

## Obrábanie kompozitných materiálov

Baránek, Ivan, prof., Ing., CSc., Materiálovotechnologická fakulta, Slovenská Technická univerzita, Trnava, Slovenská republika, [ivan.baranek@stuba.sk](mailto:ivan.baranek@stuba.sk).

Líška, Ján, Ing., PhD., Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, Maďarská republika.

[liska.janos@gamf.kefo.hu](mailto:liska.janos@gamf.kefo.hu).

Hlavným problémom pri obrábaní kompozitov sú delaminácia, teplota počas obrábania a trvanlivosť rezných nástrojov. Na riešenie týchto problémov pri frézovaní materiálov GFRP (Glass Fibre Reinforced Plastic – Skleneným vláknom vystužené plasty) a CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastic – Uhlíkovým vláknom vystužené plasty) boli orientované ciele predkladanej práce. Obrábalo sa za sucha bez resp. s použitím chladeného vzduchu. Je možné konštatovať, že rezné sily ( $F_z$ ) počas obrábania GFRP nie sú veľké. Pri použití chladenia studeným vzduchom sa rezné sily znížili. Počas obrábania polymérnych kompozitných materiálov sú teploty taktiež oveľa menšie, ako pri obrábaní kovov. Dôležité je, aby nepresiahli kritické hodnoty, pri ktorých spojivo degraduje. Chladenie studeným vzduchom znížilo teplotu obrábania priemerne o 20%. Rezné nástroje z rýchlireznych ocelí dosahovali pri použití chladenia v oblasti nižších rezných rýchlostí (do  $25 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) vyššiu trvanlivosť než bez chladenia. Na trvanlivosť nástrojov zo spekaných karbidov sa použitie chladenia neprejavilo.

Kľúčové slová: kompozitné materiály, obrábanie, rezné sily, teplota, opotrebovanie

### 1 Prehľad kompozitných materiálov

Kompozity sú moderné, ale nie univerzálne materiály. Vždy sú navrhované pre veľmi konkrétne použitie s cieľom maximálneho využitia ich hmoty. Široké uplatnenie našli kompozity v leteckom priemysle a v stavbe dopravných prostriedkov. Umožnili to najmä ich vysoká merná pevnosť a tuhosť, dobrá odolnosť voči mrazom, ako aj výhodná medza únavy. Preto sú kompozity predurčené najmä na výrobu rotujúcich častí, ako sú vrtule, lopatky kompresorov a turbíny, ako aj na výrobu nosníkov, výstuže krídel a podvozkov. (Skočovský, 2006)

Kompozity sú materiály, ktoré vznikli fyzikálnou kombináciou existujúcich jednoduchých materiálov. Základná hmota, čiže matrica, má funkciu spojiva. (Skočovský, 2006), (Táborský, 1982)

#### Funkciu matrice je:

- prenos vonkajšieho zaťaženia na spevňujúcu zložku,
- má mať nižší bod tavenia ako je bod tavenia vlákien, ktoré ich spevňujú,
- má byť ťažnejšie ako vlákna, mať nižší modul pružnosti,
- ochrana vlákien

Druhá zložka, vložená fáza (armatúra), plní funkciu výstuže, ktorá má najčastejšie spevňujúci účinok. Pojem „armujúci“ (vystužujúci, plniaci) znamená zavedený do materiálu s cieľom zmeny jeho vlastností (nejde nutne o „spevňujúci“).

V súčasnosti kompozitné materiály môžeme rozdeliť podľa druhu matrice:

- polymérové (termoplasty),
- kovové (vystužené vlákna),
- keramické.

### 2 Obrábanie kompozitných materiálov

Problematikou obrábania kompozitných dielcov vystužených sklenenými vláknami sa zaoberá literatúra (Anonym, 1996) (Capello, 2004) (Humar, 2000) (Humar, 2008) (Sedláček, 2007) (Kocman, 1988)

Pretože sklo v Mohsovej stupnici tvrdosti susedí s SK, karbidom kremíka (SiC) a BC (borkarbidom) je zrejme že všetky materiály mimo PKD (polykryštalický diamant) pri obrábaní kompozitov vystužených sklenými vláknami, budú podliehať veľmi intenzívnemu abrazívnemu opotrebeniu (Bublavý, 2003)

Plnivo kompozitných materiálov môže byť rôzne orientované, takže materiál je anizotropný. Proces obrábania ovplyvňuje i spojivo, pretože zle odvádza teplo a „zalepuje“ funkčné plochy rezného nástroja, najmä čelá. (Bublavý, 2003)

Vystužené kompozity je možné obrábať na bežných kovoobrábacích ba i drevoobrábacích strojoch, bez chladenia, ale s odsávaním vzniklého prachu a triesok. (Bublavý, 2003)

Veľmi nízka tepelná vodivosť obrábaného materiálu (kompozitu vystuženého sklenými vláknami) spôsobuje, že vzniklé teplo neprechádza do triesky a obrábaného materiálu v takom rozsahu, ako pri obrábaní ocelí a musí byť teda v maximálnej miere odvedené nástrojom, čo výrazne zvyšuje intenzitu opotrebenia. Chladenie nie je možné použiť vôbec alebo len ojedinele. (Bublavý, 2003)

Ako rezný materiál je možné použiť najmä SK s kvalitným povlakom, alebo diamant (PKD), u ktorého sa dosahuje najvyššia produktivita a trvanlivosť. (Bublavý, 2003)

V literatúre (Capello, 2004) (Davim, 2003) (Davim, 2005) (Davim, 2008) (Gaitonde, 2008) (Mohan, 2007) (Palanikumar, 2008) (Rubio, 2008) (Teti, 2005) (Tsao, 2008) sa autori zaoberali hlavne s delamináciou (skoro v každom prípade) a čiastočne s opotrebením a s teplotou.

### 3 Vlastné riešenie úlohy

Realizácia experimentov sa skladá z troch hlavných častí: meranie rezných síl, meranie teploty a skúšky trvanlivosti rezných nástrojov.

#### 3.1 Definovanie SNOP

Pri technologickom procese obrábania môžeme vnímať štyri prvky: stroj, nástroj obrobok, prípravok. Tieto štyri prvky chápeme ako celok, ktorý označujeme názvom technologická sústava obrábania (SNOP).

##### 3.1.1 Obrábané materiály

Pre experimenty sa používali 2 druhy obrobkov.

GFRP – skleným vláknom vystužené plasty (z angl. Glass Fiber Reinforced Plastics),

CFRP – uhlíkovým vláknom vystužené plasty (z angl. Carbon Fiber Reinforced Plastics).

Obrábaný materiál mal rôzne veľkosti a hrúbky (aké boli dostupné vo firme), ale pri skúškach trvanlivosti sa použila jednotná hrúbka 45mm ± 0,2mm (aby sa tak často nevymieňal obrobok).

Kompozity, ktoré boli použité pri experimentoch sú vytvrdené s epoxidovým živicovým spojivom. Je to z dôvodu toho, že materiály sme získali od firmy, ktorá vyrába malé súčiastky pre letecký priemysel, v ktorom tento druh živice prevažuje. My sme použili živicové spojivo: formulovaná EP-R živica s cykloalifatickým aminovým tvrdidlom.

##### 3.1.2 Rezné nástroje a materiály

Aj keď je známe, že RO nie sú vhodné pre obrábanie kompozitných materiálov, považovali sme za potrebné poznať relevantné hodnoty trvanlivosti nástrojov z RO. Dôvodom je aj skutočnosť, že tieto nástroje sa používajú v spolupracujúcej firme. Táto firma používa stroj, ktorý umožňuje maximálny priemer nástroja 6 mm. Preto priemer nástrojov, ktorý sme zvolili pre experimenty bol 6 mm (výnimkou bol nástroj E).

Počas merania sa použili frézovacie nástroje s priemerom Ø 6 mm s rôznymi reznými materiálmi:

- Rýchlorezná oceľ STN 19 830 (ďalej len RO).
- Spekaný karbid s AlTiN povlakom (ďalej len P).
- Spekaný karbid s diamantovým povlakom (ďalej len S).

Použila sa aj jedna monolitná fréza zo spekaného karbidu s priemerom Ø16 mm s povlakom AlTiCN (ďalej len E)

### 3.1.3 Obrábacie stroje

Počas experimentov sa používali obrábacie centrá: Tomill 250 3D CNC – (Kecskemétska vysoká škola, Fakulta strojárstva a automatizácie), a VMC Eagle 1000 (MTF STU v Trnave).

### 3.1.4 Rezné prostredie

Obrábalo sa za sucha bez resp. s použitím chladeného vzduchu. Pre výrobu chladeného vzduchu sme použili Vortexovú trubicu.

## 3.2 Meranie rezných síl pri frézovaní GFRP

Experimenty boli vykonané na Fakulte strojárstve a automatizácie v Kecskeméte (Kecskemét College, Faculty of Mechanical Engineering and Automation). Cieľom experimentov bolo získať veľkosti rezných síl počas frézovania GFRP materiálov s rôznymi nástrojmi (novými a opotrebenými) a reznými rýchlosťami, bez chladenia vzduchom a s chladením vzduchom.

Počas experimentov sa nástroj pohyboval len v protibežnom smere (aby sme dostali maximálnu hodnotu prierezu, keď vychádza zub z procesu rezania) pri daných rezných podmienkach (Tabuľka 1). Ešte pred začatím experimentov bolo potrebné zadať informačné údaje o nástrojoch, materiáli rezných podmienkach do softvéru Dynoware 2.31, pomocou ktorého sa aj naďalej pracovalo počas experimentov. Celkovo sa vykonalo 83 skúšok.

*Tabuľka 1 Rezné podmienky pre meranie rezných síl.*

*Table 1 Cutting conditions by measuring of cutting forces.*

| Nástroj      | Rezná rýchlosť<br>[m.min <sup>-1</sup> ] |                 |                 | Rýchlosť posuvu<br>[mm.min <sup>-1</sup> ] |                 |                 | a <sub>p</sub> [mm] | ae<br>[mm] | z<br>[-] | f <sub>z</sub> [mm] |
|--------------|--|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|---------------------|------------|----------|---------------------|
|              | vc <sub>1</sub>                          | vc <sub>2</sub> | vc <sub>3</sub> | vf <sub>1</sub>                            | vf <sub>2</sub> | vf <sub>3</sub> |                     |            |          |                     |
| RO           | 28,26                                    | 47,1            | 56,52           | 300  | 500             | 600             | 1,5                 | 3          | 4        | 0,05                |
| P<br>AITiN   | 100                                      | 113,4           | 150             | 1392                                       | 1805            | 2388            | 1,5                 | 3          | 6        | 0,05                |
| S<br>Diamant | 100                                      | 113,4           | 150             | 1061                                       | 1203            | 1592            | 1,5                 | 3          | 4        | 0,05                |
| E<br>AITiCN  | 250                                      | 300             | 376,8           | 1493                                       | 1791            | 2250            | 1,5                 | 8          | 6        | 0,05                |

#### Záver z meraní:

- Je možné konštatovať, že rezné sily ( $F_z$ ) počas obrábania GFRP nie sú veľké, priemerne 5 až 15 N, pri vyšších rezných rýchlostiach (370 m.min<sup>-1</sup>) dosiahli 40 N. Rezné sily nemusia lineárne rásť so zvyšovaním reznej rýchlosti, ale so zvýšeným opotrebením rastú. Pri použití chladenia studeným vzduchom sa rezné sily znížili.
- Počas experimentov sa vyskytli záporné hodnoty rezných síl, čiže nástroj mal tendenciu vytiahnuť obrobok zo stola. Je to zdôvodnené tým, že niektoré nástroje majú veľmi pozitívnu geometriu (najmä P).
- Zanedbateľné krútiace momenty.

## 3.3 Meranie teploty počas frézovania GFRP a CFRP

Experimenty boli vykonané na Fakulte strojárstve a automatizácie v Kecskeméte (Kecskemét College, Faculty of Mechanical Engineering and Automation) pomocou termovíznej kamery FLIR T360. Cieľom experimentov bolo zistiť teplotu počas obrábania GFRP a CFRP materiálov s rozličnými nástrojmi a reznými rýchlosťami, bez chladenia vzduchom a s chladením vzduchom. Rezné podmienky vidíme v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Rezné podmienky pri frézovaní GFRP a CFRP

Table 2 Cutting conditions by GFRP and CFRP milling.

| Nástroj      | Rezná rýchlosť<br>[m.min <sup>-1</sup> ] |                 |                 | Rýchlosť posuvu<br>[mm.min <sup>-1</sup> ] |                 |                 | a <sub>p</sub> [mm] | ae<br>[mm] | z<br>[-] | f <sub>z</sub> [mm] |
|--------------|--|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|---------------------|------------|----------|---------------------|
|              | vc <sub>1</sub>                          | vc <sub>2</sub> | vc <sub>3</sub> | vf <sub>1</sub>                            | vf <sub>2</sub> | vf <sub>3</sub> |                     |            |          |                     |
| RO           | 28,26                                    | 47,1            | 56,52           | 300  | 500             | 600             | 1,5                 | 3          | 4        | 0,05                |
| P<br>AlTiN   | 100                                      | 113,4           | 150             | 1392                                       | 1805            | 2388            | 1,5                 | 3          | 6        | 0,05                |
| S<br>Diamant | 100                                      | 113,4           | 150             | 1061                                       | 1203            | 1592            | 1,5                 | 3          | 4        | 0,05                |
| E<br>AlTiCN  | 250                                      | 300             | 376,8           | 1493                                       | 1791            | 2250            | 1,5                 | 8          | 6        | 0,05                |

Interpretácia výsledkov:

Počas obrábania polymérnych kompozitných materiálov sú teploty oveľa menšie ako pri obrábaní kovov. Dôležité je, aby nepresiahli kritické hodnoty, pri ktorých spojivo degraduje.

So zvyšovaním reznej rýchlosti sa teploty vo väčšine prípadov zvyšovali. Mierny pokles nastal u spekaných karbidoch pri stredných hodnotách rezných rýchlostí. To mohla zapríčiniť optimálna rovnováha medzi obrobkom a nástrojom (spekané karbidy majú oveľa lepšiu mernú tepelnú vodivosť ako GFRP a sú schopné vo väčšej miere absorbovať teplo. Pri vyšších rezných rýchlostiach (150 m.min<sup>-1</sup>) už ani spekané karbidy neboli schopné odvádzať teplo v dostatočnej miere.

Chladenie so studeným vzduchom znížilo teplotu obrábania priemerne o 20%. Vykonala sa skúška aj pre CFRP. Teploty počas obrábania týchto materiálov boli rádovo o 20°C až 30°C nižšie ako u GFRP, pretože uhlík má oveľa lepšiu mernú tepelnú vodivosť ako sklo.

Teploty obrábania pri použití opotrebovaných nástrojov boli väčšie rádovo o 20°C až o 100°C ako pri obrábaní s novými nástrojmi.

Chladenie sa taktiež prejavilo pozitívne a teploty sa znížili priemerne o 33%. Počas experimentov sa vo väčšine prípadov potvrdila hypotéza, že keď použijem chladienie so studeným vzduchom znížia sa sprievodné javy a nedôjde k roztaveniu živice..

Z hľadiska nástrojov bolo zistené:

- Pri obrábaní GFRP najnižšie teploty sú pri obrábaní s nástrojmi S pred nástrojmi P a nástrojmi z RO.  
Zdôvodňujeme to lepšou tepelnou vodivosťou diamantového povlaku aplikovaného na nástrojoch S.
- Pri obrábaní CFRP prednosti nástroja S pred P neboli tak výrazné.  
Dôvod vidíme v lepšej vodivosti CFRP voči GFRP.
- Obrábanie s chladením pri CFRP a GFRP vykazovalo výrazne nižšie teploty obrábania najmä pri opotrebovaných nástrojoch.

Podľa odbornej literatúry rozhodujúci pri úvahách o teplote rezania je bod tavenia spojiva (v tomto prípade epoxidovej živice, ktorá má oveľa menšiu mernú tepelnú vodivosť a nižší bod tavenia) a výstuž je len druhoradá.

Keďže epoxidová živica má bod tavenia od 85°C do 135°C, zistili sme, že existujú prípady, keď môžeme obrábať bez roztavenia živice. V týchto prípadoch nedochádza ku degradácii spojiva.

**3.4 Trvanlivosti rezných nástrojov pri frézovaní GFRP**

Skúšky trvanlivosti rezných nástrojov sa uskutočňovali v ľahkých laboratóriách MTF STU v Trnave. Obrábaný materiál GFRP (pozri 3.1.1), nástroje (pozri 3.1.2) boli aplikované na obrábacom centre VMC Eagle 1000. Po úvahách a konzultáciách s odborníkmi sa navrhol experiment podľa nasledujúcich etáp:

1. etapa: Skúšky trvanlivosti RO (jednofaktorový experiment s chladením),
2. etapa: Dvojfaktorový experiment na skúšky trvanlivosti RO bez chladenia,
3. etapa: Dvojfaktorový experiment na skúšky trvanlivosti RO s chladením vzduchom
4. etapa: Experiment na skúšky trvanlivosti SK s AlTiN povlakom bez chladenia,
5. etapa: Experiment na skúšky trvanlivosti SK s AlTiN povlakom s chladením vzduchom.
6. etapa: Skúška trvanlivosti SK s diamantovým povlakom s chladením,

7. etapa: Skúška trvanlivosti SK s AlTiCN povlakom s chladením.

Po každom upnutí sa zistilo hádzanie zubov pomocou číselníkového odchýlkomeru. Počas experimentov sa zistilo, že hádzanie zubov pri nástrojoch zo SK nepresiahlo 0,01 mm, ale pri nástrojoch z RO v niektorých prípadoch hádzanie bolo aj 0,03 mm (nástroje z RO nie sú tak presne vyrábané ako nástroje z SK).

Rezné podmienky a výsledky skúšok trvanlivosti sú v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Rezné podmienky a výsledky skúšok trvanlivosti

Table 3 Cutting conditions and experiment results of tool-life testing.

| Č. | Rezný nástroj   | $v_c$<br>[m.min <sup>-1</sup> ] | $f_z$<br>[mm] | $a_p$<br>[mm] | ae<br>[mm] | T = f( $v_c$ )                                      | R <sup>2</sup> |
|----|-----------------|---------------------------------|---------------|---------------|------------|---|----------------|
| 1  | RO (s CH)       | 18,84–56,52                     | 0,05          | 1,5           | 6          | $T = \frac{651,1}{v_c^{1,45}}$                      | 0,895          |
| 2  | RO (bez CH)     | 16 – 40                         | 0,035 – 0,08  | 1,5           | 3          | $T = \frac{6977,771}{v_c^{1,96} \cdot f_z^{-0,26}}$ |                |
| 3  | RO (s CH)       | 16 – 40                         | 0,035 – 0,08  | 1,5           | 3          | $T = \frac{1613,146}{v_c^{1,83} \cdot f_z^{0,22}}$  |                |
| 4  | SK – P (bez CH) | 100 – 200                       | 0,05          | 1,5           | 3          | $T = \frac{22772}{v_c^{1,05}}$                      | 0,865          |
| 5  | SK – P (s CH)   | 100 – 200                       | 0,05          | 1,5           | 3          | $T = \frac{20181}{v_c^{1,02}}$                      | 0,906          |
| 6  | SK – S (s CH)   | 200                             | 0,05          | 1,5           | 3          | T = 34 min  |                |
| 7  | SK – E (s CH)   | 400                             | 0,05          | 1,5           | 8          | T = 27 min  |                |

#### Interpretácia výsledkov:

Pri obrábaní GFRP boli trvanlivosti nástrojov z RO nízke. Podľa normy ISO 3685 by sa nemali brať do úvahy trvanlivosti menšie ako 5 minút. Tejto trvanlivosti prislúchajú výsledky experimentov s reznými rýchlosťami väčšími ako 25 m.min<sup>-1</sup>. Vplyv chladenia na trvanlivosť nástrojov z RO sa javí ako významný (napr. v strede plánu t.j. pri  $v_c = 25$  m.min<sup>-1</sup>,  $f_z = 0,05$  mm, trvanlivosť vzrástla na takmer dvojnásobok).

U nástrojov zo spekaných karbidov P vplyv chladenia na trvanlivosť sa výraznejšie neprejavil. Orientačné skúšky nástroja S nepreukázali priaznivý vplyv diamantového povlaku v oblasti tepelnej vodivosti na vyššiu trvanlivosť nástroja.

Pojem kvalita obrobenej plochy počas obrábania kompozitných materiálov má trochu iný význam ako u kovov. Tu ide skôr o delamináciu viacerých vrstiev počas frézovania, navinutie vlákien na nástroj. Tieto sprievodné javy vznikli len vtedy, keď sa nepoužilo chladenie.

Ďalšou problematikou obrábania je veľkosť triesok. Pri obrábaní kovov vznikajú triesky rovnakej veľkostí a elementov. Keďže silná anizotropia a rôznorodosť materiálov spôsobuje rozličné mechanické vlastnosti, tak v medznej rovine deformácie prebieha krehký lom, čo môže spôsobovať vytrhávajúce vlákien ešte z neobrobených vrstiev, čo má vplyv na kvalitu plochy.

Ďalej sa zistilo, že so zvyšovaním reznej rýchlostí sa mení aj veľkosť triesky. Pri vyšších rezných rýchlostiach vzniká menšia trieska, v niektorých prípadoch je až vo forme prachu, čo je veľmi nežiadúce. Prach sa môže usadiť na funkčných plochách stroja a na vedeniach, môže sa šíriť vo vzduchu, čo spôsobuje nebezpečenstvo pre zdravie (nadýchnutie drobných vlákien). Tu je nutné použiť hygienické ochranné prostriedky (respirátor) resp. riešiť problematiku účinného odsávania.

#### 4 Záver

Z hľadiska získaných výsledkov môžeme konštatovať priaznivý vplyv chladenia na teplotu rezania a priaznivý vplyv zmeny rezného materiálu z rýchloreznej ocele na spekaný karbid s povlakom. Ideou celej práce bolo použitie chladiaceho zariadenia „Vortex“, ktorý funguje na princípe premeny stlačeného plynu (v tomto prípade vzduchu) na teplé a studené prúdy. Efektívna funkčnosť zariadenia závisí na množstve vtekajúceho stlačeného vzduchu (čím väčší objem, tým chladnejší vzduch).

Predpoklad bol, že keď sa použije toto zariadenie, tak sa znížia sprievodné javy (opotrebenie a teplota).

Postupnosť vykonania experimentov bola podľa reťazca: *rezné sily – teplota – trvanlivosť*.

Počas realizácie skúšok merania teploty pri obrábaní GFRP sa ukázal nežiadúci, sprievodný jav degradácia živice hlavne pri frézovaní bez chladenia a v niektorých prípadoch aj s chladením (pri vyšších rezných rýchlostiach).

Ako ďalší smer vývoja problematiky odporúčame:

- Navrhnuť spôsob odsávania, aby sa mohlo aplikovať aj pre 3D obrábanie,
- Vyvíjať alebo rekonštruovať obrábacie stroje tak, aby funkčné plochy stroja neboli ohrozené abrazívnym účinkom triesok,
- Navrhnuť efektívnejší spôsob chladenia nástroja,
- Vykonať viacfaktorové experimenty na meranie teploty,
- Vykonať experimenty pri obrábaní iných druhov polymérnych kompozitných materiálov (ako napríklad Kevlar),
- Pokračovať v problematike optimalizácie zloženia povlakov pre obrábanie kompozitných materiálov.

Pre praktické uplatnenie v spolupracujúcej firme odporúčame:

- Nahradiť nástroje z rýchloreznej ocele nástrojmi zo spekaných karbidov
- Použiť chladenie, aby nedošlo k degradácii obrábaného materiálu,
- Použiť odsávanie, aby sa znížili negatívne javy na pracovné prostredia,

## Literatúra

- 1 ANONYM. Třískové obrábění technicky náročných součástí z plastů. TECHNIK (CZ), 1996, č. 11, s.14
- 2 BUBLAVÝ, J. Obrábanie kompozitných materiálov a PVC. Záverečná práca na TnUAD –FŠT v Trenčíne. 2003
- 3 CAPELLO, E. Workpiece damping and its effect on delamination damage in drilling thin composite laminates. Journal of Materials Processing Technology, 2004, p. 186 – 195.
- 4 DAVIM, J. P., ET AL.. Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up. Composite Science and Technology, 2004, p. 289 – 297.
- 5 DAVIM, J. P., REIS, P. Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments. Journal of Materials Processing Technology, 2005, p. 160 – 167.
- 6 DAVIM, J. P., REIS, P. Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. Composite Structures, 2003, p. 481 – 487.
- 7 GAITONDE, V. N., AND COMP. Analysis of parametric influence on delamination in high – speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composite. Journal of materials processing technology, 2008, p. 431 – 438.
- 8 HUMAR, A., PÍŠKA, M.: Vrtání vláknově vystužených kompozit. TECHNIK (CZ), 2000, č.1, s. 10
- 9 JANÁČ, A., KICKO, J., LIPA, Z., CHARBULA, J., PETERKA J.: Technológia obrábania a montáže a základy strojárkej metrológie. Návody na cvičenia. STU. Bratislava 1994.
- 10 HUMAR, A., PÍŠKA, M.: Frézování a vrtání kompozitních materiálů. TECHNIK (CZ), 2001, č.4 .Příloha Obrábění & tváření, s. 5
- 11 KOČMAN, K., NEMEČEK, P. a. i.: Aktuální příručka pro technický úsek (kap. 7/12.2) Obřábění kompozitních materiálů VERLAG – DASHOFER, Odborné nakladatelství ekonomické a technické literatury, Praha, 1988 – 1993
- 12 LÍŠKA, J.: Gyorsacél szerszámok kopása kompozit anyagok megmunkálásánál. In: Fialat műszakiak tudományos ülészaka XV. : International scientific conference. Kolozsvár, 2010.március 25-26. - Kolozsvár : Erdélyi Múzeum Egyesület, 2010. - ISBN 2067-6808. - S. 197-200.
- 13 LÍŠKA, J.: Machining of Composite Materials. ECCM 14. Budapest, Hungary, June 7 – 10, 2010. ISBN: 978 – 963 – 313 – 008 – 7.
- 14 MOHAN, N. S. ET AL.. Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials. Journal of Materials Processing Technology, 2007, p. 265 – 271.

- 15 PALANIKUMAR, K., DAVIM, J. P. Assessment of some factors influencing tool wear on the machining of glass fibre – reinforced plastics by coated cemented carbide tools. Journal of Materials Processing Technology, 2008.
- 16 RUBIO, J. C. ET AL. Effects of high speed in the drilling of glass fiber reinforced plastic: Evaluation of the delamination factor. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2008, p. 715 – 720.
- 17 SEDLÁČEK, J. Nástroje pro obrábění kompozitních materiálů. MM Spektrum. 2007.
- 18 SEDLÁČEK, J. Problémy při obrábění kompozitních materiálů. MM Spektrum. 2007.
- 19 SKOČOVSKÝ, P. a i. Konštrukčné materiály. EDIS. Žilina 2000.
- 20 TÁBORSKÝ, L., ŠEBO, P. Konštrukčné materiály spevnené vláknami. Alfa 1982.
- 21 TSAO, C. C. Experimental study of drilling composite materials with step-core drill.
- 22 TETI R.: Machining of Composite Materials. University of Naples Federico II, Italy.

## ABSTRACT

### MACHINING OF COMPOSITES

Baránek, Ivan, prof., Ing., CSc., Faculty of Materials Science and Technology, Slovak University of Technology, Trnava, Slovak republic  
Líška, Ján, Ing., PhD., Kecskemét College, Kecskemét, Hungary

Keywords: composite materials, machining, cutting forces, temperature, tool-life.

The main problem in the machining of composites is the delamination, temperature during machining and the tool – life of cutting materials. The contribution is oriented on the solution of these problems at the milling of GFRP (Glass Fibre Reinforced Plastic) and CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastic). Experiments were done at the Faculty of Materials Science and Technology in Trnava and at Kecskemét College.

During the measurement there were used milling cutting tools with diameter 6 mm. Cutting materials were HSS, sintered carbide with AlTiN or AlTiCN coat, sintered carbide with diamond coat.

The machining was provided by dry machining, respectively with using cold air cooling. For the production of cold air we used the Vortex tube.

It is possible to state, that the cutting forces ( $F_z$ ) within machining of GFRP are not high. The cutting forces decreased using the cold air cooling.

Within the machining of polymer composite materials the temperatures are much lower than in the metal machining. It is important that they do not exceed the critical values, at which the matrix demotes. The temperatures by machining using worn-out tools were about 20°C to 100°C higher than by the machining with new tools. The cooling showed a positive influence and the temperatures decreased about 33%. High speed steel cutting tools by lower cutting speed (until 25m.min<sup>-1</sup>) with cooling achieved the tool life higher than without cooling. The cooling did not influence the tool life of carbide tools. The sintered carbide tool life by GFRP machining is much higher than the tool life of high speed steel tools.

