

## Pro přímé vydání

Kontakt:

**Seco Tools CZ, s.r.o.**

Londýnské nám. 2  
639 00 Brno

Alena TEJKALOVÁ

Telefon: +420-530-500-827

E-mail: [alena.tejkalova@secotools.com](mailto:alena.tejkalova@secotools.com)

[www.secotools.com/cz](http://www.secotools.com/cz)

### Frézování a vrtání houževnatých materiálů

Brno, květen 2013 - Současný cíl dosáhnout co nejnižší hmotnosti letadel je v leteckém průmyslu hnacím motorem pro intenzivnější využívání pokročilých exotických materiálů, jako jsou kompozitní materiály, titan a Inconel. Tyto materiály jsou sice lehčí, nicméně pevnější než obvykle využívané materiály, a každý z nich proto z hlediska obrábění, konkrétněji frézování a vrtání, představuje specifické výzvy.



Pro frézovací a vrtací operace používají výrobci z leteckého průmyslu často nástroje z monolitního karbidu nebo z monolitní rychlořezné oceli, přičemž musejí dosahovat těch nejvyšších možných úrovní kvality. To je často zajištěno díky pečlivě sledované a udržované bezpečnosti procesu. Předmětem zájmu jsou i náklady na výrobu jednotlivých součástí, ale ve většině případů je prioritou výroba dokonalých dílů, zvýšení produktivity bývá považováno za druhotný problém.

Výrobci z leteckého průmyslu se snaží zajistit bezpečnost a konzistenci procesů prostřednictvím předvídatelného výkonu obráběcích strojů a nástrojů. V případě nástrojů musí

mít výrobci frézy a vrtáky, které poskytují prakticky stejnou životnost, nástroj od nástroje. A dokonce i když přesně vědí, jak dlouho nástroj vydrží, plánují výrobci z leteckého průmyslu výměnu nástrojů v obráběcích strojích dlouho před tím, než dojde k jejich úplnému opotřebení.

Díky technologiím používaným při výrobě obráběcích zařízení a nástrojů pokročily materiály, jako jsou kompozity, titan a Inconel, z téměř neobrobitelného stavu do současného stavu, kdy je toto výrobci obrábějí s jistotou a vysokou efektivitou. Jednou z obráběcích technologií, která umožňuje lepší řízení a konzistenci procesů, jsou pokročilé specializované monolitní frézy a vrtáky. Tyto nástroje byly vyvinuty speciálně pro překonávání nároků vznikajících při obrábění těchto materiálů. Zahrnutím různých inovativních povrchových úprav a geometrií, používaných spolu s pokročilými obráběcími technikami a strategiemi, tyto specializované nástroje nejen že zajišťují bezpečnost procesů, ale také zvyšují rychlost a výkon výroby.

## **Frézování**

Kompozitní materiály. Trh pro obrábění uhlíkových kompozitů (CFRP) v leteckém průmyslu prudce roste. Tyto materiály se však řadí k těm obtížně obrobitelným, protože jsou pro frézovací nástroje příliš abrazivní a houževnaté. Navíc je nutné při obrábění zamezit delaminaci (oddělování jednotlivých vrstev uhlíkových vláken). Tyto překážky lze překonat pomocí tvrdých, ostrých fréz z monolitního karbidu se speciálním povlakováním.

Mezi dva nejčastěji používané způsoby povlakování patří fyzikální (PVD) a chemické (CVD), využívá se ale také povlakování pokročilým materiálem polykrystalického diamantu (PCD). PVD povlak vyžaduje fyzikální proces a zahrnuje povlakování nitridem hliníku, nitridem chromu a nitridem titanu, s tvrdostí přibližně 3000 podle Vickerse. Diamantové povlaky, které jsou nanášeny procesem CVD, jsou přibližně třikrát tvrdší, dosahují tvrdosti 10 000 podle Vickerse. Mezi nástroje povlakované polykrystalickým diamantem patří i monolitní PCD destičky, které jsou připevněny na stopky nástrojů z monolitního karbidu.

Co se týče geometrie nástroje, efektivní řezné nástroje pro kompozitní materiály mají nízké úhly stoupání šroubovice zajišťující snížení axiálních sil na lamelární vrstvy materiálu, a tudíž nedochází k jejich delaminaci. Frézy s levostrannou i pravostrannou šroubovicí jsou také považovány za velmi efektivní geometrii pro obrábění kompozitních materiálů. Tyto typy řezných nástrojů, často známé jako kombinované frézy, směřují a stlačují řezné síly směrem do středu tloušťky obrobků (v případě stranového frézování), aby lamelární vrstvy zůstaly neporušené. Tyto typy geometrií také navíc umožňují mnohem volnější obrábění kompozitních materiálů.

Přestože některé kombinované řezné nástroje jsou zcela běžné, některé společnosti vyrábějící řezné nástroje, mezi něž patří Seco, vyvinuly kombinované obráběcí nástroje s novými typy geometrií, jako např. s dvojitou šroubovicí. Společnost Seco vyvinula dvě takové obrysové frézy s dvojitou šroubovicí. Jedna disponuje více břity a hladkými řeznými hranami. Druhá má méně břitů, čímž umožňuje snazší uvolňování třísek, a na řezných hranách má utvařeče třísek. Druhá fréza je určena spíše pro hrubovací operace, zatímco první verze s více břity a bez utvařečů třísek nabízí ideální výkon pro dokončovací operace.

Co se týká obráběcích technik, řezné parametry pro kompozitní materiály jsou často závislé na různorodosti samotných materiálů. Typické rychlosti pro řezné nástroje z monolitního karbidu při obrábění kompozitních materiálů jsou přibližně 150 m/min., a rychlosti posuvu jsou okolo 0,07 mm. Je však třeba vzít na vědomí, že v této skupině materiálů existuje spousta různých typů použitého pojiva, kdy každé z nich vyžaduje specifické rychlosti a posuvy. Tím, co určuje rychlosti a posuvy při obrábění kompozitních materiálů, jsou často body tání těchto pojiv. Významný vliv na obráběcí proces má také obsah a orientace vláken, což určuje řezné rychlosti a posuvy i optimální dráhu nástroje.

Titanové slitiny. V leteckém průmyslu jsou titanové slitiny často používány pro tři hlavní účely: konstrukční díly letadel, součásti pro studené sekce tryskových motorů a podvozkové systémy. Jedna z běžně využívaných slitin titanu je beta titanová slitina 5553, obvykle používaná pro součásti podvozků. TiAl6-4 je alfa-beta titanová slitina, která je jednou z nejběžnějších typů titanu a používá se převážně pro konstrukční díly.

Faktory, kvůli kterým jsou titanové slitiny tak náročné pro obrábění, a které přispívají k jejich nízké obrobitelnosti, jsou jejich tepelná vodivost, vysoká přilnavost a deformační zpevnění. Titanové slitiny mají nízkou tepelnou vodivost, což znamená, že při obrábění se teplo generované procesem přenáší na řezný nástroj, místo toho, aby bylo třískami odváděno pryč z řezné zóny.

Vysoká přilnavost titanu představuje ten problém, že třísky mají tendenci lepit se na řezné nástroje. Tím dochází k tvorbě velmi dlouhých třísek, místo toho, aby se vytvářely mnohem přijatelnější třísky krátké, které lze snadno odstraňovat. Deformační zpevnění, ke kterému při obrábění dochází, způsobuje ztvrdnutí tenké vrstvy materiálu v důsledku tlaku generovaného při obráběcím procesu.

Titan lze sice obrábět univerzálními řeznými nástroji z monolitního karbidu, vynikajících výsledků lze však téměř vždy dosáhnout řeznými nástroji navrženými speciálně pro charakteristiky obrobitelnosti titanu. Tyto speciální řezné nástroje poskytují vysoké úrovně výkonu, mohou ale být méně univerzální v případech, kdy je potřeba je použít na jiné materiály.

Například společnost Seco má ve svém programu řezný nástroj z rychlořezné oceli (HSS), který je navržen pro titan i nerezovou ocel. Řezné nástroje, které jsou součástí řady Jabro® HPM (vysoce výkonné obrábění) jsou speciálně navrženy pro určité materiály, jako je titan. Tyto řezné nástroje mají speciální geometrie a konstrukční kvality optimalizované pro titan.

Mezi tyto geometrie a konstrukční kvality patří vysoké úhly stoupání šroubovice mezi 40 a 50 stupni, kanály pro chladicí kapalinu procházející nástrojem, zamezující lepení třísek na břity řezného nástroje a umožňující rychlý odvod třísek a ochlazení řezné zóny; nestejně rozteče zubů pro snížení vibrací při velkých hloubkách obrábění a kombinace karbidu s povlakováním nitridem hliníku a chromu. Nepoužívá se žádný nitrid titanu, čímž je zabráněno chemické reakci mezi řezným nástrojem a materiálem.

Existují určité faktory určující, kdy se má použít nástroj z monolitního karbidu a kdy nástroj z rychlořezné oceli, hlavním faktorem je však průměr řezného nástroje. Nástroje z monolitního karbidu by měly být používány tehdy, když aplikace vyžaduje řezné nástroje s menšími průměry, když jsou geometrie obrobku extrémně komplexní nebo pokud je cílem velmi hluboký řez (ap).

Řezné nástroje z rychlořezné oceli se doporučují pro méně komplexní obrobky v aplikacích s vysokým úběrem a kde jsou cílem velké šířky řezu (ae) a velké hloubky řezu ap. Tyto nástroje lze také použít v aplikacích na starších konvenčních obráběcích strojích s vysokým krouticím momentem a výkonem.

Inconel. Jak je u výroby pro letecký průmysl typické, součásti z Inconelu bývají velmi drahé, a to nejenom z pohledu ceny samotného materiálu, ale i z pohledu času investovaného do jejich výroby, a to ještě před fází obrábění. K obrovským ztrátám dochází při zmetkování dílů, na kterých po dobu hodin nebo dokonce i dnů probíhaly obráběcí operace.

Inconel a titan jsou si v určitých ohledech podobné. Ovšem ve smyslu obrobitelnosti jsou Inconely (superslitiny na bázi niklu) tím nejnáročnějším materiálem pro obrábění. Mají velmi nízkou tepelnou vodivost a velmi vysokou úroveň deformačního zpevnění – dokonce i vyšší než titan. Inconel má také vysokou přilnavost, takže řezné rychlosti při konvenčních obráběcích metodách málokdy překročí hodnotu 25 nebo 30 m/min.

Geometrie řezných nástrojů pro obrábění Inconelu se od geometrií používaných pro titan zásadně liší. Geometrie pro Inconel mají úhlové podbroušení s velmi strmými úhly. Taková geometrie snižuje kontakt mezi řezným nástrojem a materiálem na nejnížší možnou míru. To je nezbytně nutné, protože Inconel je pružný a má vysokou tvarovou paměť, což znamená, že pokud je vystaven namáhání, mírně se „poddá“. Čím delší je tedy doba kontaktu mezi břitem řezného nástroje a materiálem, tím větší je abrazivní opotřebení nástroje a jeho životnost se zkracuje. Aby se ještě více snížilo tření mezi řezným nástrojem a Inconelem, využívá společnost Seco povlakování z nitridu hliníku a titanu, které je vyleštěno do extrémně hladké a jemné povrchové úpravy.

## **Čtyři obráběcí strategie pro titan a Inconel**

Pro obrábění titanu a Inconelu existují v zásadě čtyři obráběcí techniky. Tou první je konvenční obrábění, které vyžaduje rovnováhu mezi radiální a axiální ap šířkou řezu v poměru 1:1. To znamená, že obrábění je prováděno plnou šířkou rezného nástroje ( $1 \cdot D_c$ ), v určité hloubce řezu až do jednonásobku průměru rezného nástroje a s průměrnými rychlostmi posuvu.

Druhou strategií je vysoce výkonné obrábění, které vyžaduje rezné nástroje navržené speciálně pro titan a Inconel, jako jsou nástroje společnosti Seco z řady HPM. Tyto rezné nástroje jsou používány s velkou hloubkou řezu ap (až  $1,5 \cdot D_c$ ) a s plnou šířkou řezu ae. Pro dosažení vyšší produktivity je tak v krátkém čase dosaženo velkého úběru materiálu.

Třetí strategií je obrábění s vysokým posuvem, které využívá velmi malé hloubky řezu ap a plné šířky řezu ae, takže šířka řezu je  $1 \cdot D_c$ . Specifické geometrie rezných nástrojů používaných pro tuto strategii směřují rezné síly do vřetene obráběcího stroje, a proto je tato strategie obzvláště užitečná v nestabilních obráběcích podmínkách, kde je velké vyložení obráběcího nástroje, a také v komplexních aplikacích, jako je obrábění kapes s hloubkou  $5 \cdot D_c$  a větší.

Čtvrtou obráběcí strategií je vysokorychlostní obrábění, které využívá poměrně nízké šířky řezu ae a velmi vysoké hloubky řezu ap. Protože je radiální hloubka řezu (šířka řezu) relativně malá, je zde malá kontaktní plocha, která díky kratšímu času záběru pomáhá snižovat teplotu v rezných zónách, a umožňuje tak vyšší rezné rychlosti pro vyrovnání a nárůst produktivity.

Tyto strategie jsou umožněny díky pokrokům u obráběcích strojů i rezných nástrojů. Například geometrie rezných nástrojů společnosti Seco z řady HPM mají speciální funkce, jako jsou nerovnoměrné rozteče zubů a zakřivené úhly stoupání šroubovice, což poskytuje nezbytnou stabilitu pro vysoce výkonné obráběcí strategie. V případě obrábění vysokými posuvy a rychlostmi jsou tyto strategie více závislé na schopnostech obráběcího stroje a na geometriích rezného nástroje.

Ve většině případů spolu stroje a rezné nástroje vzájemně spolupracují jako jeden celek, čímž je možné vyhovět vysokým nárokům výrobců pro letecký průmysl kladeným na obrábění specifických materiálů. Proto jsou správné obráběcí stroje i rezné nástroje tak důležité. To platí hlavně u obrábění vysokým posuvem a vysokými rychlostmi, což vyžaduje nejenom obráběcí stroj s možností rychlého posuvu, ale také CNC řízení, které dokáže zpracovat větší programy, a NC soubory s frézovacími operacemi využívajícími vysoké posuvy a rychlosti.

## **Vrtání**

Kompozitní materiály. U aplikací pro letecký průmysl musí být otvory vrtané do kompozitních materiálů dokonale čisté a bez potrhaných nebo roztřepených vláken, které by mohly být při následných montážních operacích problémem.

Mezi nejčastější problémy při obrábění kompozitních materiálů patří delaminace a neodříznutá vlákna, hlavně na zadní straně obrobku nebo na straně výstupu vrtáku. Při vrtání tlačí nástroj směrem dolů na materiál a, jak se vrták blíží výstupní straně, nadměrná síla může způsobit protlačení vrtáku (namísto proříznutí) skrz obráběný otvor. Výsledkem jsou vlákna kompozitu, která jsou namísto čistého řezu potrhaná a roztřepená, což způsobuje delaminaci materiálu.

Pro vyřešení těchto problémů se výrobci nástrojů snaží snížit síly vyvíjené při posuvu vrtáku na materiál prostřednictvím využívání různých úhlů špičky a úhlů stoupání šroubovice na vrtácích. Je třeba mít na paměti, že některé geometrie vrtáků generují menší síly při posuvu a podávají vyšší výkon než ostatní.

Například 140stupňový úhel špičky – nejběžnější u vrtáků z monolitního karbidu – bude u několika otvorů při vrtání kompozitních materiálů fungovat dobře. Bohužel, jakmile se nástroj ztupí, ztratí svoji účinnost. S vrtákem C1 z monolitního karbidu a s diamantovým povlakem, určeným pro kompozitní materiály, přináší společnost Seco geometrii se dvěma úhly špičky – 130stupňový úhel špičky a 60stupňový úhel na obvodu vrtáku. Při vrtání vyjde na konci otvoru jako první středící hrot vrtáku a vyřízne z otvoru část materiálu. Takže při výstupu 60stupňové části jsou síly posuvu vrtáku výrazně sníženy. Dochází tak k menší delaminaci a k menšímu

(nebo žádnému) výskytu neodříznutých vláken.

K dvoubřitým vrtákům s diamantovým povlakem společnost Seco navíc vyvinula jedinečnou trojbřitou geometrii vrtáku s hrotem z polykrystalického diamantu pro kompozitní materiály. Při použití stejných řezných podmínek jako u standardních vrtáků pro kompozitní materiály tato nová geometrie vrtáku s hrotem z polykrystalického diamantu poskytuje mnohem lepší výsledky, protože na rozdíl od dvou břitů zabírají břity tři. Tyto vrtáky mají ostřejší řezné hrany a generují menší sílu posuvu na otáčku, obzvláště při výstupu z otvoru. S hrotem z polykrystalického diamantu může tento vrták navíc v mnoha případech nabídnout až čtyřnásobnou životnost.

Titan. V leteckém průmyslu je většina otvorů malá. U průměrů menších než 1 mm avšak až do průměru 20 mm jsou pro vrtání titanu a Inconelu ve velké míře využívány vrtáky z monolitního karbidu.

Stejně jako při frézování titanu má teplo vznikající při vrtání také sklon přecházet do nástroje místo toho, aby bylo odváděno spolu s třískami. Pro boj s tímto fenoménem mají geometrie vrtáků typicky velmi ostré řezné hrany. Vrtáky pro titan jsou běžně nepovlakované právě z důvodu požadavku extrémně ostrých řezných hran. Povlakování také navíc v určité míře může zvýšit tření, což následně přispívá ke tvorbě tepla. Další důležitou věcí je smrštění materiálu po obrábění. Z toho důvodu je na tělese vrtáku důležitý větší zadní kužel.

Inconel. Protože Inconel je velmi abrazivní a při obrábění tvrdne, jsou účinné geometrie vrtáku pro tento materiál v podstatě stejné jako pro titan. Pro zvýšenou odolnost proti opotřebení a snížení tření je však přidáno povlakování. Společnost Seco například k ochraně vrtáků pro vrtání Inconelu a k prodloužení jejich životnosti využívá povlakování z nitridu titanu a hliníku.

Při vrtání Inconelu jsou využívány nižší rychlosti a posuvy hlavně proto, že materiál je tvrdší a obtížněji se obrábí. Obrobitelnost materiálu je stejně důležitým faktorem při vrtání Inconelu jako při jeho frézování. Pro aplikace v leteckém průmyslu jsou hloubky otvorů v součástech z Inconelu typicky pouze 3 x D.

Při zvyšování bezpečnosti a produktivity vrtání v leteckém průmyslu hraje důležitou roli právě povlakování. Společnosti zabývající se výrobou nástrojů, jako například Seco, se také neustále snaží dosáhnout lepší úpravy řezných hran vrtáků a zdokonalit jejich zpracování. Díky účinným variacím povlakování, jako je nitrid titanu a hliníku, a zdokonalením úpravy řezných hran, byla společnost Seco schopná vyvinout vrtáky, které v podstatě umožňují zdvojnásobení rychlostí a posuvů při vrtání.

V budoucnosti bude u existujících geometrií provedeno více změn, které dále zlepší výkon vrtání. Spousta těchto drobných změn bude realizována pouze se současnými pokročilými technologiemi obráběcích strojů. Výrobci z leteckého průmyslu, kteří obrábí miliony otvorů, se již soustřeďují právě na takové specializované vrtáky.

## **Závěr**

Aby bylo možné účinně obrábět současné náročné materiály pro letecký průmysl, je důležité zajistit komplexní obráběcí řešení, a ne pouze produkt. Komplexní řešení řezného nástroje zahrnuje nejen nezbytnou geometrii a konstrukci, ale také odbornou podporu pro danou aplikaci – jediné znalosti a zkušenosti lidí v kombinaci s pokročilým produktem mohou vést k vytvoření komplexního řešení a dosažení ideálních výsledků.

Kvalita dílů a bezpečnost procesů vyžadují ty nejlepší nástroje navržené pro konkrétní aplikaci, ať už se jedná o kompozitní materiály, titan nebo Inconel. Takové nástroje ale musí dodat dodavatel, který je schopen a ochoten poskytovat podporu ohledně řádného způsobu jejich používání, aby bylo dosaženo optimálních výkonů. Klíčem k získání většiny výhod ze současných pokročilých nástrojů navržených pro houževnaté materiály používané v leteckém průmyslu je vzdělávání a školení.

Autor:

Teun Van Asten, Engineer Marketing Services, Seco Tools

Wilco van den Boogaard, Application Engineer Solid Milling, Seco Tools  
Pär Nordberg, R&D and Project Engineer, Seco Tools



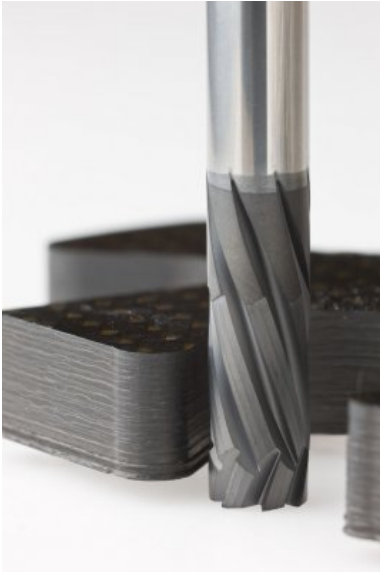
**Vrtáky PCD, trojbřítý typ CX1 pro použití v uhlíkových kompozitech (CFRP)**



**JC845 - nový kombinovaný nástroj s dvojitou šroubovicí a utvařeči třísek**



**JC840 v akci**



**JC840 - dokončovací nástroj s dvojitou šroubovicí a s povlakováním Dura**



**JC840 - dokončovací nástroj s dvojitou šroubovicí a s povlakováním Dura**



**JHP770\_&\_JHP780**

*Společnost Seco Tools je předním světovým výrobcem vysoce výkonných obráběcích nástrojů. Produkce společnosti Seco zahrnuje kompletní program nástrojů a břitových destiček pro soustružení, frézování, vrtání, vystružování a vyvrtávání, doplněné i upínacími systémy nástrojů. S více než 25 000 standardních produktů tak společnost Seco kompletně pokrývá oblast obrábění kovů a vybavení obráběcích strojů od vřetena až po bříty nástrojů.*

*Společnost sídlí ve Švédsku, v městě Fagersta, a má zastoupení ve více než 50 zemích světa, spolu se 40 přidruženými společnostmi, distributory a prodejci. Více informací na [www.secotools.com](http://www.secotools.com).*