

PRODUKTIVNÍ A HOSPODÁRNÉ OBRÁBĚNÍ VLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ

www.mmspektrum.com/140520

VCSVTT, FS, ČVUT v Praze

S potřebou snižovat hmotnost výrobků při zachování jejich mechanických a dalších vlastností roste počet konkrétních aplikací pro použití specifických konstrukčních materiálů. Jedním z příkladů materiálů s rozšiřujícím se využitím jsou vláknové kompozitní materiály s polymerní matricí. Tyto materiály dnes již nejsou využívány výhradně v leteckém průmyslu, ale rozšiřují se dále například v oblasti automobilového průmyslu, energetice, stavebnictví nebo pro spotřební a sportovní zboží.

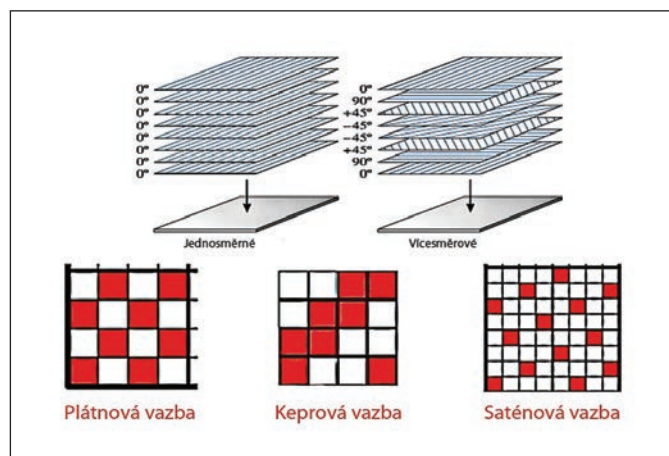
Tak jako v jiných oblastech výroby, přináší silný konkurenční tlak potřebu zvyšovat efektivitu výroby i v případě obrábění těchto materiálů. Vzhledem ke specifickým jejich obrábění je jednou z cest dosažení vyšší efektivity procesu nasazení moderních nástrojů a pro ně vhodných řezných podmínek. Právě touto problematikou jsme se v poslední době intenzivně zabývali ve Výzkumném centru pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (VCSVTT) v rámci řešení evropského projektu nazvaného FibreChain ze 7. rámcového programu EU.

do dílců. Tyto materiály se s rostoucí teplotou stávají měkkými a tvárnými, a jsou proto teplem tvarovatelné. K nejčastěji rozšířeným materiálům s termoplastickou matricí pak patří PP, PA12, PPS a PEEK, v kombinaci s uhlíkovými (C) nebo skleněnými vlákny (G).

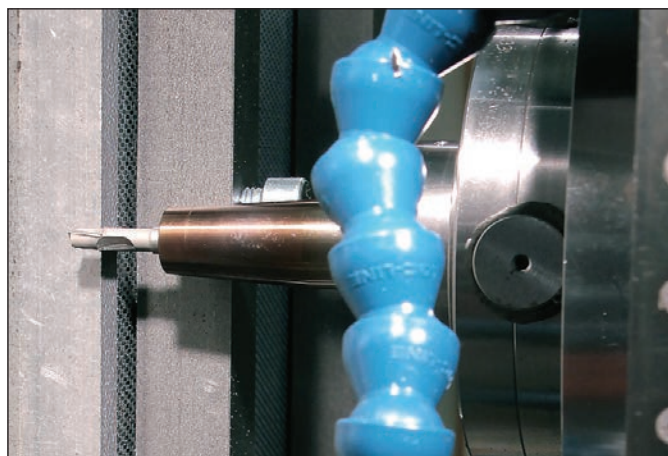
Jisté odlišnosti mezi oběma skupinami polymerních vláknových kompozitů lze nalézt i v jejich obrobiteľnosti. Při obrábění materiálů s termoplastickou matricí se netvoří tolik typický prach, ale třísky mají často podobu blízkou těm elementárním z obrábění kovových materiálů. I přesto je však třeba po

ce, tkaniny – např. plátňová, keprová nebo saténová vazba – obr. 1). Řezný nástroj musí v řezu generovat velmi malé množství tepla a toto teplo navíc účinně odvádět. Z tohoto důvodu je třeba volit pozitivní geometrie břitu s nízkým sklonem k adhezi, a to spolu s vhodnými řeznými podmínkami. Samotný řezný materiál nebo povlak by měl mít větší tepelnou vodivost při vysoké otěruvzdornosti. Není proto překvapením, že z uvedených důvodů si v daných aplikacích dnes nejlépe vedou pozitivní nástroje ze slinitého karbidu s povlaky na bázi diamantu nebo, byť jsou méně pozitivní (zato však s vynikající otěruvzdorností), nástroje s břity z diamantu (PKD). Při obrábění FRTP materiálů je navíc také třeba počítat s tím, že uvedené materiály vykazují odlišné vlastnosti z hlediska obrobiteľnosti a jakosti povrchu v odlišných směrech obrábění vůči orientaci vláken. To v praxi znamená, že na jednom obrobku mohou mít různé obráběné strany velmi různou jakost opracování.

Přestože lze uvedené materiály poměrně účinně opracovávat i dalšími technologiemi, jako je například řezání vodním paprskem, případně i laserem (to bylo ostatně také součástí řešení projektu, ovšem na pracovišti ILT Aachen v SRN), má obrábění svou nezastupitelnou roli především v technologiích frézování, soustružení a vrtání. Při správném nastavení technologie třískového obrábění lze totiž dosáhnout nízkých výrobních nákladů, a to při vysoké jakosti



Obr. 1. Příklady možné orientace a vazeb vláken v kompozitu



Obr. 2. Technologie ořezávání dílců frézováním

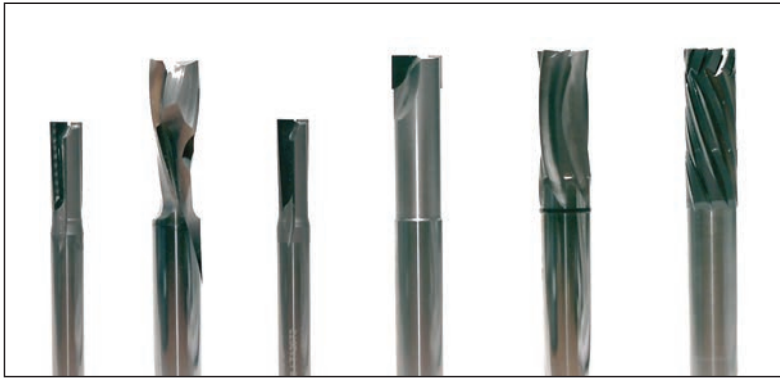
Specifika vláknových kompozitů s termoplastickou matricí a jejich obrábění

Skupina vláknových kompozitních materiálů s polymerní matricí se v zásadě dělí na dvě hlavní materiálové skupiny: s termosetickou a termoplastickou matricí. Materiály s termoplastickou matricí (také termoplastické kompozity nebo FRTP materiály) se přitom stávají stále rozšířenější – také kvůli dalším možnostem zpracování, jako je termoforming, spojování dílců nebo vkládání insertů

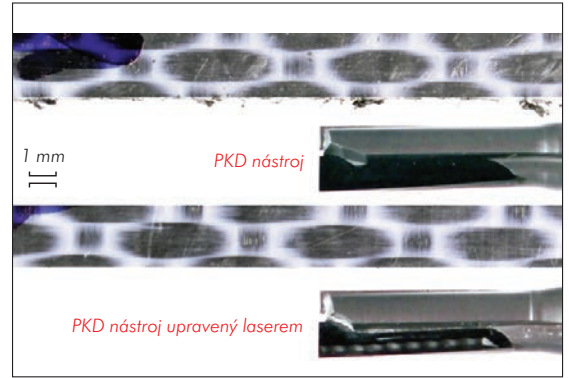
zdraví obsluhy a bezpečnost provozu stroje pracovní prostor účinně odsávat. Základní problém obrábění však zůstává u obou typů kompozitních materiálů stejný: v materiálu se vyskytují dvě zcela odlišné materiálové složky. Měkké a adhezivní matrice mají relativně nízkou hodnotu teploty, do které nevykazují změnu svých vlastností (podle typu matrice 150 °C až 350 °C). Na druhé straně jsou v materiálu silně abrazivní vlákna, navíc s možností jejich velmi různorodé skladby (jednosměrná nebo vícsměrná orienta-

a minimálním ovlivněním a poškozením povrchových vrstev obrobku.

Cílem výzkumných aktivit na půdě VCSVTT v této oblasti bylo vyvinout prototypy řezných nástrojů pro obrábění FRTP materiálů, které by umožnily další zvýšení hospodárnosti a produktivity procesu, a sice při vyhovující jakosti obráběných dílců. Pro návrh, vývoj, testování a konkrétní aplikaci prototypů řezných nástrojů byla vybrána frézovací operace ořezu polotovaru z kompozitu s termoplastickou matricí (obr. 2).



Obr. 3. Příklady řezných nástrojů pro obrábění vláknových kompozitů



Obr. 4. Vliv úpravy břitu diamantového nástroje na jakost ořezávané hrany

První fáze výzkumu – monitorování schopnosti dostupných řezných nástrojů

Na trhu s řeznými nástroji dnes existuje široká škála typů, tvarů a geometrií nástrojů pro obrábění vláknových kompozitů s polymerní matricí. Přední světoví, ale již i lokální výrobci se v nových produktech doslova předhánějí, s často až zcela nelogickými nebo ne plně funkčními prvky řezné geometrie či povlakování. Naskýtají se proto logicky otázky: 1. Jak se v tak široké nabídce tvarově velmi odlišných nástrojů orientovat? 2. Podle jakých rysů vybrat nejhodnější typy nástrojů pro danou konkrétní aplikaci? Také na to se pokoušíme nalézt odpověď řešením zmiňovaného projektu.

První testy v úvodu řešení byly zaměřeny na možnosti a schopnosti vybraných typických představitelů komerčních řešení řezných nástrojů. Některé z nich jsou uvedeny na obr. 3. Cílem prací však nebylo přímo určit, jak hospodárně a produktivně lze s takovými nástroji pracovat, ale které typy nástrojů jsou pro oře-

závání FRTP materiálů vůbec vhodné a jsou schopny splnit přísné požadavky na potřebnou jakost ořezávaného dílce (minimální až nulová delaminace horní a spodní ořezávané plochy, bez ořepů a řezu, bez výskytu míst teplotou negativně ovlivněné matrice). Z testů vyšlo jednoznačně, že při ořezu FRTP materiálů (testováno na materiálech PPS/C, PEEK/C) je třeba pracovat výhradně s oboustranně kompresní šroubovicí nástroje. Jde o nástroje, kdy jeden břit nástroje má záporný úhel šroubovice a působí kompresně na horní hranu kompozitové desky, zatímco následný břit má pozitivní úhel šroubovice a působí tak kompresně na spodní stranu kompozitu. Jsou to právě nástroje ukázané v nejrůznějších variantách na obr. 3. Takováto geometrie spolu s dostatečnou pozitivitou břítu totiž umožní jakostní řez bez delaminace, vytrhaných vláken a tvorby ořepů jak na vrchní, tak i spodní straně dílce. Z hlediska jakosti obráběné plochy pak je vhodnější volit pozitivnější nástroje, tedy karbidové nástroje, případně je-li možnost, pak s diamantovými břitmi s po-

zitivní geometrií prostřednictvím laserovaného utvařeče. Příklad účinku použití pozitivní geometrie laserovaného utvařeče v diamantovém břítu je patrný z obr. 4. Pro identické pracovní podmínky je zde patrné jednoznačné zlepšení jakosti hrany ořezávaného dílce (materiál PPS/C) při použití nástroje s laserem upravenou geometrií břítu.

Detailní citlivostní testy pracovních podmínek na změnu jakosti obrobku ukázaly, že velikost vlivu je v pořadí: geometrie nástroje, posuv, radiální hloubka řezu a řezná rychlost. Strategie obrábění (sousedně x nesousedně) pak ovlivňovala tvorbu ořepů velmi málo. Dosažené výsledky jakosti povrchu pro nás nastavily limity pro výzkum možnosti zvyšování produktivity a hospodárnosti procesu ve druhé fázi výzkumu.

Druhá fáze výzkumu – produktivnější a hospodárnější nástroje vlastní konstrukce

Hlavním problémem při ořezech kompozitů obráběním může být vedle jakosti obrobku

Placená inzerce

+GF+

Elektroerozivní drátové fezačky

Výkonové limity byly nově definované!

Achieve more...

GF Machining Solutions

Agie Charmilles, s. r. o., Podolí 488, 664 03 Podolí (Brno – Slatina)

VYSOKÁ PŘESNOST
30% zvýšení
produktivity řezání

Inovace
elektroerozivních
drátových fezaček
high-tech řadu
CUT 2000 S - CUT 3000 S



Obr. 5. Nově vyvinuté prototypy řezných nástrojů

také produktivita a hospodárnost dané operace. Nasazení nástrojů o menších průměrech (6–10 mm) sice snižuje cenu nástrojů, avšak omezuje produktivitu především menším počtem břitů s pozitivní geometrií a tím nepřímo ovlivňuje i hospodárnost procesu ve smyslu hodinových nákladů na provoz obráběcího stroje. Naší vizí tak bylo, i na základě předchozích vlastních zkušeností, připravit jednak nástroj s pozitivní geometrií a současně velkým počtem břitů vyrobený ze slinutého karbidu a jednak realizovat nástroj s větším počtem břitů z PKD, a to rovněž při snaze o maximální možnou pozitivitu břitů. Výsledkem výzkumu a vývoje tak byly dvě základní varianty nástrojů, ukázané na obr. 5. Ve spolupráci s několika producenty řezných nástrojů se podařilo technicky zvládnout komplikovanou výrobu nástrojů o průměru 12 mm s 5 (z SK), resp. 4 břity (z PKD). Následně bylo otestováno několik prototypů takových nástrojů. Výsledky testování byly velmi pozitivní. Při testech se ukázalo, že navzdory tvorbě třísek a ne pouze prachových částic není zmenšení zubové mezery v důsledku většího počtu břitů žádným omezením. Výsledkem pak byla rovněž vysoká kvalita povrchu obrobku, minimální velikost ořepů a delaminace povrchu – obr. 6.

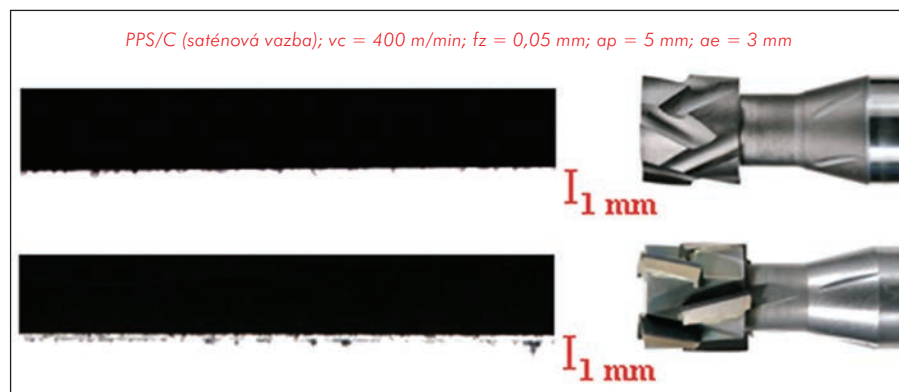
V další fázi proběhly životnostní testy nástrojů s kalkulací hospodárnosti a produktivity procesu. Na obr. 7 je graficky znázorněno, že se přes zvýšený počet břitů podařilo u prototypu karbidového nástroje (DEMO 2) dosáhnout výrazně vyšší trvanlivosti břitů než u vybraného komerčně dostupného nástroje (Standard Tool), který byl vyroben také ze slinutého karbidu. Tento výsledek navíc ukazuje, že úběr materiálu v čase (či posuvová rychlost) tak může být 2,5x vyšší, navíc při výrazném prodloužení trvanlivosti břítu.

Podle předpokladů bylo nejdelší trvanlivosti dosaženo u nástrojů s diamantovými břity. Je však třeba mít na paměti, že nástroje s PKD břity jsou obecně při obrábění polymerních kompozitů náchylnější k tvorbě méně jakostního povrchu dílce a také k možným náhlým destrukcím v případě výskytu kmitání nástroje nebo částí obrobku. Tyto negativní jevy bude možné kompenzovat nástroji s laserovanými utvařeči. Zrychlení obráběcího procesu se následně odrazí i v jeho hospodárnosti, resp. výrobních nákladech. Přes vyšší pořizovací náklady karbidového

nějšší pro kusovou a malosériovou produkci ořezávaných dílců. Fakticky pak při větších posuvových rychlostech v důsledku většího počtu břitů došlo k nárůstu produktivity ořezávání dílců v řádech minimálně desítek procent. Konkrétní vhodné pracovní podmínky pro tyto nástroje průměru 12 mm tak jsou $vc = 300\text{--}400\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ pro karbidový nástroj, $vc = 400\text{--}600\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ pro nástroj s břity s PKD, a posuvové rychlosti pro oba nástroje mezi 2 až $2,6\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Konkrétní aplikace použití nástrojů pak byla výroba projektového demonstračního dílce, prostřednictvím něž budou v konečné fázi projektu porovnávány technologie třískového a laserového obrábění.



Cílem řešení projektu bylo vyvinout nástroje pro hospodárnější a produktivnější obrábění vláknových kompozitů s termoplastickou maticí, a to pro technologie ořezu



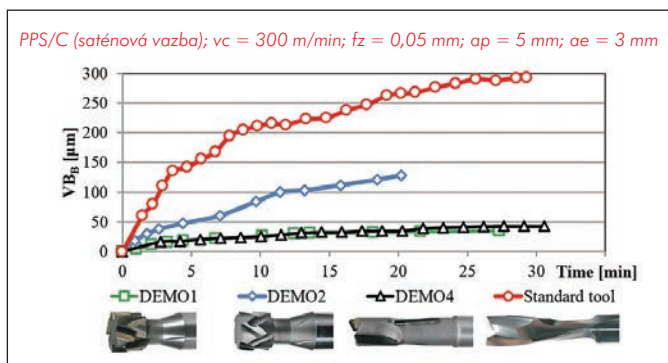
Obr. 6. Ukázka hrany kompozitu frézované prototypovými nástroji

a zejména diamantového prototypu nástroje oproti komerčním řešením nástrojů bylo dosaženo výrazného snížení výrobních nákladů u obou demonstrovávaných řešení nástrojů. Graf na obr. 8 ukazuje, od jakých plánovaných objemů materiálu odebíraného z obrobku je vhodné použití jakých typů nástrojů. Jinak řečeno je zřejmé, že diamantové nástroje vedou k nejmenším výrobním nákladům v případě potřeby úběru větších množství materiálu (větší sériovost výroby), zatímco karbidový prototyp nástroje je vhod-

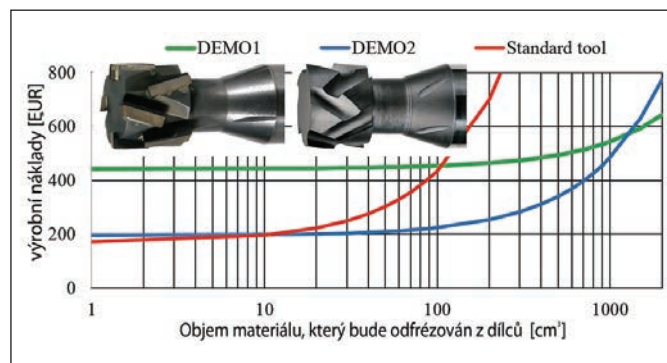
polotovaru frézováním. Dosažené výsledky ukázaly, že prototypy nástrojů jsou a byly použity při řešení konkrétních aplikací a tedy jsou zcela využitelné při nasazení v praktických aplikacích.

Tyto výsledky vznikly v rámci projektu Fibrechain, financovaného ze zdrojů Evropské unie v rámci 7. rámcového programu pro výzkum, technologický vývoj a demonstraci, pod grantem 263385.

ING. PAVEL ZEMAN, PH.D.



Obr. 7. Trvanlivost břítu nových nástrojů v porovnání s vybraným komerčním řešením



Obr. 8. Velikost výrobních nákladů v závislosti na objemu odebíraného materiálu z dílců