvod

Broušení patří mezi nejstarší metody obrábění materiálu, které člověk znal a využíval již v předhistorických dobách k výrobě nebo úpravě životně důležitých pomůcek, především k ostření pracovních nástrojů a zbraní. Broušení bylo kromě sekání prvním způsobem, kterého člověk použil ke zpracování svého náradí. Jako broušící nástroje používal některé volně se v přírodě vyskytující nerosty a horniny, např. pískovec, křemen, lávové kameny, smírek, břidlici, apod. Ostření nástrojů představovalo hlavní náplň broušení prakticky až do konce 19. století. První umělý broušící materiál byl karbid křemíku – karborundum, který byl vynalezen v roce 1891. Koncem 19. století byl objeven další umělý materiál, tavený kysličník hlinitý – elektrokorund. Prudký rozvoj technologie broušení, který nastal počátkem minulého století, byl vyvolán stupňujícími se požadavky na vysokou přesnost součástí, dovolující jejich vzájemnou vyměnitelnost, a byl umožněn objevem umělých broušících materiálů s rovnoměrnou a lepší kvalitou, než měly běžné materiály přírodní. Brusičská tradice na českém území se datuje do doby Rakouska-Uherska. V roce 1893 vznikla v Benátkách nad Jizerou první česká společnost, která se začala zabývat produkcí karbidu křemíku (SiC), což byl světový patent dovezený z Ameriky, který vynalezl Američan Ing. Acheson v roce 1891. Práva pro využití patentu v evropských zemích zakoupil při návštěvě světové výstavy v Chicagu pražský obchodník Vilém Kauffman. Nejdynamičtější rozvoj proběhl za první republiky, kdy došlo k vytvoření celé řady afilací v Evropě i ve světě. Po druhé světové válce bylo toto odvětví zestátněno, což vedlo ke sjednocení obchodních aktivit a následnému snížení dynamického rozvoje. V 60. letech nastala v tomto oboru prudká stagnace. V době privatizace, po roce 1989, došlo k přerozdělení struktur mnoha podniků a začala nová éra přibližování se moderní evropské úrovni, čemuž napomáhaly bohaté kořeny brusičské tradice u nás. Broušící proces má základní charakteristiky podobné jako jiné obráběcí procesy a zvláště je blízký frézování (Obr. 1.1). Při broušení však dochází ke kvantitativním i kvalitativním odlišnostem, které souvisí zejména s vlastnostmi broušícího kotouče a řeznými podmínkami. Broušení se používá zejména pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů a tvarů a jakost povrchu. Dále se broušení uplatňuje při obrábění materiálů, které není možné jinými obráběcími metodami obrobít nebo je broušící metoda hospodárnější než jiné.



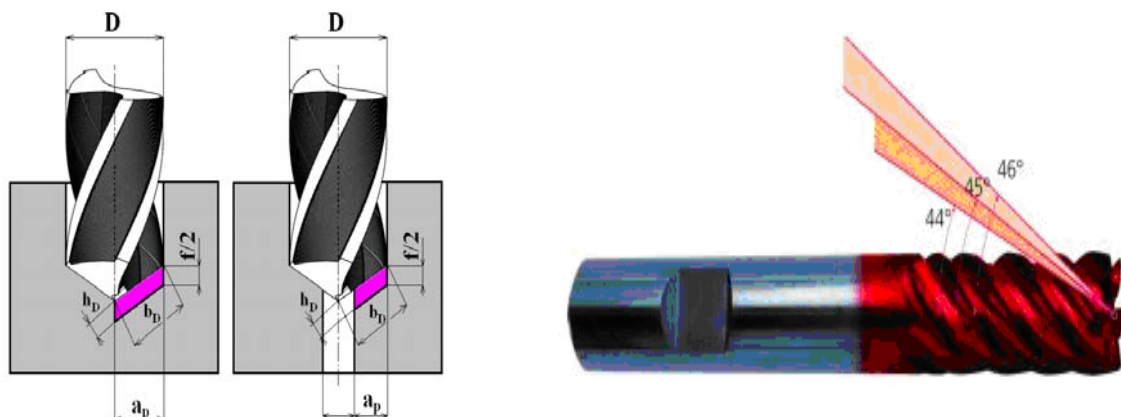
Obr. 1.1 Výroba šroubovité drážky.



Obr. 1.2 Rozložení deformací při broušení.



Obr. 1.3 Moderní nástrojová CNC bruska UW II CNC 5A firmy Saacke.



Obr. 1.4 Příklad nástrojů se šroubovitou drážkou.

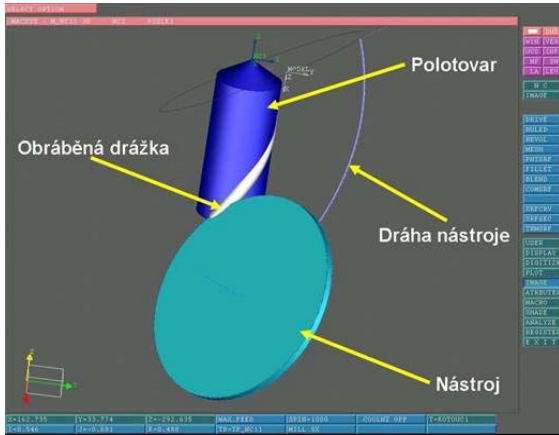
2 Řešení závislosti podříznutí (rozvalu) šroubovitě drážky na průměru brusného kotouče, jeho tloušťce a hloubce řezu:

Broušení tvarových drážek na nástrojích je ovlivněno jak geometrií a vlastnostmi šroubovice, tak rozměrovými parametry nástroje. Většina autorů, podle nám dostupných informací, řeší výsledný tvar broušené drážky pomocí obalové plochy pohybu brusného nástroje a tvaru broušeného obrobku (obr. 3.2). Výsledek je prostorovým řešením úlohy vycházející z tohoto principu. Je však řešitelný pouze využitím CAD systémů a nebo řešením složité prostorové úlohy založené na analytickém či numerickém řešení průřezu obalových ploch dráhy kotouče s plochou polotovaru. Cílem této kapitoly je formulace analytické funkční závislosti šířky (rozvalu) šroubovitě

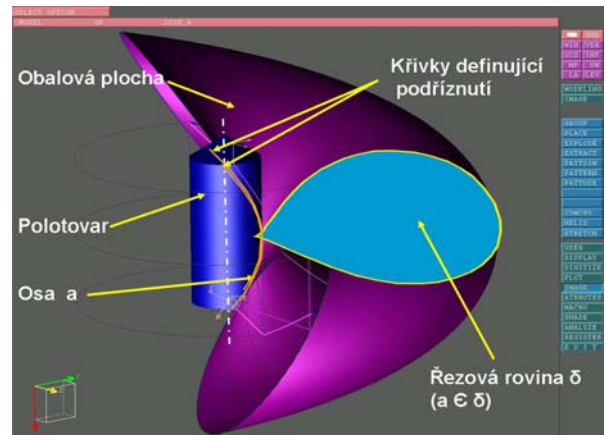
drážky vzniklé broušením broušicím kotoučem závislosti na parametrech šroubovice a rozměrech kotouče. Úvodní fáze řešení uvažuje plochý kotouč diskového tvaru bez zaoblení.

Podříznutí (rozval) šroubovitě plochy:

Podříznutí (rozval) šroubovitě drážky vzniká zanořením kotouče do obrobku (tvaru broušeného nástroje) v důsledku různých křivosti nosných povrchů a tvarů řídicí a obráběné šroubovice. Tuto prostorovou situaci zachycují následující obrázky.



Obr.2.1 Broušení tvarové drážky.



Obr.2.2 Prostorová definice podříznutí.

Analytické řešení:

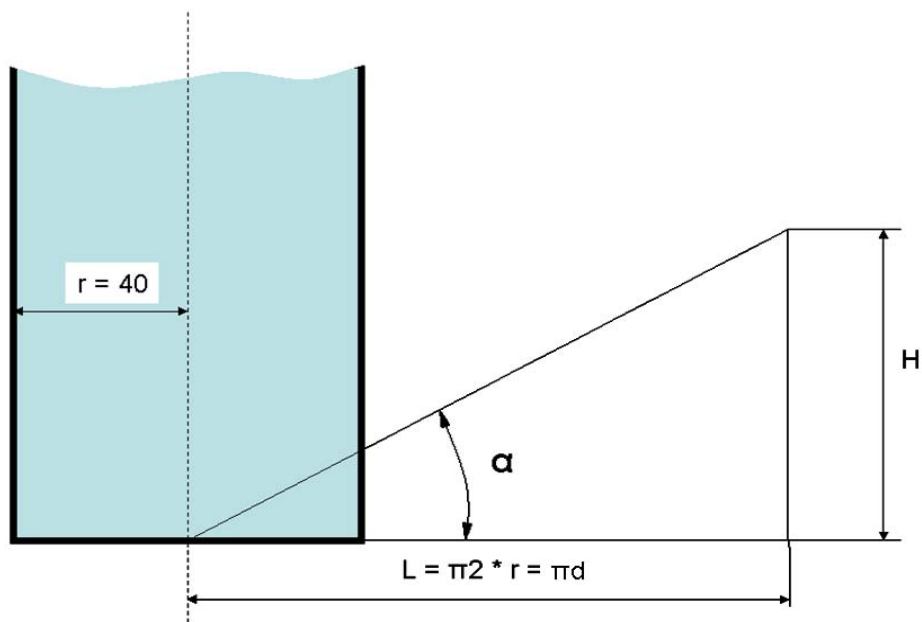
Parametry šroubovice:

r – nosný poloměr šroubovice
(d – průměr šroubovice)

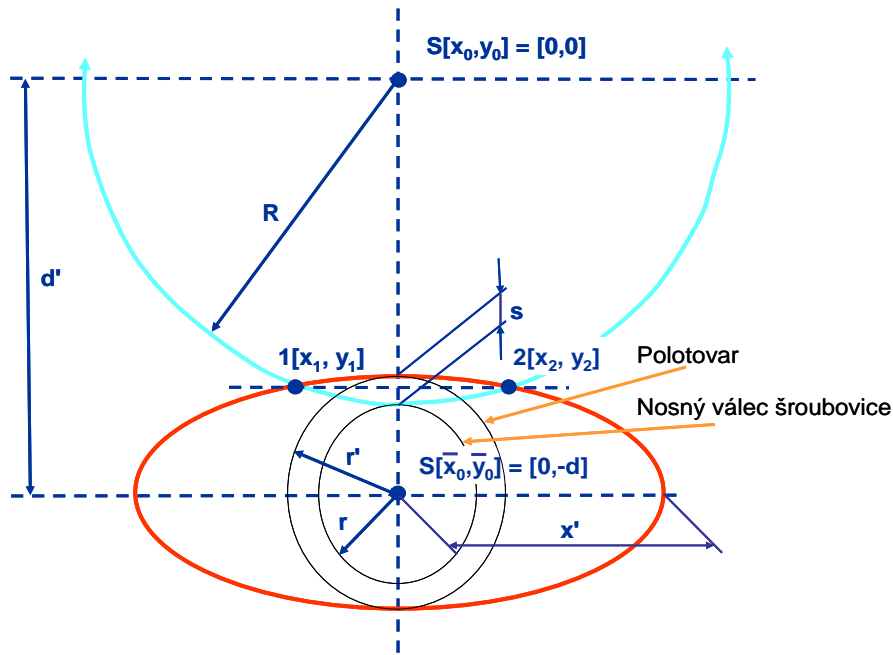
H – výška závitu
α – úhel stoupání šroubovice
(L – obvod nosného válce)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{L} = \frac{H}{\pi * d} = \frac{H}{\pi * 2r} \tag{2.1}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{H}{L} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{H}{\pi * d} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{H}{\pi * 2r} \right) \tag{2.2}$$



Obr. 2.3 Úhel stoupání šroubovice α.



Obr. 2.4 Definice geometrie podříznutí.

Bod 1:

$$x_1 = \sqrt{\left[R^2 - \left(- (R+r) + \sqrt{\left((R+r)^2 - (r+s)^2 (1 - \cos^2 \alpha) \left(\frac{(R+r)^2 + R^2 \cos^2 \alpha - (r+s)^2}{\cos^2 \alpha} \right)} \right) \right)^2 \right] \cdot \frac{\cos \alpha}{(r+s)(1 - \cos^2 \alpha)}} \quad (2.3)$$

$$y_1 = \left(- (R+r) + \sqrt{\left((R+r)^2 - (r+s)^2 (1 - \cos^2 \alpha) \left(\frac{(R+r)^2 + R^2 \cos^2 \alpha - (r+s)^2}{\cos^2 \alpha} \right)} \right) \right) \cdot \frac{\cos \alpha}{(r+s)(1 - \cos^2 \alpha)} \quad (2.4)$$

Bod 2:

$$x_2 = - \sqrt{\left[R^2 - \left(- (R+r) - \sqrt{\left((R+r)^2 - (r+s)^2 (1 - \cos^2 \alpha) \left(\frac{(R+r)^2 + R^2 \cos^2 \alpha - (r+s)^2}{\cos^2 \alpha} \right)} \right) \right)^2 \right] \cdot \frac{\cos \alpha}{(r+s)(1 - \cos^2 \alpha)}} \quad (2.5)$$

$$y_2 = \left(- (R+r) - \sqrt{\left((R+r)^2 - (r+s)^2 (1 - \cos^2 \alpha) \left(\frac{(R+r)^2 + R^2 \cos^2 \alpha - (r+s)^2}{\cos^2 \alpha} \right)} \right) \right) \cdot \frac{\cos \alpha}{(r+s)(1 - \cos^2 \alpha)} \quad (2.6)$$

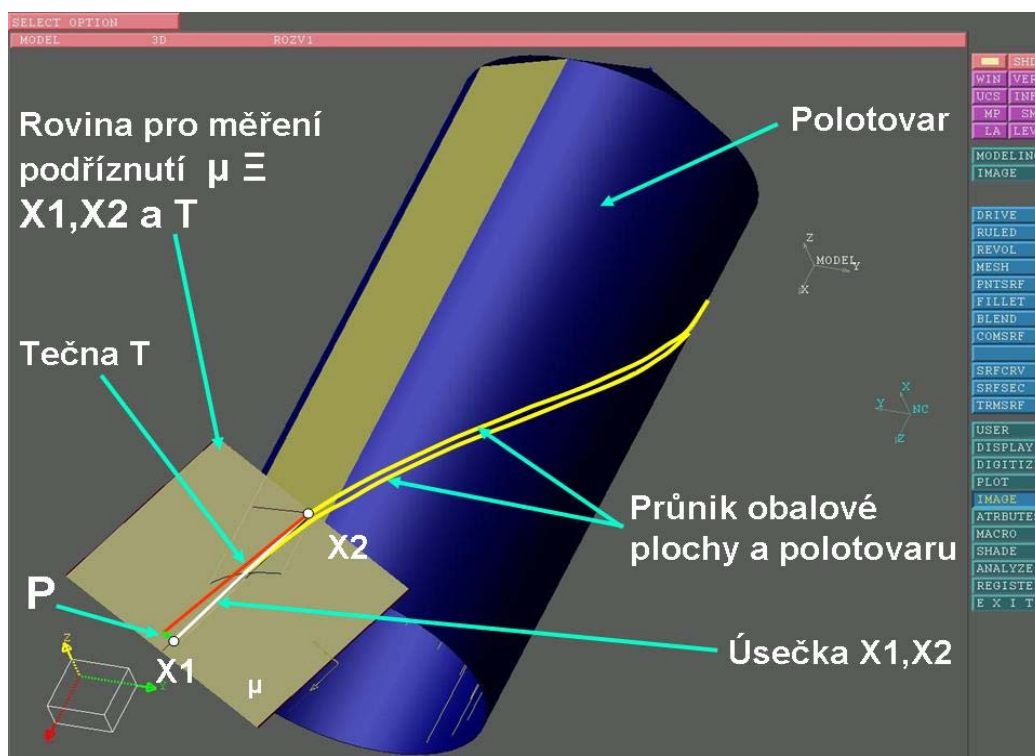
Hodnotu velikosti podříznutí P šroubovice na povrchu polotovaru (měřenou vůči tečně šroubovice (v bodě X2) v rovině tvořené tečnou a úsečkou X1, X2 – sečná rovina) v závislosti na parametrech technologického procesu broušení šroubovice (R , r , s , α) vypočteme dle následujícího vzorce:

$$P = \tan(\Delta \alpha) * (x_2 - x_1) \quad (2.7)$$

Tab.2.1 Parametry procesu broušení:

	Hodnoty(mm)
R - poloměr šroubovice	40
H - výška závitu	400
R' - poloměr obrobku	45

R - poloměr kotouče	150
s - hloubka třísky (úběr)	5,00
P_{pr} – podříznutí	2.995



Obr.2.5 Rovina μ pro měření podříznutí P .

Hodnota byla verifikována vůči numerickému modelu vytvořeném v CAD/CAM systému Cimatron. V současné době pracujeme na úpravě numerického modelu resp. na jeho zpřesnění a zahrnutí dalších vlivů. Popsané řešení shrnuje současné výsledky získané studiem prostorové geometrie a kinematiky při broušení kotoučem konstantní tloušťky v závislosti na parametrech technologického procesu broušení šroubovice (R , r , s , α). Broušená šroubovice slouží k výrobě tvarové plochy (výroba a broušení šroubovitě drážky na vrtáku či fríze) tak, aby bylo dosaženo jejího tvaru pomocí definovaných geometrických parametrů brusného kotouče s jednoduchým tvarem. Metoda směřuje k optimalizaci podříznutí a v dalších krocích k aplikaci v CL datech, při vývoji kvalitnějších postprocesorů pro NC brusku Walter Helitronic a k tvorbě kvalitnějších NC programů. Řešení pojímá problematiku pokud možno komplexně.

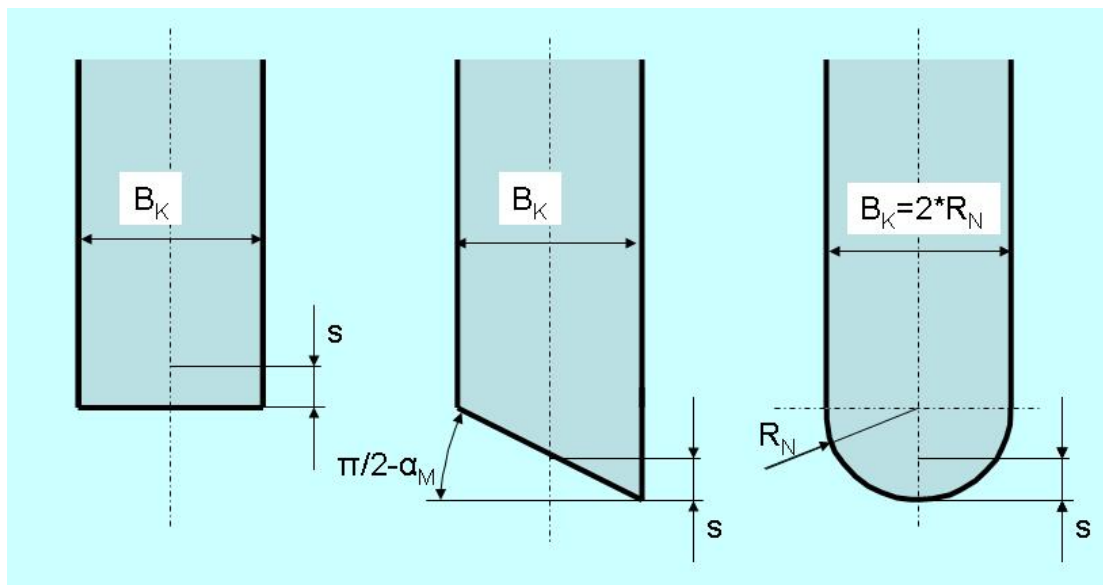
3 VÝPOČET ŠÍŘKY ŠROUBOVITĚ DRÁŽKY (B_{SD}) V ZÁVISLOSTI NA TVARU BRUSNÉHO KOTOUČE:

Šířka tvarových drážek na broušených nástrojích vychází ze vztahu 2.7 (a je mimo jiné závislá na úběru - hloubce zanoření brusného kotouče) a také na jeho tvaru. Následující pasáž uvádí funkční závislost šířky šroubovitě drážky (B_{SD}) pro kotouč plochý, miskovitý a tvarový se zabolením (R_N).

Plochý kotouč:

- B_{SD} - šířka šroubovitě drážky
- B_K - šířka brusného kotouče

$$B_{SD} = \tan(\Delta\alpha) * (x_2 - x_1) + B_K \quad (3.1)$$



Obr. 3.1 Charakteristické rozměry jednotlivých typů kotoučů.

Miskovitý kotouč:

B_{SD} - šířka šroubovitě drážky

B_K - šířka brusného kotouče

s - úběr

α_M - úhel

$$B_{SD} = \tan(\Delta\alpha) * (x_2 - x_1) + \tan \alpha_M * s \quad (3.2)$$

Tvarový kotouč zabolením (R_N):

B_{SD} - šířka šroubovitě drážky

B_K - šířka brusného kotouče

R_N - poloměr zaoblení kotouče ($R_N = B_K/2$)

s - úběr

$$B_{SD} = \tan(\Delta\alpha) * (x_2 - x_1) + 2 * \sqrt{R_N^2 - (R_N - s)^2} \quad (3.3)$$

4 ZÁVĚR

Broušení tvarových nástrojů úzce souvisí s problematikou tvarových ploch, které je na katedře technologie obrábění ZČU v Plzni již dlouhodobě věnována velká pozornost. Specifikace problematiky broušení spočívá v použití nástrojů s geometricky nedefinovaným tvarem ostří, v práci vysokou řeznou rychlostí a vysokými požadavky na jakost povrchu a geometrickou přesnost vyrobené plochy. Při návrhu kinematiky pohybu nástroje je potřeba velmi přesně nadefinovat trajektorii, po které se má pohybovat střed nástroje, což je z matematického pohledu ve většině případech úloha určení ekvidistanty k obalové ploše vytvářené rotujícím ná-

strojem. Předložený článek shrnuje výsledky výzkumu výroby složitých prostorových tvarů s aplikací do oblasti broušení. Při řešení této problematiky byly uplatněny zejména letité zkušenosti z programování NC strojů, práce s vyspělými CAD/CAM systémy a v neposlední řadě i zkušeností získané ze spolupráce s výrobcí nástrojů jako jsou firmy ISCAR, WALTER, Gühring, Hofmeister.

Literatura:

- [1] PŘIKRYL, Z. "Teorie obrábění", SNTL/ALFA Praha, 1975
- [2] ŠVEC, S. "Řezné nástroje", SNTL Praha, 1968
- [3] JAROMÍR, J. - MAZANEC, H. "Diamantové a CBN nástroje pro průmyslové použití". Plzeň, LAIWA PRESS 1993.
- [4] KÖNIG, W. „Fertigungsverfahren“, Band 2, Düsseldorf, VDI Verlag 1996
- [5] VASILKO, K. - MICHEL, D., HRUBEC, J. "Brusenie a ostrenie rezných nástrojov". Bratislava, ALFA 1984.
- [6] Reklamní materiály firmy WALTER AG.
- [7] Reklamní materiály firmy SAACKE.
- [8] Reklamní materiály firmy SCHUNK
- [9] Reklamní materiály firmy RÖHM
- [10] KOŽMÍN, P. "Broušení monolitních rezných nástrojů na NC bruskách". ICPM 2001, Ústí nad Labem, ÚTŘJ, ISBN 80-7044-358-8.
- [11] SCHIMONYI, J. "NC Programmierung für das Werkzeugschleifen". Berlin, Springer Verlag 1991
- [12] JANDEČKA, K. "Využití moderních CAD/CAM systémů při programování NC strojů, ZČU Plzeň, 1996
- [13] JANDEČKA, K. „Teoretický úvod ke kinematice broušení tvarových ploch pro potřeby NC programování“, Výzkumná zpráva KTO, KTO – 12/2008, FST ZČU v Plzni, Plzeň 2008.
- [14] JANDEČKA, K. „Pětiosý postprocesor WALTER V1 (zpracovaný pro potřeby řešení grantu GAČR 101/07/0751)“, Výzkumná zpráva KTO, KTO – 11/2008, FST ZČU v Plzni, Plzeň 2008.
- [15] Manuál CAD/CAM systému CIMATRON II
- [16] Reklamní materiály firmy URDIAMANT
- [17] Manuál CAD/CAM systému CATIA V5R6
- [18] HOLEŠOVSKÝ F., HRALA M. „Grinding of ceramic materials by diamond grinding wheel“. Sborník 4. Mezinárodní vědecká konference RTO 2002 v Košicích, 22.-23.5.2002, str.5-8, ISBN 80-7099-796-6
- [19] HOLEŠOVSKÝ F., HRALA M. „Grinding Process and its Influence to Surface Integrity“. Proceedings International Conference AMPT'01, Madrid 2001, Spain, pp.587-596, ISBN 84-95821-05-2
- [20] JERSÁK, J. „Matematický model broušení“, In: II. Mezinárodní nástrojářská konference. Nástroje - Tools 2001, Zlín. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2001, s. 141-147.
- [21] LUKOVICS, I., SÝKOROVÁ, L. „Stanovení řezivosti broušících kotoučů pro vysokovýkonné broušení.“, In: Nástroje 99, Zlín, 1999, p. 96-102, ISBN 80-214-1426-X
- [22] JANDEČKA, K., ČESÁNEK, J, KAPINUS, V., DVOŘÁK, P., SOVA, F., „Přehled současného broušení tvarově složitějších nástrojů“. Výzkumná zpráva KTO -1/05, ZČU v Plzni, Plzeň 2005. 48 stran.
- [23] VRABEC, M., MÁDL, J. „NC programování v obrábění“, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 92 s. ISBN 80-01-03045-8.

- [24] Release 11.0 Documentation for ANSYS
- [25] LAŠOVÁ, V., VOJNA, J. „Numerická simulace broušení“. Výzkumná zpráva KTO, KTO – 17/2008, Zpracováno KKS FST ZČU v Plzni, Plzeň 2008.
- [26] SOVA, F., MATĚJKA, J. „Experimentální ověření rozvalu šroubové drážky“, Výzkumná zpráva KTO, KTO – 19/2008, FST ZČU v Plzni, Plzeň 2008.
- [27] TOMICZKOVÁ, S. „Přehled matematických pojmů použitelných při řešení problematiky broušení tvarových ploch“. Část I. Výzkumná zpráva KTO, KTO – 16/2008, Zpracováno KMA FAV ZČU v Plzni, Plzeň 2008.
- [28] MOUREK, D., „Problematika stanovení rozvalu šroubovitých drážek monolitních řezných nástrojů“. *Práce ke SDZ, Školitel Prof. K. Jandečka, ZČU v Plzni, Plzeň 2008.* 33 stran.
- [29] SAO dílenské cvičení [online]. 2008 [cit. 2009-11-11]. Dostupný z WWW: www.sosi.cz/servis-a-opravy-cviceni/zamecnicka-dilna.pdf
- [30] Zásady obrábění materiálů. *Z praxe očního optika*. 2007, č. 3, s. 40-42. Dostupný z WWW: www.optics.cz/history/4-2006/pdf/46_zasady.pdf
- [31] HOFMANN, P. „Sylabus přednášek z TO“. Plzeň, ZČU 2003
- [32] ŠKARDA, J. „Šroubovitý vrták“, Podklad pro cvičení [online]. 2007 [cit. 2009-11-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.ateam.ic.cz/vrtak.pdf>>.]
- [33] SADÍLEK, M. „Sylabus přednášek“, VŠB-TU Ostrava
- [34] MOUREK, D. „Grafické zpracování šroubovitého vrtáku a frézy“, Interní podklady IFQ, Magdeburg, 2009
- [35] Ostření vrtáků v závislosti na obráběném materiálu [online]. 2009 [cit. 2009-11-12]. Dostupný z WWW: www.edunet.souepl.cz/~sobotka/centrum/cinnost.../kovo2.pdf>.]“
- [36] Ostření vrtáků [online]. NÁSTROJE CZ s.r.o. [cit. 2009-11-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.nastrojecz.cz/ostreni.php>>.
- [37] FULEMOVÁ, J. „Trvanlivost progresivní řezné keramiky při tvrdém frézování v režimu HSC [diplomová práce]“, ved.práce Petr Hofmann.—Plzeň: ZČU. FST, 2007. 75s., 14s.příl.
- [38] JANDA, Z.; FULEMOVÁ, J.; ŘEHOŘ, J. „Geometrická přesnost a řezné síly při tvarovém HSC frézování v závislosti na změně záběru“. In ERIN 2008. Bratislava : Strojnická Fakulta, 2008. s. 11-12. ISBN 978-80-227.
- [39] Reklamní materiály firmy SANDVIK COROMANT
- [40] Reklamní materiály firmy GÜHRING
- [41] Reklamní materiály firmy KONRAD FRIEDRICHS GmbH
- [42] Reklamní materiály firmy PRAMET
- [43] reklamní materiály firmy DORMER
- [44] Reklamní materiály firmy WNT
- [45] Reklamní materiály firmy EMUGE FRANKEN
- [46] HUMÁR, A. „Základní metody obrábění; interaktivní multimediální text“. Brno, VUT 2004
- [47] KOVÁŘ, J. „Ovlivnění kvality a jakosti obrobene plochy při frézování“. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, č. 4 [cit. 2009-11-15], s. 30-31. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/ovlivneni-kvality-a-jakosti-obrobene-plochy-pri-frezovani>>.
- [48] NOVÁK, Z. „Moderní výkonné frézovací nástroje“. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, č. 4 [cit. 2009-11-15], s. 18. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-vykonne-frezovaci-nastroje>>.
- [49] Technická příručka obrábění, SANDVIK Coromant, 2005
- [50] BASTL, B., „Průběžná zpráva o řešení projektu“, Katedra matematiky – KMA, Fakulta aplikovaných věd – FAV, Západočeská univerzita v Plzni

- [51] FRIEDMAN, M. AND MEISTER, I., “The profile of a helical slot machined by a form-milling cutter”. Annals of the CIRP. 22/1 (1973). 157-164.
- [52] S. KALDOR, A.M. RAFAEL AND D. MESSINGER, “On the CAD of profiles for cutters and helical flutes—geometrical aspects”. Ann. CIRP 37/1 (1988), pp. 53–55.
- [53] JEŽEK, F. „Numerické a geometrické modelování – pomocný učební text“. KMA ZČU v Plzni, 2005.
- [54] WEISSTEIN, E. W. Torus. From MathWorld – A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Torus.html>, December 2008.
- [55] www.mmspektrum.com
- [56] Příručka programování Siemens Sinumerik 840D, Pro pokročilé
- [57] www.odbornecasopisy.cz (časopis Automa)
- [58] www.techtydenik.cz/cnc_priklady/priklad_2.pdf
- [60] http://lubovo.misto.cz/MAIL/_curves/nurbs.html
- [61] DWULETZKI, H. „Kühlschmierstoffe der neuen Generation zum Hochleistungsschleifen „Berufluid – Der Spagat zwischen Wasser und Öl, in Dortmunder Schleifseminar 25. September 2008“. TU Dortmund, 2008.
- [62] AURICH, J.; ENGMANN, J.; SCHÜLLER, G. „Werkzeuge für die Microbearbeitung, in Inovative Zerspanung Prozess – Simulation – Optimierung“. TU Dortmund, März 2009.
- [63] JANDEČKA, K. Postprocesor CAD/CAM systému Cimatron pro brusku Walter Helitronic. /In / ITCK 2010, Ústí nad Labem, Ústav techniky a řízení výroby, UJEP Ústí nad Labem, ISSN 1211-4162
- [64] KARPUSCHEWSKI, B., JANDEČKA, K., EMR, T., SCHMIDT, K., ČESÁNEK, J., KUSHNARENKO, O., ČESÁKOVÁ, I., MOUREK, D.,. Postprocesor development for multi-axis machining: A literature review. /In / ERIN 2010, Plzeň, KTO FST ZČU v Plzni, ZČU Plzeň, 2010, ISBN 978-80-7043-866-4.
- [65] JANDEČKA, K., SOVA, F., ČESÁNEK, J.: Broušení složitých tvarových ploch především v oblasti výroby nástrojů. /In / For Industry 2010, Praha, Praha 2010, ISBN 978-80-7414-218-5.

