

# Rotační zapichování

Ing. Jan Hnátík, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Katedra technologie obrábění

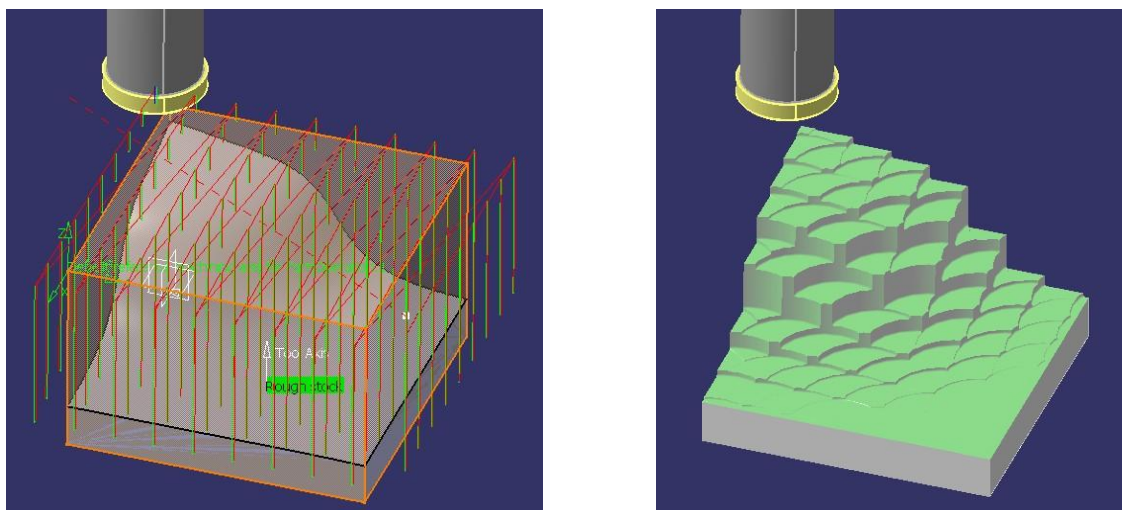
Zapichovací frézování neboli také plunging je metoda, která využívá speciálních nástrojů – plunžrů - pro rychlý a efektivní úběr materiálu. Většina frézovacích strategií v CAM systémech však využívá pouze rovných drah. Práce zkoumá možnosti využití plunžrů při pohybu nástroje po tvarových drahách, které kopírují povrch obrobku. Tato metoda je použitelná především pro obrábění na víceosých strojích. Jedná se o alternativu klasického hrubování a může dojít ke značnému zkrácení drah nástroje a tím i zkrácení času obrábění.

## 1 Zapichovací obrábění

Termín zapichovací obrábění je ve své podstatě poněkud zavádějícím názvem, neboť zapichování je soustružnická operace. V případě frézování jde o strategii, kdy se speciální frézovací nástroje (plunžry) pohybují axiálně vůči obrobku.

*Pozn.: Nejednotnost českého termínu dokazuje i to, že pro tento druh obrábění se používá i mnoho jiných názvů, jako: plunžování, ponorné frézování, zavrtávací frézování apod.*

Povrch takto obrobené součásti je pak tvořen malými ploškami a prakticky není téměř možné dosáhnout hladkého povrchu. Operace se tedy hodí především pro hrubovací operace. Hlavními výhodami zapichovacího frézování je především velmi výhodné rozložení řezných sil, které na rozdíl od ostatních frézovacích strategií působí více v axiálním směru. V tomto směru má nástroj pochopitelně nejvyšší tuhost.



Obr. 1 Zapichovací hrubování

Tento druh obrábění byl původně určen pro zefektivnění hrubovacích operací na starších a málo tuhých strojích. Postupem času se však prosadil i na výkonných strojích.

## 2 Dráhy zapichovacího frézování

Jak již bylo napsáno v kapitole 0, jsou dráhy zapichovacího obrábění vesměs přímkové resp. úsečkové. Jejich poloha je řízena pomocí různých způsobů, nejčastěji je to rovnoměrnou sítí, která má definované rozteče drah v jednotlivých směrech (takto byly např. vytvořeny dráhy u operace na Obr. 1). Dále je možné jednotlivé dráhy nadefinovat podél řídicí křivky nebo v jednotlivých bodech, které si programátor sám nadefinuje.

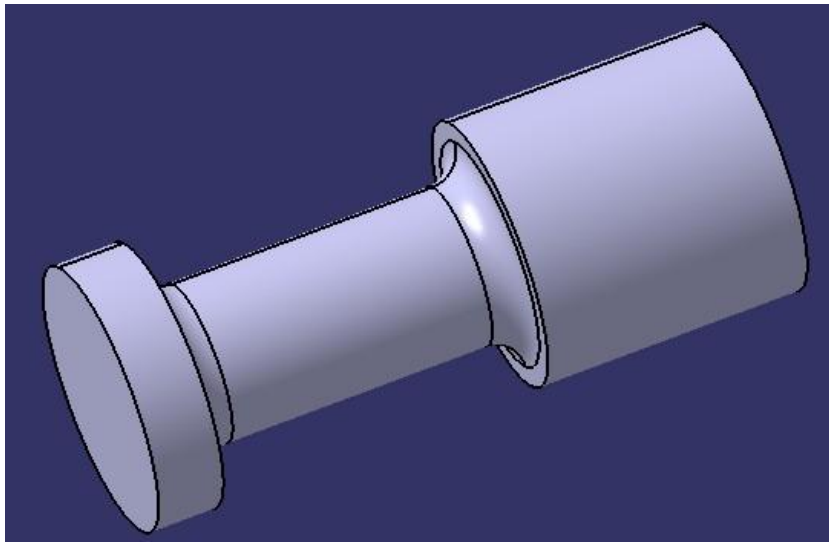
## 3 Rotační zapichování

Hlavní myšlenkou rotačního zapichování je nahrazení přímkových drah rotačními dráhami anebo dráhami, které vedou po obecné křivce. To by pak u určitých typů součástí mohlo vést ke zkrácení času obrábění ve srovnání s klasickým frézováním a zároveň také k dosažení menšího zbytkového materiálu, než jaký je u klasického zapichovacího obrábění. Typickým představitelem jsou dlouhé a štíhlé obrobky nerotačního tvaru (např. turbínové lopatky).

## 4 Zkušební součást 1

Pro zjištění možností tohoto druhu obrábění jsou na počátku zvoleny poměrně jednoduché tvary. V první řadě se jedná o válcovou plochu, která je z obou stran ohraničena osazením.

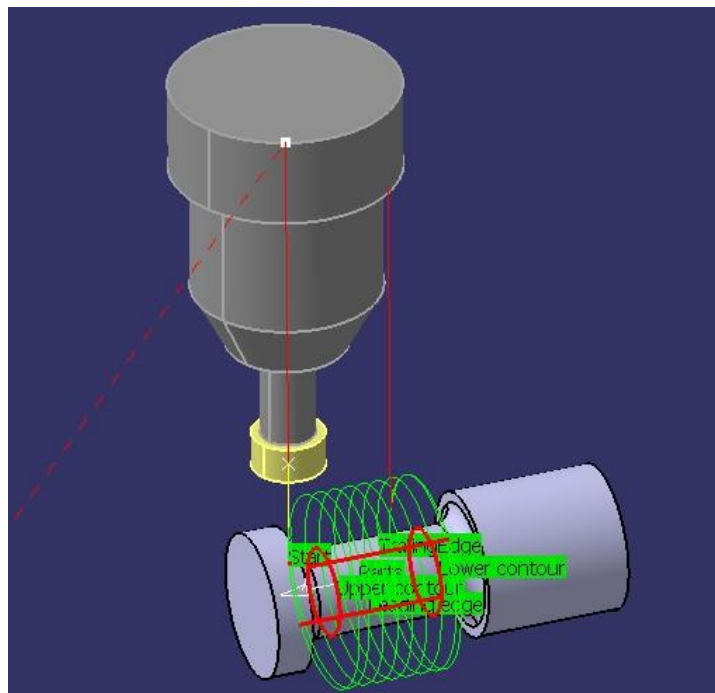
*Pozn.: Pro tuto součást by bylo pochopitelně nejvýhodnější soustružení, jde však pouze o demonstraci možností rotačního zapichování.*



Obr. 2 Demonstrační součást pro rotační zapichování

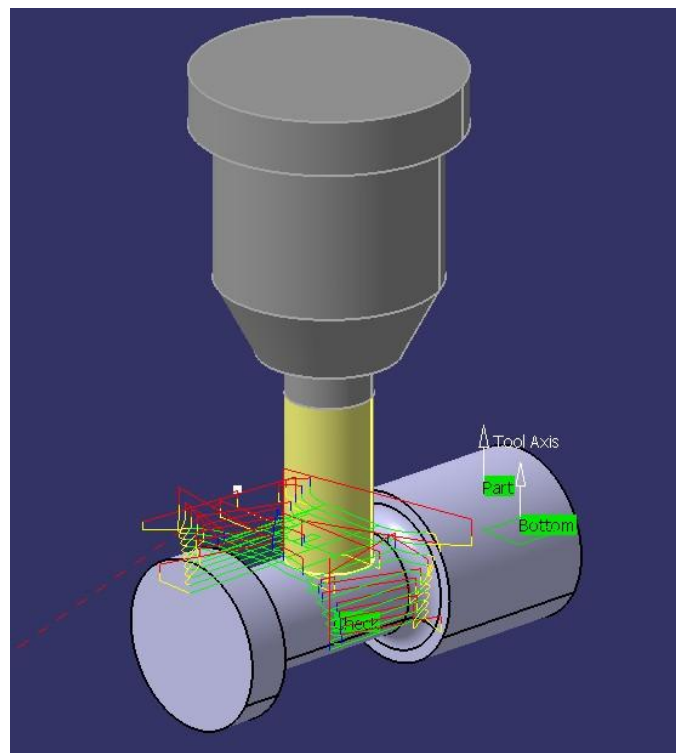
Problémem však je, že pro takové dráhy nejsou v CAM systémech (resp. v CAM systému CATIA V5, který je používán na ZČU) připraveny vhodné nástroje. U složitějších součástí bude proto nutné dráhy vygenerované CAM systémem ještě ručně upravit.

U této součásti je možné použít operaci Multi-Axis Helix Machining. Ta je právě speciálně určena pro obrábění turbínových lopatek. Nástroj se při této operaci pohybuje spirálně po povrchu obrobku. Pro zapichovací frézování je však nutné změnit osu nástroje.



Obr. 3 Simulace drah pro rotační zapichování zkušební součásti 1

Ve srovnání s touto operací je klasické hrubování. Hrubování klasicky probíhá ve třech osách a proto je nutné celé obrobení rozdělit do dvou operací (ze dvou stran).

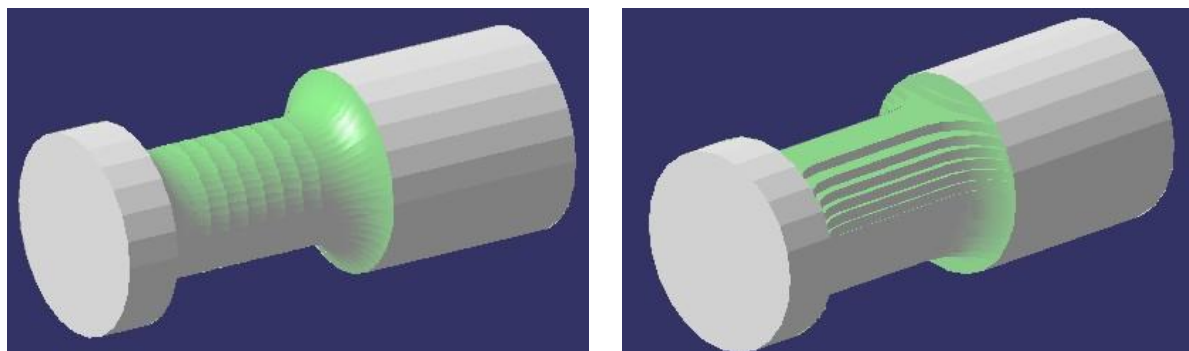


Obr. 4 Simulace drah pro klasické hrubování zkušební součásti 1

U obou operací byl zvolen nástroj o průměru  $D = 25\text{mm}$ . V obou případech je řezná rychlost nastavena na  $200\text{m/min}$  a posuv na zub  $0,1\text{mm}$ . U klasického hrubování je navíc tloušťka odebírané vrstvy ( $A_p$ )  $1\text{mm}$ . Tyto hodnoty jsou nastaveny na základě katalogových hodnot a mohou se proto od optimálních lišit. V případě volby těchto podmínek jsou časy operací následující:

| Operace             | Čas obrábění |
|---------------------|--------------|
| Rotační zapichování | 4min 29s     |
| Hrubování 1 + 2     | 12min 10s    |

Pro srovnání jsou uvedeny výsledky fotorealistické simulace obrábění oběma způsoby.

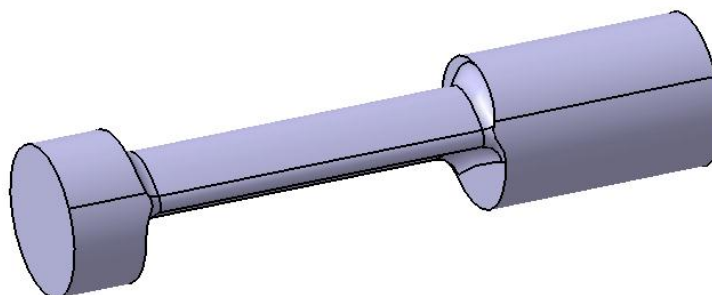


Obr. 5 Výsledek rotačního zapichování a klasického hrubování

Již ze simulace obrábění je patrné, že v případě rotačního zapichování je výsledný tvar vhodnější pro další operace, než je tomu v případě součásti obrobené klasickým postupem. Porovnání časů je však pouze na základě simulace a pro celkové vyhodnocení je nutné brát v úvahu výsledky skutečných experimentů (viz kap. 7 a 8).

## 5 Zkušební součást 2

Předchozí součást slouží pouze pro demonstraci proveditelnosti rotačního zapichování. Ve skutečnosti se však setkáme spíše se složitějšími tvary. Zkušební součást 2 je tedy navržena jako tvar turbínové lopatky.

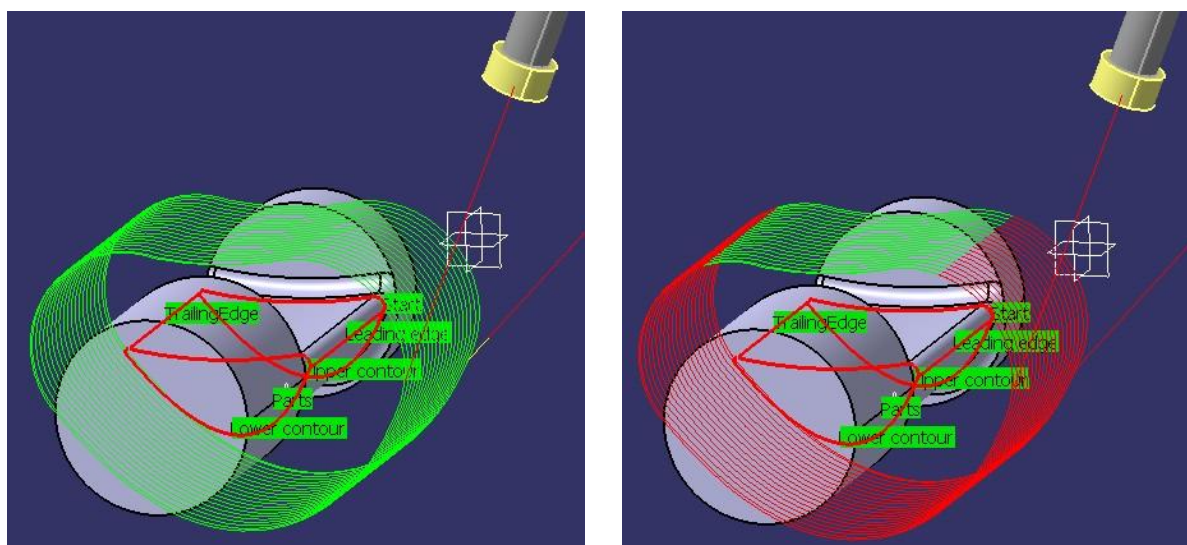


Obr. 6 Zkušební součást ve tvaru turbínové lopatky

Při tvorbě technologie pro tuto součást je opět využito operace Multi-Axis Helix Machining. Dráhy jednotlivých odebíraných vrstev však v první fázi hrubování vedou často mimo polotovar, dochází k tzv. „řezání vzduchu“ (Air Cutting). V tomto případě se projevuje již zmiňovaná nepřipravenost CAM systému Catia pro takové úlohy. Vygenerované dráhy je tedy nutné upravit ručně. Úprava spočívá v tom, že úsekům drah, které jsou mimo materiál, je přiřazena rychlost „rychlposuvu“.

Ruční nastavení rychlostí je však poměrně časově náročné, pro výběr určité oblasti řezných drah je nutné vytvořit skici, které pak slouží jako hraniční prvek pro výběr. Tyto skici je nutné vytvořit pro všechny vrstvy hrubování, což dále zvyšuje pracnost ruční úpravy.

Úpravy rychlosti pohybu nástroje však významně zkrátí čas obrábění. Např. hned při první odebírané vrstvě se čas zkrátí z 10min 42s na 2min 32s. Toto zkrácení času je ze všech vrstev největší, protože na začátku nástroj obrábí jen velmi malou část povrchu.



Obr. 7 Porovnání automaticky generovaných drah (vlevo) a upravených drah (vpravo), zeleně je zobrazen pracovní posuv a červeně rychloposuv

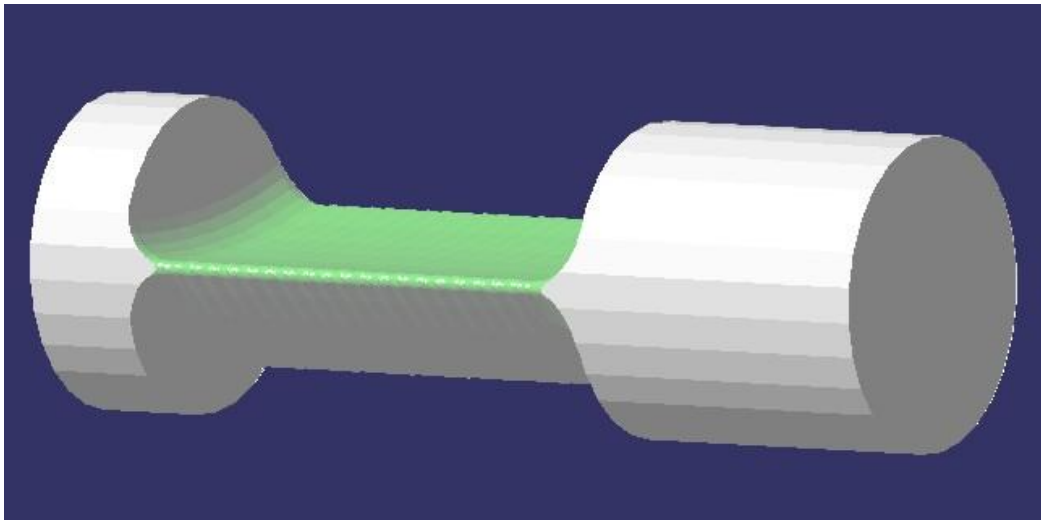
V případě klasického hrubování je situace obdobná jako u zkušební součásti 1, tedy je nutné obrábět součást ze dvou stran.

Srovnání celkového času hrubování při použití rotačního zapichování a klasického hrubování je v následující tabulce.

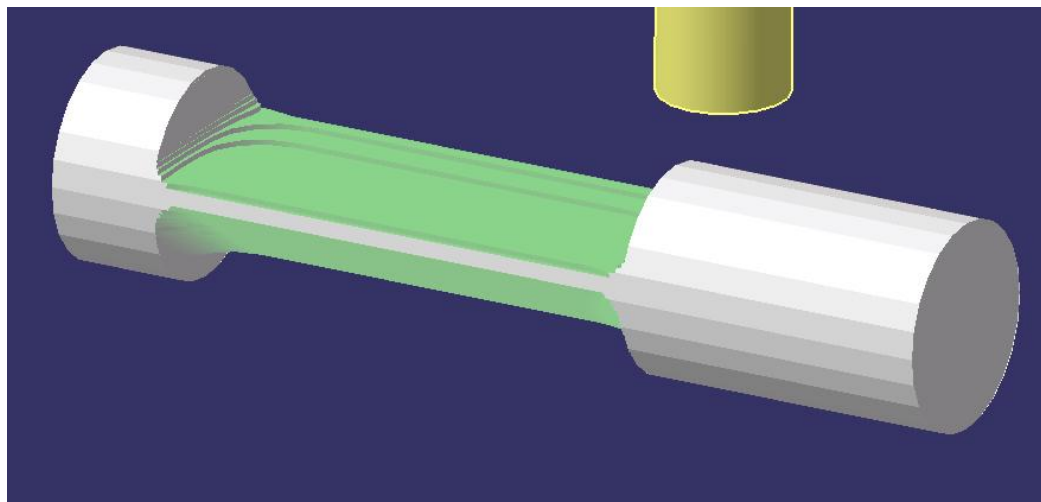
| Operace             | Čas obrábění |
|---------------------|--------------|
| Rotační zapichování | 14min 26s    |
| Hrubování 1 + 2     | 25min 10s    |

Stejně jako v předchozím případě se vychází z teoretických hodnot řezných podmínek a skutečné časy se liší od hodnot zjištěných experimentem.





Obr. 8 Výsledek simulace při hrubování rotačním zapichováním



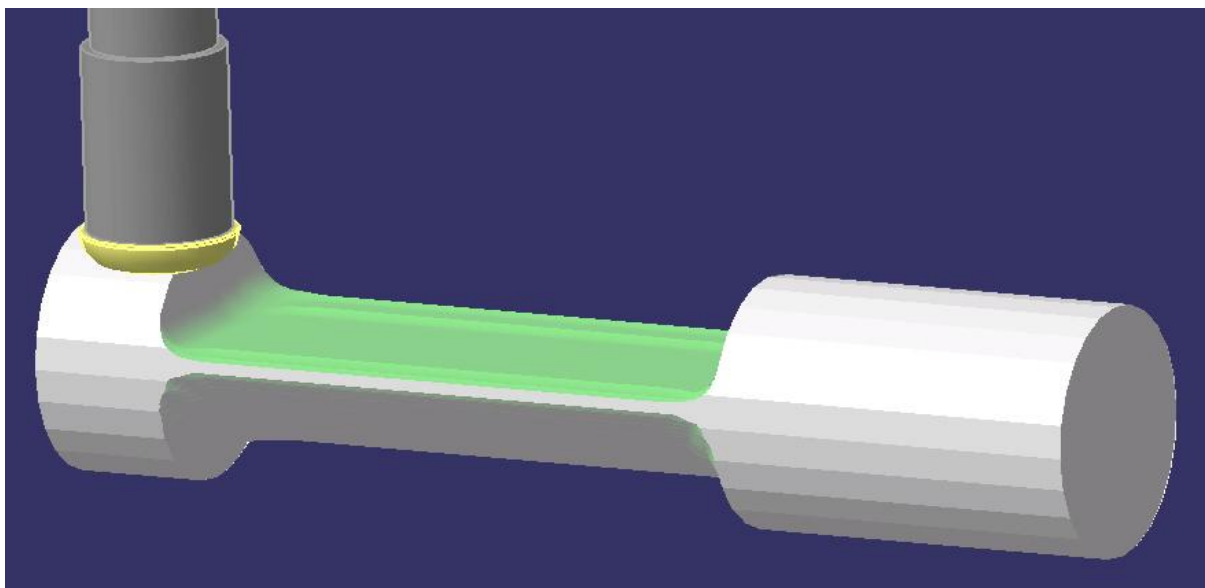
Obr. 9 Výsledek simulace při klasickém hrubování

Již z výsledků simulace je vidět, že tvar dosažený rotačním zapichováním je daleko vhodnější pro dokončovací operace, protože daleko lépe kopíruje tvar součásti. V případě klasického hrubování zůstávají na povrchu „schody“, které při dokončování způsobují skokové změny zatížení nástroje a snižují tak přesnost obrábění. Nástroj se také nedostane do všech míst, jako je tomu v případě zapichování (např. vydutá část lopatky).

## 6 Klasické hrubování s kruhovými destičkami

Pro dosažení lepších výsledků při klasickém hrubování je možné použít také frézy s kruhovými destičkami. Pro porovnání tedy byla vytvořena i tato technologie. Jako nástroj byla zvolena fréza o průměru 25mm s kruhovými destičkami o průměru 10mm. Nástroj má tři břity, tím je v podstatě rotační zapichování znevýhodněno, protože plunger má pouze dva břity a je tedy možné očekávat nižší stabilitu řezného procesu. Klasické hrubování trvá 21min 10s.

Použitím kruhových břitových destiček je také dosaženo lepšího povrchu, než je tomu v případě pravoúhlých destiček.



*Obr. 10 Výsledek obrábění při použití kruhových destiček*

## **7 Praktické zkoušky rotačního zapichování**

Po předchozí tvorbě NC programů a jejich simulaci v prostředí CATIA V5 byla technologie tvarového rotačního zapichování prakticky vyzkoušena. Pro zkoušky byla nejprve použita součást č. 1.

Na této součásti byla ověřena funkčnost zvolené technologie. Výsledky dopadly dle očekávání, skutečný výrobní čas součásti byl 4min 41s, čas podle simulace byl 4 min 29s. Malý rozdíl je prakticky zanedbatelný a je způsoben pomalejším najížděním (především v případě rychloposuvů) skutečného stroje oproti simulaci.



*Obr. 11 Obrobená součást č. 1*

Tato rotační součást by však ve skutečnosti byla daleko produktivněji obrobena soustružením. Hlavní potenciál rotačního zapichovacího hrubování je v obrábění složitějších tvarů, které klasické soustružení obrobit nemůže.

Po úspěšném testu, kdy byly ověřeny především technologické možnosti nástroje (vhodná volba technologických podmínek) a schopnosti stroje provést program bylo přistoupeno k testu na složitější součásti, která svým tvarem připomíná plochu listu turbínové lopatky – součást č.2. Rotační zapichovací hrubování by totiž bylo vhodné především pro podobné tvary.

Obrobení této součásti proběhlo také úspěšně. Výsledný čas obrábění byl 17min 10s. Pro porovnání, čas simulace v CAM systému byl 14min 26s. Výraznější rozdíl mezi oběma časy je opět způsoben pomalejšími pohyby stroje, v tomto případě je ale pohybů rychloposuvem více a proto je rozdíl vyšší.



*Obr. 12 Obrobená součást č. 2 – rotační zapichování*

Tyto časy je možné porovnat s časy, které by byly potřebné k obrobení klasickými strategiemi hrubování.

## **8 Praktické zkoušky klasického hrubování**

Klasické hrubování bylo vyzkoušeno na obráběcím stroji MCV 750A. V prvním testu byla použita frézovací hlava o průměru 25mm, tedy srovnatelná s průměrem plungeru. Frézovací hlava je osazena kruhovými vyměnitelnými břitovými destičkami. Kruhové destičky ale nejsou příliš vhodné pro hrubování, jednak kvůli směru působících řezných sil a dále kvůli velkému řeznému odporu způsobeném poměrně dlouhým břitem, který je v záběru. Testy byly přerušeny, neboť zvolené řezné podmínky byly pro obrábění příliš vysoké. Snížením by se prodloužil čas obrábění a srovnání s časy při rotačním zapichování by tak nemělo smysl.

V druhém případě byla použita fréza s obdélníkovými řeznými destičkami. Na KTO byla dostupná pouze hlava s průměrem 20mm a dvěma břitovými destičkami. Vzhledem k tomu, že ve většině času není využit plný průměr nástroje, není to v podstatě nevýhoda, která by výrazněji prodlužovala čas obrábění. Celé hrubování bylo rozděleno do dvou programů, které obráběly součást ze dvou protilehlých stran. Časy obou programů jsou 20min 5s a 15min 21s.



Celkový čas na hrubování lopatky je tedy 35min a 26s. Je zde vidět značný nárůst proti teoretickým hodnotám v CAM systému. Pro porovnání, čas pro hrubování rotačním zapichováním byl 17min 10s.



Obr. 13 Obrobená součást č. 2 – klasické hrubování

## 9 Závěr

Ze tří použitých strategií jsou reálně použitelné pouze dvě a to rotační zapichování a klasické hrubování frézovací hlavou s obdélníkovými destičkami. Rotační zapichování však dosahuje přibližně polovičních časů. Je však nutné podotknout, že jak v případě rotačního zapichování, tak v případě klasického hrubování bylo možné zvyšovat minutový posuv. V případě klasického hrubování by však bylo pro vyrovnání časů nutné zvýšit posuv na zub na dvojnásobné hodnoty, což by činilo posuv na zub 0,2mm/zub. V případě zvýšení posuvu i u plungeru na dvojnásobek, bylo by pro opětovné vyrovnání časů nutné zvýšit hodnotu posuvu u klasického hrubování na 0,4mm/zub, což se v případě frézy s průměrem 20mm zdá jako nereálné.

Výsledky testů byly konfrontovány s programátory z praxe, kteří se úzce zabývají výrobou turbínových lopatek. Vzhledem k faktu, že využívají speciální CAM systém a obrábění provádějí speciálními nástroji na strojích, které jsou již od výrobce optimalizovány na výrobu turbínových lopatek, jsou časy, které pro výrobu lopatek potřebují, značně kratší. Dalším faktem, který k tomu přispívá je i to, že obrobky při testech byly na stroji upnuty letmo, zatímco na speciálních strojích jsou upnuty na obou stranách. To umožňuje zvýšit řezné podmínky a dále tak zkrátit výrobní čas.

Metoda rotačního zapichování je proto vhodná spíše pro výrobce, kteří mají univerzální nástrojové a strojní vybavení, a kteří hledají alternativu ke klasickému hrubování podobných tvarů.

**Tato práce vznikla v rámci grantu SGS – 2010 - 083**

