

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Ústav strojírenské technologie

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
THE INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Frézování složitých strojních součástí

Milling of complicated parts

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ POSOLDA

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAN ZOUHAR

BRNO 2009

ABSTRAKT

Popis výroby lopatkových kol turbodmychadla. Vygenerování 5-ti osých drah pro obrábění lopatkového kola za pomoci CAM softwaru PowerMILL. Vytvoření CNC programu s využitím postprocesoru za pomoci stejného softwaru.

Klíčová slova

5-ti osé obrábění, lopatkové kolo, CAM, PowerMILL, CNC program

ABSTRACT

Description of turbocharger impeller wheels manufacture. Generating of five axis machining paths for the impeller with help of CAM software PowerMILL. Creation of a NC programme using post-processor with help of the same software

Key words

Five axxis machining, impeller, CAM, PoweMILL, CNC program

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POSOLDA, Jiří. *Název: Frézování složitých strojních součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 46s., 1 příloha. Vedoucí práce: Ing. Jan Zouhar

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Frézování složitých strojních součástí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Jiří Posolda

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Janu Zouharovi za velmi cenné připomínky, rady a technologickou podporu při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji Ing. Milanu Kalivodovi za cenné rady a připomínky.

Také děkuji svojí rodině za podporu a trpělivost, kterou se mnou při studiu měla.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
ÚVOD.....	9
1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU.....	10
1.1 Turbodmychadla.....	10
1.1.1 Historie.....	10
1.1.2 Princip turbodmychadla.....	10
1.1.3 Poškození turbodmychadla.....	11
1.2 CNC systémy.....	12
1.2.1 Historie.....	12
1.2.2 Popis konstrukce frézovacího centra.....	12
1.3 Pěti-osé frézování.....	13
2 TECHNOLOGIE VÝROBY OBĚŽNÉHO KOLA.....	13
2.1 Výroba třískovým obráběním.....	14
2.1.1 Úvod do třískového obrábění lopatkových kol.....	14
2.1.2 Metody hrubování oběžného kola.....	14
2.1.3 Metodika hrubování oběžného lopatkového kola.....	16
2.1.4 Metody dokončování lopatkového kola.....	16
2.2 Výroba lopatkových kol Rapid Prototypingem.....	17
2.3 Odlévání oběžných kol.....	18
3 CAM.....	18
3.1 Firma Delcam.....	19
3.1.1 Historie.....	20
3.1.2 Produkty.....	21
3.2 PowerMILL.....	22
3.2.1 Charakteristika PowerMILLu.....	22
3.3 Obráběcí strategie v PowerMILLu.....	23
3.3.1 Běžné hrubovací strategie.....	23
3.3.2 Běžné dokončovací strategie.....	24
3.3.3 Speciální strategie.....	25
3.4 Prostředí PowerMILLu.....	27
3.5 Import modelu.....	28
3.6 Polotovary.....	28
3.6.1 Geometrie polotovaru.....	28
3.6.2 Materiál polotovaru.....	29
3.6.3 Upnutí polotovaru.....	29
4 ZPRACOVÁNÍ OBRÁBĚNÍ OBĚŽNÉHO KOLA.....	30
4.1 Hrubování modelu lopatky.....	30
4.1.1 Nastavení geometrie.....	30
4.1.2 Generování dráhy.....	31
4.1.3 Řezné podmínky.....	32
4.2 Dokončení lopatky.....	33
4.2.1 Řezné podmínky.....	34
4.3 Dokončení středu.....	35

4.4	Možnosti optimalizace.....	36
4.4.1	Volba jiného polotovaru	36
4.4.2	Předhrubování	36
4.5	Možnosti obrábění bez specializovaných strategií	37
4.5.1	Hrubovací strategie	38
4.5.2	Dokončovací strategie.....	38
5	ZPRACOVÁNÍ CAM DAT	38
5.1	Postprocesor.....	39
5.2	Tvorba NC programu.....	40
	ZÁVĚR.....	41
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	Chyba! Záložka není definována.
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	Chyba! Záložka není definována.
	SEZNAM PŘÍLOH.....	Chyba! Záložka není definována.

ÚVOD

Při historickém vývoji strojní techniky jsou potřeba stále složitější součásti s komplikovanými povrchy. Proto bylo nasnadě využití výpočetní techniky při jejich výrobě. Dnes již nezastupitelnou roli při výrobě hrají CAD/CAM systémy. Složité součásti s komplikovanými povrchy se již bez využití CAD/CAM systémů nedají vyrobit. Kvalitní CAM software ke zefektivnění výrobního a technologického postupu a stal se nezbytnou součástí ve většině větších strojírenských provozů.

V mojí práci se budu zabývat návrhem výroby lopatkového kola turbodmychadla. Lopatkové kolo je důležitou součástí v automobilovém, leteckém a lodním průmyslu. Jeho výroba je složitá a bez CAM softwaru i téměř neproveditelná.

K návrhu výroby budu používat CAM software PowerMILL společnosti Delcam, jenž patří mezi vysoce kvalitní softwary tohoto zaměření.



Obr. 1 Logo softwaru PowerMILL

1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

1.1 Turbodmychadla

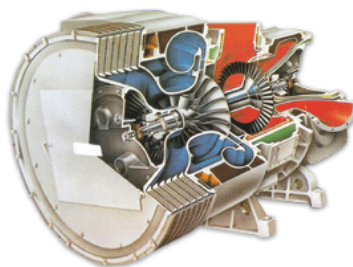
Turbodmychadlo je prvek ve spalovacím motoru, který slouží ke zvýšení výkonu motoru pomocí zvětšení tlaku vzduchu ve válcích, díky čemuž roste výkon motoru.

1.1.1 Historie

První turbodmychadlo vymyslel a sestrojil Alfred Buchi už v roce 1915. První turbodmychadla se začala používat u velkých zaoceánských lodí a průmyslových motorů, například u elektrocentrál. V šedesátých letech minulého století došlo k velkému rozmachu využití turbodmychadel. Byly ve velkém používány v automobilovém, leteckém i lodním průmyslu. Dnes je tomu nejinak, motory s turbodmychadly se montují do osobních i nákladních aut, do lodí, letadel dokonce v ojedinělých případech i do motocyklů (např. Kawasaki GPz750 Turbo).

1.1.2 Princip turbodmychadla

Turbodmychadlo má vcelku jednoduchý princip. Hnací turbínka je roztáčená výfukovými plyny, hnací turbínové kolo roztáčí hřídel na kterém je připojená a hřídel roztáčí další lopatkové kolo, které nasává čerstvý filtrovaný vzduch do motoru a přes sání ho vhání dále do hnacích válců. Otáčky se běžně pohybují v řádech desetitisíců ot.min^{-1} a dosahují hodnot až k 300 000 ot.min^{-1} v závislosti na konstrukci turbodmychadla. Uložení oběžných kol musí být velmi kvalitní, používají se fluidní ložiska, která drží malou hřídel na tenké vrstvě oleje, takže se oběžná kola otáčejí s minimálním třením, anebo speciální vysoce kvalitní ložiska kuličková. Olej na mazání se odebírá z mazací soustavy motoru a má též má chladicí význam. Před návratem do mazací soustavy motoru musí být ochlazen. Nevýhoda je velké zahřátí vzduchu, tudíž musí být turbodmychadlo vyrobeno s žáruvzdorného materiálu, používají se speciální slitiny a žáruvzdorné nástřiky a povlaky.



Obr. 1.1 Průřez turbodmychadlem [3]

Turbodmychadlo vzhledem ke konstrukci a principu začne mít záběr až při vyšších otáčkách motoru (okolo 2500 u benzínových a 1800 u naftových). Mezitím dochází k prodlevě. U vozidel s mechanickým roztáčením kompresoru prodleva odpadá, ale zase nám kompresor ubírá na výkonu motoru, tento systém používá například automobilka Jaguar. Pro zmenšení doby prodlevy můžeme zmenšit průměr lopatkového kola, nebo ho odlehčit, čímž se zmenší rotační setrvačnost, nebo někteří výrobci používají soustavu dvou menších turbodmychadel, z nichž jedno se zapojí později. [1]

1.1.3 Poškození turbodmychadla

Turbodmychadlo se může poškodit z několika různých příčin: cizí předmět vnikne do prostoru a poškodí nám lopatkové kolo; špatné mazání – dojde k zadření; nečistoty nebo nekvalitní mazací olej, proto je potřeba mít kvalitní olejové filtry; přehřátí způsobené například vypnutím motoru po vysokém výkonu – olej přestane proudit a spálí se ,ucpe přívod a způsobí tím poškození turbodmychadla – či například je špatný přívod vzduchu atp. [2]



Obr. 1.2 Lopatkové kolo turbodmychadla poškozené cizím tělesem [2]

1.2 CNC systémy

1.2.1 Historie

V padesátých letech minulého století začaly vznikat první číslicově řízené stroje. Vznikly ze strojů stávajících, a to upravením jejich pohonů s přidaným řídicím zařízením, které sledovalo polohu bodů dráhy z nějakého paměťového média. První paměťová média bývaly dřevěné papírové štítky a pásy. Později se tyto servomechanismy vylepšily přidáním počítačů, a tím položily základ počítačově řízeným systémům.

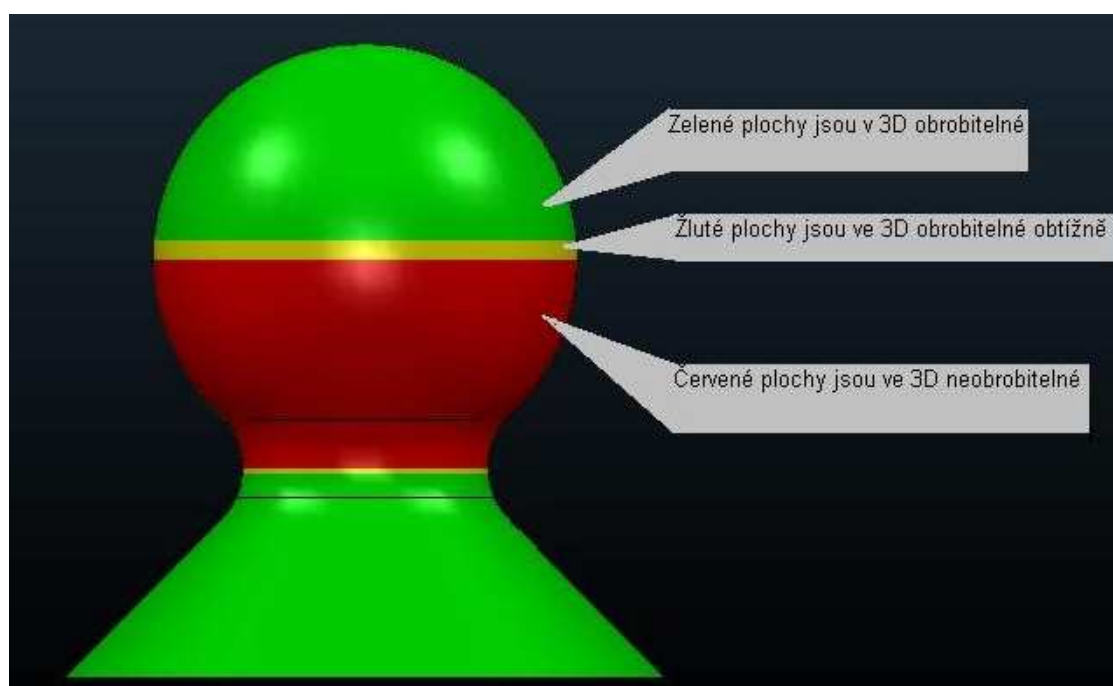
Dnešní CNC systémy jsou vysoce automatizované, používají CAD/CAM programy, které vytvoří program pro konkrétní stroj, jenž pak stroji udává příkazy a který se poté nahraje do stroje a použije při výrobě. Počítačové řízení se využívá na všech typech strojů, všech velikostí od nejmenších soustruhů přes řezačky, brusky, lisy po celé výrobní úseky.

1.2.2 Popis konstrukce frézovacího centra

CNC frézovací obráběcí centrum musí mít lože, zajišťující při obrábění dostatečnou tuhost a tím i přesnost výroby, dále by mělo být tepelně stálé. Přesnost u pojezdů zajišťují kuličková vedení. Pohon pojezdů zajišťují servomotory, umožňující rychlosti i v řádech desítek metrů za minutu. Pohon nástrojů zajišťuje otáčející se vřeteno, jenž musí být velmi přesné. Vřetena se někdy mohou i vyklápět, např. u univerzálních obráběcích center umožňující soustružení a i frézování. Vřetena jsou poháněna pomocí řemenů a řemenic, ovšem dělají se i vřetena s integrovaným motorem což zvyšuje přesnost otáčení a tím i kvalitu povrchu. Pokud chceme čtyř a pěti-osé obrábění, musíme mít říditelný otočný a naklápěcí stůl. Pro automatizovanou výměnu nástrojů se používají zásobníky nástrojů. Bubínkové byly pro malou kapacitu vytlačeny řetězovými, které mají kapacitu v řádu desítek až stovek nástrojů. Stroj musí mít výkonné chlazení zajišťující odvod tepla z obrobku a nástroje. Stroj je řízen řídicím systémem. Moderní řídicí systémy mají grafické rozhraní, umožňující simulaci obrábění, též se na nich dá do jisté míry i vytvářet CNC program. [7]

1.3 Pěti-osé frézování

Rozdíl mezi tří-osým a pěti-osým obráběním spočívá v tom, že u pěti-osého obrábění má nástroj navíc další dva stupně volnosti a může se natáčet v dalších dvou osách, díky tomu se nástroj může libovolně natáčet, a tím pádem se může přizpůsobovat zkroucení lopatek během obráběcího procesu. Mimo to, že má pěti-osé obrábění větší produktivitu a lepší plánování tras nástroje, a kvalitnější povrchy, mohou též pěti osé obráběcí centra uspokojit stále náročnější požadavky na složitost, přesnost a kvalitu výrobku. U frézovacích center se pěti-osého frézování dosáhne použitím naklápěcího a otočného stolu. [9],[10]



Obr 1.3 Frézování ve 3D

2 TECHNOLOGIE VÝROBY OBĚŽNÉHO KOLA

Oběžná lopatková kola patří mezi velmi důležité součásti v leteckém, automobilním a lodním průmyslu. Jejich výroba probíhá třískovým obráběním, odléváním či rapid prototypingem.

2.1 Výroba třískovým obráběním

Na výrobu třískovým obráběním se používá frézování, pro dokončování povrchů se může užít broušení. Polotovar můžeme na určitou přesnost a základní tvar vyrobit soustružením.

2.1.1 Úvod do třískového obrábění lopatkových kol

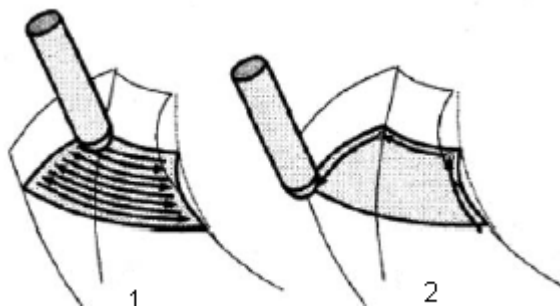
Tvar oběžného kola bývá většinou s velmi složitými plochami, velmi zkroucenými lopatkami, které se navíc vzájemně překrývají. Tří a čtyř-osé frézování se dá použít pouze u kol s nezkroucenými lopatkami. U kol se zkroucenými lopatkami se dá použít tří a čtyř-osého frézování pouze velmi omezeně. Hrozí nebezpečí kolizí nástroje a překrývající se lopatky, a kvůli složitým přejezdům by bylo takové obrábění neefektivní, proto musíme použít pěti-osého frézování. [9],[10]

2.1.2 Metody hrubování oběžného kola

Mnoho CAM systémů, včetně PowerMILLu, mají velmi propracované strategie na dokončování lopatek, ovšem nemají už propracované hrubování, které je z hlediska strojních časů a přesnosti klíčové. První nutná věc je kvalitní model efektivního oběžného kola. Typické oběžné kolo je kruhová otáčivá součást, která má po obvodu určitý počet buď identických, nebo střídavých malých a velkých lopatek, které jsou na středové základně. Předběžný výpočet geometrie se provádí termomechanickými a hydromechanickými výpočty. Křivka základny se získá optimalizačním algoritmem. Lopatka má vrchní (nasávací) a spodní (tlakový) povrch, náběhovou a koncovou hranu a v neposlední řadě povrch základny.

Metod na hrubování oběžných lopatkových kol bylo vymyšleno několik. Vědecká práce Morishigeho a Takeuchiho [13] se zabývá obráběním pomocí bezkolizní strategie vycházející z klasického 3D modelu. Ve své strategii obrábí mezilopatkový prostor čelem vykloněného nástroje - kulová fréza – po vrstvách. Plochu každé vrstvy obrobí rastrem s malým přídávkem na plochách lopatek a základny a v druhé fázi obrobí přídavek na stěnách. Poté se přesune

na další vrstvu. Tato metoda je při velkém úhlu překrytí lopatek nevhodná, protože nelze úplně vyloučit kolizi nástroje s obrobkem.



Obr. 2.2 Hrubování podle Morishigeho [10]

Chuang a Pan [14] popsal metodu robustního hrubování B-spline povrchů. Několik původních B-spline povrchů je vyrobeno, a poté jsou jednotlivě skládány do Bezierova povrchu. Všechny vypouklé Bezierovy povrchy jsou sjednoceny do přibližného modelu. Tento algoritmus je použit pro “krájení” jednotlivých vrstev kapsy. Nástrojové dráhy jsou plánovány tak, že každá jednotlivá 2D vrstva kapsy je obrobena samostatně. Dalších několik výzkumů používá podobný princip.

„ISO-parametrická metoda se často používá při generování nástrojových drah. V této metodě je každá nástrojová dráha generovaná podél směru každého parametru. Nástrojové dráhy pak jsou často koncentrovány v úzkém prostoru křivky povrchu. Suresh a Yang [15] se zabývali snížením množství drah. Vymysleli metodu výpočtu dráhy nástroje kontrolováním výšky zbytkového zoubkování. Interval mezi nástrojovou drahou je zjištěn a vyjádřen podle průměru frézy, výšky zoubkování a poloměru zakřivení. Tato metoda pomohla snížit množství drah, ale pořád zůstávají problémy, které v reálných aplikacích musí být vyřešeny.“ [10]

Koren a Lin [16] navrhli metodu hrubování offsetovou nástrojovou drahou. Offset zaručuje, že nástroj se nebude zbytečně pohybovat po již obrobených plochách. Jejich strategie je založena na obrábění kulovou frézou v tří-osém obrábění. Při této metodě vzniknout nerovnosti na povrchu,

způsobené zoubkováním mezi jednotlivými nástrojovými drahami. Také tu bude křivková chyba ovlivňující směr nástroje. Aby byly chyby pod kontrolou, je nutno vyhodnotit vzdálenosti mezi rovnými přímkami mezi jednotlivými drahami. Abychom věděli, zda je nutné přidávat další body, tak můžeme použít numerickou analýzu vymyšlenou Loneyem a Ozsoyem [18].

You a Chu [17] se zabývali řešením nástrojové cesty spíše pro jednotlivé problémy. Jejich strategie se zaměřují na úzké a hluboké řezné plochy připomínající hluboké dutiny a bezkolizní generování drah. [10]

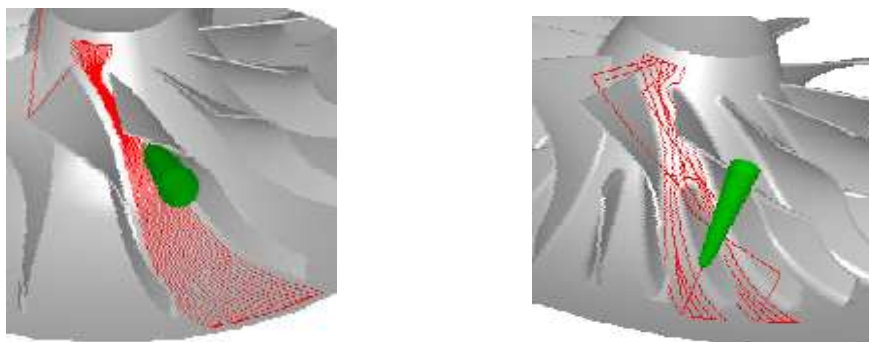
2.1.3 Metodika hrubování oběžného lopatkového kola

Nejdřív zjistíme hrubovací problémy, pak vyřešíme algoritmus pro plánování drah. Poté rozdělíme obrábění na úzké a hluboké otvory mezi lopatkami. Dále musíme zjistit kontaktní místa nástroje pro jednotlivé úseky a poté se musí pospojovat nástrojové dráhy. Výsledkem je vyhrubované lopatkové kolo. [10]

2.1.4 Metody dokončování lopatkového kola

Dokončování je nejdůležitější částí z hlediska geometrie lopatkového kola. Vhodně zvolené dokončovací strategie mají velký vliv na geometrii, kvalitu obrobené plochy a v neposlední řadě i na dokončovací čas obrábění a tím i náklady na výrobu. Dokončování dělíme na dokončení lopatky a dokončení prostoru základny mezi lopatkami. Dokončit musíme, pokud si to návrh žádá, i náběžnou hranu lopatky.

Dokončování prostoru mezi lopatkami provádíme parametricky, dráhy vedou plynule jedna vedle druhé buď axiálně, nebo zřídka radiálně. Axiální vedení drah je výhodnější, neboť nástroj jede delší vzdálenost bez přerušení a zoubkování na frézovaném povrchu vede ve stejném směru jako osa lopatkového kola. Polohu nástroje volíme tak, aby bylo zoubkování co nejmenší. Obrábění můžeme volit buď jednosměrné, nebo obousměrné. Vzhledem k tvarové složitosti povrchu používáme kulovou frézu. Nástroj je řízen křivkou nebo povrchem a natáčí se podle potřeby. Některé CAM systémy obsahují specializované strategie na toto dokončování.



a) bez mezilopatky

b) s mezilopatkou

Obr. 2.3 Dokončení prostoru mezi lopatkami [21]

Dokončování lopatek a mezilopatek je prováděno bokem frézy ve směru osy lopatkového kola. Tato metoda nezanechává stopy po obrábění, jako například zoubkování. Povrch lopatek je hladký, neovlivňuje proudění plynů. Nástroj se natačí podle potřeby. Je veden křivkou lopatky a kopíruje její povrch. Když se nástroj dostane na konec lopatky, tak přejde náběžnou hranu a pokračuje v obrábění druhé strany lopatky. Obrábění je jednosměrné. Některé CAM systémy obsahují specializované strategie na toto dokončování. [21]

Pořadí, ve kterém dokončujeme, záleží na výsledku hrubování a rozhodnutí technologa. Můžeme jako první dokončit lopatky a potom až prostor mezi lopatkami nebo naopak. Náběžné hrany se dokončují vždy v závěru.

2.2 Výroba lopatkových kol Rapid Prototypingem

Rapid prototyping je třída technologie, která dokáže vyrobit z CAD dat model fyzický. RP je založen na plátkování 3D objektů do 2D vrstev a skládáním je postupně dohromady až vznikne hotový 3D model. Rapid prototyping používá na tvorbu modelů mnoho druhů materiálů a používá se od plastických hmot až po kovy. Rapid prototyping prototypy se používají na ověření a simulace funkcí, jako vizuální kontrola a předvedení dané součásti. Rapid prototypingem se mohou vyrábět též modely na odlitky. Též se systém dá použít k reversnímu inženýrství, kdy získáváme z modelu pomocí snímačů CAD data. [20]

Výroba lopatkových kol rapid prototypingem začíná kvalitním CAD modelem. Tento model musíme překonvertovat do STL formátu. Tento formát převede povrch na trojúhelníky. Program předzpracovává model na plátky o tloušťce 0,1 až 0,7 mm v závislosti na technice vytváření a složitosti modelu. Další krok je vlastní tvorba hmotných částí z polymeru. Po vytvoření přijde dokončování povrchů a čištění. [19]



Obr. 2.4 Vrstvený STL model [19]

2.3 Odlévání oběžných kol

Kromě obrábění lze lopatková kola též vyrábět přesným odléváním. Postup je stejný jako u běžného odlévání. „Na základě výkresové dokumentace se navrhne tvar odlitku, navrhne a vyrobí modelové zařízení na lisování voskových modelů, navrhne se technologie odlévání a poté se již odlitek odlévá. V České republice se odléváním lopatkových kol zabývá například První brněnská strojírna Velká Bíteš a.s., která dodává odlitky lopatkových kol pro veškeré výrobce turbodmychadel v České republice a pro tři výrobce turbodmychadel v Německu“. [11]

3 CAM

CAM (Computer aided manufacturing) systémy slouží obvykle k tvorbě NC programu z CAD 3D modelu nebo 2D výkresu za využití počítače. CAM systémy se začaly v praxi používat v sedmdesátých letech 20. Století pro

výrobu automobilových a leteckých součástí. V dnešní době jsou jen těžko zastupitelné při téměř jakékoliv strojní výrobě. Pokud u méně složitých součástí značně urychlí a zjednoduší tvorbu NC programu, tak u součástí tvarově složitých se použití CAM programů stalo naprosto nezbytným.

Použití CAM systému je zjednodušeně na následujícím principu. Nainportujeme 3D model nebo 2D výkres, jenž musí být kompatibilní s použitým CAM softwarem. Zvolíme vhodný polotovar a nástroje použité k obrábění. Vygenerujeme dráhy nástrojů pro obrábění dané součásti, které odladíme a zoptimalizujeme, aby byly co nejefektivnější. Až jsme s výsledkem spokojeni, použijeme postprocesor pro daný řídicí systém stroje a vytvoříme NC program.

CAM systémy umožňují virtuálně simulovat průběh obrábění, díky čemuž můžeme kontrolovat kolizní stavy nástroj – obrobek, a provádět úpravy drah abychom dosáhli dokonalého výsledku. Jednodušší a levnější CAM systémy umožňují 2D a 2,5 D obrábění. Ovšem nemusí mít oproti modernějším CAM systémům tolik funkcí, nemusí mít automatickou kontrolu kolizních stavů, mohou mít například menší databázi nástrojů, a i matematika výpočtu drah nemusí být tak dokonalá. Modernější systémy již zvládají obrábění ve třech osách a nejmodernější a nejpropracovanější systémy zvládají i pěti-osé obrábění. Což znamená kromě pohybu nástroje ve 3D prostoru též natočení v dalších dvou osách. Tyto systémy mívají výborné grafické rozhraní, velké databáze nástrojů, mohou mít simulace namáhání stroje a opotřebením nástrojů atd. Též matematika výpočtů drah nástroje musí být na velmi vysoké úrovni. Mezi takovéto systémy patří PowerMILL. [6]

3.1 Firma Delcam

„Společnost Delcam přináší kompletní technologická řešení od dílenského frézování, komplexního frézování složitých tvarů v pěti osách, klasického soustružení, soustružení ve více osách, přes programování dlouhotočných automatů (SwissTurn), až po řízení drátových řezaček. Produkty společnosti DELCAM zvládají 2,5D, 3D i pětiosé obrábění a

obrábění na víceosých soustružnických automatech ve velké kvalitě za dobré ceny pro zákazníka“. [5]

3.1.1 Historie

Její počátky sahají do roku 1965 kdy Donald Welbourn z Cambridžské univerzity po přednášce profesora Stracheyho dostal nápad na využití počítačů v 3D modelování. Výzkum začal na univerzitě v Cambridgi a byl zaměřen na 3D design. Od roku 1972 kdy univerzita nakoupila dva tříosé NC stroje se výzkum rozšířil i na CAM. Roku 1974 Donald Welbourn přesvědčil předsedu společnosti Delta Group k využití počítačů ve strojním obrábění. V roce 1977 byla společností Delta Group založena dceřiná společnost Deltacam systems limited v Birminghamu. Tato společnost pokračuje ve výzkumu a poskytuje konzultace pro firmy ve skupině Delta Group. Rozvoj nastal od roku 1982 s nástupem menších a levnějších počítačů. V roce 1984 již byla tato technologie konkurenceschopná oproti tradičním metodám a začala se používat v navrhování tvarů v leteckém průmyslu. V roce 1989 byla část společnosti zaměřená na použití technologie u nových obráběcích strojů a programovací služby prodána. Tato prodaná část byla přejmenována na Delcam International v roce 1991, a stala se akciovou společností. V roce 1997 vstoupila na AIM burzu. Společnost dále rozšiřovala své aktivity do zahraničí a dnes má více než 70 prodejních míst po celém světě a patří mezi největší dodavatele CAD/CAM systémů na světě. [4]

Firma má zastoupení v České republice od roku 1994, kdy byla založena firma DELCAM BRNO s.r.o se sídlem na FSI při VUT v Brně. Dnes firma sídlí v Brně-Maloměřicích a má 8 (11) zaměstnanců, poskytuje technickou podporu a školení zákazníkům, stejně jako prodej softwaru od mateřské firmy.



Obr. 3.1 Logo společnosti Delcam [4]

3.1.2 Produkty

Delcam nabízí velkou škálu produktů. CAD aplikace Delcam PowerSHAPE slouží k 3D modelování a designování. Vyniká v plošném designu. Delcam PowerSHAPE s modulem Draft umožňuje i tvorbu výkresové dokumentace. Delcam Moldmaker je nástavba k PowerSHAPE a umožňuje konstrukci a montáž forem. Verze PowerSHAPE-e je zdarma ke stažení na webu firmy. Společnost Delcam též prodává program Solidworks pro tvorbu 3D modelů.

„Delcam FeatureCAM obsahuje balík softwarů s moduly 2.5D frézování, 3D frézování, soustružení, soustružení s frézováním a elektroerozivní řezání EDM. Každý modul zahrnuje vysoce kvalitní 2D CAD pro konstrukci geometrie. Je možné též doplnit o modul načítání 3D modelů. Balík vždy obsahuje 3D simulaci, kontrolu kolizí, knihovnu postprocesorů, databázi řezných podmínek a nástrojů. Lze doplnit modulem 'Simulace stroje' “. [5]

Delcam ArtCAM slouží k uměleckému gravitování, výrobě nábytku, hraček a znaků, Dental CAD/CAM slouží k navrhování a výrobě zubních náhrad, DentMILL zvládá tří až pěti-osé frézování zubních náhrad a korunek. Je založen na principu použitém v PowerMILLU. Delcam Crispin slouží na navrhování a výrobu obuvi. Delcam Partmaker je CAM software, jenž používá vizuální programování k tvorbě CNC programů, což představuje až sedmdesáti procentní úsporu času. [5]



Obr 3.2 Delcam DentMILL [4]

3.2 PowerMILL

PowerMILL je CAM software vysoké úrovně od společnosti DELCAM. PowerMILL slouží k frézovacím a vrtacím operacím na frézovacích centrech.

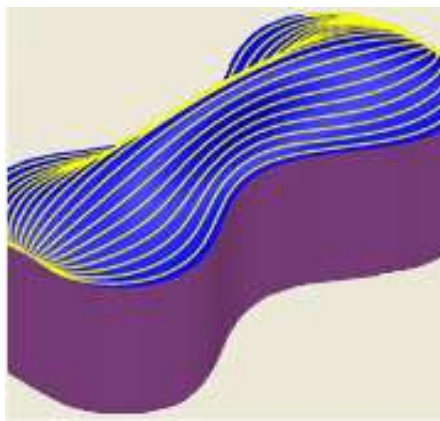
3.2.1 Charakteristika PowerMILLu

Delcam PowerMILL je software vysoké kvality pro programování tříosých i víceosých frézovacích center. Primárně je určen pro frézování tvarových ploch tříosými, čtyřosými i pětiosými strategiemi, nicméně od verze 9 obsahuje i rozšířené možnosti 2.5D frézování pro případ potřeby. Software umožňuje kvalitní simulace všech vygenerovaných drah, podporuje 11 druhů nástrojů včetně ukládání do databáze. Dále obsahuje přes 40 obráběcích strategií včetně specializovaných na obrábění lopatek a kanálků. Systém podporuje vysokorychlostní obrábění a obsahuje mnoho nástrojů pro jeho efektivní využití. [5]

PowerMILL podporuje velké množství vstupních formátů. Klasické jako Inventor, Catia, Solidworks, AutoCAD, Step, Proengineer i a další. PowerMILL obsahuje vlastní 3D modelář, ve kterém se dá lehce navrhnout či upravit model součásti. Pokud by vstupní formát nebyl kompatibilní, tak pomocí program Delcam Exchange se dá převést do formátu jiného s PowerMILLEM kompatibilního.

3.3 Obráběcí strategie v PowerMILLu

Obráběcí strategie jsou metody, kterými si CAM program vypočítává budoucí dráhy nástrojů. Pro různé metody jsou různé druhy použití, od metod univerzálních po silně specializované jen na určité druhy ploch. Pěti-osé strategie jsou takové strategie, které umožňují plynulé natáčení nástroje v pěti osách.



Obr. 3.3 Parametrické dokončení offsetem

3.3.1 Běžné hrubovací strategie

- Hrubování offsetem je velmi univerzální hrubovací strategie, jenž umožňuje náklon nástroje. Jejím cílem je odebrat co největší množství materiálu za co nejmenší čas. Slouží k hrubování 3D složitějších tvarů a kapes. Vypočtené dráhy, jenž nekopírují profil, mají tvar oblouků. Podporuje rychlostní obrábění.
- Hrubování profilu je strategie určená k efektivnímu hrubování 3D profilu obrobku. Strategie na rozdíl od předchozí neodebere všechn materiál, ale pouze okopíruje tvar profilu s uživatelem definovaným přídávkem.
- Hrubování rastrem je použitím velmi podobná hrubování offsetem. Vypočtené dráhy jenž nekopírují profil jsou přímkové.

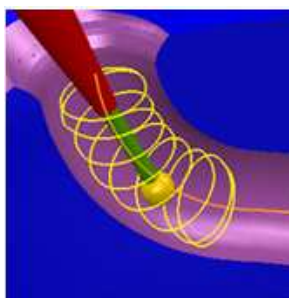
3.3.2 Běžné dokončovací strategie

- *Dokončení offsetem* je univerzální dokončovací strategie složitějších 3D tvarů, dráhy mají tvar oblouků. Strategie zvládne i téměř svislé povrchy.
- *Konstant Z dokončení* slouží na dokončování profilů. Dokončování rovných ploch neumožňuje. Dráhu vytváří na konstantních výškách.
- U *Dokončení rohu podélně* je dráha nástroje vedena podél profilu. Strategie slouží na dokončování rohů, i když umožňuje nastavit přídavek na další obrábění.
- *Automatické dokončení rohů* umožňuje nastavit parametry, podle kterých budou dokončovány rohy, Dráhy se spočítají dle momentální výhodnosti – u mělkých oblastí ať už podélně, nebo u strmých příčně.
- *Dokončení rohu multiplem* vygeneruje přednastavený počet drah, dle uživatelem zvolených parametrů na všechny rohy, které chceme obrábět.
- *Dokončení rohu perem* vygeneruje na roh pouze jednu dráhu do rohového koutu.
- U *Dokončení projekcí křivkou, přímkou, bodem, rovinou* či *plochou* je osa nástroje na výše zmíněném geometrickém útvaru a natáčí se kolem průsečíku osy nástroje a daného geometrického útvaru. Geometrický útvar musíme vymodelovat externě a vhodně odhadnout do jaké vzdálenosti nad obráběnou plochu ho umístit. Nesmí být ani moc vysoko ani moc nízko. Výška je zjišťována podle tvaru obráběné plochy, omezeními plynoucí z geometrie modelu, metodou “pokus-omyl” a dle zkušeností technologa.
- U *dokončení profilu diskem* používá PMILL okraje nástroje tvaru disku k vypočítání dráhy.

- *Parametrické dokončení offsetem* slouží pro dokončování plochých tvarově složitých ploch. Plocha je dokončena mezi dvěma křivkami.
- *Rotační dokončování* vytvoří trasu pomocí rotace jedné osy. Nástroj se pohybuje přímě v dalších dvou osách.
- *Dokončení plochy* funguje podobně jako dokončování projekcí, rozdíl je v tom že nezadáme žádnou projekci a dráha je vypočítána přímo.
- *Dokončení bokem* je strategie, kdy je dráha počítána tak, aby byl obrobek obráběn bokem nástroje. Nástroj kopíruje obráběnou plochu. Je to novější verze následující strategie.
- *U Dokončení swarf geometrie* nástroj je řízen dvěma křivkami a obrábí bokem. Starší verze předcházející strategie.

3.3.3 Speciální strategie

Tyto strategie slouží pouze ke konkrétním účelům u konkrétních druhů součástí. PMILL obsahuje strategie na obrábění lopatkových kol a kanálků. Často jsou na tyto strategie potřeba zvláštní licence.

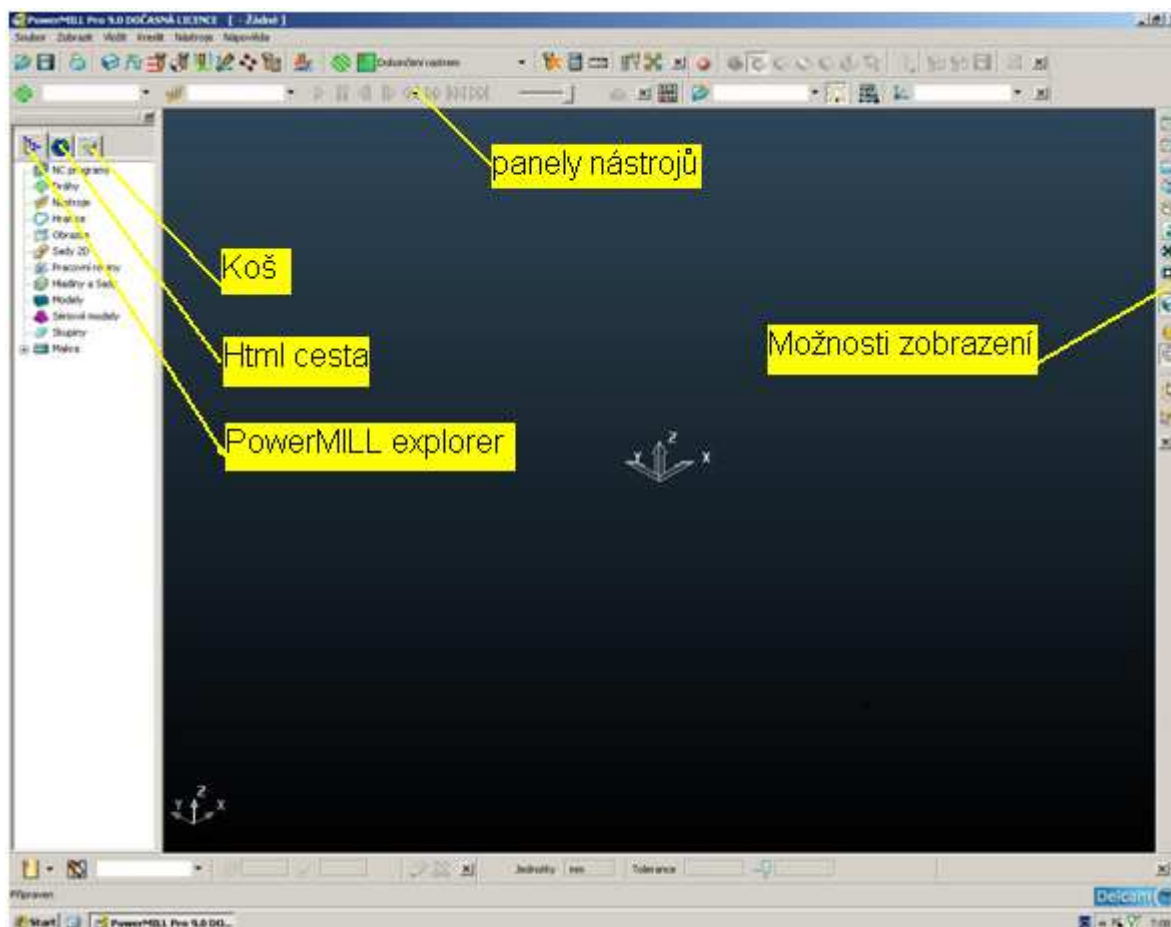


Obr. 3.4 Dokončení kanálku spirálou

- *Hrubování modelu lopatky* slouží k rychlému úběru materiálu v mezilopatkovém prostoru a na lopatce. Geometrie lopatkového kola musí být přesně definována. Výborná strategie, k provozu potřebuje speciální licenci.

- *Dokončování lopatky* je strategie určena k dokončování lopatek. Opět je potřeba zadat geometrie lopatkového kola. Strategie velmi zkracuje čas na obrábění.
- *Dokončení středu* slouží na dokončení středové základny lopatkového kola
- *Hrubování kanálku* je strategie sloužící na hluboké hrubování nepřístupných kanálků. Dráha je vypočítána offsetem.
- *Dokončení kanálku odvrtním* použije na dokončení kanálku svislý pohyb nástroje
- *Dokončení kanálku spirálou* k dokončování použije spirálovitou dráhu po kanálkových stěnách. Spirála má výhodu, že se řez nepřerušuje.

3.4 Prostředí PowerMILLu

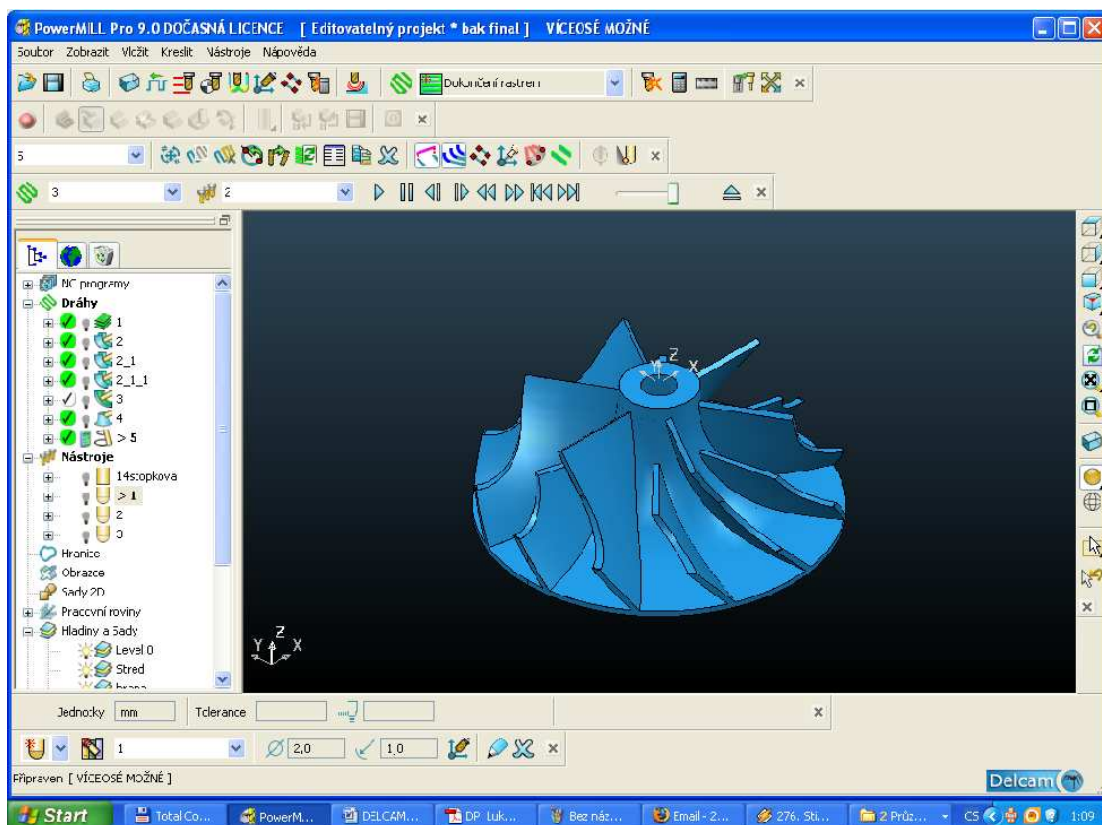


Obr. 3.5 Prostředí PowerMILLu

PowerMILL má uživatelsky příjemné rozhraní, jenž je podobné jako například u MS Wordu. Při používání často platí metodika zleva do prava, jenž sleduje logický sled úkonů pro vytváření programů. Panely nástrojů obsahují vše od volby obráběcích strategií po možnosti zobrazení. Záložka *PowerMILL explorer* obsahuje rozkladací strom s již nastavenými věcmi a umožňuje jejich další úpravy. Záložka *Html cesta* obsahuje možnosti internetové podpory atp. Záložka *koš* obsahuje veškeré vytvořené a následně odstraněné věci. Koš částečně supluje v PowerMILLu chybějící funkci "zpět". Na pracovní ploše můžeme sledovat model, simulace obrábění a dráhy nástrojů a následně je tam upravovat.

3.5 Import modelu

Import modelu je první věc, kterou musíme udělat při zahájení práce. PowerMILL má výborné grafické prostředí, které nám umožňuje dobrou kontrolu a zhodnocení modelu, jestli je v pořádku a použitelný. Model můžeme libovolně natáčet, můžeme ho zprůhlednit a vystínovat dle dané potřeby. Též PowerMILL obsahuje možnost zobrazení drátového modelu.



Obr 3.3 Naimportovaný model lopatkového kola

3.6 Polotovár

3.6.1 Geometrie polotovaru

Správná volba polotovaru je při obrábění velmi důležitá a může velmi ovlivnit následné obrábění. Na výrobu oběžného lopatkového kola jsem zvolil soustružený válec, který je osoustružen na průměr 60mm. Polotovár má navrtanou a vystruženou dírou průměr 5 mm. Zbývá vyfrézovat lopatky a mezilopatkové prostory. Tato volba polotovaru zajišťuje, že průměr nemusí být zbytečně obráběn frézováním a tím se ušetří strojní čas a náklady na

opotřebení nástroje, které se částečně přenesou na soustružnický nůž, který je na tento účel vhodnější.



Obr. 3.4 načtení polotovaru

3.6.2 Materiál polotovaru

Za materiál oběžného lopatkového kola jsem zvolil Inconel 718. Inconel je registrovaná austenitická chrom niklová superslitina. Inconel si uchovává své pevnostní charakteristiky i za velmi extrémních teplot. Použití slitiny Inconel 718 je v rozmezí od $-252\text{ }^{\circ}\text{C}$ do přibližně $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Slitina je odolná v úči korozi a oxidaci. Slitina má dvojitou posílenou gamma mřížku a je dobře svařitelná. Inconel má horší obrobiteľnosť díky rychlému zpevnění materiálu. Po prvním průchodu nástroje dochází ke zpevnění, a může dojít k elastické deformaci nástroje nebo obrobku. Inconel se používá pro jakékoliv tepelně namáhané výrobky, v leteckém a automobilovém průmyslu, pro výměníky tepla, na trubky v jaderných reaktorech atp. [12]

3.6.3 Upnutí polotovaru

Vhodně zvolené upnutí je kritické pro průběh obrábění. Obrobek bude upnut na trnu za vnitřní průměr, jenž je již hotový. Trn bude upnut ve sklíčidle,

kteřé bude upnuto na otočném a klopném stole, jenž umožňuje pěti-osé obrábění.

4 ZPRACOVÁNÍ OBRÁBĚNÍ OBĚŽNÉHO KOLA

K výrobě lopatkového kola jsem použil 1 hrubovací a 2 dokončovací strategie:

- Hrubování modelu lopatky
- Dokončení lopatky
- Dokončení středu

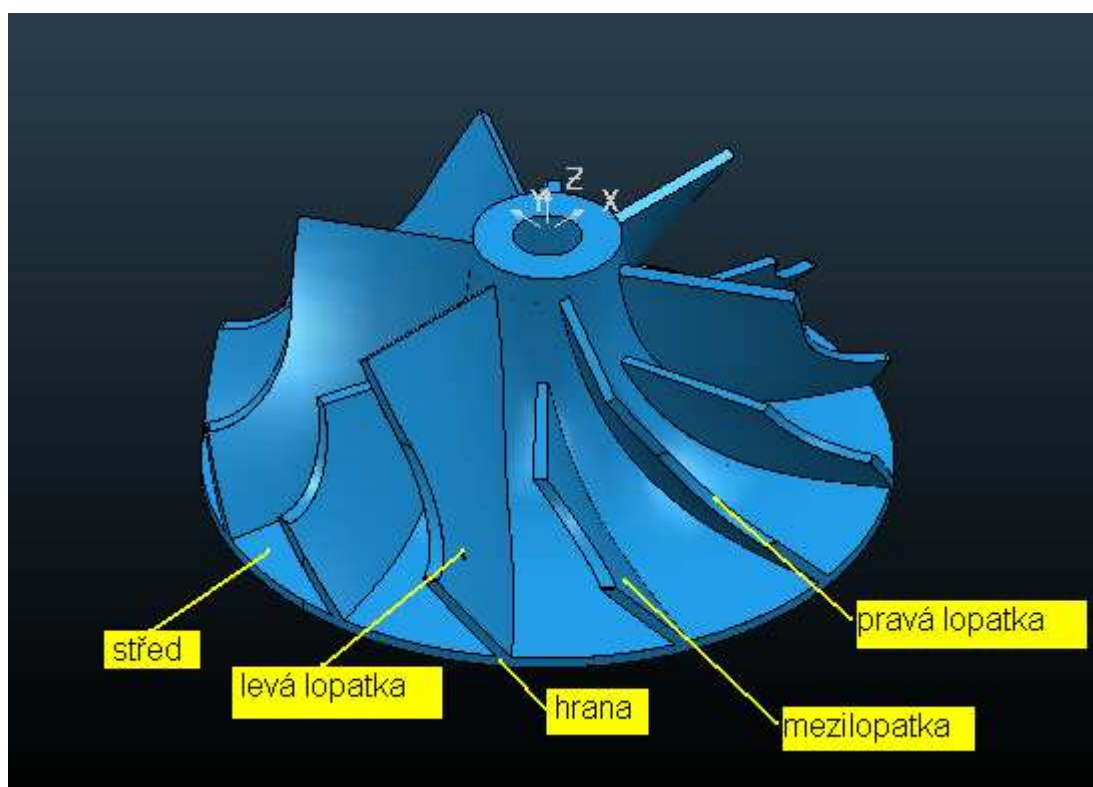
4.1 Hrubování modelu lopatky

Hrubování modelu lopatky slouží k rychlému úběru materiálu v mezilopatkovém prostoru a na lopatce. Geometrie lopatkového kola musí být přesně definována. Výborná strategie, která k provozu potřebuje speciální licenci.

4.1.1 Nastavení geometrie

Pro správnou funkci strategie musí být řádně nastavená geometrie lopatkového kola. Musíme nastavit levou a pravou lopatku, mezilopatku jen pokud je přítomna, hrany lopatkového kola a střed. Pokud jsou přítomny rádiusy podél lopatek, tak musejí být nastaveny taky.

Geometrii nastavíme pomocí sad či hladin. Bylo vytvořeno 5 prázdných hladin a do každé byly přiřazeny dané geometrie. U velkých lopatek a u mezilopatky byly přiřazeny velké zkroucené plochy z obou stran, nikoli hrany. Střed byl označen celý, je vytvořen z jedné plochy. U hrany musí být nastaveno ignorování obrábění.

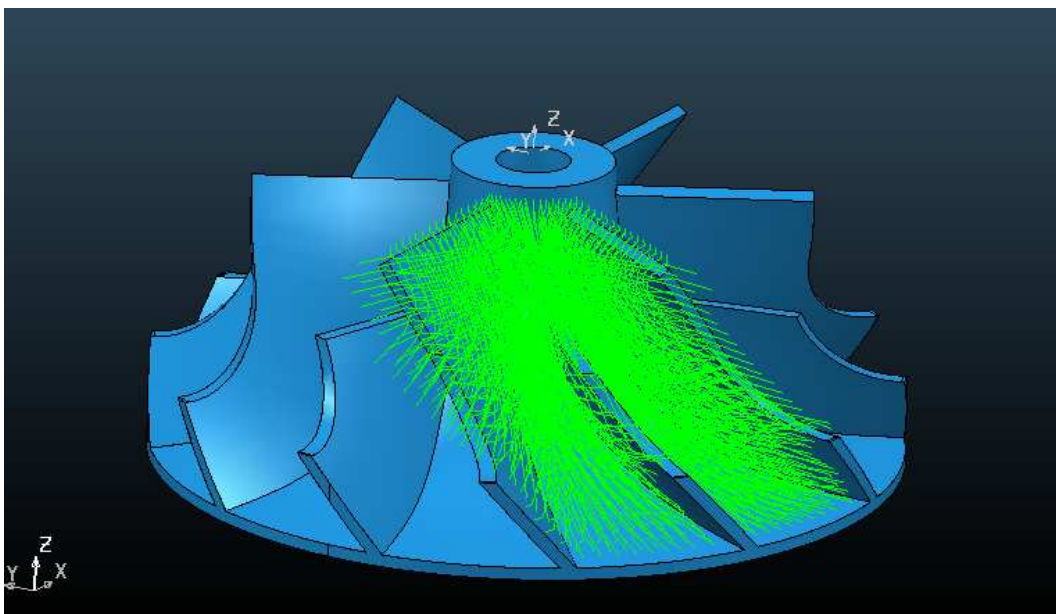


Obr. 4.1 Popis nastavení geometrie

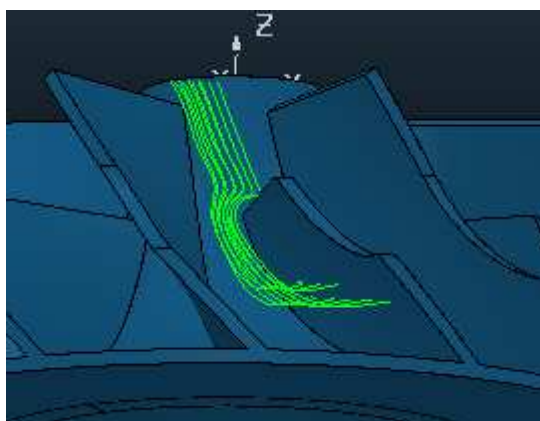
4.1.2 Generování dráhy

Dráha je generována stylem *offset nahoru*. Vzhledem k hrubování bylo použito obousměrné obrábění. Přídavek na dokončení byl nastaven 0,3 mm. Krok byl nastaven 2 mm, krok dolů 1 mm. Osa nástroje se natáčí automaticky podle geometrie. Základní vyklonění je 45° , aby bylo možné obrobit veškerá místa na polotovaru, při základním vyklonění 0° by se neobrobil střed v místech nad lopatkami. Propojení drah u krátkých vzdáleností je řešeno obloukem, u delších nejkratší možnou trasou. Nájezd je z bezpečné roviny nacházející se 5 mm nad polotovarem.

Dráha může být vymodelována pro jednu lopatku, a potom manuálně rozkopírována mezi dráhy další, anebo pro zadaný počet lopatek dohromady. Počet lopatek je spočítán automaticky nebo jej můžeme zadat manuálně.



Obr. 4.2 Vygenerované dráhy pro jednu lopatku



Obr. 4.3 Ukázka několika hrubovacích drah

Vysoká hustota drah je dána nastavením kroků při počítání drah. Vzhledem k malým rozměrům lopatkového kola a malým rozměrům prostorů mezi lopatkami bylo nutno zvolit nástroj o malém průměru.

Pro hrubování byl použit nástroj EB030A08-4C04 od firmy Iscar [22]. Nástroj má čtyři zuby, řeznou část dlouhou 8 mm. Nástroj je vhodný pro vysokorychlostní obrábění.

4.1.3 Řezné podmínky

- Doporučené řezná rychlost: $v_c=120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

- Doporučený posuv: $f_z = 0,05 \text{ mm}$

PowerMILL dokáže dopočítat z těchto dvou parametrů automaticky ostatní řezné podmínky v závislosti na velikosti nástroje.

- Posuv $f = 2546 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
- Otáčky $n = 12732 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

Vzhledem k velikosti automaticky vypočteného posuvu, byl v závislosti na namáhání nástroje a stabilitě řezných podmínek zvolen posuv menší.

- Posuv $f = 1800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Sjezdový posuv byl nastaven na $500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

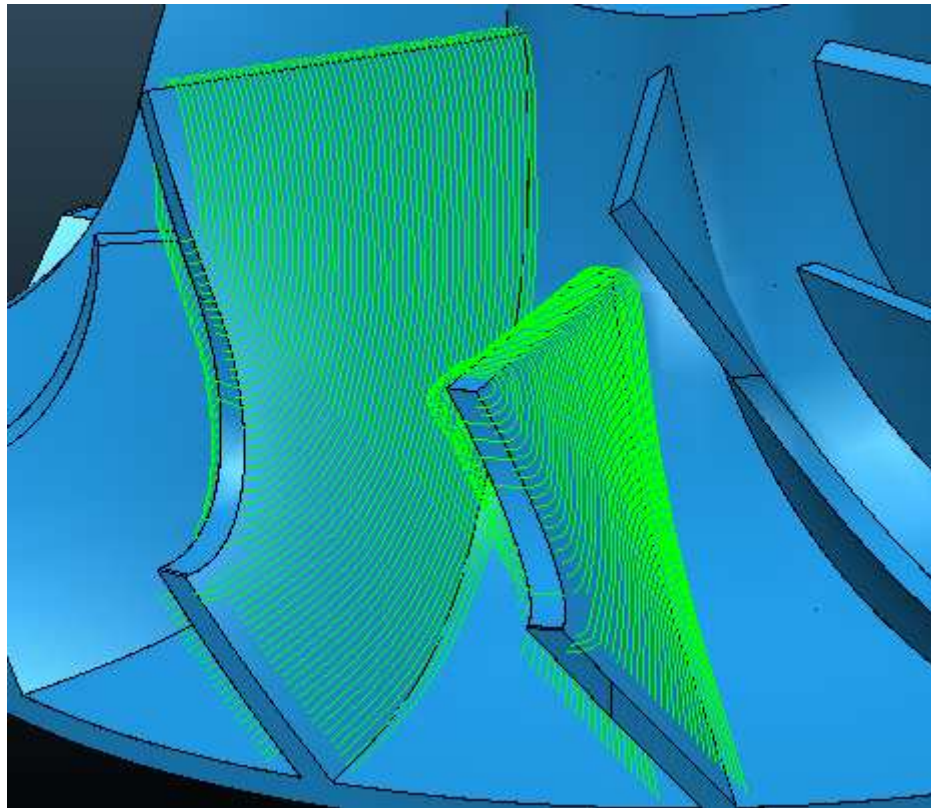
Při těchto řezných podmínkách je čas vyhrubování jednoho mezilopatkového prostoru $t_1=0:06:02$ hod. Pro všech 6 lopatek nám vychází tedy čas $t_{1\text{celk}}=0:36:12$ hod.

4.2 Dokončení lopatky

Specializovaná strategie na dokončení profilu lopatky. Strategie generuje dráhy tak, že obrobí boky lopatky kulovou plochou nástroje a poté se přesune na další následující lopatku nebo mezilopatku. Díky náklonu nástroje je zabráněno technologicky nevhodnému doteku boku nástroje a obráběné plochy. Nástroj obrábí bokem kulové plochy.

V této strategii opět musí být nastavena geometrie lopatkového kola. Pokud je použitý celý specializovaný cyklus strategií, tak geometrii máme již přednastavenou a je nastaveno pouze vlastní strategie. Obrábění je nastaveno, jako obrábění levé lopatky a mezilopatky. Je tedy obrobena velká lopatka a poté malá lopatka. Offset je nastaven nahoru. Krok je nastaven na $0,15 \text{ mm}$ což zajišťuje stejnou kvalitu povrchu. Generování dráhy se dá opět nastavit pro libovolný počet lopatek.

Pro dokončování lopatky byl použit nástroj EBT-T4 02-16/2.0C4M50 od firmy Iscar [22]. Nástroj má dva zuby, řeznou část dlouhou 16 mm . Nástroj je vhodný pro vysokorychlostní obrábění.



Obr 4.4 Vygenerované dráhy pro dokončení lopatek

4.2.1 Řezné podmínky

- Doporučené řezná rychlost: $v_c=120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
- Doporučený posuv: $f_z = 0,05 \text{ mm}$

PowerMILL dokáže dopočítat z těchto dvou parametrů automaticky ostatní řezné podmínky v závislosti na velikosti nástroje.

- Posuv $f = 3820 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$
- Otáčky $n = 19099 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$

Vzhledem k velikosti automaticky vypočteného posuvu, byl v závislosti na namáhání nástroje a stabilitě řezných podmínek zvolen posuv menší.

- Posuv $f = 2000 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$

Sjezdový posuv byl nastaven na $500 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

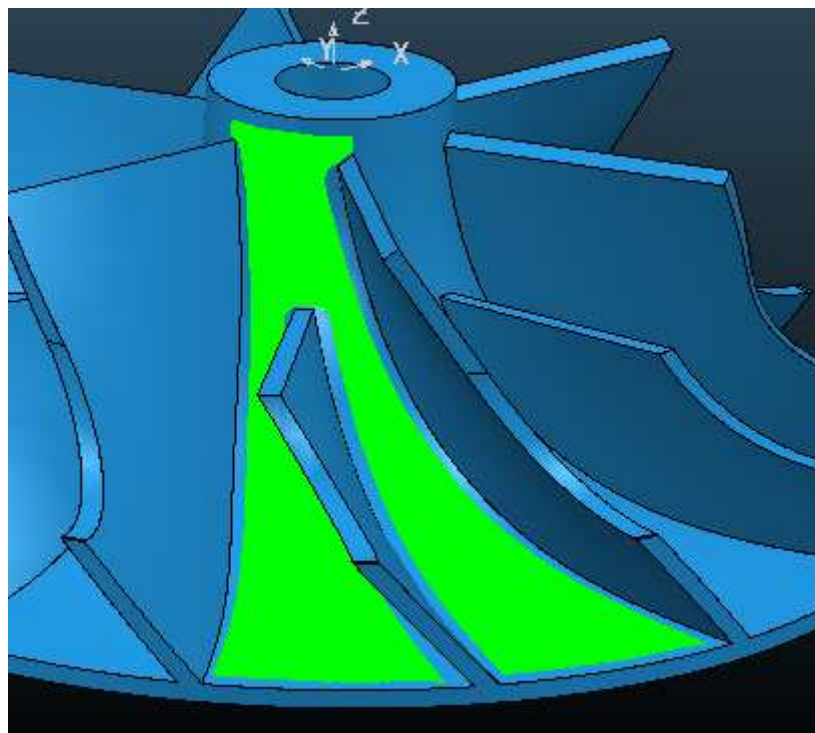
Při těchto řezných podmínkách je čas dokončení jedné lopatky a mezilopatky $t_2=0:04:33$ hod. Pro všech 6 lopatek a 6 mezilopatek nám vychází tedy čas $t_{2\text{celk}}=0:27:18$ hod.

4.3 Dokončení středu

Strategie dokončení středu dokončí plochu mezi lopatkami. Je to poslední ze specializovaných strategií na obrábění lopatkového kola, které PowerMILL nabízí.

Nastavení již mnoho možností nenabízí. Geometrie musí být jako v předchozích dvou případech nastavená. Krok byl nastaven na 0,75 mm kvůli co nejlepšímu povrchu a co nejmenšímu “hřebenování”. Směr obrábění je sousledný.

Dráhy jsou generovány axiálně ve směru středové osy lopatkového kola. Pro dokončení středu byl použit nástroj EBT-T4 02-16/0.5C4M50 od firmy Iscar [22]. Nástroj má dva zuby, řeznou část dlouhou 16 mm. Nástroj je vhodný pro vysokorychlostní obrábění.



Obr. 4.5. Vygenerované dráhy pro dokončení středu kola

Dráhy jsou vygenerovány jedna vedle druhé ve vzdálenosti 0,05 mm. Hustota drah závidí na velikosti radiálního kroku. Malý radiální přísuv nástroje zajistí dobrou drsnost povrchu. Pokud by jakost povrchu nebyla dostatečná, pak by povrch středu i lopatek musel být přebroušen na CNC brusce. Nekvalitní povrch snižuje účinnost lopatkového kola v turbodmychadle.

Řezné podmínky jsou stejné jako v předcházející operaci.

Při těchto řezných podmínkách je čas dokončení jedné kapsy mezi dvěma lopatkami $t_3=0:05:45$ hod. Pro všech 6 lopatek a 6 mezilopatek nám vychází tedy čas $t_{3\text{celk}}=0:34:15$ hod.

4.4 Možnosti optimalizace

Vzhledem k velmi úzké specifikaci použitých dokončovacích strategiích se dokončení jeví v rámci podmínek vyřešeno dobře. Hrubování díky použité strategii a použitému polotovaru ideální není. Prostor polotovaru nezasahující do lopatek je obráběn strategií na hrubování lopatek. Nabízí se možnost předhrubování a jiná volba polotovaru.

4.4.1 Volba jiného polotovaru

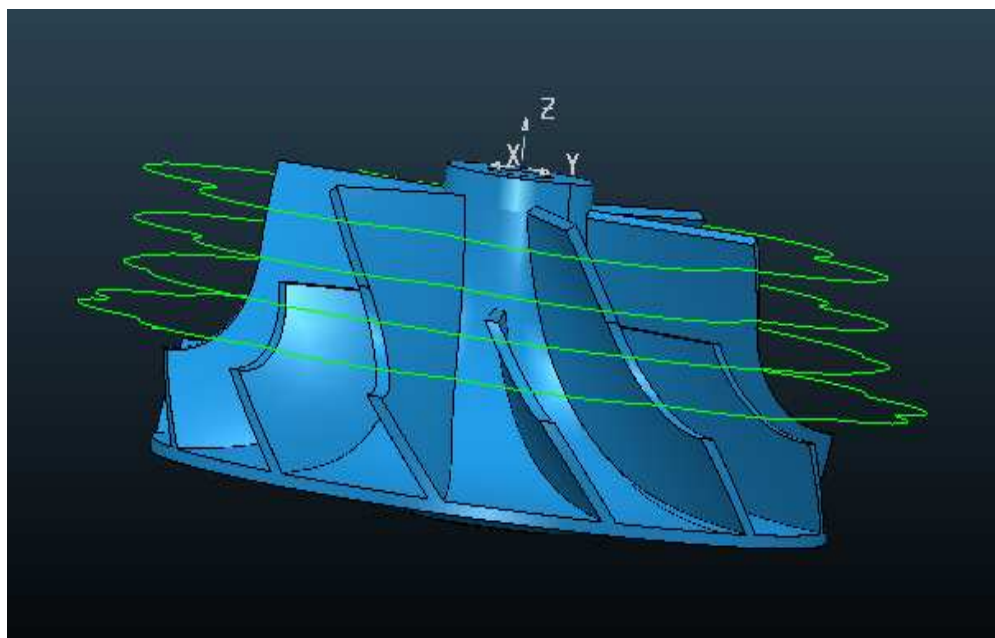
Použitý válcový polotovar by se dal osoustružit na rotační tvar přímo kopírující tvar lopatek. Z frézování by zůstalo pouze hrubování prostoru mezi lopatkami, dokončení lopatek a středu. Na takovou přípravu polotovaru je třeba zvážit ekonomické hledisko. Potřeba využití NC soustruhu, čas na přípravu programu pro soustruh a vlastní doba soustružení společně s opotřebením nástroje jsou aspekty hovořící proti. Pro hovoří omezení frézovacího času a opotřebením frézovacího nástroje.

4.4.2 Předhrubování

Jako předhrubování by se dalo použít obrobení pouze prostoru nezasahujícího do lopatek za použití většího nástroje či frézovací hlavy. Další použití menšího nástroje a strategie, která by částečně obrobila i prostor mezi lopatkami.

Jako příklad první možnosti by šlo využít Hrubování offsetem. Hrubování offsetem je velmi univerzální hrubovací strategie. Jejím cílem je odebrat co největší množství materiálu za co nejmenší čas. Slouží k hrubování 3D složitějších tvarů a kapes. Přídavek je nastaven 2,5 mm, aby byla jistota, že nástroj nezasáhne do výsledného profilu. Nástroj je ve vertikální ose a není nikterak natočen. Hloubka každé třísky je nastavená na 4 mm.

Jako nástroj je použita stopková fréza o HM90 E90A-D18-2-C16-C od firmy Iscar [22]. Nástroj je vybaven třemi vyměnitelnými břitovými destičkami a je určen k hrubování.



Obr. 4.6 Vygenerované dráhy strategie Hrubování offsetem.

Nástroj objíždí v drahách kopírujících profil lopatek s přídavkem 2,5 mm. Povrch bude nekvalitní, což nám vzhledem k dalšímu obrábění nevadí. Po předhrubování by se použila již popsaná strategie Hrubování modelu lopatky.

4.5 Možnosti obrábění bez specializovaných strategií

Použití speciálních strategií velmi ulehčuje a urychluje vytváření nástrojových drah pro obrobení lopatkového kola. Bez jejich využití bychom museli využít univerzální strategie hrubovací tak i dokončovací.

4.5.1 Hrubovací strategie

Možnost předhrubování již byla popsána. Pro hrubování prostoru mezi lopatkami by šlo užít univerzální strategie jako třeba hrubování offsetem nebo hrubování profilu. Při nastavení určitého přídavku by nám tyto strategie obrobily znatelnou část mezilopatkového prostoru, aniž by došlo ke kolizi. Pro obrábění prostorů pod lopatkami by bylo nutné natočení vřetena. Při vertikální ose nástroje by byla poté nutná hrubovací tříska při obrábění boků v závislosti na zkroucení lopatky.

4.5.2 Dokončovací strategie

Pro dokončení lopatek jsou použitelné strategie *Dokončení bokem* a strategie *Dokončení swarf geometrie*. Strategie dokončení bokem je podobná strategii specializované. Nástroj kopíruje plochu bokem. Lze nastavit krok po jakém je materiál obráběn. Osa nástroje se natáčí automaticky podle zkroucení lopatky. Rozdíl mezi specializovanou strategií je že člověk nemůže automaticky vybrat geometrii, ale musí vše zadávat manuálně. Dokončení swarf geometrií je podobné jako dokončení bokem. Musíme zadat řídicí křivku nebo řídicí geometrii pomocí tvaru. Nastavení je složitější než u obrábění bokem. Dokončení swarf geometrie je starší strategie.

Pro dokončení mezilopatkového prostoru můžeme použít strategii dokončení projekcí křivkou nebo plochou. U těchto strategií se nástroj natáčí podél křivky. Problém je zjistit tvar křivky a plochy. Křivku či plochu musíme vymodelovat nebo použít přímo geometrii povrchu a vytáhnout ji z něho. Umístění do určité vzdálenosti, který není ani moc vysoko, protože nástroj by se poté nemohl natáčet do vzdálenějších zákoutí kvůli kolizím s lopatkou, ani moc nízko protože poté by zase nemohl nástroj na vzdálená místa nemohl dosáhnout. Taktéž je u složitějších ploch či přerušených ploch nutné použít křivek víc což si žádá dodatečné rozdělení ploch na modelu.

5 ZPRACOVÁNÍ CAM DAT

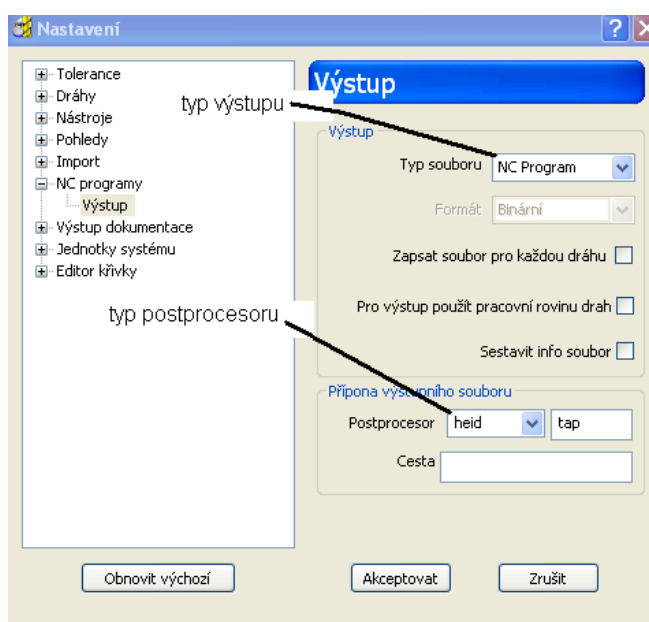
Aby stroj mohl vygenerované dráhy a pomocná data z CAM programu použít, tak je musíme převést na kód pro stroj srozumitelný. Jako výstupní formát mohou sloužit CL data, což je univerzální binární nebo ASCII kód, jenž

obsahuje souřadnice nástrojových tras. Další formát výstupu mohou být NC program. K převedení CAM dat na NC program slouží postprocesor.

5.1 Postprocesor

„Postprocesor je softwarový převodník dat z CAD/CAM systému do datového jazyka konkrétního obráběcího stroje. Kvalitní postprocesor v sobě obsahuje veškeré informace o vlastnostech daného stroje, tak aby bylo optimálně a efektivně využito všech jeho funkcí v souladu s CAD/CAM systémem.“ Každý CNC stroj má jinou konfiguraci, a proto neexistuje žádný univerzální postprocesor pro všechny stroje, ale postprocesor pro každý stroj se musí odladit zvlášť, abychom využili všechny funkce stroje. [8]

Postprocesor si můžeme nechat vytvořit u specializované firmy přímo na konkrétní stroj. U jednodušších strojů trvá dokonalé odladění třeba až měsíc, u složitějších déle. Dále existují databáze již vytvořených postprocesorů. V těchto databázích si můžeme najít postprocesor, který sice nebude úplně vyhovovat, ale bude dostačující. Třetí možnost je vytvořit si postprocesor sám, pomocí specializovaného softwaru, např. EdgeCAM konstruktér postprocesorů, anebo pomocí běžného programovacího jazyka (Pascal, C++ atd.). [8]



Obr 5.1 Nastavení výstupu a postprocesoru

5.2 Tvorba NC programu

Pokud máme požadované nastavení výstupu, překontrolované dráhy a nastavení, tak si na boční liště najdeme menu NC programy a zvolíme položku vytvořit NC program. Tam nastavíme cestu kam se má NC program uložit, jeho číslo, nastavení korekce chlazení a dalších parametrů. Najdeme si požadované dráhy a ty přidáme pomocí menu do NC programu. Po překontrolování parametrů dáme “zapsat” a NC program je vytvořen.

Dráha	Číslo	Průměr	Rádus bříty	iestava	Přesah	ID nástroje	Typ	Tolerance
2_1_1	4	2	1	50		1	Kulová f...	0,1
8	?	3	1,5	20		4	Kulová f...	0,1
13	2	1,5	0,75	20		2	Kulová f...	0,1

Obr. 5.2 Ukázka okna vytváření NC programu

Příklad výstupu CL dat použitelných pro konkrétní postprocesor je v příloze 1.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo popsat druhy výroby lopatkových kol a navrhnout vlastní výrobní postup obráběním pro výrobu konkrétního lopatkového kola turbodmychadla. V teoretické části byly popsány metody třískového obrábění a naznačeny další způsoby výroby lopatkových kol. V praktické části byly vytvořeny nástrojové dráhy pro obrobení lopatkového kola. K vytváření drah byl použit CAM systém PowerMILL 9 od firmy Delcam. Použité strategie byly **Hrubování modelu lopatky, Dokončení lopatky a Dokončení středu**. Tyto strategie byly vyvinuty pouze za účelem výroby lopatkových kol.

Strategie *Hrubování modelu lopatky* byla použita pro hrubování prostor mezi lopatkami i prostor mimo ně. Dráha byla spočítána pro jednu z šesti lopatek a následně rozkopírována. Čas obrábění všech šesti lopatek je **$t_{1\text{celk}}=0:36:12$ hod.**

Strategie *Dokončení lopatky* byla použita na dokončení boků vlastních lopatek. Nástrojová dráha byla vygenerována pro jednu z lopatek a jednu z mezilopatek a následně rozkopírována na další lopatky a mezilopatky. Čas na obrobení všech šesti lopatek a mezilopatek je **$t_{2\text{celk}}=0:27:18$ hod.**

Strategie *Dokončení středu* byla použita na dokončení středové plochy mezi lopatkami. Dráhy byly vygenerovány pro jednu kapsu a následně rozkopírovány pro celé kolo. Čas na dokončení všech kapes je **$t_{3\text{celk}}=0:34:15$ hod.**

Čas na výrobu celého kola je tedy **$t_{\text{celk}}=1:38:45$ hod.** včetně výměny nástroje.

Byly navrženy vylepšení realizovaného postupu a zmíněny alternativní možnosti výroby lopatkového kola bez použití speciálních strategií.

Výstup CAM souborů je ve formě CL dat, jenž jsou použitelná pro konkrétní postprocesory. Ukázka CL dat je v příloze 1.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. [Http://clanky.katalog-automobilu.cz/](http://clanky.katalog-automobilu.cz/) [online]. 2007 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://clanky.katalog-automobilu.cz/slovník-pojmu-automobily/1305-turbo-historie-a-soucasnost/>>.
2. [Http://www.specialturbo.cz/](http://www.specialturbo.cz/) [online]. 2008 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.specialturbo.cz/cz/noflash/turbo_zavady.php>.
3. [Http://www.gsa-trading.com/turbocharger.gif](http://www.gsa-trading.com/turbocharger.gif) [online]. 2003 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <www.gsa-trading.com>.
4. www.delcam.com [online]. 2009 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.delcam.com/general/about/history.asp>>.
5. www.delcam.cz [online]. 2008 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.delcam.cz/produkty/>>.
6. [Http://en.wikipedia.org/wiki](http://en.wikipedia.org/wiki) [online]. 2009 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_manufacturing>.
7. www.misan.cz [online]. 2002-2009 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <www.misan.cz>.
8. SADÍLEK, Miroslav. Postprocesor - slabé místo CAM systémů?. *MM Průmyslové spektrum*. 2005, č. 4, s. 46. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/postprocesor-slabe-misto-cam-systemu>>.
9. QI, Ruolong, et al. Five-axis rough machining for impellers. *Front. Mech. Eng. China*. 2009, no. 4, s. 71-76. Dostupný z WWW: <www.springerlink.com>.
10. CHUANG, Li-Chang, YOUNG, Hong-Tsu. Integrated rough machining methodology for centrifugal impeller manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol*. 2007, no. 34, s. 1062-1071. Dostupný z WWW: <www.springerlink.com>.
11. [Http://www.pbsvb.cz/dme_vyrobní_program.php](http://www.pbsvb.cz/dme_vyrobní_program.php) [online]. 2000-2009 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <www.pbsvb.cz>.

12. [Http://www.specialmetals.com/documents/Inconel%20alloy%20718.pdf](http://www.specialmetals.com/documents/Inconel%20alloy%20718.pdf) [online]. 2000 [cit. 2009-04-23]. Dostupný z WWW: <www.specialmetals.com>.
13. Morishige K, Takeuchi Y (1997) 5-Axis control rough cutting of an impeller with efficiency and accuracy. *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, s 1241–1246
14. Chuang SH, Pan CC), *Rough cut tool path planning for Bspline surface using convex hull boxes. Int J Adv Manuf Technol* 1998 ,no. 14, s. 85–92.
15. Suresh K, Yang DCH, *Constant scallop-height machining of free-form surfaces. Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry* no.116, s. 253–259
16. Lin RS, Koren Y, *Efficient tool-path planning for machining free-form surfaces. Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry.* no. 118,1996, s. 20–28
17. You CF, Chu CH, *Automatic Correction of Tool Interference in Five-Axis NC Machining of Multiple Surfaces. Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*,1996, no 17, s. 435–442
18. Loney GC, Ozsoy TM, *NC machining of free form surfaces. Comput aided des* 19(2), 1987, s.85–90.
19. RAJENTHIRAKUMAR, D., JAGADEESH, K.A. *Analysis of interaction between geometry and efficiency of impeller pump using rapid prototyping. Int J Adv Manuf Technol* [online]. 2009 [cit. 2009-05-14]. Dostupný z WWW: <www.springerlink.com>.
20. *Rapid Prototyping. Computer-Based Design and Manufacturing* [online]. 2008 [cit. 2009-05-14], s. 281-301. Dostupný z WWW: <www.springerlink.com>.
21. JANG, Dong-Kyu, et al. *A study on tool path generation for machining impellers with 5-axis NC machine.* [online].[cit. 2009-05-14].

22. ISCAR. Elektronický katalog nástrojů [online].[cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW:<<http://www.iscar.com/Ecat/familyHDR.asp/fnum/1952/app/71/mapp/ML/GFSTYP/M/type/1/lang/EN>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	řezná rychlost
f_z	$[\text{mm}]$	posuv na zub
f	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	posuv za minutu
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky za minutu
t_n	$[\text{hod.}]$	čas obrábění, kde n je určitý úsek
NC	$[-]$	Numeric Control
CNC	$[-]$	Computer Numeric Control
CAD	$[-]$	Computer Aided Design
CAM	$[-]$	Computer Aided Manufacturing

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 CL data