



Moderná výroba

Ivan Baránek

Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Ústav výrobných technológií, Jána Bottu 25, 917 24, Trnava, E - mail: ivan.baranek@stuba.sk

Abstrakt: Príspevok je zameraný na analýzu moderných metód obrábania kovov. Medzi najdôležitejšie trendy rozvoja obrábania v súčasnosti patria vysokorýchlostné obrábanie, suché obrábanie a tvrdé obrábanie. Príspevok analyzuje vývojové tendencie na medzinárodnom odbytovom trhu a ich účinky na výrobné procesy. Ďalej analyzuje ekonomické a technické požiadavky na koncepčné riešenie moderných obrábacích strojov a nástrojov. V súvislosti s použitím tvarových plôch v moderných strojárskych výrobkoch je dôležitou oblasťou výroba týchto plôch. Tu významne pomáha počítačová podpora v celom reťazci, od vývoja výrobku, po jeho výrobu a kontrolu. Pre výskum a vzdelávanie v tejto oblasti bolo vybudované Centrum excelentnosti 5-osového obrábania na Materiálovo-technologickej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Trnave. Príspevok prezentuje jeho vybavenosť a možnosti využitia v oblasti výskumu, vzdelávania, poradenstva a výroby. Citované sú niektoré publikácie obsahujúce významné výsledky dosiahnuté v centre.

Kľúčové slová: Progresívne technológie, voľné tvarové plochy, 5-osové obrábanie, počítačová podpora konštrukcie a výroby

1 Vývojové smery v technológii obrábania

Technológia obrábania v dvadsiatom storočí zaznamenala významný rozvoj. Dôležitú (ak nie rozhodujúcu) úlohu pri tom zohrali rezné materiály.

Zlepšovanie vlastností rezných materiálov umožnilo zvýšiť rezné podmienky a tým výrazne skrátiť čas na výrobu súčiastok a zhoskodať výrobu. Nezanedbateľné sú i prínosy v oblasti zlepšovania kvality obrobených povrchov.

Súbežne s reznými materiálmi sa zlepšovala konštrukcia rezných nástrojov. Rezné materiály a nástroje potom vplývali na zmeny ostatných prvkov sústavy (stroj – nástroj - obrobok – prípravok) i na zmeny v príprave výroby, v manažérstve výroby a pod.

Vývoj v 21. storočí pokračuje. Výrazne sa presadzuje počítačová podpora výrobných technológií a to v celom reťazci od vývoja nových produktov, cez ich racionálnu výrobu, distribúciu, využitie až po ich ekologickú likvidáciu.

Konkurencia, v ktorej sa priemyselné podniky nachádzajú, sa stále viac vyostruje. Externé prostredie podnikov sa mení v dôsledku globálnych politických pohybov aj spoločenských pohybov v jednotlivých krajinách. Rastie počet krajín, ktoré sa stávajú priemyselne vyspelými, schopnými ponúkať na svetových trhoch kvalitné a lacné výrobky. Zmenil sa postoj zákazníkov, ktorí si žiadajú rozmanitosť výrobkov, dobre zabezpečený servis a pod.

Menia sa i postoje k zaťaženiu životného prostredia podnikmi. Narastá ekologické povedomie obyvateľstva. To všetko ovplyvňuje podnikateľské rozhodovanie. Podniky sú nútené skracať inovačné cykly výrobkov, riešiť výrobu v menších dávkach a v krátkych reakčných časoch.

Uvedené požiadavky sa prenášajú i do oblasti výrobných technológií.

1.1 HSC technológie

Hlavným súčasným vývojovým trendom v obrábaní kovov sú rezné procesy, nástroje a stroje pre vysokorýchlostné obrábanie (HSC).

Zjednodušene HSC technológie môžeme definovať asi takto [2]:

Vysokorýchlostné obrábanie sleduje zvýšenie úberu materiálu, kvality obrobeného povrchu a trvanlivosti nástroja podstatným zvýšením reznej rýchlosti pri zníženom priereze odoberanej vrstvy a zníženej reznej sile.

Vysoká relatívna rýchlosť triesky vzhľadom k ploche čela rezného klina nástroja spolu s kvalitou reznej hrany zvyšuje podiel tepla z rezného procesu, ktoré odchádza s trieskou, znižuje tepelné a mechanické namáhanie nástroja a predlžuje jeho trvanlivosť. Redukcia tepelného toku do nástroja, rámu stroja a do obrobku, za súčasného zníženia rezných síl, prináša zvýšenie presnosti obrobku a kvality jeho povrchu.

Suché obrábanie sleduje vylúčenie alebo minimalizáciu použitia rezných kvapalín s redukciami nákladov na ich obstarávanie, údržbu a likvidáciu.

Tvrde obrábanie znamená obrábanie kalených ocelí a iných veľmi tvrdých materiálov nástrojmi s definovanou geometriou rezného klina nástroja ako náhrada za technológiu brúsenia.

Uvedené technológie sú realizovateľné predovšetkým vďaka použitiu nových rezných materiálov. Medzi najviac prezentované v tejto oblasti patria:

- tvrdé povlaky na rôznych druhoch podkladových rezných materiálov,
- jemnozrnné a ultrajemnozrnné spekané karbidy,

- cermety,
- rezná keramika,
- veľmi tvrdé materiály (diamant, polykryštalický kubický nitrid bóru).

Pre vysokorýchlostné obrábanie sa používajú predovšetkým polykryštalický diamant (obrábanie neželezných kovov), kubický nitrid bóru (kalené ocele a liatiny), cermety (ocel) a mikrovrstvené spekané karbidy (pre všeobecné použitie).

Pre suché obrábanie sú vhodné rezné materiály schopné pracovať za vysokých teplôt, ktorými sú predovšetkým keramické rezné materiály, kubický nitrid bóru a jemnozrnné spekané karbidy s povlakmi.

Pre tvrdé obrábanie sa osvedčili predovšetkým polykryštalický nitrid bóru a ultrajemné povlakované spekané karbidy.

1.2 HSC - obrábacie stroje

Zvyšovanie rezných rýchlostí vedie k zvyšovaniu požiadaviek na obrábacie stroje. Obrábací stroj budúcnosti musí byť veľmi dynamický systém pracujúci rýchlo a spoľahlivo. Požiadavky na vysokú rýchlosť obrábania s krátkymi výrobnými časmi a pri vysokej kvalite výroby môžu splniť len takto konštruované obrábacie stroje. Súčasný vývoj obrábacích strojov charakterizujú ako optimalizácia strojov s karteziánskymi štruktúrami, tak strojov s paralelnými a hybridnými štruktúrami. Obidva tieto smery vývoja (t.j. optimalizácia karteziánskych strojov i vývoj strojov s paralelnými štruktúrami) sú spojené s použitím optimalizovaných komponentov. Inteligentné obrábacie stroje predstavujú aplikáciu inteligentných funkcií: redukcia vibrácií, kompenzácia tepelnej rozťažnosti, prevencia kolízie stroja a verbálny systém príkazov [18].

1.3 Rezné nástroje

Aktívnym činiteľom v sústave obrábania je rezný nástroj:

Z uvedených zmien v technológii obrábania a v obrábacích strojoch vznikajú kvalitatívne vyššie nároky na rezné nástroje.

V súvislosti s rastom výkonov obrábacích strojov sa požadujú:

- zvýšená tuhosť,
- optimálna geometria rezného klina,
- optimálna trvanlivosť

Rast automatizácie si vyžaduje:

- rovnomernú kvalitu rezných nástrojov,
- zoraditeľnosť mimo stroj,
- jednoduchú údržbu až po možnosť úplne vylúčiť ostrenie nástrojov (vymeniteľné rezné platničky),
- dokonalú tvorbu, delenie a odvod triesok (tvarovače triesok).

Zameranie súčasného technického rozvoja rezných nástrojov je preto na:

- zlepšenie použitých materiálov,
- riešenie optimálnej geometrie rezného klina, vrátane utvárania a odvodu triesok z miesta obrábania,
- zvýšenie tuhosti konštrukcie nástrojov,
- stavebnicové konštrukčné systémy,
- možnosť predzariadenia nástrojov na požadované rozmery,
- stav povrchových vrstiev materiálu rezného nástroja – brúsenie, ostrenie, povlakovanie.

2 Centrum excelentnosti 5- osového obrábania (CE5AM).

Vychádzajúc z uvedených trendov v technológii obrábania buduje Materiálovotechnologická fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave so sídlom v Trnave (MTF STU) laboratórnu základňu pre výskum, vzdelávanie a spoluprácu s praxou. V súčasnosti je v tejto oblasti najvýznamnejšie Centrum excelentnosti 5- osového obrábania (CE5AM). Centrum podporuje rozhodujúce technológie 5 – osového obrábania vrátane tvarových plôch.

Obrábanie tvarových plôch hrá dôležitú úlohu v procese uvádzania nových výrobkov na trh. Veľký rad produktov, od automobilovej karosérie po televízne konzoly, spolieha na túto technológiu pri výrobe zápusťok a foriem používaných k ich výrobe[5].

Pre výrobu týchto plôch sa používajú CNC obrábacie stroje, vrátane 5-osových strojov. Pritom širokú škálu nových aktivít je potrebné urobiť v strojárskych podnikoch. Potrebné sú aj zmeny výučby na stredných a vysokých školách. Zmeny zahŕňajú obsah vzdelávania a technické vybavenie, prípravu učiteľov, vrátane ich výskumnej činnosti a ich prípravy počas doktorandského štúdia.

Obrábanie tvarových plôch v piatich osiach ponúka mnoho výhod oproti trojosovému obrábaniu, vrátane vyšších rýchlostí úberu materiálu, lepšiu povrchovú úpravu a odstránenie ručného opracovania. Existujú dva hlavné dôvody pre 5-tich osé stroje: efektívnosť a dostupnosť [5].

Centrum excelentnosti 5-osového obrábania (CE5AM) na Materiálovotechnologickej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave so sídlom v Trnave (MTF STU) podporuje základné technológie obrábania v 5 osiach [6]. Vybavenie laboratória predstavuje Hi - technológie pre výrobu tvarových plôch.

CE5AM je vybavené týmito obrábacími strojmi vyrábanými firmou DMG [7]:

- CTX alpha 500 (CNC univerzálny sústruh s protivretenom a osou y)
- DMU 85 Monoblock (CNC frézka univerzálna)
- HSC 105 linear (vysokootáčkové centrum)
- ULTRASONIC 20 linear
- LASERTEC 80 Shape.

Oblasť výskumu predstavuje zameranie na:

- výskum všetkých spôsobov stratégií 5-osového obrábania nastavením prerušovaného a kontinuálneho CNC frézovania tvarových plôch
- výskum HSC CNC frézovania a sústruženia
- výskum CNC ultrazvukového a 5-osového obrábania
- výskum obrábania tzv. ťažkoobrobiteľných materiálov
- výskum CNC laserového obrábania
- výskum využívania CA technológií v reťazci CAD/CAM/CNC/CAQ
- výskum opotrebenia nástrojov pri obrábaní
- výskum parametrov a vlastností rezných kvapalín
- výskum v oblasti rezných kvapalín, tzv. MQL, DRY machining.

Výsledky výskumu sú publikované v monografiách, článkoch a sú tiež základom pre diplomové práce a dizertačné práce (napríklad [10], [11], [12]).

Nástrojový logistický systém v CE5AM podporuje prácu uvedených strojov.

Tento bol vybudovaný na základe analýzy materiálového a informačného toku potrebného pre nástrojové vybavenie obrábacích strojov v centre [9]. Systém bol následne doplnený o CNC brúsku, ktorú predstavuje nástrojová brúska WZS 60 Reinecker [8].

Rezný nástroj môže kvalitne a hospodárne pracovať len dovedy, kým má rezný klin vhodný tvar, daný jeho geometriou. Pri práci rezný klin stráca pôvodný geometrický tvar – opotrebováva sa. Obnova rezných schopností nástrojov je spojená s radom činností, ktorých jadro predstavuje ostrenie nástrojov.

Riešili sme preto obnovu vlastností rezných nástrojov v podmienkach CE5AM s využitím stroja WZS 60 Reinecker. Na WZS 60 REINECKER sme preostrieli frézu zo spekaného karbidu a preostrenú frézu (obr.1) sme porovnali pri obrábaní s pôvodnou frézou. Nová aj preostrená fréza pracovali na porovnateľnej úrovni až na trvanlivosť, ktorá bola u preostreného, ale znovu nenapovlakovaného nástroja štyrikrát menšia [14].



Obr. 1 Zobrazenie frézy po ostrení – naoštrená fréza

Ďalším cieľom výskumu bolo posúdiť kvalitu obnovy pracovných vlastností nástrojov v praxi. Spoločnosťou TPV - TECHNOLOGY, s.r.o. so sídlom v Dubnici, ktorá sa zaoberá predajom nástrojov na obrábanie a predajom meracej techniky, boli poskytnuté dva typy stopkových nástrojov výrobnej značky KENNAMETAL. Nástroje boli následne použité vo výrobe, kde bol zaznamenaný proces obrábania, odsledovaná trvanlivosť nástroja a overené kritéria opotrebenia nástrojov pre vyradenie z procesu obrábania. Opotrebované nástroje boli odoslané do spoločnosti STATON, s.r.o. so sídlom v Turanoch, kde bola vykonaná obnova rezných vlastností nástrojov.

Opotrebované nástroje mali obnovené rezné vlastnosti podľa nasledujúceho postupu:

- Kontrola opotrebovaného nástroja
- Odpovlakovanie
- Preostrenie na hrubo
- Preostrenie dokončovacie (5-osové CNC ostričky)
- Odmasťovanie
- Pieskovanie/Rektifikácia
- Povlakovanie
- Leštenie
- Výstupná kontrola

Renovované nástroje boli opäť odskúšané v praxi.

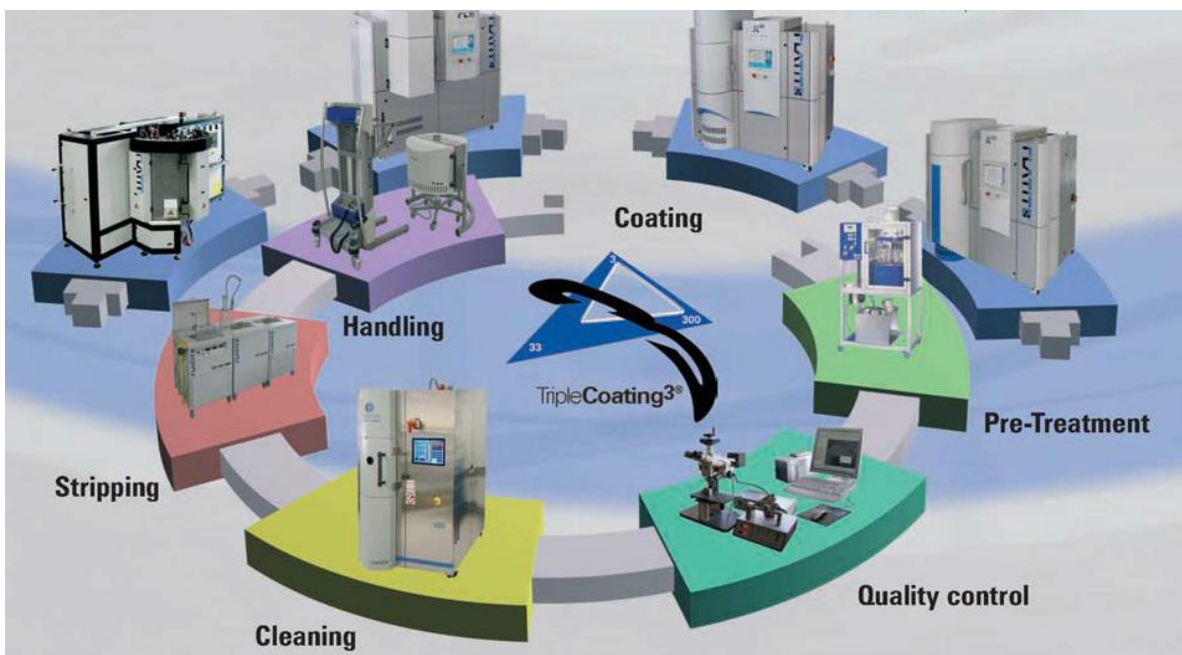
Porovnávali sa teda nové nástroje a kompletne renovované nástroje. Kritéria opotrebovania nástrojov vychádzali z kvality vyrobených plôch. Ukázalo sa, že po renovácii nástrojov zahrňujúcej nielen preostrenie, ale aj odpovlakovanie a nové povlakovanie nástroja, sú výsledky nového a renovovaného nástroja porovnateľné aj z hľadiska trvanlivosti nástroja.

Navrhli sme preto vybudovať kompletnú renováciu nástrojov pre CE5AM založenú na zariadení firmy PLATIT $\pi 80+$ DLC, ktoré MTF STU v Trnave vlastní (obr.2) [15][17].

Súčasnú vybavenie brúsky WZS 60 REINECKER neumožňuje brúsenie na guľato a MTF STU nevlastní brúsku na guľato. Doplnili sme preto predchádzajúce výskumy z tvrdého sústruženia nástrojových ocelí predovšetkým nástrojmi s VRP- PCBN a odskúšali sústruženie spekaných karbidov nástrojmi s PCD[16]. Tvrdé obrábanie nástrojových ocelí sme úspešne zvládli. Sústruženie spekaných karbidov bolo zatiaľ neúspešné. Predpokladáme, že jedným z dôvodov bola malá tuhosť sústavy SNOP a vysoké hádzanie upnutého obrobku vo vretene stroja.

Vzdelávanie v CE5AM je zamerané na:

- vzdelávanie v oblasti NC programovania
- vzdelávanie v oblasti CAD/CAM systémov
- vzdelávanie v oblasti reverse engineering
- organizovanie workshopov
- organizovanie odborných konferencií a seminárov.



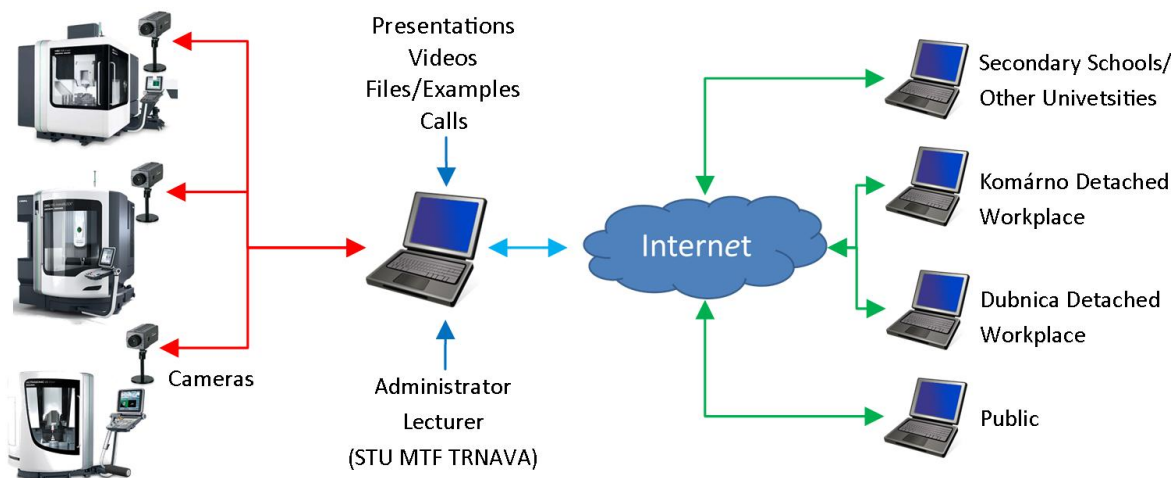
Obr. 2 Kompletné riešenie povlakovania podľa firmy PLATIT [17].

V súčasnosti je riešený aj projekt on-line výučby. Základom dynamického vzdelávania sú v on-line prednášky a skúšanie. V tomto systéme sú dve role: lektor a užívateľia (študenti).

Úlohou lektora je prezentovať tému pomocou prezentácií v Powerpointe na počítači. Úlohou používateľa je pripojiť sa k prezentácii pomocou počítača cez internet. Na konci prezentácie je skúšanie predloženej témy, ktoré sa súčasne vyhodnocuje.

Náš systém je rozšírený o IP kamery. Tieto kamery sú nainštalované v obrábacích strojoch. Sú určené na zachytenie akcie obrábania. Video z IP kamier je možné prenášať pomocou stream funkcie. Táto funkcia je dostupná pre naše detašované oddelenie, verejnosť a ostatné školy (stredné školy a univerzity). Používatelia môžu sledovať rôzne druhy obrábania.

Systém (obr.3) bol s úspechom využitý napríklad pre seminár Špeciálne aplikácie a technológie, ktorý v CE5AM usporiadala MTF STU v spolupráci s firmami DMG MORI SEIKI Czech , Sandvik, BLUM - Novotest, Delcam CAD/CAM a Deutsche Leasing, kde okrem odborného výkladu príslušných technológií sa uskutočnili fyzické ukážky obrábania na strojoch HSC 105, DMU 85 monoBLOCK, Lasertec 80 Shape, Ultrasonic 20 linear a na pre tento seminár zapožičanom ecoTurn 650.



Obr. 3 On-line učebňa pre dynamické vzdelávanie [13]

Oblasť poradenstva predstavujú:

- poradenstvo v oblasti CAD/CAM systémov
- poradenstvo v oblasti ekologického prístupu v obrábaní
- poradenstvo v oblasti procesných médií
- poradenstvo v oblasti optimalizácie výrobného procesu.

Oblasť výroby možno charakterizovať nasledovne:

- výroba nulte série
- výroba prototypov, foriem, umeleckých predmetov
- meranie a vyhodnocovanie
- kontrola rozmerov a tvaru optickou metódou
- generovanie, testovanie a úprava NC dráh
- reverse engineering – 3D skenovanie
- návrh, výroba a optimalizácia 3D.

3 Záver

V strojárskych podnikoch dochádza k zmene štruktúry obrábaných materiálov k horšie alebo špatne obrobitelným materiálom. Rozširuje sa rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. Z tohoto hľadiska je dôležitá voľba optimálnych rezných materiálov, ktorá vychádza z údajov výrobcov i z vlastného hodnotenia vlastností rezných materiálov u ich používateľov.

Zavádzanie nových rezných materiálov si vyžaduje kvalitné preškolenie obsluhy strojov a technikov, pripravujúcich podklady pre výrobu. Zvyšujú sa požiadavky na tuhosť sústavy SNOP, použité obrábacie stroje musia otáčkami a výkonom zodpovedať rezným rýchlostiam, často i väčším ako 1000 m.min⁻¹, so širokým rozsahom posuvov, pevným a spoľahlivým upnutím obrobkov, zakrytovaním pracovnej časti obrábacieho stroja a pod.

Dôležitá je výchova nových technikov, inžinierov a vedeckých pracovníkov, ktorá sa musí viac zameriavať na praktické problémy realizácie nových technológií v podnikoch. Preto je významné budovať laboratóriá na vysokých školách, vybavené modernou výrobnou, meracou a počítačovou technikou. V podmienkach MTF STU v Trnave sa tento trend zatiaľ darí realizovať. Na popísané centrum CE5AM nadväzujú centrá excelentnosti v oblasti materiálového výskumu, automatizácie, robotizácie a informačných technológií.

PodĎakovanie: Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu VEGA 1/0477/14 Skúmanie vplyvu vybraných charakteristik procesu obrábania s využitím Hi – technológií obrábania na výslednú kvalitu obrábaných plôch a bezproblémovú montáž.

4 Literatúra

- [1] KLOCKE, F., KRIEG, T.(1999) . Coated Tools for Metal Cutting - Features and Applications. *Annals of the CIRP*. Vol. 48/2/1999., p. 515 – 525
- [2] ZELENÝ, J.(2000). *Vysokorýchlostní obrábění*, Vogel Publishing, Praha.
- [3] KÖNIG, W. , NEISES, A.(1994). Entwicklungstendenzen in der Zerspanungstechnik. *Spanende Fertigung*. Vulkan-Verlag, Essen, s. 2 – 26
- [4] BARÁNEK, I.(1999). Strategický manažment podnikových inovácií. *Náradie '99*. Výstavisko TMM, Trenčín, s. 325-329.
- [5] CHOI,B.K, JERARD,R.B.(1998). *Sculptured Surface Machining, Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, ISBN 0 412 78020 8
- [6] RESETOVA,K. et al.(2011). *Bulletin of FMST SUT practices for economic and industrial environment*, ISBN 978-80-970830-0-7.

- [7] *Centrum excelentnosti 5- osového obrábania - CE5AM*. [On-line 20.7.2012], STU MTF in Trnava, <http://www.mtf.stuba.sk>
- [8] WZS 60 REINECKER [On-line 10.12.2012], ULMER WERKZEUG SCHLEIFTECHNIK GmbH & Co. KG, <http://www.ulmerwerkzeugschleiftechnik.de>
- [9] BARÁNEK, I., BURANSKY, I.(2013). Tool Logistics in the Centre of Excellence of 5-Axis Machining, *Applied Mechanics and Materials* Vol.309 ,pp 170-176
- [10] BEŇO, M.(2012). *Výskum technologických možností CNC sústruženia s protivretenom* – Trnava, STU v Bratislave MTF, 96s.
- [11] KOVÁČ, M. (2012). *Výskum technologických možností 5-osového HSC a HSM obrábania* – Trnava, STU v Bratislave MTF, 124s.
- [12] ZVONČAN, M.(2012). *Research of edge chipping in rotary ultrasonic machining* – Trnava, STU v Bratislave MTF, 108s.
- [13] BARÁNEK, I., BURANSKÝ, I. Design and manufacturing of Free-Form Surfaces and Education in This Area. In : *Strojárska technológia 2013* [elektronický zdroj] : 5. Ročník mezinárodnej konferencie, Plzeň, ČR, 22.-23. 01 2013. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni,2013.-ISBN 978-80-261-9.-USB kľúč,[8]s.
- [14] BARÁNEK, I., BURANSKÝ, I., VÁCLAV, Š. (2013). Wear and renewal of cutting tools properties. In: *Newtech 2013* : Proceedings of the International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies, 27-30 October 2013, Stockholm, Sweden. Vol. 2. - Stockholm : KTH Royal Institute of Technology, ISBN 978-91-7501-893-5. - S. 391-396
- [15] BARÁNEK, I.: Obnova vlastností rezných nástrojov. *Transfer 2014* [elektronický zdroj] : 15. medzinárodná vedecká konferencia. Trenčianske Teplice, 23.-24.10.2014,Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Trenčín, ISBN 978-80-8075-665-9. - CD-ROM, [8]s.
- [16] BARÁNEK, I. (2014).Trends in cutting materials and tools for hard machining.In: *Applied Mechanics and Materials*. ISSN1660-9336.-Vol.474, s. 236-241
- [17] PLATIT(2014). Compendium 2014, 52nd Edition.
- [18] URBANOVÁ, R. (2008). Inteligentné obrábacie stroje. *Výrobné inžinierstvo*, roč.2008, č. 1,FVT TU, Prešov,s.61-62.

Abstract

Artilce: Modern manufacturing

Authors: Ivan Baránek

Workplace: Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Ústav výrobných technológií, Jána Bottu 25, 917 24, Trnava, E - mail: ivan.baranek@stuba.sk

Keywords: High technology, Free – Form Surfaces, 5 – Axis machining, Computer Aided Design and Manufacturing

Abstract: The paper is focused on the analysis of the modern metal cutting. Among the most important trends of machining development nowadays belong high speed cutting, dry machining and hard machining. The paper analyzes the trends in international sales market and their effect on the production processes. Furthermore it analyzes economic and technical requirements on design solutions of modern machine tools and tools. Associated with the use of free-form surfaces in modern engineering products the creation of these surfaces is an important area. The important help here, is computer aided in the whole chain of product development, its production and control. There was build the Centre of Excellence of 5-axis machining at The Faculty of Materials Science and Technology, Slovak University of Technology in Trnava for research and education in this field. The paper presents equipment and possibilities of research, education, consulting and production. Mentioned are some publications involving significant results reached in the centre.

