

## Pětiosé broušení v CAD/CAM systému Cimatron

Karel Janděčka, Prof. Ing. CSc. Katedra technologie obrábění, FST, ZČU v Plzni, Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, ČR, [jandacka@kto.zcu.cz](mailto:jandacka@kto.zcu.cz)

Použití moderní NC technologie v průmyslové praxi je v současné době velice rozšířené. Nasazení a rozvoj použití NC technologií je podmíněno použitím výkonných řezných nástrojů. Vzhledem k nárokům na řezné rychlosti a metody obrábění je nutné tyto nástroje vyrábět a ostřit velmi kvalitně (to pak významně ovlivní užité vlastnosti těchto nástrojů). Důležitou roli u nástrojů hraje jak trvanlivost břitu, přesnost tvaru, jakost funkčních ploch, tak i použitá výrobní technologie. Tato technologie vystupuje do popředí zejména při výrobě a ostření výkonných a tvarově složitých nástrojů. To vyžaduje kromě jiného nasazení kvalitních a výkonných nástrojářských brusek s CNC řízením, které umožňují provádět jak kompletní výrobu nových nástrojů, tak přeostřování nástrojů otupených. Realizace speciálních způsobů ostření vyžaduje tvorbu NC programů ve speciálních softwarech nebo použití CAD/CAM systémů. Zpracování NC programu v CAD/CAM systému vyžaduje použití postprocesoru vytvořeného pro konkrétní stroj a řídicí systém. Následující článek popisuje tvorbu a verifikaci NC technologie (broušení šroubovice šroubovitého vrtáku) a tvorbu NC programu pomocí postprocesoru. Předkládané řešení navazuje na výsledky vyřešené v grantu 101/07/0751.

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

### 1 Úvod

Použití moderních CAD/CAM systémů v oblasti konstruování nástrojů umožnilo je konstruovat v podstatě bez ohledu na jejich geometrickou složitost. CAD/CAM systémy umožňují vytvořit prostorové modely tvořené i složitými obecnými plochami. Jednou z oblastí modelování složitých tvarů obráběcího nástroje je aplikace obalových ploch (např. při modelování vrtáků a fréz). Významným problémem při výrobě nástrojů je výroba drážek a vodících fasetek brusným kotoučem tak, aby výsledný tvar z výroby se pokud možno shodoval s navrženým (modelovaným) tvarem. Východiskem pro řešení tohoto problému mohou být právě obalové plochy obecných těles (tvarová fréza, brousící kotouč), které se pohybují po prostorových řídicích křivkách (např. šroubovice). Tato metoda principiálně vychází ze „simulace“ vlastního procesu výroby a ostření řezných nástrojů. Aplikací množinových operací vlastních moderním CAD/CAM systémům (tj. logickým sčítáním a odečítáním těles tvořených (resp. ohraničených) těmito obalovými plochami s modelem polotovaru) vzniknou zmíněné části řezného nástroje, v našem případě např. vrtáku. Dále lze v CAD/CAM systémech provádět pevnostní a teplotní analýzy a to vše je velkým přínosem při konstruování a zpracování technologie tvarových nástrojů. Modely takto vytvořené lze exportovat pomocí přenosových formátů typu IGES, VDAFS apod. do jiných systémů [12]. Proto mají CAD/CAM systémy v konstrukci řezných nástrojů důležité místo. Technologické operace a funkce v oblasti broušení a ostření řezných nástrojů a příprava NC programů jsou však na rozdíl od ostatních způsobů obrábění (frézování, soustružení) v CAD/CAM systémech málo podporovány. Proto je návrh technologie – dráhy brousícího kotouče na základě prostorového modelu obrobku (i když kinematika broušení je velmi podobná kinematice frézování) v CAD/CAM systému problematický. Další problémovou oblastí je vygenerování NC programu pomocí příslušného postprocesoru protože je nutné zohlednit řídicí systém a kinematiku konkrétní CNC brusky. V rámci řešení grantu GAČR 101/07/0751 byla daná problematika zkoumána v širších souvislostech včetně využití aplikace obalových ploch při řešení. Klíčo-

vým přístupem je využití matematických modelů ekvidistantních ploch a křivek a v rámci těchto modelů generování matematických popisů požadovaných drah nástroje. Toto řešení však přináší s ohledem na parametry technologického procesu resp. jeho kinematických poměrů určité nezanedbatelné problémy. A z toho plynoucí potíže při algoritmicizaci daného úlohy.

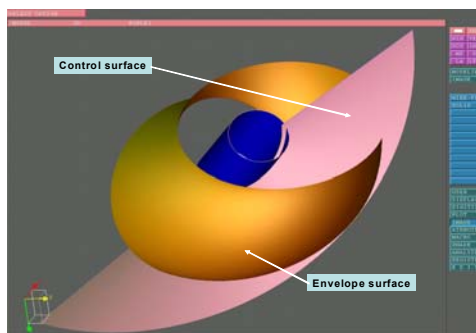


Obr. 1: CNC bruska UW II CNC 5A firmy Saacke.  
Fig. 1: CNC grinding machine UW II CNC 5A Saacke Co..

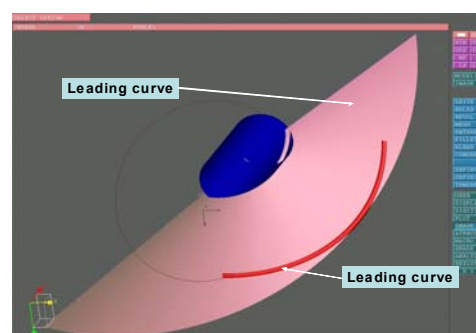
Jak vyplývá z tohoto textu je otázka řešení této problematiky do jisté míry otevřená a způsob, který by dostatečně vyřešil propojení CAD/CAM systémů a řídicích systémů NC brusek [6,7,8,9] je předmětem výzkumu a vývoje na řadě pracovišť.

## 2 Návrh vodící křivky a řídicího povrchu v modulu MODELING CAD/CAM systému Cimatron

Kinematika brusného procesu je založena na výše zmíněných teoretických požadavcích a možnostech technologické funkce **CURVE MX** CAD/CAM systému Cimatron. Byla tedy modelována k obrábění křivce řídicí křivka a plocha, která určuje orientaci osy nástroje v prostoru viz. obrázek Obr.2 .



Obr. 2 Vstupní geometrická data vytvořená na základě funkčních možností CAD/CAM systému Cimatron  
Fig. 2 The input of geometrical data created in accordance with functional facilities of CAD/CAM system Cimatron.



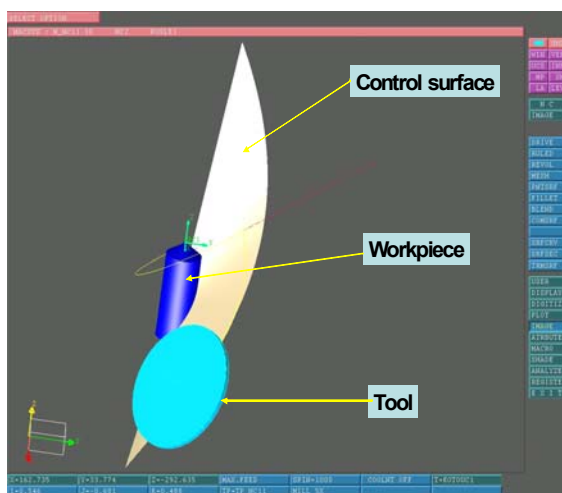
Obr. 3 Důležité objekty vytvořené v modulu Modelling CAD/CAM systému Cimatron  
Fig. 3 Important entities - modelling CAD/CAM system Cimatron.

Tento obrázek ozřejmuje metodu pomocí které lze získat požadované entity (řídicí povrch a vodící křivku). Průsečík obalové plochy a řídicího povrchu pak tvoří vodící křivku (obr.3). Z textu i z obrázku vyplývá že výsledné řešení je geometricky komplikované a předložené výsledky v současné době reprezentují pouze částečné řešení problému. Ve spolupráci s KMA

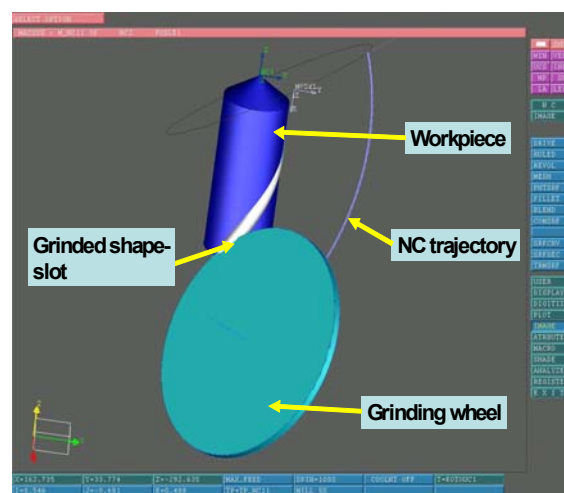
FAV je řešení dále verifikováno a další výsledky budou prezentovány následně. Současný stav řešení je klíčový a úspěšné výsledky limitují další rozvoj metody.

### 3 Broušení v NC modulu CAD/CAM systému Cimatron

Navržený řídicí povrch a vodicí křivka jsou vstupní informace o geometrii do NC modulu CAD/CAM systému. Další důležitou informací pro zpracování NC technologie je definice nulového bodu. Nulový bod byl definován v modulu Modelling pomocí uživatelského souřadného systému NC - user coordinate system (UCS). Dalším krokem je aplikace technologické funkce *CURVE MX*. Technologie je navržena pro dané geometrické a technologické parametry (průměr polotovaru, průměr nástroje a parametry šroubovice - helix parameters). Tato geometrie je řešitelná, je popsána na obr. 4 - 5. Jiné parametry a geometrie mohou přinést při řešení problému. Tato metoda je uživatelsky přátelská přesto, že řešení je ve 3D matematicky komplikované. Tato metoda byla navržena a rozvíjena v rámci grantového projektu GAČR 101-07-751.



Obr. 4 Pozice nástroje při broušení v NC modulu CAD/CAM systému Cimatron  
Fig. 4 The grinding tool position – grinding process, NC module of the CAD/CAM system Cimatron.

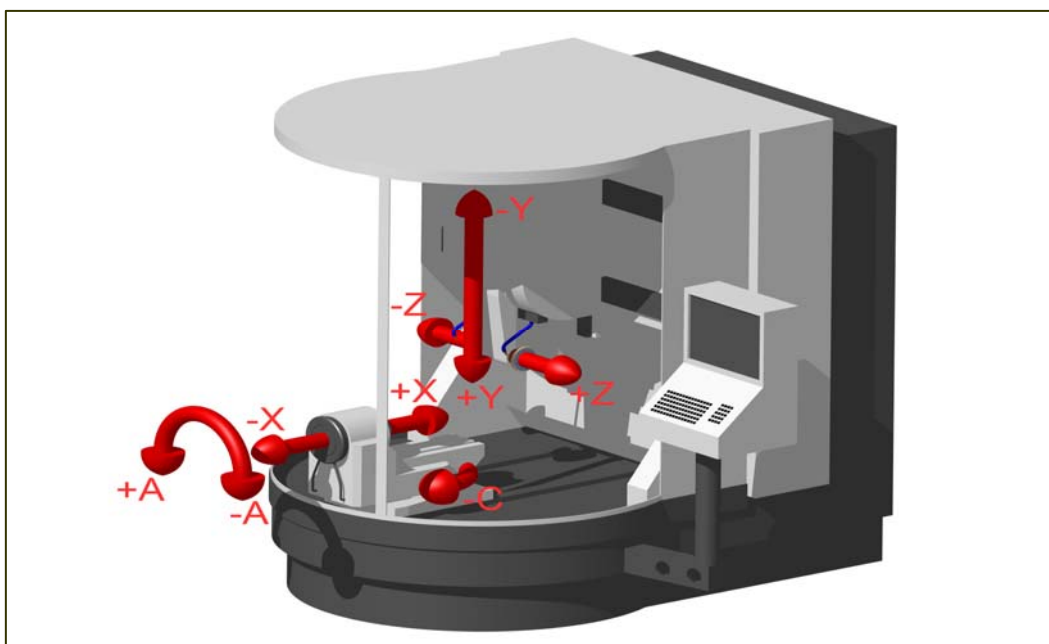


Obr. 5 Broušení v NC modulu CAD/CAM systému Cimatron  
Fig. 5 The grinding process, NC module of the CAD/CAM system Cimatron.

Obrázek 5 zobrazuje reálnou situaci a popisuje výsledný tvar broušené drážky na obrobku. Dalším krokem v procesu návrhu aparátu volného programování musí být ověření výsledků (NC technologie a NC programu) v praxi. Některé výsledky mohou být ověřeny pomocí simulace v simulátoru CAD/CAM systému nebo simulátoru CNC stroje. Některé výsledky lze verifikovat pomocí kontroly v CAD/CAM systému pomocí měření a verifikace jak geometrie tak technologie. Především praktické ověření výsledků však může přinést definitivní stanoviska k řešenému problému.

### 4 Výpočet transformace bodu pro pěti osé řízení

Programování více osého obrábění vyžaduje použití vhodného matematického aparátu, který volíme podle konkrétního technického problému. Více osé obrábění je používáno zpravidla u složitých prostorových problémů jako jsou prostorové plochy a křivky neopracovatelné v tříosém režimu (konkrétně tvary obráběcích nástrojů, lopatky parních a spalovacích turbin, radiální a axiální kompresory, části tvarů automobilových karoserií a části leteckých i lodních konstrukcí). Tento problém



Obr. 6 Schéma NC brusky Walter Helitronic.  
Fig. 6 NC grinding machine Walter Helitronic scheme.

lze zpracovávat buď pomocí speciálních metod – jednoúčelových řešení nebo pomocí CAD/CAM systémů. Obě metody zpravidla generují pozici nulového bodu nástroje ( $X_N, Y_N, Z_N$ ) v souřadném systému obrobku a jednotkový vektor osy nástroje  $N$  ( $I, J, K$ ). Z těchto informací se pak mohou vypočítat potřebné souřadnice (např. pro návrh postprocesoru do CAD/CAM systému). Při řešení výsledné transformace je důležité, podle jakých os na konkrétním stroji rotace probíhá a zda-li rotuje obrobek nebo nástroj. Následuje definice transformačních matic pro rotaci kolem jednotlivých souřadných os ( $X, Y, Z$ ):

Rotace kolem osy  $X$ :

$$\begin{vmatrix} 1; & 0; & 0; \\ 0; & \cos(A); & -\sin(A); \\ 0; & \sin(A); & \cos(A); \end{vmatrix} \quad (3.1.1)$$

Rotace kolem osy  $Y$ :

$$\begin{vmatrix} \cos(A); & 0; & -\sin(A); \\ 0; & 1; & 0; \\ \sin(A); & 0; & \cos(A); \end{vmatrix} \quad (3.1.2)$$

Rotace kolem osy  $Z$ :

$$\begin{vmatrix} \cos(A); & \sin(A); & 0; \\ -\sin(A); & \cos(A); & 0; \\ 0; & 0; & 1; \end{vmatrix} \quad (3.1.3)$$

Řešení transformace pro CNC stroj s následující kinematikou: řízená poloha nástroje ve třech osách, rotační osy obrobku jsou rotace kolem osy paralelní s  $X$  – ovou osou – souřadnice  $A$  a rotace kolem osy paralelní s  $Z$  – ovou osou – souřadnice  $C$ .

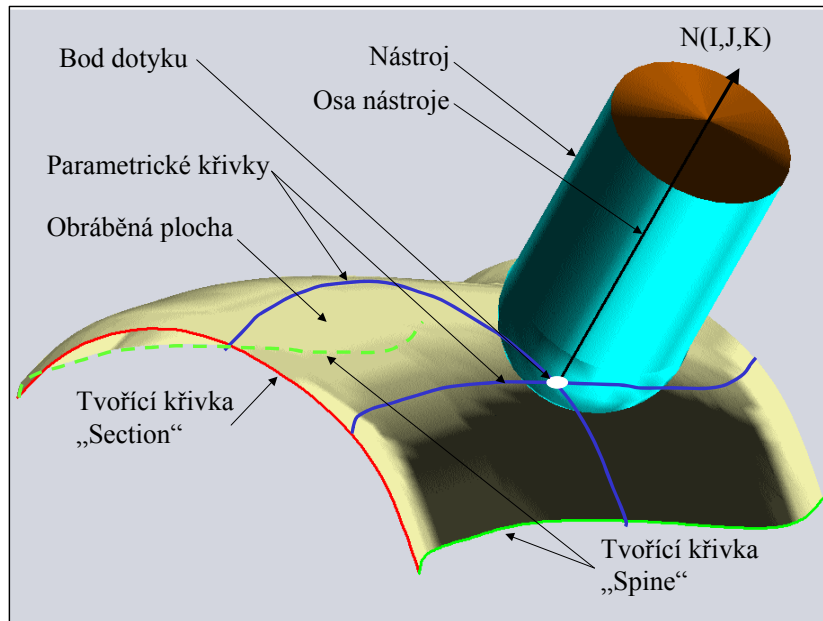
#### Výpočet transformace bodu na základě úhlů $A$ a $C$ pro pětiosé řízení:

Při výpočtu vycházíme ze směru normály plochy v daném bodě určující polohu osy nástroje dané jednotkovým vektorem  $N$  ( $I, J, K$ ) viz. obrázek 7. Obrázek zobrazuje také pro informaci

základní parametry plochy (tvořící křivky (spine, section) a parametrické křivky v kontaktním bodě nástroje s plochou). Je zobrazen také nástroj v normálové poloze a poloha jednotkového vektoru definujícího polohu osy nástroje v prostoru. Na základě této informace můžeme vypočítat úhly rotace kolem příslušných os. Nejprve se vypočte úhel C a potom úhel A.

$C = \gamma = \arctg(I/K)$  – úhel rotace kolem osy Z

$A = \alpha = \arctg(J/K)$  – úhel rotace kolem osy X



Obr. 7 Poloha nástroje při pěti osém obrábění – směr normály k ploše je určen jednotkovým vektorem N (I,J,K).  
Fig. 7 Tool position by five axes machining – vector of tool axis direction N (I,J,K).

### Výsledná transformace (transformační matice TA):

Transformační matice pro komplexní transformaci v prostoru se získá jako součin transformačních matic (rotací kolem) osy X a Z.

$$\begin{array}{c} \mathbf{X - matice} \\ \left| \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & \sin A \\ 0 & -\sin A & \cos A \end{array} \right| \end{array} \times \begin{array}{c} \mathbf{Z - matice} \\ \left| \begin{array}{ccc} \cos A & \sin A & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \end{array}$$

Koeficienty výsledné transformační matice se získáme vynásobením podle principu:

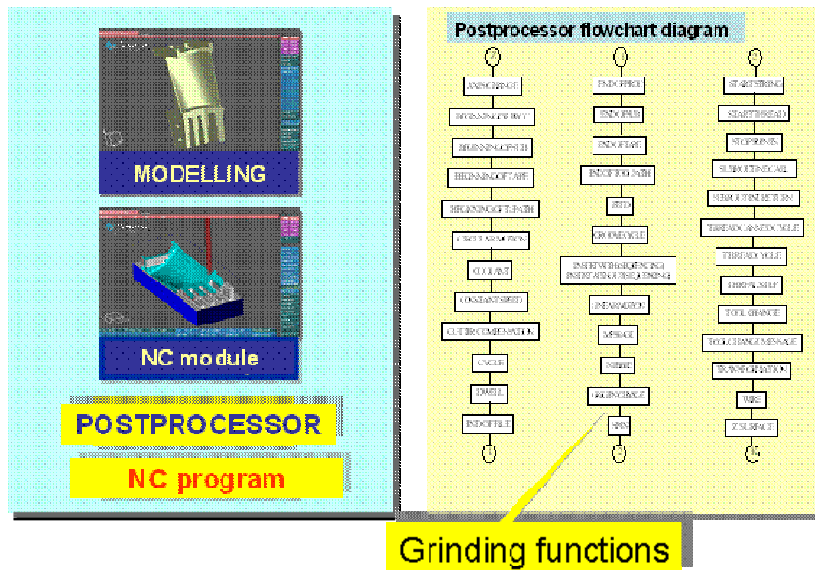
$$\begin{aligned} \mathbf{TA}_{11} &= \mathbf{X}_{11} * \mathbf{Z}_{11} + \mathbf{X}_{12} * \mathbf{Z}_{21} + \mathbf{X}_{13} * \mathbf{Z}_{31} \\ \mathbf{TA}_{12} &= \mathbf{X}_{11} * \mathbf{Z}_{12} + \mathbf{X}_{12} * \mathbf{Z}_{22} + \mathbf{X}_{13} * \mathbf{Z}_{32} \\ &\vdots \\ \mathbf{TA}_{33} &= \mathbf{X}_{13} * \mathbf{Z}_{31} + \mathbf{X}_{23} * \mathbf{Z}_{23} + \mathbf{X}_{33} * \mathbf{Z}_{33} \end{aligned}$$

**Výsledná hodnota transformovaných souřadnic – programovaných souřadnic do NC programu:**

$$\begin{aligned} X_{TR} &= X_N * \mathbf{TA}_{11} + Y_N * \mathbf{TA}_{12} + Z_N * \mathbf{TA}_{13} \\ Y_{TR} &= X_N * \mathbf{TA}_{21} + Y_N * \mathbf{TA}_{22} + Z_N * \mathbf{TA}_{23} \\ Z_{TR} &= X_N * \mathbf{TA}_{31} + Y_N * \mathbf{TA}_{32} + Z_N * \mathbf{TA}_{33} \end{aligned}$$

## 5 Generování NC programu v CAD/CAM systému Cimatron

Na základě vytvořené technologie v NC modulu CAD/CAM systému Cimatron je pro generování NC programu nutno vytvořit a aplikovat odpovídající postprocesor. Tento postprocesor byl vytvořen pro stroj **WALTER HELITRONIC** s řídicím systémem **WALTER** a pěti řízenými osami (viz. obrázek 6) [14]. Současný stav vývoje postprocesoru reprezentuje první verzi, která je odladována ve spolupráci s UNI Magdeburg. UNI Magdeburg má také k dispozici pět os brusku **WALTER HELITRONIC** a její počítačový simulátor. Obrázek 8 zobrazuje tok informací v systému zpracování NC programu v CAD/CAM systému Cimatron.



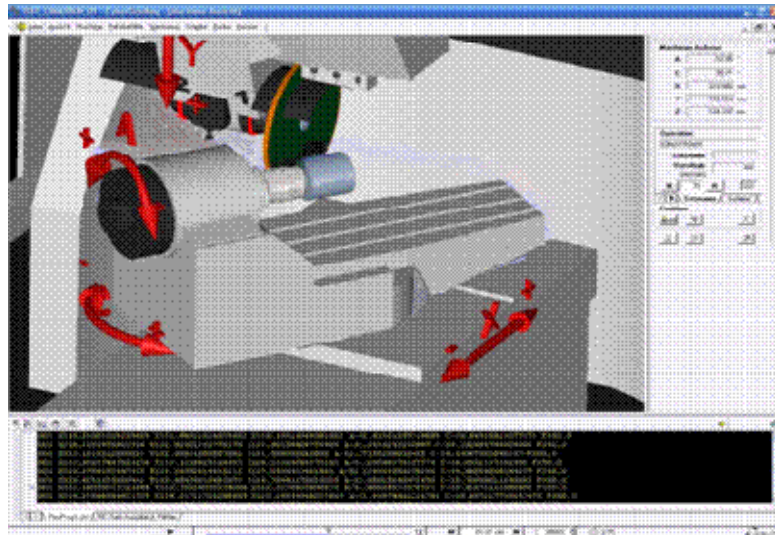
Obr. 8 Pozice postprocesoru v CAD/CAM systému (vlevo) a bloková struktura postprocesoru (vpravo)  
Fig. 8 Postprocessor position in CAD/CAM system (left) postprocessor structure (right)

```
*POSTPROCESSOR "WALTER" 5X
*for machine "WALTER CIBERGRINDING"
*Rotace kolem X a Y eklartion for 4axis change
FORMAT (COORDINATES) X_CENTER X_ENDPT
X_HOME ;
FORMAT (COORDINATES) Y_CENTER Y_ENDPT
Y_HOME ;
FORMAT (COORDINATES) Z_CENTER Z_ENDPT
Z_HOME ;
FORMAT (COORDINATES) ZCENTER ZPOS ZOLD
ZOUT ZOUTJ;
FORMAT (COORDINATES) XMACH1 YMACH1
ZMACH1 ;
.
FORMAT (USER_10) X_MACH Y_MACH Z_MACH ;
FORMAT (USER_10) I_ORIGIN J_ORIGIN K_ORIGIN
;
FORMAT (USER_10) COSX SINX COSY SINY ;
FORMAT (USER_10) DELTAORIGINX
DELTAORIGINY DELTAORIGINZ ;
FORMAT (USER_10) DELTAFIRSTX DELTAFIRSTY
DELTAFIRSTZ ;
FORMAT (USER_10) XMACH3 YMACH3 ZMACH3 ;
FORMAT (USER_10) TRANS_MATX TRANS_MATY
TRANS_MATZ ;
FORMAT (USER_3) STJ;
```

```
.
FORMAT (COORDINATES) XfirstOrigin YfirstOrigin
ZfirstOrigin ;
NEW_LINE_IS $ ;
IF_SET (FlagSeq_EQ_NO)
OUTPUT \J ;
IF_SET (FlagSub_EQ_NO)
OUTPUT \J "N" Seq ;
Seq = Seq + SeqIncr ;
ELSE
OUTPUT \J "N" SubSeq ;
SubSeq = SubSeq + SeqIncr ;
END_IF ;
END_IF ;
* OUTPUT \J "N" SEQ ;
*** part of POSTPROCESSOR whitch initialized data for
*** modul "tool table TOOL-1"
BEGINNING OF TLPATH:
IF_SET (tyofm_EQ "errdate")
OUTPUT \J " M00 (Error: ID - Contact please GRALL
tel. 019/274383 !)" ;
PRINT \J " Error: ID - Contact please GRALL tel.
019/274383 !" ;
END_IF ;
```

Obr. 9 Část výpisu zdrojového kódu postprocesoru **WALTER 5X - V1**.  
Fig. 9 The part of the source code of the postprocessor **WALTER 5X - V1**.

Pro ladění postprocesoru jsou využívána CL data generovaná NC modulem CAD/CAM systému Cimatron. Řešení směřuje k odlaďování postprocesoru a k zvyšování jeho uživatelského komfortu. První výsledky NC programu a simulace tohoto programu v systému **CYBERGRINDING** jsou na následujících obrázcích (obr. 9 - 10).



Obr. 10 Simulace procesu broušení v systému **CYBERGRINDING**  
 Fig. 10 Grinding process simulation in system **CYBERGRINDING**

## 6 Závěr

Popsané řešení shrnuje současné výsledky při stanovení parametrů technologického procesu výroby tvarové plochy (výroba a broušení šroubové drážky na vrtáku či fríze) tak, aby bylo dosaženo jejího tvaru pomocí definovaných geometrických parametrů brusného kotouče s jednoduchým tvarem. Metoda směřuje v dalších krocích k aplikaci CL dat při vývoji kvalitnějších postprocesorů pro NC brusku Walter Helitronic a k tvorbě kvalitnějších NC programů. Řešení pojímá problematiku pokud možno komplexně. Otázkou je, který z navržených postupů je prakticky vhodnější (využit metody obalové plochy či jiný přístup). Řešení navazuje na výsledky získané v rámci řešení grantu GAČR 101/07/0751.

## Literatura

- [1] PŘIKRYL,Z.: "Teorie obrábění", SNTL/ALFA Praha, 1975
- [2] ŠVEC,S.: "Rezné nástroje", SNTL Praha, 1968
- [3] JAROMÍR,J.-MAZANEC,H.: "Diamantové a CBN nástroje pro průmyslové použití", Plzeň, LAIWA PRESS 1993.
- [4] KÖNIG,W.-KLOCKE,F.: "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, ÚTRJ, 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<sup>IT</sup>
- [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 brousících kotoučů pro vysokovýkonné broušení.“, In: Nástroje 99, Zlín, 1999, p. 96-102, ISBN 80-214-1426-X
- [21] JANDEČKA, K., ČESÁNEK, J., KAPINUS, V., DVORÁK, P., SOVA, F.: Přehled současného Broušení tvarově složitějších nástrojů. *Výzkumná zpráva KTO -1/05, ZČU v Plzni, Plzeň 2005.* 48 stran.
- [22] VRABEC, M., MÁDL, J. „NC programování v obrábění“, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 92 s. ISBN 80-01-03045-8.

