

Modelování drah brusného kotouče při výrobě šroubovitého vrtáku

Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhard Karpuschewski^{a)}, Prof. Ing. Karel Jandečka, CSc.^{b)},
Dipl.-Ing. Daniel Mourek^{a)}

^{a)} Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung, Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg, D. Mourek, Tel.: +49 (0)391-67-12046, E-Mail: dmourek@st.ovgu.de

^{b)} Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni

Moderní řezné nástroje z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu jsou v současnosti vyráběny broušením na CNC nástrojařských bruskách. Protože se při programování těchto obráběcích strojů jedná o velmi komplikovaný proces, jsou jejich řídicí systémy obvykle vybaveny programovacím rozhraním ve formě soustav tabulek, do kterých jsou zadávány jednotlivé parametry vyráběného nástroje. Protože tento systém programování není dostatečně pružný, jsou některé řídicí systémy vybaveny možností načítat externí NC programy, s jejichž pomocí je možné vyrábět buď speciální nástroje, nebo modifikovat výrobní proces stávajících nástrojů. Protože při výrobě řezných nástrojů je nezbytné uvažovat s tvarem obalových ploch, které proces programování činí značně obtížným, je výhodné vytvořit matematický popis drah brusného kotouče, který umožní dráhy snáze modifikovat s ohledem na časté změny, které jsou nezbytné při konstrukci monolitního řezného nástroje.

Klíčová slova: broušení nástrojů, šroubovitý vrták, programování NC strojů

1. Úvod

Monolitní řezné nástroje jsou vyráběny ze stále modernějších řezných materiálů, které se vyznačují vysokou pevností a tvrdostí. Tyto řezné materiály je možné produktivně obrábět broušením za využití kotoučů, jejichž brusná zrna jsou buď z kubického nitridu boru (CBN), nebo diamantu. Protože na přesnost vyráběných nástrojů jsou kladeny vysoké kvalitativní požadavky, které není možné splnit použitím konvenčních strojů (tolerance v řádu setin milimetru), musejí být při výrobě nasazeny CNC nástrojařské brusky [1]. Tyto stroje obvykle mají nejméně pět souvisle řízených souřadných os, které umožňují libovolnou orientaci obrobku a brusného kotouče, mnohdy jsou však k dispozici ještě další souřadné osy, které ulehčují programování ve směru, kterého by bylo nutné dosáhnout současným pohybem nejméně dvou základních souřadných os.

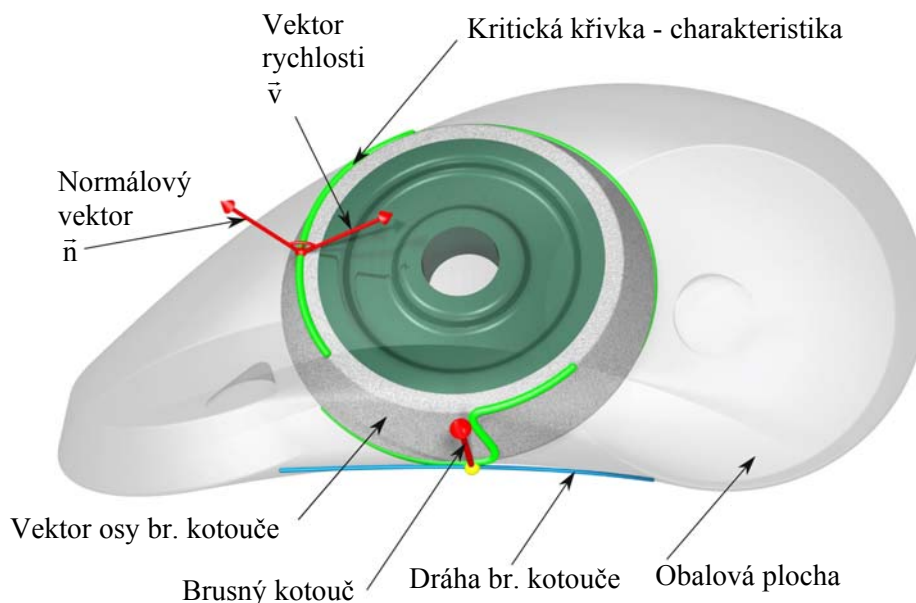
Protože mezi nejkomplicovanější části na řezném nástroji patří šroubovitě drážky, jejichž tvar není shodný s tvarem brusného kotouče, byl pro sestavení modelu drah brusného kotouče vybrán tříbřitý šroubovitý vrták. Podobnou problematiku je možné nalézt například ve zdrojích [2, 3, 4, 5]. Protože sami autoři zmiňují, že problematika výroby řezného nástroje je úzce spjata s kinematickým řetězcem konkrétního stroje [4], je možné poznatky využít pouze částečně.

2. Obalové plochy při konstrukci řezných nástrojů

Geometrie řezných nástrojů bývá často velmi komplikovaná. Při konstrukci monolitních řezných nástrojů je nutné pracovat s obalovými plochami, které vznikají pohybem tvořícího tělesa – brusného kotouče – podél volené dráhy. Mezi vzniklou obalovou plochou a tvořícím tělesem je možné najít společnou křivku, která náleží oběma povrchům. Všechny body podél této křivky musí splňovat rovnici sdružených povrchů (1). Rovnice dává do souvislosti normálový vektor k tvořícímu tělesu \vec{n} a vektor udávající směr pohybu tvořícího tělesa v daném bodě \vec{v} .

$$\vec{n} \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

Vzhledem k tomu, že brusný kotouč je rotačně symetrické těleso, znamená hledání souřadnic každého bodu na společné křivce obou těles řešení goniometrické rovnice. Znázornění této metody je provedeno na obrázku 1.

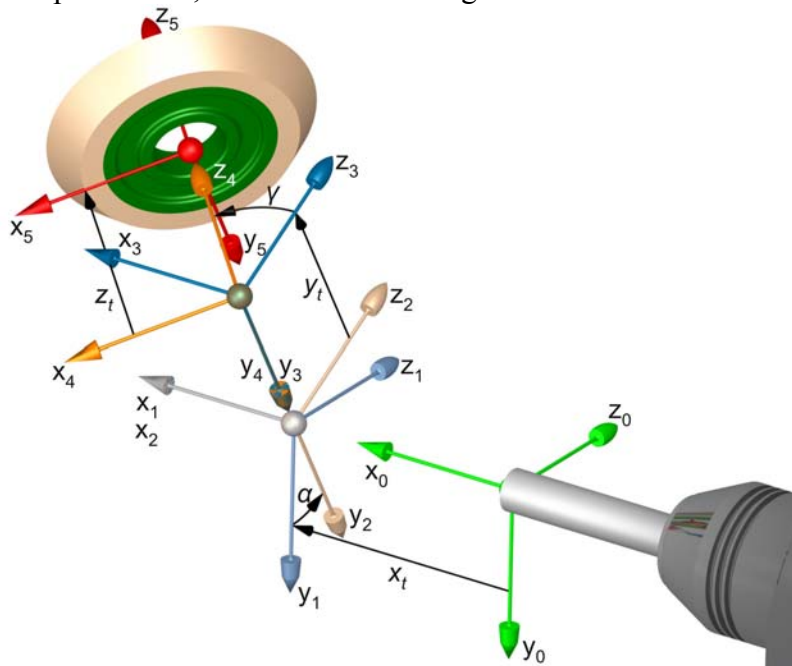


Obr. 1 - Znázornění vzniku obalové plochy metodou sdružených povrchů

Protože výpočet pomocí metody sdružených povrchů je relativně problematický bývají využívány i jiné metody stanovení tvaru odbroušeného objemu. Jednou z nich je například rozdělení povrchu brusného kotouče na tenké disky a následné vyšetřování jejich průřezů s rovinou, ve které má být počítán průřez obalovou plochou. Aby mohlo být stanoveno případné podřezání, musí být prověřen delší úsek dráhy brusného kotouče [6].

3. Matematický popis drah brusného kotouče

Výrobu tříbřitého šroubovitého vrtáku je možné rozdělit na několik etap. Mezi základní patří příprava polotovaru, broušení obvodové geometrie a broušení čelní geometrie.

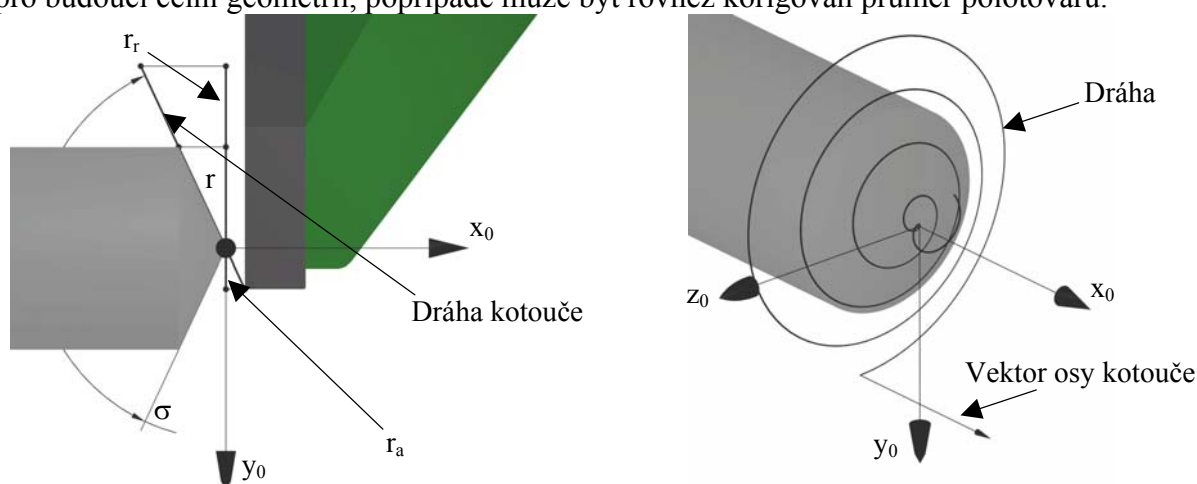


Obr. 2 - Zavedené souřadné systémy

Pro zjednodušení popisu jednotlivých drah byly mezi obrobkem a brusným kotoučem zavedeny souřadné systémy, které respektují jednotlivé posuvné a rotační souřadné osy nástrojařské brusky. Základními souřadnými systémy jsou souřadný systém obrobku S_0 a souřadný systém brusného kotouče S_5 . Pro popis posunutí v souřadných osách X , Y a Z slouží parametry x_t , y_t a z_t . Pootočení v osách A a C je popsáno úhly α a γ (viz obr. 2). Pro přepočítání souřadnic mezi oběma hlavními souřadnými systémy je možné odvodit transformační matice, které převod souřadnic značně ulehčují.

3.1. Příprava polotovaru

Příprava polotovaru je volitelná operace, která bývá na nástrojařské brusce prováděna v případě, že nejsou k dispozici vhodné polotovary. Aby tato operace mohla být na nástrojařské brusce prováděna, je nezbytné, aby byl stroj vybaven funkcí pro plynulou rotaci obrobku. Během této operace je na čele polotovaru vytvářen kužel, který bude tvořit základ pro budoucí čelní geometrii, popřípadě může být rovněž korigován průměr polotovaru.



Obr. 3 – Znárodnění trajektorie při výrobě kuželu (bez korekce průměru)

Při popisu dráhy (viz obr. 3) je nutné znát úhel kužele σ , poloměr obrobku r a následně zvolit délku nájezdu r_a a délku odjezdu r_r a úhel otočení obrobku α_M . Parametricky lze popsat pohyb brusného kotouče pomocí rovnic (2), parametr $t \in \langle 0,1 \rangle$.

$$\begin{aligned} X &= -\frac{((r_a + r + r_r) \cdot t - r_a)}{\tan \frac{\sigma}{2}} \\ Y &= -\frac{((r_a + r + r_r) \cdot t - r_a)}{\tan \frac{\sigma}{2}} \sin(\alpha_M \cdot t) \\ Z &= -\frac{((r_a + r + r_r) \cdot t - r_a)}{\tan \frac{\sigma}{2}} \cos(\alpha_M \cdot t) \end{aligned} \quad (2)$$

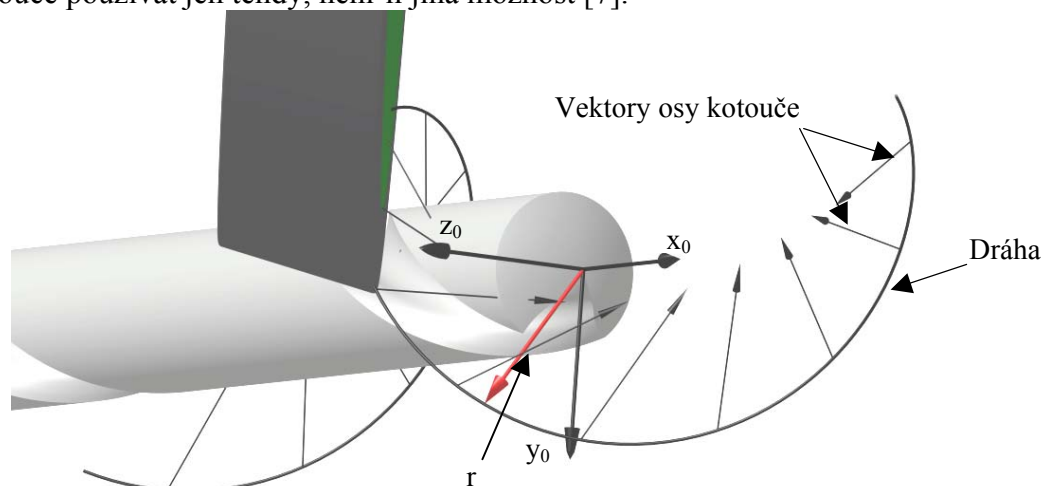
Určitým problémem v tomto případě může být orientace vektoru osy brusného kotouče, který je při vnějším obvodovém broušení kolineární s osou brusného vřetena. Z tohoto důvodu musí být úhel otáčení okolo osy obrobku stanoven manuálně a ne ze směru vektoru osy brusného kotouče.

V případě, že by bylo kromě výroby kužele nutné korigovat i průměr obrobku, z definice poloměru by vypadla délka odjezdu r_r a při dosažení průsečnice mezi kuželovou a válcovou plochou by na spirálu na kuželu navázala šroubovice na obvodě polotovaru.

3.2. Šroubovitě drážky

Základní část šroubovitěho vrtáku tvoří drážky na obvodu, které slouží k odvodu třísek z místa řezu. Tvar těchto drážek může být značně rozmanitý. Při jejich výrobě mohou být

využívány jak standardní brusné kotouče (tvary dle FEPA), případně speciální tvarové brusné kotouče, jejichž tvar je speciálně ořvnán tak, aby při pohybu podél předem zvolené trajektorie došlo k vybroušení požadovaného tvaru drážky. Hlavním problémem při použití tvarových brusných kotoučů je jejich cena, protože takový kotouč je speciálně navržen pouze pro konkrétní tvar drážky. Při výrobě monolitních řezných nástrojů je patrná snaha o co možná nejčastější používání brusných kotoučů standardizovaných tvarů a speciálně tvarované brusné kotouče používat jen tehdy, není-li jiná možnost [7].



Obr. 4 - Znáornění trajektorie brusného kotouče při výrobě šroubových drážek

Dráhu brusného kotouče lze při broušení šroubových drážek popsat pomocí rovnic (3). Při výpočtu je nutné znát počáteční hodnotu souřadnice axiálního posunutí X_0 a počáteční natočení drážky α_0 , radius r a délku šroubovice L .

$$\begin{aligned} X &= X_0 - t \cdot L \\ Y &= r \cdot \sin\left(\alpha_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot t}{f}\right) \\ Z &= r \cdot \cos\left(\alpha_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot t}{f}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

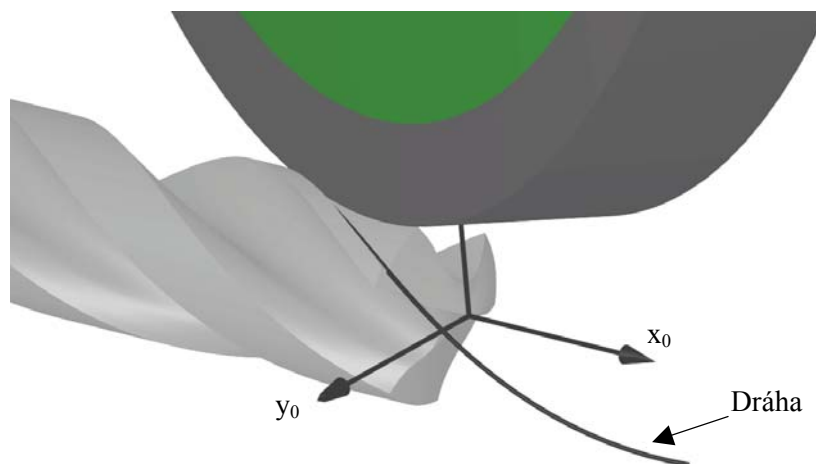
Jednotkové stoupání f může být stanoveno podle rovnice (4) z úhlu stoupání šroubovice.

$$f = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - \omega\right) \quad (4)$$

Vektor osy nástroje je cíleně volen s ohledem na podřezání. Obvykle bývá nastaven o několik stupňů vůči úhlu šroubovice. Během výroby drážek je relativní orientace vektoru osy brusného kotouče vůči dráze konstantní.

3.3. Fazety na obvodu

Fazety na obvodu jsou zbytky původního válcového polotovaru, jehož průměr byl za účelem snížení tření zmenšen. Výroba fazet (viz obr. 5) je obdobná výrobě šroubových drážek, pouze brusný kotouč má obvykle tvar 1A1.

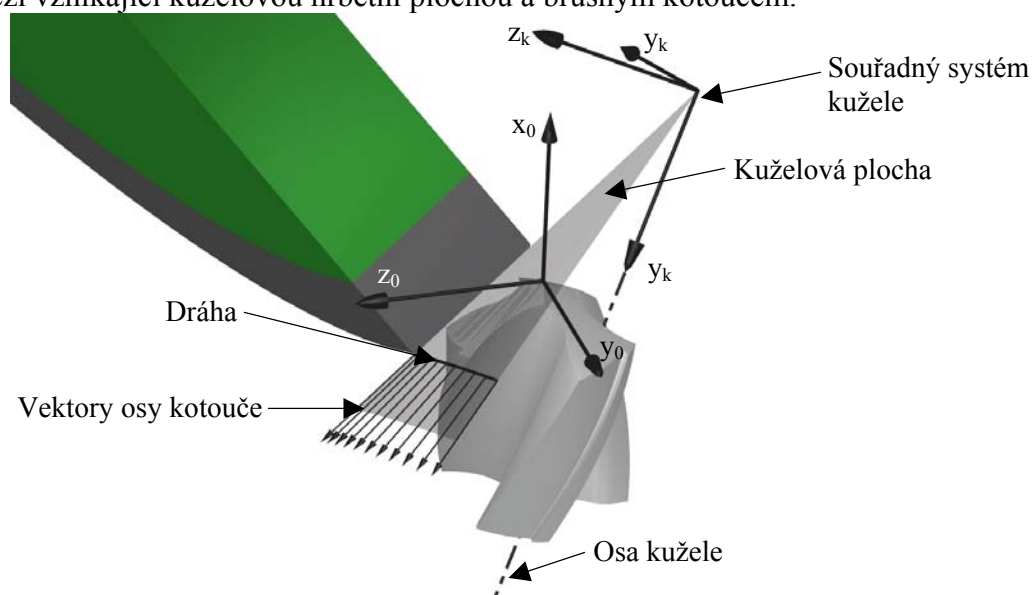


Obr. 5 - Výroba fazet

3.4. Čelní geometrie

Pro tvorbu čelní geometrie existuje několik způsobů, jejichž hlavním cílem je vytvořit takový výbrus, který by nejnáze řezal materiál v oblasti středu vrtáku, kde je minimální řezná rychlost. Mezi základní metody broušení čelní geometrie šroubovitého vrtáku patří využití různých částí rotačních kvadrik (kuželová plocha, hyperboloid, atd.), ale i roviny, případně šroubové plochy [2, 8].

V případě kuželového podbroušení jsou hřebetní plochy na čele zakřiveny ve tvaru kuželové plochy, která vzniká rotací brusného kotouče okolo osy, která je mimoběžná s osou vrtáku. Brusný kotouč musí být nastaven během procesu tak, aby byl zajištěn přímkový kontakt mezi vznikající kuželovou hřebetní plochou a brusným kotoučem.

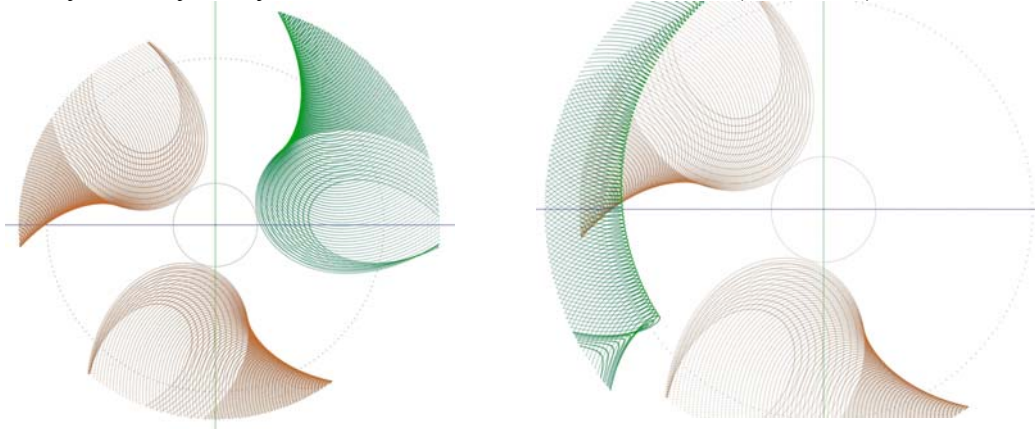


Obr. 6 - Kuželové podbroušení

Pro matematický popis trajektorie je výhodné zavést souřadný systém kužele, jehož jedna osa, například y_k , bude identická s jeho rotační osou (viz obr. 6). V tomto souřadném systému je možné určit souřadnice programovaného bodu brusného kotouče a komponenty vektoru jeho osy. Postupnou rotací souřadnic programovaného bodu brusného kotouče okolo osy y_k o patřičný úhel je možné vygenerovat jednotlivé body dráhy brusného kotouče spolu se směry jeho osy.

4. Simulace a experimentální ověření

Navržený matematický popis drah brusného kotouče při výrobě tříbřitého šroubovitého vrtáku byl experimentálně ověřen na pětiosé CNC nástrojařské brusce Walter Helitronic. Během volby jednotlivých geometrických parametrů, kterými je ovlivňován tvar vybroušené geometrie, bylo nezbytné využívat simulaci odebrání materiálu (viz obr. 7).



Obr. 7 - Simulace úběru materiálu (vlevo šroubovitá drážka, vpravo fazeta na obvodě)

Po nastavení jednotlivých parametrů byla provedena výroba vrtáku o průměru 12 mm do celokarbidové (K20) tyče (viz obr. 8). Pro výrobu byly použity dva brusné kotouče. Tvar 1A1 pro přípravu polotovaru, broušení fazet na obvodě a kuželové podbroušení a tvar 1V1 pro broušení šroubovitých drážek pro odvod třísek.



Obr. 8 - Vybroušené šroubovité drážky spolu s fazetami

5. Závěr

V příspěvku byl navržen matematický popis drah brusného kotouče pro výrobu šroubovitého tříbřitého vrtáku, který využívá k popisu drah souřadné systémy. Popis trajektorie pomocí pohybu zavedených souřadných systémů zjednodušuje komplikované prostorové pohyby, protože umožňuje rozklad sdruženého pohybu do jednotlivých základních pohybů, které mohou být snáze popsány a více odpovídají kinematice stroje. Vybroušením požadované geometrie na nástrojařské brusce Walter Helitronic byla ověřena správnost navržených NC programů.

Literatura

- [1] WULF, Herbert. *Werkzeugschleifen - Aspekte der täglichen Praxis*. Dortmund: 2. Dortmunder Schleifseminar, Institut für Spanende Formung (ISF), TU Dortmund, 2006.
- [2] HSIEH, Jung-Fa. *Mathematical model for helical drill point*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 45, Issues 7-8, June 2005, Pages 967-977, ISSN 0890-6955.



- [3] HSIEH, Jung-Fa, LIN, Psang Dain. *Production of multi-fluted drills on six-axis CNC tool-grinding machine*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 43, Issue 11, September 2003, Pages 1117-1127, ISSN 0890-6955.
- [4] HSIEH, Jung-Fa. *NC data generation for 6-axis machine tools to produce a helical drill*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 36, Issue 5, March 2008, Pages 535-546.
- [5] VIJAYARAGHAVAN, Athulan, DORNFELD, David. *Automated Drill Modelling for Drill Process Simulation*. Journal of Computing and Information Science and Engineering, Volume 7, Issue 3, 2007, Pages 276-282.
- [6] KO, Sung-Lim, PHAM, Trung-Thanh, KIM, Yong-Hyun. *Visualization process for design and manufacturing of end mills*. Lecture notes in computer science, Volume 3613. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005, Pages 1133-1136.
- [7] REN, Kaichun, NI, Jun. *Analyses of Drill Flute and Cutting Angles*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Volume 15, Issue 8, July 1999, Pages 546-553.
- [8] ZHANG, Wei, WANG, Xianfeng, HE, Fengbao, XIONG, Dilin. *A practical method of modelling and simulation for drill fluting*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 46, Issue 6, May 2006, Pages 667-672, ISSN 0890-6955.

