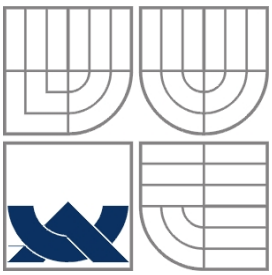
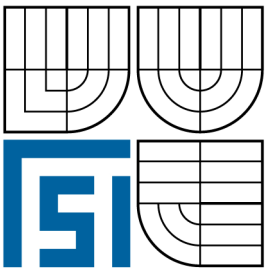


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE CAD/CAM SOFTWARU POWERMILL PRO TVORBU NC PROGRAMU

APPLICATION CAD/CAM SOFTWARE POWERMILL FOR REALISATION NC PROGRAMMES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE **MICHAL LUKEŠ**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **Ing. ALEŠ POLZER**
SUPERVISOR

BRNO 2007

ABSTRAKT

Výroby oběžného kola turbodmychadla, s podporou CAD/CAM systému PowerMILL, který generuje dráhy nástroje, umožňuje použití technologie 5-ti osého obrábění. Pomocí postprocesoru umožňuje výstup dat ve formátu NC programu pro CNC obráběcí stroj.

Klíčová slova

CAD/CAM, PowerMILL, 5-ti osé obrábění, NC program, CNC obráběcí centrum

ABSTRACT

For production of circular turbocharger wheel, with support of CAD/CAM PowerMill system, which generates the path for machine, can be used five axis cutting technology. With help of postprocessor it enables data output in NC program format for CNC machine tool.

Key words

CAD/CAM, PowerMill, five axis machining, NC program, CNC machining centre.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LUKEŠ, Michal. *Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL pro tvorbu NC programu,: Diplomová práce*. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2007. 60 s, 4 přílohy. Ing. Aleš Polzer.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL pro tvorbu NC programu* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

18.5.2007 …….

Michal Lukeš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzrovi za technologickou podporu, cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji firmě Delcam Brno s.r.o. za technickou podporu při vypracování diplomové práce.

OBSAH

str.

Abstrakt....4
Prohlášení....5
Poděkování....6
Obsah....7
Úvod....9
1 Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL pro tvorbu NC programu....10
1.1 Charakteristika CAM systému....10
1.2 Rozdělení CAM systémů....11
1.3 Výhody CAM systému....11
1.4 Seznámení s PowerMILLEM....12
1.5 Charakteristika obráběného materiálu....14
1.6 Tepelné zpracování....16
1.7 Obráběcí centra....16
1.8 Rozbor vlivu na přesnost obráběcího stroje....17
1.8.1 NC program....18
1.8.2 CNC systém....18
1.8.3 CNC stroje....19
1.9 Dynamika řezného procesu....20
1.9.1 Stabilita procesu řezání....21
1.9.2 Deformace obrobeného povrchu....22
1.10 Import modelu....22
1.11 Definice polotovaru....24
2 Zpracování technické dokumentace pro zadanou součást....26
2.1 Offset conture....26
2.1.1 Volba nástroje a řezných podmínek....28
2.2 Profile Area clearance from model....30
2.2.1 Volba nástroje a řezných podmínek....33
2.3 Swarf finishing....34
2.3.1 Volba nástroje a řezných podmínek....39
2.4 Projection cruve finishing....40

2.4.1 Volba nástroje a řezných podmínek....44
3 Zpracování a experimentální ověření NC programu....45
3.1 Tvorba NC programu....45
3.2 CL data....46
3.3 Postprocesor....46
3.4 Heidenhain....48
4 Doporučená povrchová úprava....50
4.1 Aplikace technologie žárového nástřiku....50
4.2 Princip technologie....51
4.3 Vlastnosti povlaku....52
4.4 Metody technologie žárového nástřiku....53
4.5 Aplikace technologie žárového nástřiku....53
Závěr....55
Seznam použitých zdrojů....57
Seznam použitých zkratek a symbolů....59
Seznam příloh....60

ÚVOD

Dnes již nezpochybnitelné místo při výrobě a řízení CNC technologií zaujímá výpočetní technika (CAD/CAM systémy). Celosvětový rozvoj a působnost těchto systémů je úměrný jejich důležité roli ve výrobním procesu. Práci inženýrů a techniků ve strojírenských firmách si dnes prakticky nelze představit bez použití CAD/CAM systémů. Na rychlost a kvalitu vývoje, konstrukce nebo technologickou přípravu výroby jsou kladeny velmi náročné požadavky. Vyhovět těmto požadavkům a obstát v tvrdé konkurenci na trhu není jednoduché. Kvalitní CAD/CAM systém je v dnešní době jednou ze zásadních podmínek pro kvalitní a efektivní funkci konstrukce a technologickou přípravu výroby.

Obr.1 návaznost CAM systémů (5)

V mé diplomové práci se budu dále zabývat výrobou oběžného kola turbodmychadla pro spalovací motor. Pro to jsem zvolil CAM systém POWERMILL 7, který umožňuje provádět 5-ti osé programování. Jedná se o produkt firmy DELCAM jednoho ze světových výrobců CAM systémů. Společnost Delcam mi umožnila spolupráci a rozvoj v této oblasti, proto volba z mnoha CAM systémů připadla na výše uvedený CAM systém této společnosti.

1. APLIKACE CAD/CAM SOFTWARU POWERMILL PRO TVORBU NC PROGRAMU

1.1 Charakteristika CAM systému

První CAM systémy byly vyvinuty počátkem druhé poloviny dvacátého století. Dnes jsou CAM systémy používány ve formě počítačových systémů pro přípravu a řízení operací ve výrobním procesu. Dnes jsou CAM systémy nenahraditelným pomocníkem výroby. Výhodou využití výpočetní techniky v konstrukčním a výrobním procesu je její těsná návaznost na následné činnosti v těchto procesech. Počítačové systémy CAM – Computer Aided Manufacturing (Počítačová podpora výroby) jsou systémy, které slouží ke zpracování dat z konstrukční databáze v prostředí s odpovídající technologií, které umožní v konečné fázi generování programu pro CNC obráběcí stroj.

CAM systémy dokážou podstatně rychleji a jednodušeji přípravu NC programů. Dnešní moderní CAM systémy umožňují grafickou kontrolu vygenerovaného NC programu, systém dokáže provádět simulace obrábění, kdy je možno odhalit a případě odstranit technologické chyby. Simulace programu slouží k vyšetření a zabránění kolizí v celém pracovním prostoru stroje mezi funkčními a pohyblivými části stroje.

Post procesor definuje možnosti a limity řídícího systému a tím stroje samotného. Na základě definice post procesor je poté generován NC program se všemi náležitosti, tak aby mohl být spuštěn stroj bez dalšího odlaďování. Součástí výstupu programu pro CNC stroj je také uživatelská dokumentace a tabulky nástrojů, což je důležité pro seřízení stroje a sestavení použitých nástrojů.

V dnešních CAM systémech má uživatel k dispozici celou škálu základních specializovaných i rozšiřujících nástrojů, počínaje elementárními nástroji pro vytváření objemových těles a ploch, přes nástroj po analýzu úkosů, podřezání, úhlových odchylek, atd., produktivní nástroje, variantní modelování, automatické a pokročilé tvarové funkce, podporu přechodu z 2D do 3D. (4,5)

1.2 Rozdělení CAM systému

V dnešní době je na trhu mnoho kvalitních CAM systémů, které umožňují provádět operace v 2D a 2,5D. Tyto systémy patří k levnějším na trhu, ale pro obrábění jednoduchých součástí to mnoha firmám dostačuje.

Lepší a modernější systémy umožňují provádět operace v 3D, jejich využití je poměrně velké, slouží ke generování NC programu pro obrábění tvarově členitějších výrobků.

A neposlední řadě jsou na trhu moderní CAM systémy, které umožňují obrábět v 5-ti osách. To znamená, že nástroj se pohybuje v 3D prostoru a zároveň dochází ještě k jeho natáčení ve 2 dalších osách. Systémy, které toto dovolují, patří k těm nejdražším a nejdokonalejším na trhu. Mají vyspělé grafické prostředí, kde lze kontrolovat dráhu nástroje tak, aby nedocházelo k případným kolizím.

1.3 Výhody systému CAM

- Představuje komplexní řešení pro strojírenský sektor, ale díky mnoha pokročilým a výkonným nástrojům, pronikají tyto systémy i do jiných oblastí, jako je například design, architektura nebo projekce
- Intuitivní, snadné a vizuální přehledné ovládání
- Možnosti integrovaných rozšiřujících aplikací
- Vyspělé možnosti simulace obráběcích procesů, včetně simulace kinematiky stroje (5,6)

1.4 Seznámení s programem PowerMILL

PowerMILL je světově největší odborný NC CAM software pro obrábění složitých tvarových součástí. Klíčové rysy zahrnují široký okruh strategií, včetně posledního vysoce výkonného obrábění. Software obsahuje i možnost výpočtu výrobních časů a silového namáhaní nástroje, pro lepší nastavení i zabezpečení optimálního výkonu na obráběcím stroji. (3)

Je třeba také konstatovat, že cena tohoto softwaru, je vzhledem ke kvalitě a vybavenosti nesrovnatelně nižší, než je tomu u ostatních programů podobného typu a navíc přináší mnoho výhod, mezi které patří:

- Lehkost ovládání, tvůrčí a editační možnosti
- Kvalita dokončení včetně účinků v pěti osách
- Žádné zbytečné přejezdy vzduchem
- Schopnost pracovat se všemi nástrojovými druhy
- Ekonomika vytvořených programů ke spokojenosti uživatele
- Řada účinných strategií k úběru zbytkového materiálu a precizaci rohů
- Možnost integrovaní drah nástroje a verifikace
- Typy drah a jejich dopad na HSC, namáhání částí stroje, kvalitu povrchu a řada dalších faktorů
- Animace a dynamické provádění simulace
- Simulace na obráběcím stroji
- Totálně přizpůsobitelný s makry, šablonami, Visual Basic a HTML(5)

I když software PowerMILL patří cenově do střední kategorie, jeho užitná hodnota je srovnatelná s nejdražšími světovými produkty

PowerMILL 7 je CAM software pro 3 a až 5-ti osé obrábění. Dovede načíst velké množství formátu. Načítá jak standardní formát IGES, STEP, VDA, DXF, ACIS a STL, tak speciální formáty DELCAMU, jako jsou dgk, dmt, tri, pic a stl. Umožňuje také načítat data všech důležitých 3D konstrukčních softwarů, jako jsou CATIA, PRO/E, Cimatron, Solidworks, Solidedge, Unigraphics a Parasolid. Velmi významný je výstup z projektu, kdy se jak rozpracované, tak hotové řešení zaznamená do adresáře a to včetně modelu a polotovaru. PowerMILL nabízí přibližně padesát strategií pro obrábění. (3,4)

Velkou předností PowerMILLU 7 je možnost aplikace 5-ti osého obrábění, které našlo velké uplatnění v letectví, automobilovém průmyslu a nástrojařství. Jeho využitím dochází k razantnímu zkrácení výrobních časů.

Nepřetržité obrábění v 5-ti osách dovolí uživateli polohovat osu nástroje v 5-ti osách a obrábět tak komplexní plochy. (5)

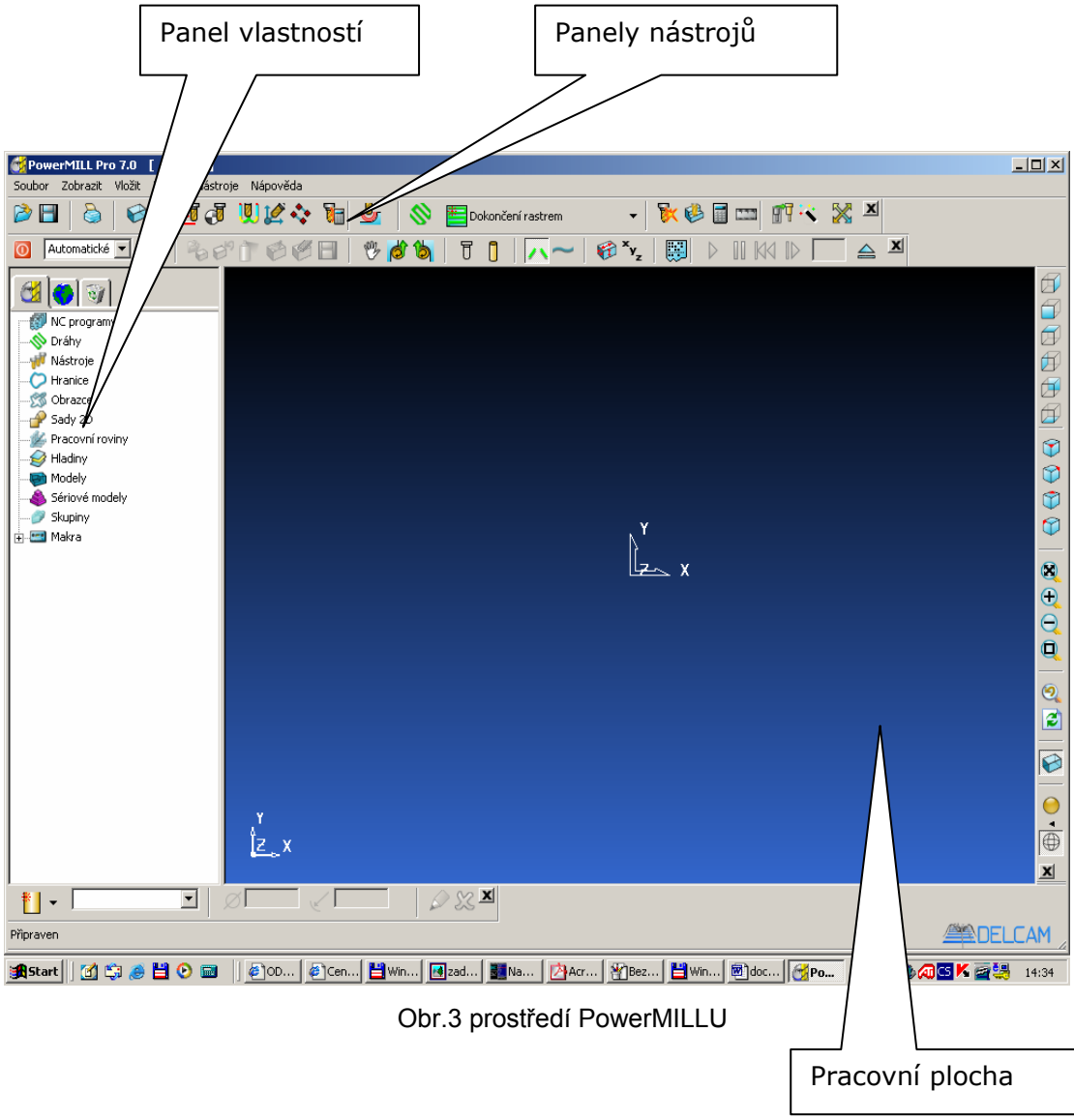
Výhody obrábění v 5-ti osách

- Ideální pro obrábění jádra a dutiny
- Zkracuje časy, zvyšuje přesnost a kvalitu obráběného povrchu
- Dovolí obrábění podúkosu

Výhody nepřetržitého 5-ti osého obrábění

- Ideální pro profilovaní části
- Ideál pro obrábění hlubokých rohů a dutiny
- Dovolí obrábění bokem nebo spodní částí nástroje
- Může být užívaný s kompletním sortimentem nástrojových druhů
- Může být užívaný s modely v STL formátu (s výjimkou profilování) (4,5)

Obr.2 logo PowerMILLU (5)



Obr.3 prostředí PowerMILLU

1.5 Charakteristika obráběného materiálu

Slitina Inconel 713LC (dále již IN 713LC) je žáropevná niklová slitina, určená pro teplotně a napěťově nejvíce exponované součásti, především leteckých turbínových motorů, stacionárních plynových turbín a oběžných kol turbodmychadel spalovacích motorů větších výkonů. Slitina je používána do provozní teploty 900 °C. Přičemž do teploty 850°C si udržuje vysokou pevnost, po překročení této teploty pevnost rychle klesá. V korozně velmi agresivních prostředí jsou povrchy dílů někdy opatřovány žárovzdornými nástřiky.(9)

Slitina IN 713LC se používá v tepelně nezpracovaném stavu, což patří mezi její technologické přednosti. Spodní teplotní hranicí použitelnosti této slitiny je z ekonomických důvodů teplota asi 550°C, pod kterou mohou být s úspěchem použity levnější slitiny s obtížnější obrobitelností. IN 713LC je komplexně legovaná slitina, u které je využito hned několika zpevňujících mechanismů. Základ této slitiny tvoří austenitická matrice Ni, substitučně zpevněná zejména Mo a vytvrzujícími precipitáty, jež jsou tvořeny intermetalickými sloučeninami, karbidy a koridy podílejícími se na dispersním zpevnění uvnitř a na hranicích zrn. Karbidy jsou v této slitině obsazeny řídce, protože se jedná o nízkouhlíkovou modifikaci.

Snížení obsahu uhlíku způsobuje posun teploty solidu a likvidu k vyšším hodnotám a zlepšení některých materiálových charakteristik, zejména zvýšení plasticity. Zvýšení creepové odolnosti se dosahuje přísadou prvků s nízkým koeficientem difúze, vysokým elastickým modulem, vysokou teplotu tavení a nízkou energií vrstevné chyby. Mezi prvky, které nejintenzivněji snižují energii vrstevné chyby tuhého roztoku gama, patří Mo a W (W není ovšem přísadou IN 713LC), které mají zároveň vysokou teplotu tavení a nízký koeficiente difůze.

Mechanické vlastnosti projevující se v teplotním rozsahu od 20 do 1000˚C: Při sledování dlouhodobé teplotní expozice na materiálové vlastnosti bylo prokázáno, že postupem času dochází k zlepšování pevnostních charakteristik a poklesu plasticity. Po překonání maxima vytvrzení dochází k odpevňování a nárůstu plastických vlastností. Vlastnosti materiálu se zohledňují při určování podmínek při obrábění, jednou z nich je i volba nástroje, nebo i řezné parametry, jako je posuv na zub a počet otáček nástroje, které určují řeznou rychlost na adekvátním průměru frézy.

Jednotlivé podmínky se stanovují podle zvolené strategie obrábění, s ohledem na životnost nástroje tak, aby nedocházelo k přetížení nástroje a stroje, nebo zbytečnému otupování břitu. Správné stanovení řezných podmínek je velmi důležité pro jakost obrobeného povrchu.(9)

Chemické složení slitiny IN 713LC příloha 4.

1.6 Tepelné zpracování

Vytvrzování žáropevných slitin je jejich nejnáročnější tepelné zpracování. Optimální kombinace množství, tvaru, velikosti a způsobu vyloučení zpevňující fáze v objemu slitin je dosahováno tepelným zpracováním, sestávajícím se z rozpouštěcího ohřevu, chlazení a následného umělého stárnutí. Teplota rozpouštěcího ohřevu musí být dostatečně vysoká pro co nejúplnější rozpuštění fáze γ . V závislosti na chemickém složení slitiny bývá v rozmezí 1 080˚C – 1 220˚C. Ohřev 2 až 12 hodin je prováděn ve vakuových pecích nebo v pecích s ochranou atmosférou, aby se zamezilo ochuzování povrchové vrstvy o legující prvky. Ochlazením z teploty rozpouštěcího ohřevu se obvykle provádí na vzduchu. Prudké ochlazení ve vodě by vedlo ke vzniku trhlin, zejména ve vysoce legovaných slitinách s nízkou tvárností.

Stárnutí slitin probíhá při ohřevu na teplotu vyšší, než je teplota funkce součásti, v krajním případě na teplotu stejnou. Teploty stárnutí jsou 700°C až 900˚C. U přesyceného tuhého roztoku se vylučují fáze γ a karbidy. Některé slitiny niklu jsou podrobeny stupňovitému stárnutí, kdy se dosahuje co nejúplnější vyloučení fáze γ provázené vyšší žáropevnosti.(9)

Další žáropevná slitina je EI 929 pro turbínové lopatky:

Rozpouštěcí ohřev 1200 ± 10˚C po dobu 6 hodin s následným chladnutím na vzduchu. Stárnutí 950 ± 10˚C po dobu 8 hodin a následné chladnutí na vzduchu.

1.7 Obráběcí centra CNC

Na počátku vývoje HSC technologií existovala snaha o prozkoumání této technologie a propojení s již známými technologiemi. Díky vývoji výpočetní techniky a především CAD/CAM systémů, nových řezných materiálů a integrovaných vřeten, je již HSC obrábění používáno v praxi. Při výzkumu bylo zjištěno, že když je teplo vzniklé při řezném procesu odváděno z místa řezu třískami, vytváří se lepší kvalita obrobeného povrchu a řezný proces se pohybuje v oblasti nekritického chvění - řezný proces je stabilní.

Abychom docílili dostatečného objemového úběru třísky, je nutné nejenom zvýšit otáčky vřetene, ale je třeba zvýšit i posuvové rychlosti.

Obráběcí centra jsou vysoce výkonná vyvrtávací a frézovací 3-osá centra s pojezdy na lineárních valivých vedeních, umožňující vysokoproduktívní a přesné vrtání, vyvrtávání, vyhrubování, vystružování a přímé řezání závitů. Jsou vybavené zásobníkem pro automatickou výměnu 32 popř. 40 nástrojů. Jejich předností jsou vysoké otáčky vřetena, velké rozměry pracovního stolu a dvířka na bočních krytech umožňující obrábění obrobků s délkou větší, než jaká je délka stolu.

Charakteristická je i neobvyklá délka pojezdů zejména v osách, vysoká tuhost stroje a výkonnost vřetena poháněného servomotorem. Jsou vysoce ekonomické při vysokých objemech výroby. Ale i při malé a střední kapacitě výroby, umožňují tyto centra zkrátit výrobní cyklus, zvyšovat efektivitu výroby, dosahovat snížení výrobních nákladů, jako i dosáhnout uspokojivých ekonomických výsledků a požadované kvality. Obráběcí centra lze doplnit řízeným otočným stolem pro 4. osu nebo řízeným otočným a naklápěcím stolem pro 4.a 5. osu.

Kuličkové šrouby pro všechny osy o vysoké přesnosti s dvojitou maticí garantují přesnost a spolehlivost polohování. Vysoké hodnoty rychloposuvu i posuvu při obrábění. Vysokootáčkové vřeteno (10.000 ot./min) s mimořádně vysokým výkonem a vysokým kroutícím momentem.

Intenzivní chlazení nástrojů (lze i chlazení vnitřkem vřetena a nástroje) (12)

1.8 Rozbor vlivů na přesnost výrobního stroje.

Podkladem, pro rozbor jednotlivých faktorů působících na přesnost práce NC obráběcích strojů je přehled hlavních chyb. K součtu všech těchto vlivů dochází při obrábění na NC stroji a toto působení se pak odráží v přesnosti zhotoveného obrobku.

1.8.1 NC program

Přesnost zadání při modelování v CAD systému, je nutno rozdělit modelovaná tělesa na primitiva, to znamená na základní tělesa, která jsou přesně daná v každém bodě jejich povrchu a na tělesa, která jsou modelována pomocí různých interpolačních nebo aproximačních ploch nebo křivek. Tříosá číslicově řízená obráběcí centra v kombinaci s CAD/CAM systémem se používají převážně na výrobu zápustek pro výkovky nebo formy pro odlitky. Přesnost výpočtu CAM softwaru a postprocesoru při použití výpočetní techniky, kdy počítače jsou standardně schopny počítat na osm desetinných míst, je tato chyba zanedbatelná a nemusíme ji brát v úvahu při zjišťování přesnosti obráběcího centra.(12)

1.8.2 CNC systém

Vliv elektronické části systému řízení polohy na pravoúhlé systémy. Tyto systémy umožňují vznik úchylky programované polohy ovládané části stroje tím, že dojde k jejímu přejezdu při dokončování posuvu – a to zpožděním vypínacího signálu nebo setrvačností pohybujících se hmot. Povrch při výrobě je přepočten v řídícím systému na ekvidistantní dráhu, ve které je zahrnut tvar a rozměr nástroje.(12)

Při skutečném obrábění tvarových obrobků však dochází k porušení ekvidistantnosti skutečné dráhy středu nástroje s drahou požadovanou, a tím k chybám na obrysech a tvarech obrobků. Hlavní příčinou těchto odchylek je časová prodleva mezi vyhodnocením, zpracováním a zadáním nových parametrů řídícímu systému. Všechny dráhy a plochy jsou u číslicově řízených strojů interpretovány pomocí interpolací, které nahrazují skutečný povrch. V současné době se používají tři interpolace :

- lineární,
- kruhová,
- spline.

Lineární interpolace:

V přímých úsecích dráhy rovnoběžné se souřadnými osami stroje dochází pouze k posuvu jen v jedné ose, inkrementy se sčítají a dráha nástroje je vždy ekvidistantní k žádanému tvaru obrobku. Proto zde nedochází k chybám vlivem interpolace. K odchylkám od ekvidistanty, a tím k úchylkám od ideálního tvaru dochází až při přímkových drahách šikmo skloněných k souřadným osám. U lineárních interpolacích je největší odchylka od ideálního tvaru menší, než základní jednotka odměřování.

Další chyba vzniká, pokud budeme lineárním interpolátorem nahrazovat kruhový oblouk nebo obecnou křivku. Tyto křivky je lineární interpolátor schopen nahradit pouze n-úhelníkem. Vliv nestejného polohového zesílení, pokud bude polohové zesílení v každé souřadné ose různé, dojde k deformaci obecné trajektorie. U šikmého profilu bude skutečný povrch ekvidistantou, u kružnice dojde k ovalitě a u obecné trajektorie dojde k deformaci podle poměru zesílení v jednotlivých souřadných osách.

Vliv hystereze polohové smyčky vlivem hystereze systému není naprogramovaná poloha nastavena přesně (tj. necitlivostí systému řízení polohy) a je způsobena zejména: třecími silami v pohonu a ve vodících plochách vůlí v částech pohonu ležícího mimo regulační smyčku necitlivost elementů polohového servopohonu.(12)

1.8.3 CNC stroje

Chyby měřítek a odměřovacích zařízení:

Vlivem nedokonalého zhotovení měřítek (odměřovací hřebínek, selsyn, apod.) a dalších odměřovacích elementů (snímače) způsobuje rozdíly mezi programovanou polohou např. stolu a jeho skutečnou polohou. Ostatní vlivy na chyby stroje při práci CNC stroje způsobené vlastním strojem mají celou řadu příčin: úchylky funkčních ploch stroje od ideální geometrické přesnosti, odchylky referenčních ploch od ideálního tvaru, chyby v přesnosti posuvných pohybů od ideální přímočarosti, chyby přesnosti otáčivých pohybů (axiální a radiální házení) deformace uzlů i rámů stroje vlivem poddajností a vůli vlivem

gravitačních a řezných sil a pasivních odporů tepelné deformace a úchylky způsobené nedokonalou funkcí zpevňování zařízení.

Vlivy nástroje

Řezný nástroj může přesnost číslicového řízeného stroje výrazně ovlivnit:

- Úchylky od správného geometrického tvaru nástroje
- Úchylky ve výchozí poloze nástroje (při upnutí)
- Deformace nástroje působením řezných sil
- Tepelné deformace
- Opotřebení nástroje

Vlivy obrobku

Mezi vlivy obrobku výrazně působící na přesnost jeho opracování na NC stroji patří v prvé řadě deformace obrobku působením řezných sil a tepelné deformace.

Vliv upnutí

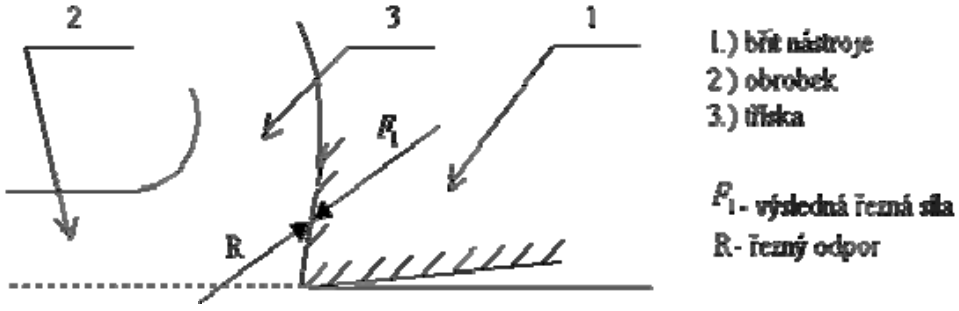
Další podstatným vlivem na přesnost obrábění je upnutí obrobku na stole stroje. Skutečnosti, které ovlivňují přesnost jsou:

- tuhost stolu, kterou můžeme eliminovat pokud upínáme přímo na desku stolu
- tuhost šroubů upínání
- rovinnost upínací plochy
- čistota upínací ploch

1.9 Dynamika řezného procesu

Při řezném procesu působí na břit nástroje řezné síly, které vznikají při oddělování třísky z materiálu obrobku. U konvenčního obrábění nastává mechanické zpevnění třísky (tvorba nárůstku a nestabilní váznoucí vrstvy). Přítlačné a třecí síly dosahují vyšších hodnot, než u vysokorychlostního obrábění, při kterém dochází při průchodu třísky rovinou řezu ke zvýšení její teploty až na tavnou teplotu materiálu obrobku.

Tříska snižuje svou tvrdost a snižují se třecí a přítlačné síly. Abychom docílili efektivního řezného procesu, musíme zajistit energetickou rovnováhu mezi energií dodanou k nástroji a energií spotřebovanou při řezném procesu.



Obr.4 náčrt řezného procesu

1.9.1 Stabilita procesu řezání

Působením periodicky se opakujících sil nám poruší rovnovážný stav při rovnoměrném řezání a vyvolá kmitání systému stroj-nástroj-obrobek. Toto kmitání nepříznivě ovlivňuje objemový výkon stroje, přesnost a kvalitu řezného procesu. Tyto periodicky se opakující síly mohou vznikat např:

- od rázů ostatních strojů (přenášet se podlahou do základu stroje)
- při rotaci nevyvážených hmot (např. u vysokorychlostních vřeten rotací talířových pružin)
- nebo při používání mechanismů, ve kterých mohou vznikat velké setrvačné síly.

Výše uvedené druhy vzniku kmitů od periodicky se opakujících sil přímo nesouvisí s procesem obrábění.

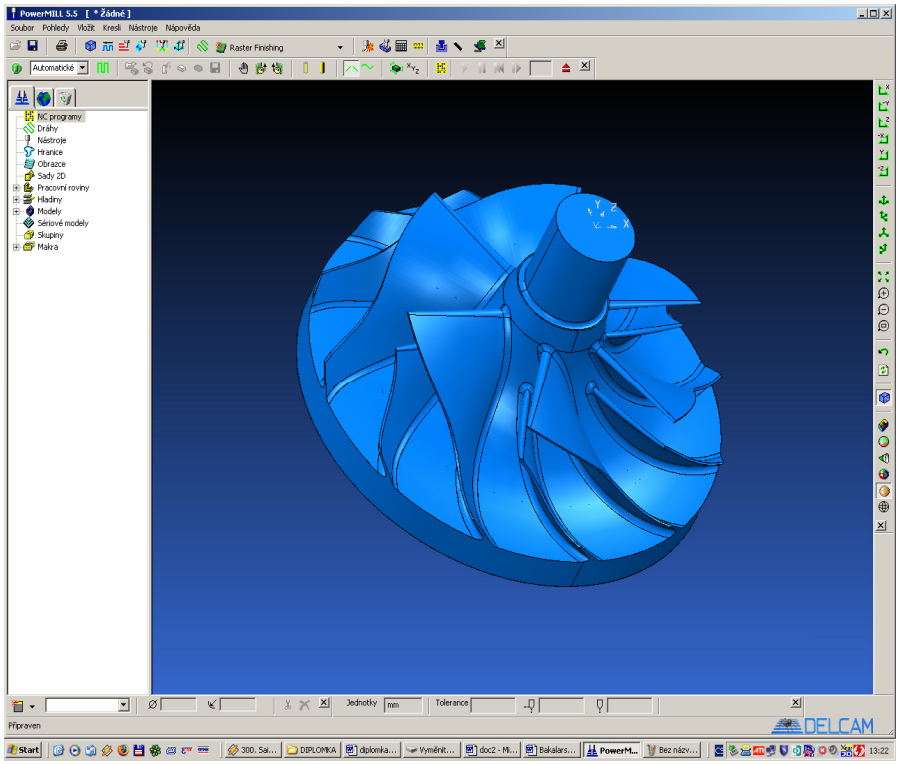
Při řezném procesu se v určitých řezných podmínkách objevují kmity, které destabilizují řezný proces. Tyto kmity se u obrábění objevují nejčastěji a nejvíce ovlivňují kvalitu řezného procesu. Proto je třeba určit takové řezné podmínky, ve kterých je řezný proces stabilní. Matematická závislost zatím není známá a stabilní řezné podmínky se určují experimentálně. Obecně lze říct, že se zvyšující se řeznou rychlostí, zmenšující se tloušťkou úběru třísky a zmenšujícím se úhlem řezu, z čehož vyplývá zmenšení řezných sil, nedochází k destabilizaci procesu.(10)

1.9.2 Deformace obrobeného povrchu

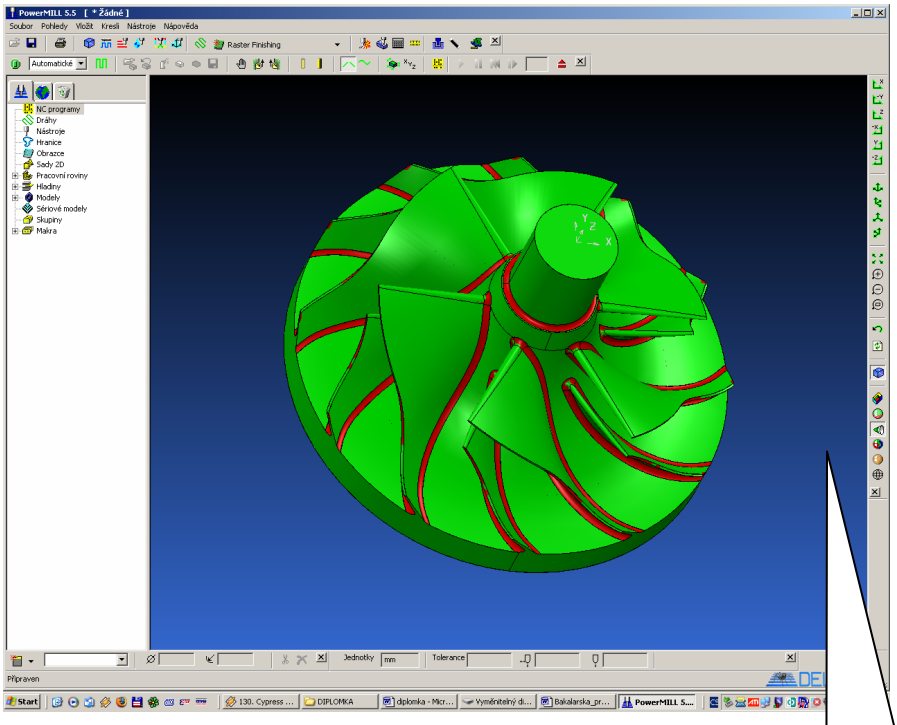
Díky tvaru ostří břitu nástroje dochází v povrchové vrstvě obrobku k plastickým deformacím. Ostří není ideální hrana, ale je částí válcové plochy, která se dotýká obrobeného povrchu a mezi touto částí břitu nástroje a obrobkem vzniká napětí. Toto napětí vyvolává v povrchu obrobku plastickou deformaci. Ve většině případech obrábění, nedosahuje teplota vzniklá při této deformaci takových hodnot, aby došlo k rekrystalizaci a proto má povrchová vrstva obrobku větší tvrdost než původní materiál.

1.10 Import modelu

Načtení modelu a jeho následná analýza. Model lze vystínovat a prohlédnout jeho úplnost. Důležité je nalézt nejmenší rádiusy omezující výběr nástrojů pro dokončovací operace při obrábění, stejně tak i polotovar a překontrolovat umístění modelu v polotovaru nebo na přípravku. Dále je nutné zjistit, zda v poloze obrábění neexistují podúkosy nebo úhly podřezání a pokud existují, zhodnotit jejich opodstatněnost, případně způsob jejich obrobení. Tato analýza je vstupní částí pro vhodnou volbu strategie obrábění.



Obr.5 načtení modelu

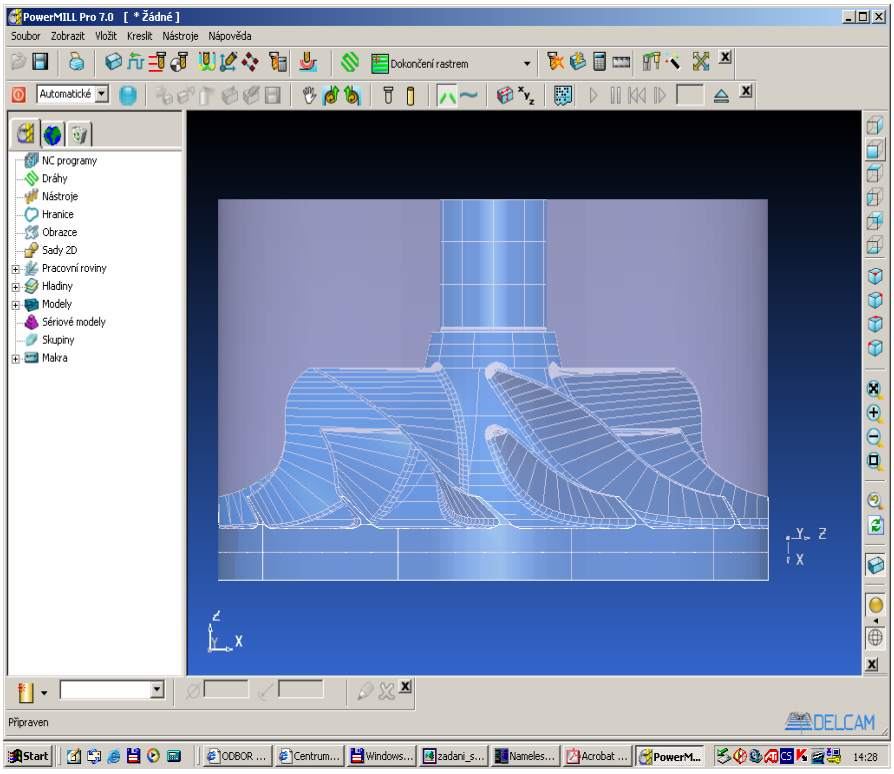


Obr.6 najití minimálních rádiusů

Minimální rádiusy

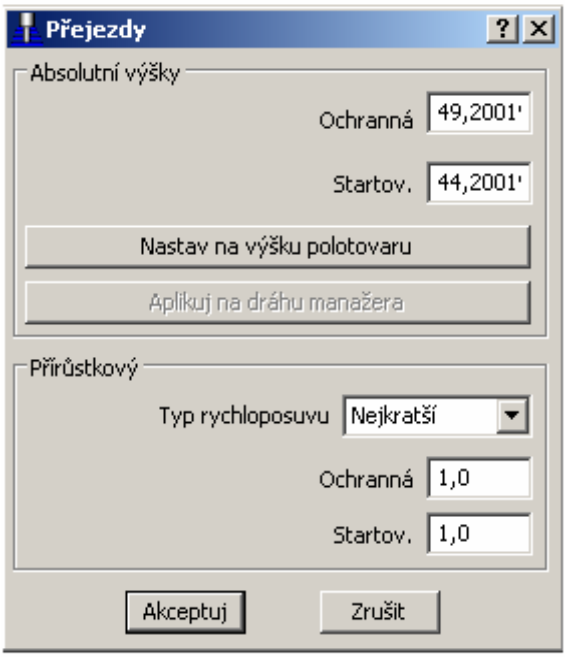
1.11 Definice polotovaru

Definice polotovaru se vyznačuje velkou variabilitou. Polotovar definujeme na základě geometrie modelu, kdy volíme odpovídající tvar (válec, hranol …), nebo lze definovat profil nebo obecný tvar daný modelem polotovaru nebo modelem z předchozí operace. Systém skutečně obrábí jen materiál, mezi polotovarem a modelem. Polotovar lze definovat na celý obrobek nebo jen na jeho část. Za polotovar byl v našem případě zvolen válec o odpovídajících rozměrech tak, aby došlo k minimálnímu úběru materiálu.



Obr.7 načtení polotovaru

Je zapotřebí provést specifikaci výšky rychlého pohybu tak, aby nedošlo ke kolizi nástroj - obrobek. Výšky rychlého pohybu jsou hodnoty, v nichž se může nástroj bezpečně pohybovat, aniž by hrozil střet se součástí nebo se sklíčidlem.



Obr.8 specifikace výšky rychloposuvu

2. ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE PRO ZADANÉ SOUČÁSTI

Pro obrobení oběžného kola turbodmychadla budou uplatněny následující obráběcí strategie, které nabízí PowerMILL:

2.1 Offset conture

2.2 Profile Area clearance from model

2.3 Swarf finishing

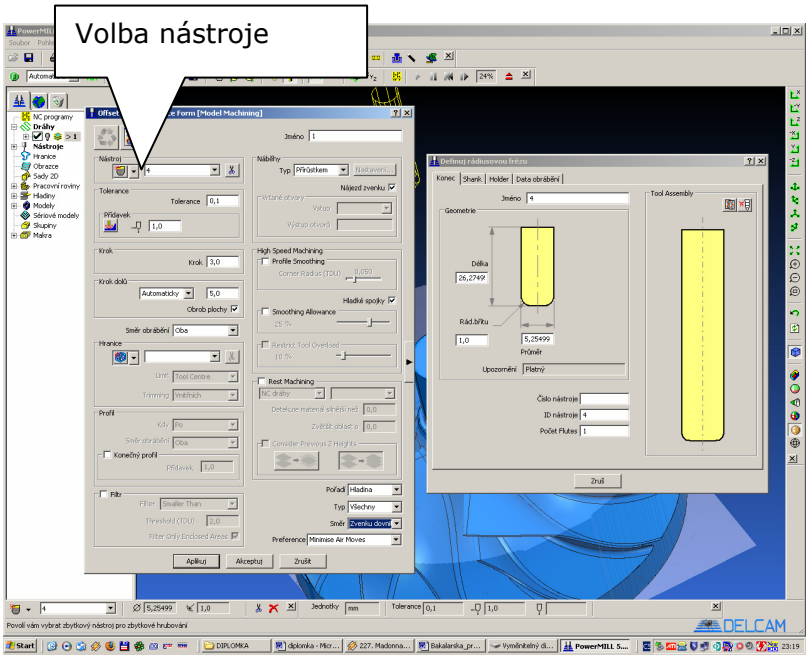
2.4 Projection cruve finishing

2.1 Offset conture

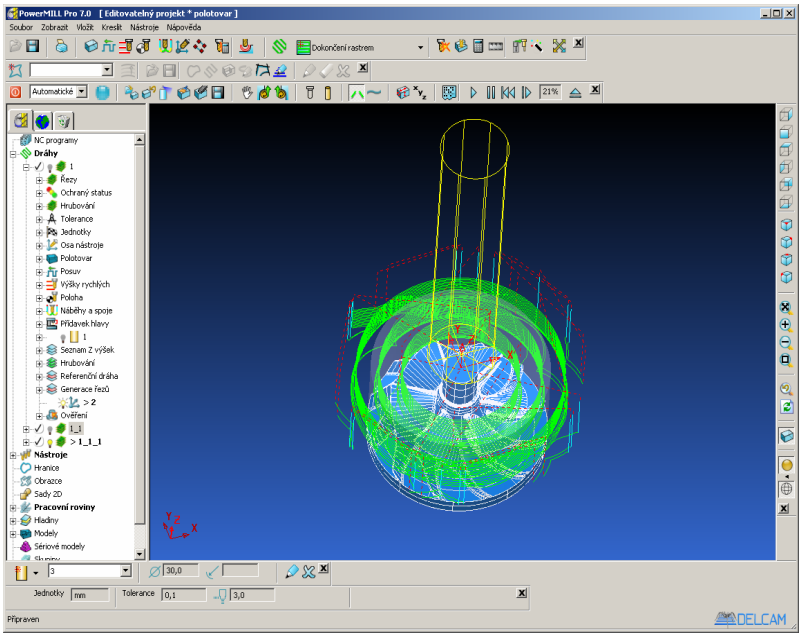
Offset conture - hrubovací strategie, jejíž cílem je odebrání co největšího množství materiálu. Zvolené řezné podmínky jsou nastaveny, tak aby bylo možné odebrat co největší množství přebytečného materiálu, v co nekratším strojním čase, ale zase tak, aby nedocházelo k poškození nástroje. Zvolený nástroj je čelní stopková fréza o průměru 32 mm.

Cílem je odebrat velké množství materiálu v oblasti nad lopatkami, okolo čepu. Směr obrábění bude zvolen jak sousledné, tak nesousledné. Obrábění celé součásti konstantním posuvem může být velmi neefektivní. Použitím proměnné rychlosti posuvu v hrubovacím cyklu systém optimalizuje automatickým přepočítáváním hodnot posuvu dráhu nástroje k udržení konstantní tloušťky třísky.

Možnost generování spirálové dráhy umožňuje optimalizované obrábění bez nežádoucích zpětných pohybů a zbytečných přejezdů. Použitím spirálových drah nástrojů se lze vyhnout náhlým změnám směru obrábění a množství odebíraného materiálu zůstává konstantní.



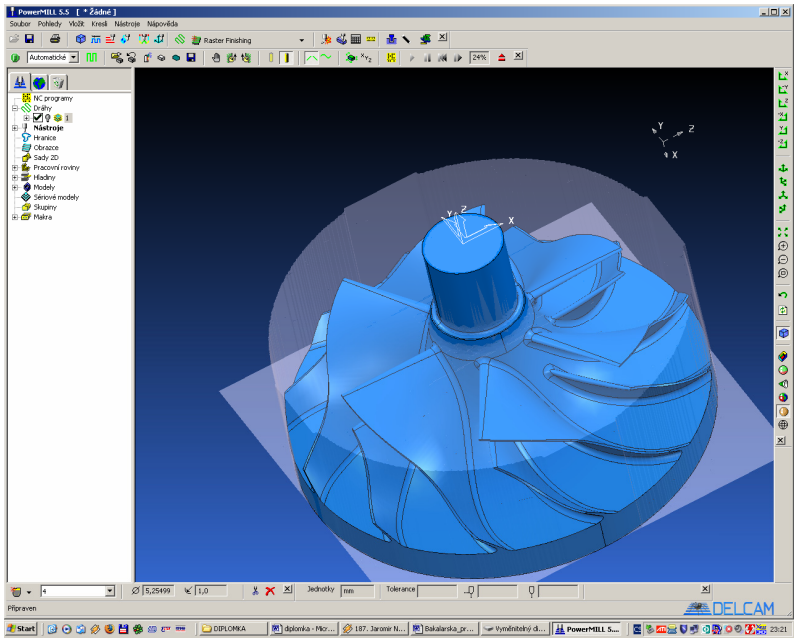
Obr.9 volba strategie



Obr.10 volba strategie

Nástroj se pohybuje po spirálové dráze, kde dochází k úběru materiálu po určitých vrstvách (hloubka třísky), z vnějšího okraje polotovaru k čepu, po odebrání jedné vrstvy se posune na počátek dráhy a proces se opakuje na úrovni další vrstvy.

V důsledku velkého úběru materiálu zanechává nástroj na povrchu viditelné stopy svojí dráhy, ale jelikož jde o hrubovací operaci, bude povrch následně ještě obráběn.



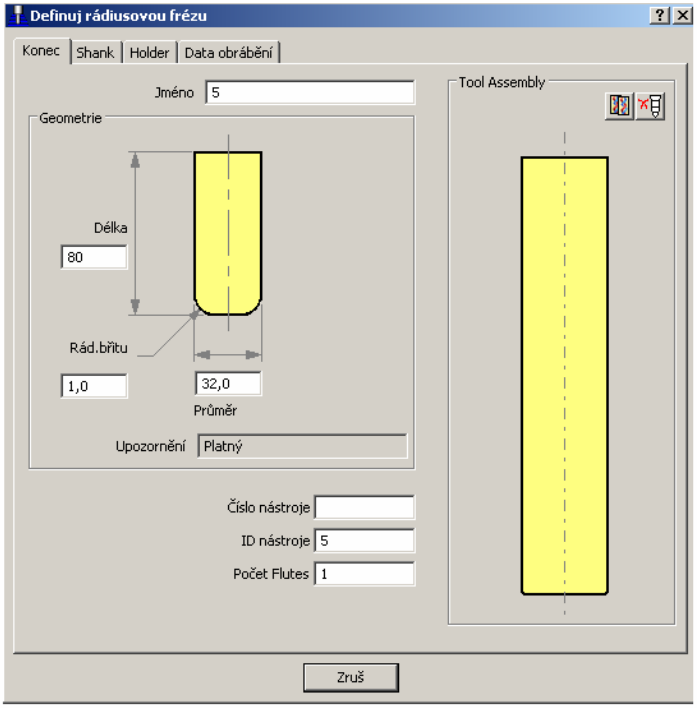
Obr.11 obrobek po první hrubovací strategii

2.1.1 Volba nástroje a řezné podmínky

Databáze nástrojů a držáků nástrojů je modul, který pracuje podobně jako další moduly paralelně s PowerMILLEM, se kterým úzce komunikuje. Existuje osm typů nástrojů:

- fréza s rovným čelem
- kulová fréza
- rádiusová fréza
- další úhlové a sférické frézy
- nakonec vrták

Nástroj se definuje včetně vyložení. Pokud se nebude používat některý z definovaných, může se vytvořit vlastní databáze uživatelských nástrojů. Totéž platí i pro držáky. Jsou-li různé stroje, lze si vytvořit databáze aktuálního seřízení a to dále používat. (3)



Obr.12 volba nástroje

Stopková fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu se používá zejména k hrubování a střednímu obrábění. Která přímo při hrubování obrobí na čisto čep s přechodovým rádiusem. Rádius na čele frézy odpovídá požadovanému rádiusu na obrobku. Pro méně příznivé podmínky je optimální volbou pro obrábění materiálu tvrdosti 43≤HRC≥63 nástroj od firmy ISCAR. Nástroj určený k obrábění slitin. Spolehlivost při obrábění je podstatná výhoda, která uživateli nabízí moderní stopkové frézy s čelními půlkruhovými břity.

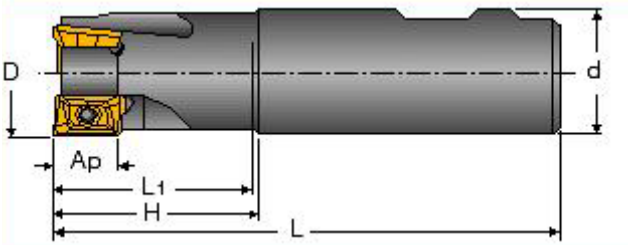
Tyto frézy jsou mnohostranně použitelné. Pro optimalizaci výkonu obrábění se proto doporučuje provést přesný výpočet posuvu na zub, s přihlédnutím k určitým korekčním faktorům pro radiální a axiální hloubku řezu. Pro výpočet otáček vřetene je určujícím faktorem řezná rychlost efektivního průměru frézy.(14)

Výpočet otáček nástroje:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_{c2}} = \frac{125 \cdot 1000}{\pi \cdot 32} = 1243 \text{ ot/min} \Rightarrow 1250 \text{ ot/min} \qquad 1.1$$

Výpočet posuvu nástroje:

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 1250 \cdot 0{,}125 \cdot 4 = 625 \text{ mm/min} \qquad 1.2$$



Obr.13 stopková fréza od firmy ISCAR

Tab.1 s parametry nástroje

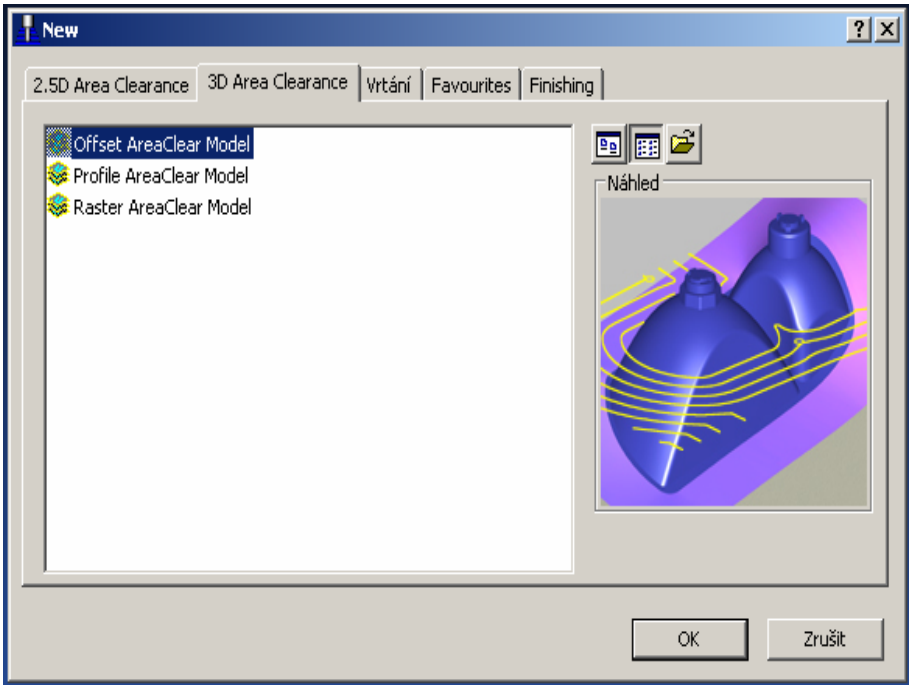
	HM90 E90AD-D32-4-C32	
D	32	mm
r_ε±0,01	1	mm
L	120	mm
A_p	10	mm
d	10	mm
α	12	°
L_1	38	mm
H	40	mm
d	25	mm
z_n	4	

2.2 Profile Area clearance from model

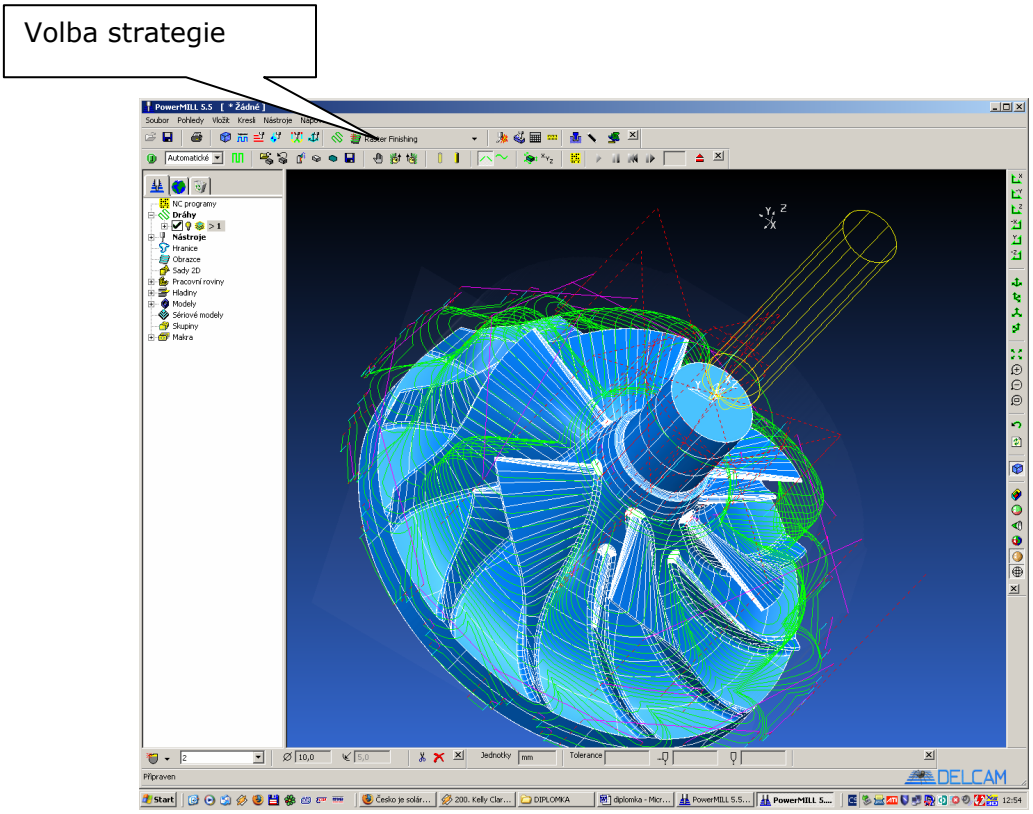
Profile Area clearance from model - Hrubovací cyklus umožňuje zbytkové hrubování, pomocí něhož může být zvolen menší nástroj, jenž s využitím hrubovací strategie odebírá zbytkový materiál, který nebyl odřezán předchozím větším nástrojem. Inteligentní zbytkové hrubování umožní automaticky obrobit zbytkový materiál po předchozím nebo vybraném hrubování.

Při přesnějším hrubování je použita nová strategie, při které je použit nový nástroj kulová fréza o průměru 10 mm, dochází k menšímu záběru do materiálu, kdy se nástroj nepohybuje po vrstvách, ale kopíruje tvar modelu s určitým přídavkem. Dochází už k přesnějšímu obrobení tvaru obrobku, kdy se vytváří tvarové plochy pro následné 5-ti osé obrábění, se budou již obrábět lopatky.

Na povrchu obrobku jsou viditelné stopy nástroje, které budou odstraněny následnou operací. Nedochází k natáčení osy nástroje, v tom to důsledku je pohyb omezen, tak nedochází k úběru materiálu pod lopatky.

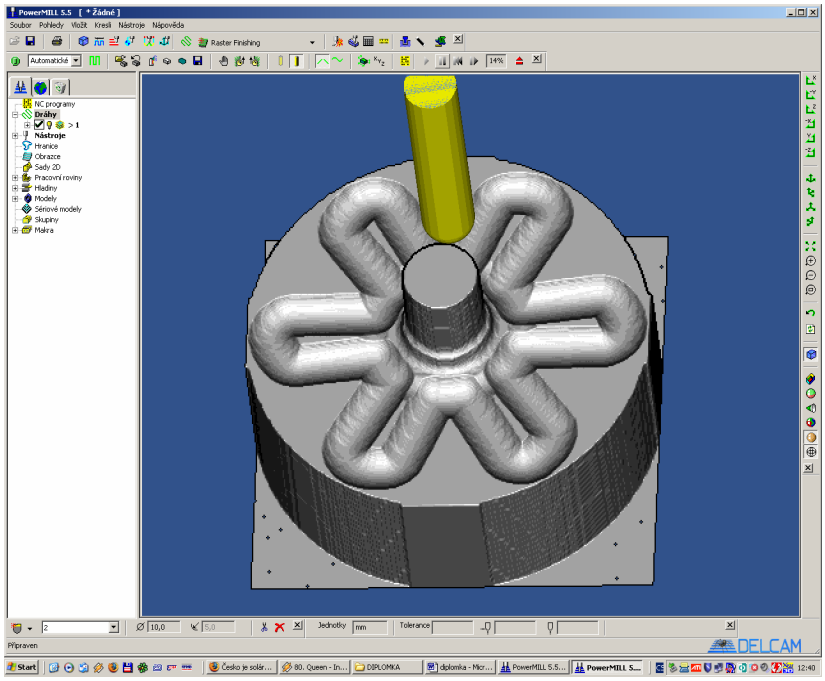


Obr.14 hrubovací strategii

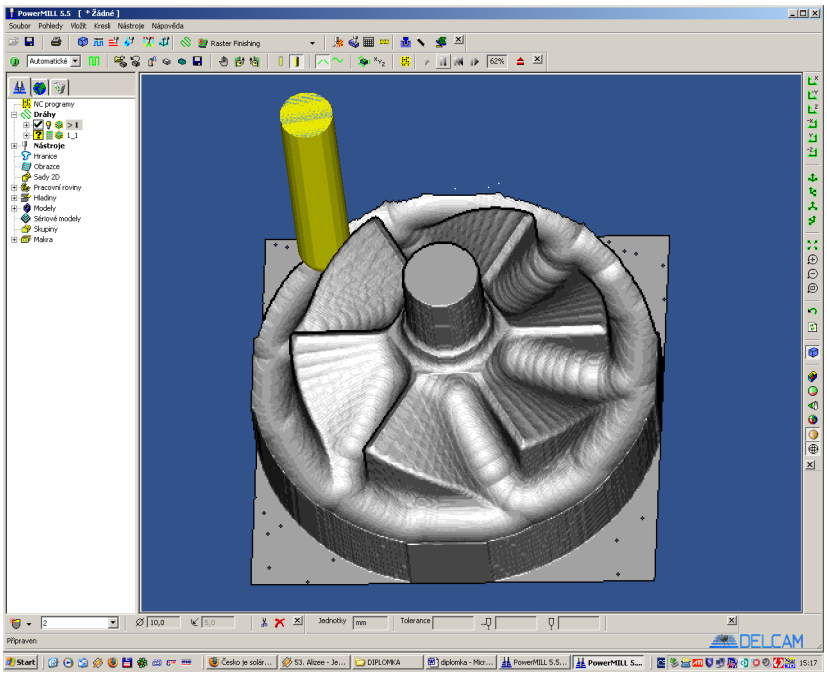


Obr.15 dráhy nástroje na obrobku

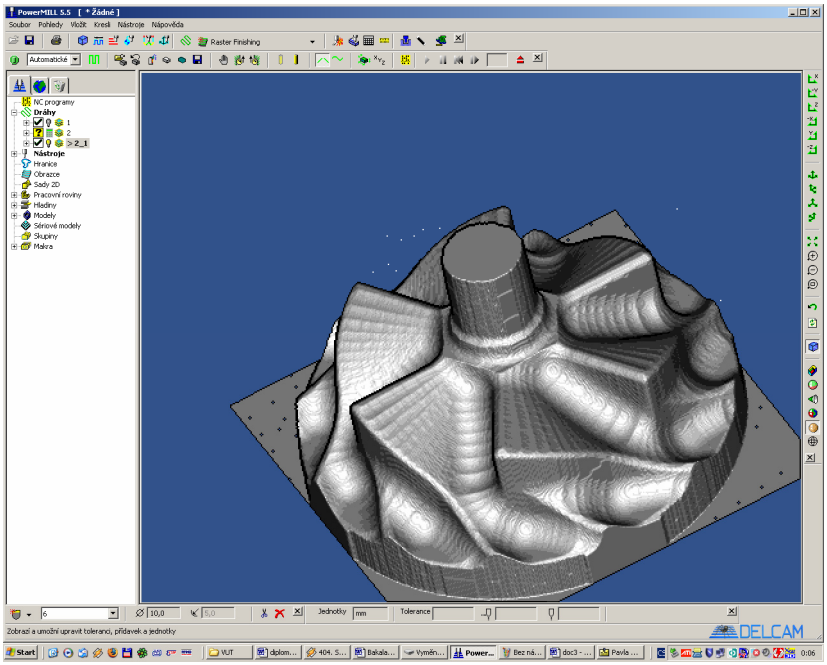
Vygenerované dráhy kopírují povrch modelu s přídavkem 2 mm, který má zaručit aby nedošlo k poškození povrchu od hrubovacího nástroje, PowerMILL hlídá i případné kolize nástroje s obrobkem a překrývání drah. U drah jsou zkráceny nájezdové a výjezdové vzdálenosti na bezpečnou vzdálenost 2mm. Hustota drah je závislá na volbě axiálního a radiálního kroku.



Obr.16 obrobek v průběhu obrábění



Obr.17 obrobek v průběhu obrábění



Obr.18 obrobek po druhé hrubovací operaci

2.2.1 Volba nástroje a řezné podmínky

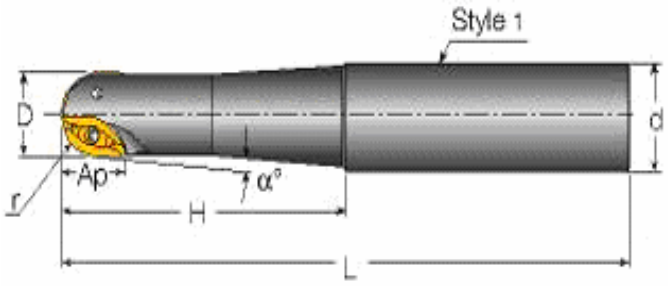
Pro méně příznivé podmínky je optimální volbou pro obrábění materiálu tvrdosti 43≤HRC≥63 nástroj od firmy Sandvik Coromant® s označením CoroMill® Plura 1620. Tyto frézy jsou mnohostranně použitelné. Pro optimalizaci výkonu obrábění se proto doporučuje provést přesný výpočet posuvu na zub, s přihlédnutím k určitým korekčním faktorům pro radiální a axiální hloubku řezu. Pro výpočet otáček vřetene je určujícím faktorem řezná rychlost efektivního průměru frézy.

Výpočet otáček nástroje:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_{c2}} = \frac{125 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 3978{,}8\ \text{ot/min} \Rightarrow 4000\ \text{ot/min} \qquad 1.3$$

Výpočet posuvu nástroje:

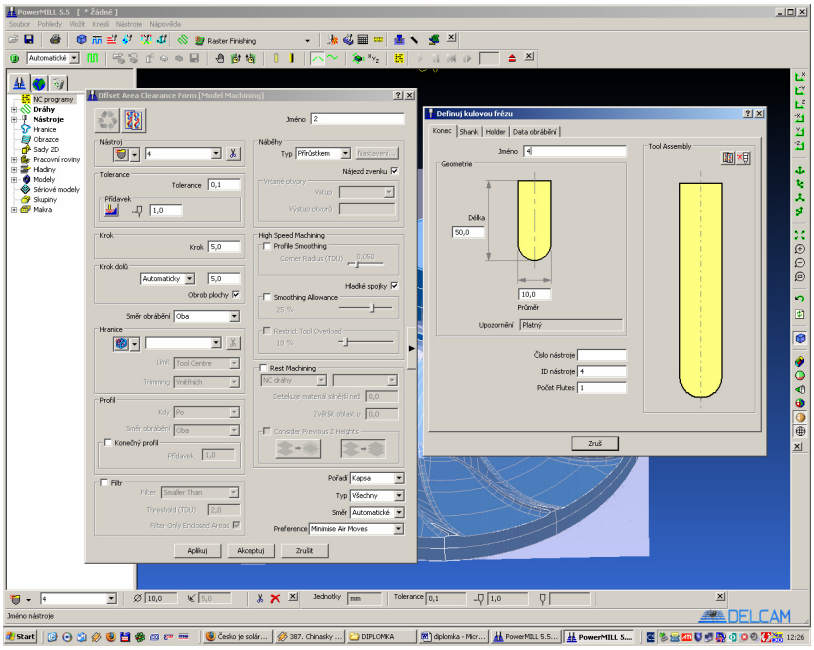
$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 4000 \cdot 0{,}125 \cdot 2 = 1000\ \text{mm/min} \qquad 1.4$$



Obr.19 nástroj CoroMill Plura 1620

Tab.2s parametry nástroje

Kód	R216.42-10030-AI10G	
D_{C2} –h9	10	mm
r_ε±0,01	5	mm
l_2	72	mm
$a_{p\ max}$	10	mm
dm_m-h6	10	mm
α_o	12	°
l_{sh}	56	mm
l_3	32	mm
α_{21}	4	°
z_n	2	



Obr.20 volené parametry

2.3 Swarf finishing

Při klasickém tříosém obrábění je osa nástroje pevná. Interpolace při obrábění prostorových ploch je realizována jen prostřednictvím tří lineárních pohybů, což je sice výrazně jednoduší způsob z hlediska programování NC dat, ale při nasazení kulových nástrojů v dokončovací etapě dochází k nepříznivým záběrovým podmínkám, které spolu s nulovou řeznou rychlostí v ose nástroje,

neblaze působí na celý řezný proces. Tato negativa je možné eliminovat více osím frézováním, tzv. naklápěním nástroje ve směru čtvrté, popř. páté osy.

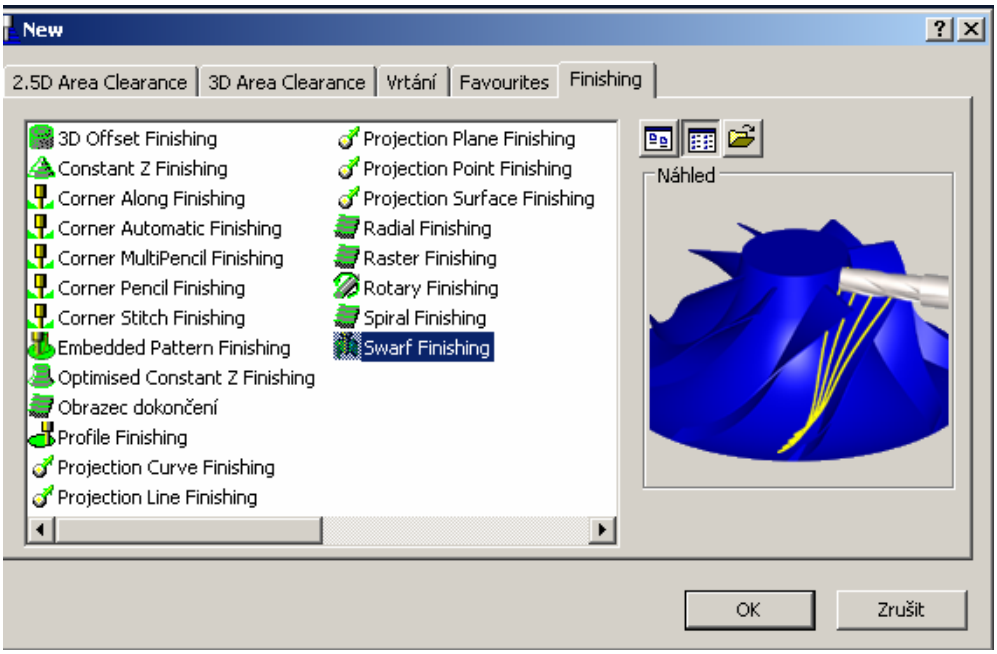
Z hlediska opotřebení břitu, procesní spolehlivosti, přesnosti a drsnosti obráběné plochy bylo zjištěno jako optimální naklonění nástroje o 10° až 20° do směru posuvu (platí pro sousledné frézování). Jedná se o tzv. vlečení nástroje.

Shrneme-li obecně frézovací strategie určené pro obrábění složitých tvarových ploch, je pro hrubování doporučováno tzv. spirálové kapsování, pro dokončování převážně rovinných ploch spirálové frézování a pro dokončování převládajících svislých ploch pak vrstevnicové frézování. Přitom je z hlediska zbytkových objemů vhodné většinou využívat kruhový tvar břitu nástroje a jednoznačně sousledný způsob frézování. Mezi další významné strategické otázky patří také způsob obrábění vnitřních rohů, jakož i zásady pro vstup a výstup břitu z řezu. Samozřejmě je vždy třeba hledat a modifikovat příslušnou strategii podle konkrétního charakteru zhotovované tvarové plochy. V celém přístupu je také nutné bezpodmínečné respektovat základní okrajové podmínky, a to především kvalitativní - tedy geometrickou a tvarovou přesnost a integritu povrchu včetně jeho drsnosti.(10)

Následná strategie, obrábět bokem nástroje, byla uplatněna pro obrobení ploch lopatek. Kdy bok kulové frézy kopíruje plochu lopatky. Ale z technologického hlediska je to velmi nežádoucí situace, protože je fréza v záběru z velké části svojí délky. Proto náklon frézy o určitý úhel bylo jedno z východisek, jak uplatnit tuto metodu a nedopustit se technologických chyb. Úhel byl volen tak, aby nulová řezná rychlost v ose nástroje nebyla v kontaktu s obráběnou plochou. Fréza obrábí svoji kulovou částí, kdy je v záběru jen velmi malá část nástroje, nedochází k přetěžování nástroje ani k vyvolání vysokého napětí v povrchu u obrobku.

Pro uplatnění této metody se musel zjemnit krok tak, aby se zabránilo nežádoucím stopám na povrchu obráběné plochy po nástroji. Dokončení konstantní drsností generuje 3D dráhu, která dodržuje konstantní krok mezi jednotlivými řádky s ohledem na drsnost povrchu a tvar obráběných stěn modelu.

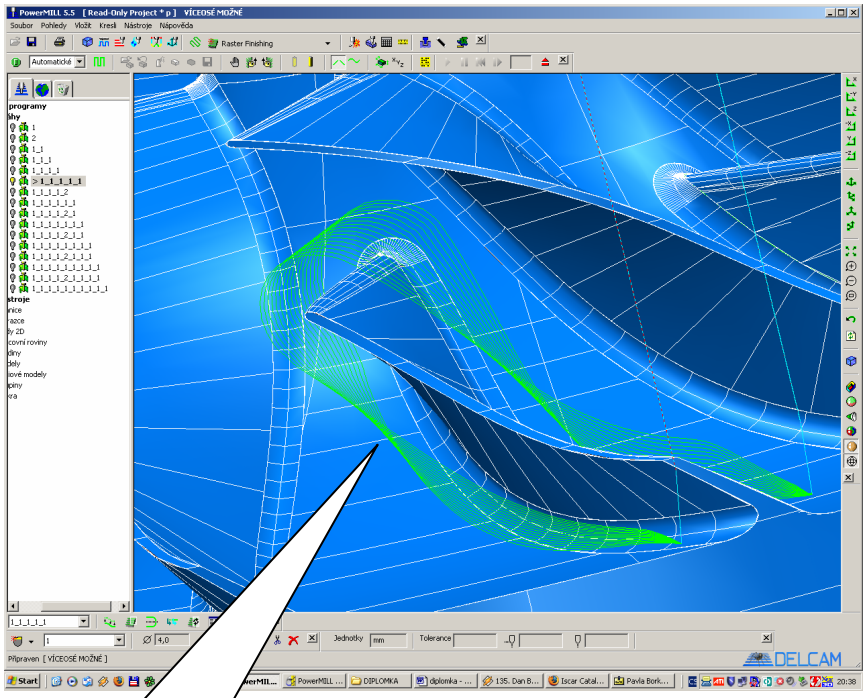
Dráha nástroje může být tvořena dle hranice nebo řídící křivky. Tato metoda zajistí shodnou jakost povrchu na celém modelu. Dodržením konstantní vzdálenosti mezi řádky je tvořena optimální dráha pro vysokorychlostní obrábění.



Obr.21 volba strategie

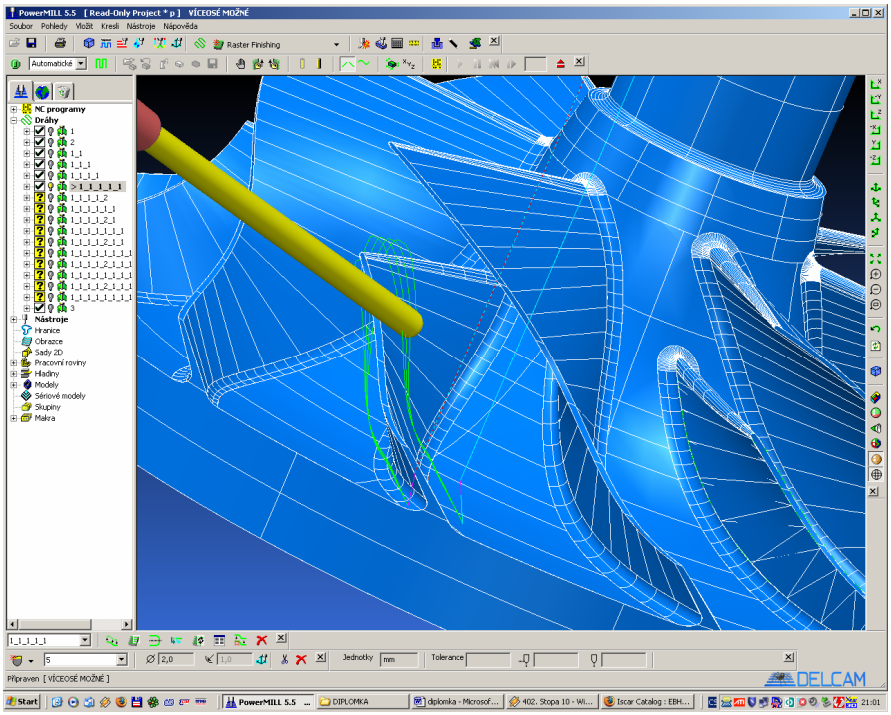
Při aplikaci strategie obrábění bokem frézy jsem použil opět kulovou frézu o průměru 4 mm. Nástroj jsem vyklonil o 10˚, taky se zabránilo styku boku nástroje s obráběnou plochou v celé délce frézy. Nástroj zabírá do materiálu pouze kulovou částí. Dráha nástroje je generována tak, aby nástroj objel horní a spodní plochu lopatky a následně se zanořil do materiálu a opakoval dráhu s axiálním posunutím 1 mm. Povrch je obráběn nadvakrát, prvně s přídavkem 1mm, kdy se jedná o hrubování.

Posléze nástroj kopíruje stejné dráhy, ale už bez přídavku, plocha lopatky je již obráběna do finální podoby. Jakost povrchu na plochách lopatky odpovídá nastaveným řezným podmínkám. Při změně kroku v axiálním směru, lze docílit lepšího povrchu. Na povrchu lopatek nástroj zanechává menší zřetelné stopy, pro uplatnění oběžného kola v provozu je nutné docílit hladkého povrchu na plochách lopatek, proto se doporučuje broušení těchto lopatek.



Obr.22 dráhy nástroje

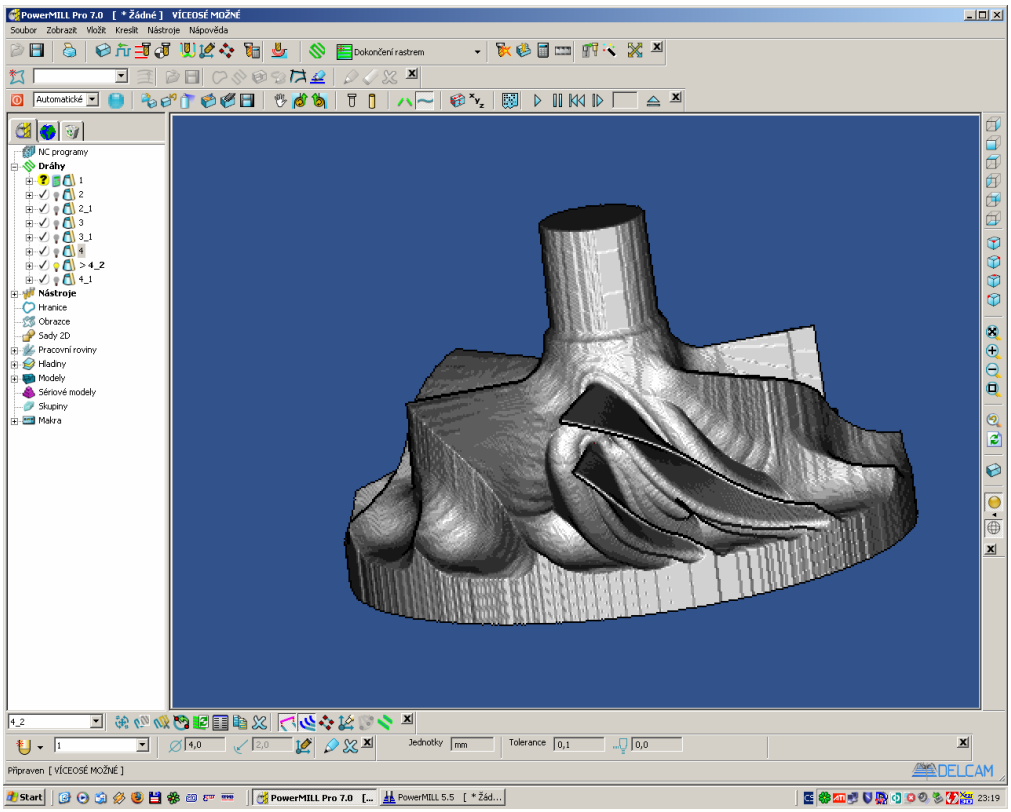
dráhy nástroje seřazeny vedle sebe s axiálním krokem 1 mm



Obr.22 průběh obrábění lopatky v simulaci

U velkých lopatek je aplikována stejná metodou i se stejným přídavkem. S tím rozdílem ,že se dráhy generují na velké lopatky. Dráhy nástroje se generují pouze pro jednu velkou a pro jednu malou lopatku, na zbývající lopatky se postupně překopírují. Oběžné kolo obsahuje 6 velkých lopatek a 6 malých. Aby se zamezilo zbytečným přejezdům a tím prodlužování strojního času, jsou dráhy poskládány následovně.

Při dokončení obrábění malé lopatky se nástroj posune na sousední velkou lopatku a následně ji obrábí. Nástroj se vždy posouvá na sousední lopatku. Tak jsou střídavě obráběny malá a velká lopatka.



Obr.24 průběh obrábění lopatky

2.3.1 Volba nástroje a řezné podmínky

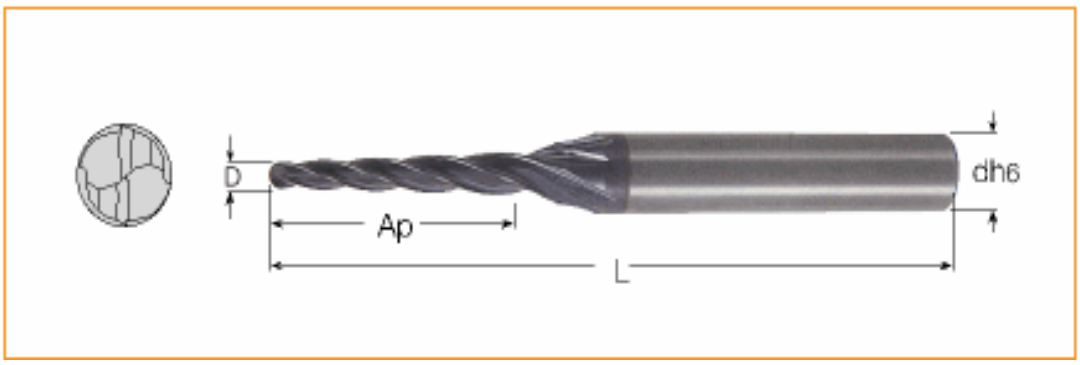
Pro méně příznivé podmínky je optimální volbou pro obrábění materiálu tvrdosti 43≤HRC≥63 nástroj od firmy ISCAR® Tyto frézy jsou mnohostranně použitelné. Pro optimalizaci výkonu obrábění se proto doporučuje provést přesný výpočet posuvu na zub, s přihlédnutím k určitým korekčním faktorům pro radiální a axiální hloubku řezu. Pro výpočet otáček vřetene je určujícím faktorem řezná rychlost efektivního průměru frézy.(14)

Výpočet otáček nástroje:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_{c2}} = \frac{125 \cdot 1000}{\pi \cdot 2} = 11892 \text{ ot/min} \Rightarrow 12\,000 \text{ ot/min} \qquad 1.5$$

Výpočet posuvu nástroje:

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 12000 \cdot 0{,}125 \cdot 2 = 3000 \text{ mm/min} \qquad 1.6$$



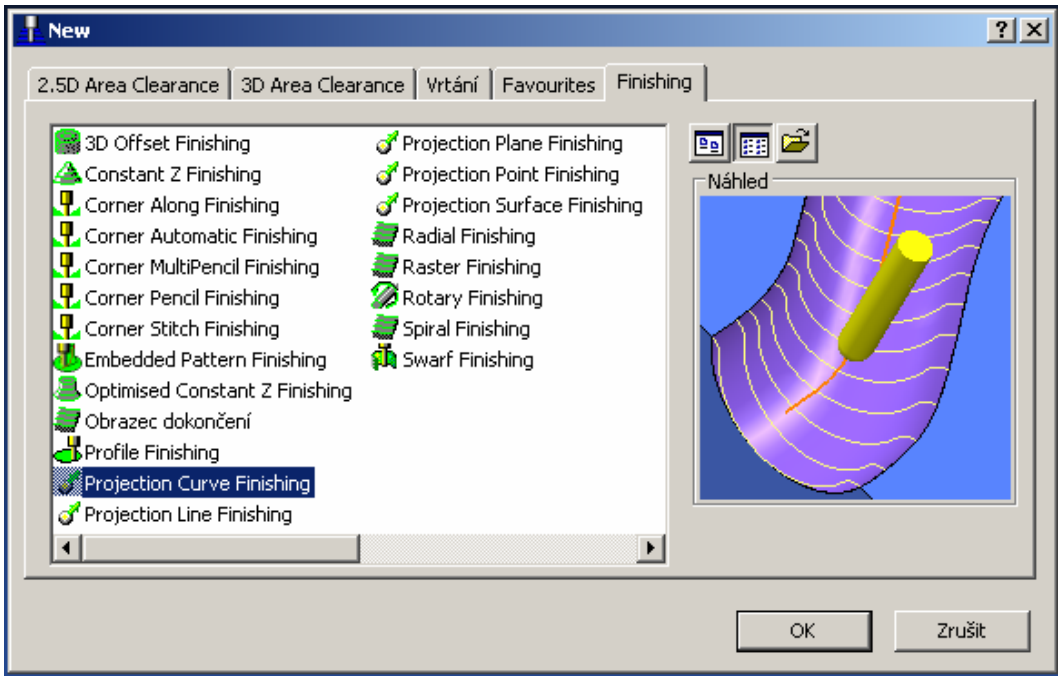
Obr.25 nástroj

Tab.3 s parametry nástroje

Kód	EBT T4020 16/2.0C4M50	
D	1,5	mm
L	80	mm
d-h6	10	mm
Ap	40	mm

2.4 Projection cruve finishing

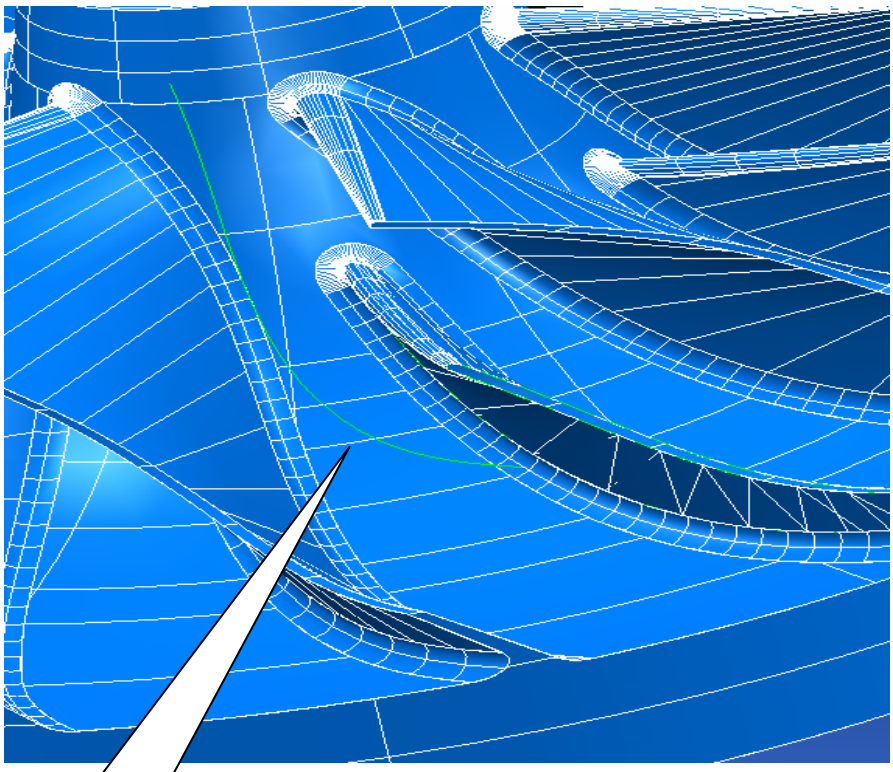
Vedení nástroje pomocí křivky je velmi užitečná strategie, kdy je možno obrábět velmi nedostupná místa aniž by hrozila kolize nástroje s obrobkem. Osa nástroje je vedena pomocí křivky nebo přímky, kdy dochází k vyklánění nástroje, tak aby mohl obrobit požadovanou plochu. V místě průchodu křivky nástrojem nedochází k vychýlení, nástroj je kolem toho bodu natáčen.



Obr.26 volba strategie

Problematickou záležitostí je určit tvar křivky a její u místění vůči modelu. Při modelování řídící křivky se vychází ze tvaru plochy kterou chceme obrábět. Ve většině případů nám pomůže, když vytáhneme křivku přímo z tvaru dané plochy a tato křivka pak kopíruje tvar plochy.

Umístění křivky je další problematická záležitost, při niž je třeba optimálně umístit řídící křivku nad obráběnou plochu. V případě, že bychom ji umístili příliš nízko, nemohl by se nástroj vyklánět do požadovaných hodnot tak, aby byl schopen obrobit krajní plochy. Při umístění příliš vysoko může nastat situace, kdy nástroj nebude moci zajet pod lopatku, z důvodu kolize, bude malá možnost náklonu.

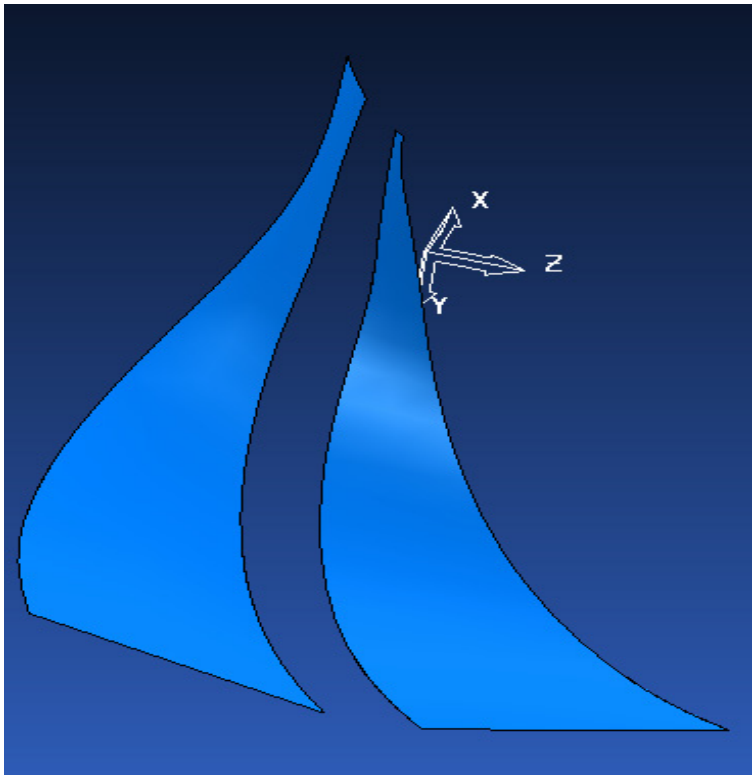


Obr.27 řídící křivka

Plocha mezi lopatkami bude obráběna touto metodou. Jelikož je nutné zabránit nástroji v kolizi v obrobkem a přitom docílit obrobení plochy, je nutné osu nástroje vodit po křivce, která byla generována v požadované obráběné ploše. Střed nástroje se bude pohybovat po křivce a čelní část bude obrábět požadované okraje ploch skryté pod lopatkami.

Plocha pod lopatkami je rozdělena malou lopatkou, bylo tedy nutné rozdělit plochu také tak, aby nástroj mohl být veden křivkou vždy v jedné části. Plocha byla exportována do Powershape, kde s ní může dále pracovat a následně ji podle potřeb rozdělit. Pro každou část plochy je generována řídící křivka v Powershape. Plochy jsou obráběny nezávisle na sobě a pro každou část je aplikován cyklus.

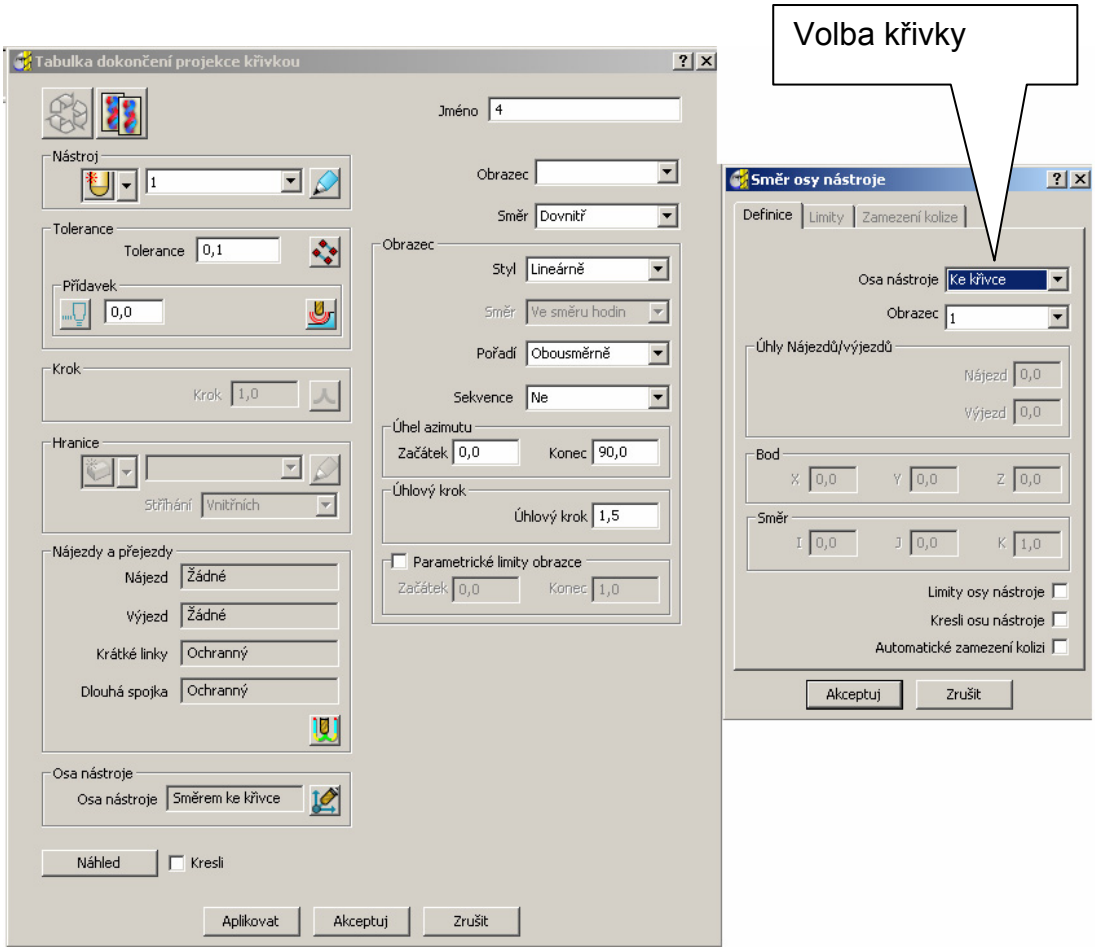
Obr.28 plocha pod lopatky



Obr.29 rozdělená plocha

Experimentální metodou byla výška řídící křivky stanovena na 10 mm nad plochou určenou k obrobení. Následné dráhy se musí překopírovat mezi zbylé lopatky tak, aby byly obrobeny ve zvoleném pořadí.

Při zvoleném kroku nástroje 1 mm dojde k obrobení požadované plochy s určitou jakostí povrchu. Na ploše jsou zanechány stopy nástroje, které mají souhlasný směr s proudnicemi vzduchu při provozu. Mají-li proudnice souhlasný směr se stopou nástroje, nedochází k negativním jevům, ani ztrátám. Další povrchová úprava záleží na zákazníkovi. V případě, že je vyžadován hladký povrch, musela by být plocha ještě dále obráběna na CNC brusce tak, aby se docílilo jakostního povrchu dle požadavků.



Obr.30 volba řídící křivka

2.4.1 Volba nástroje a řezné podmínky

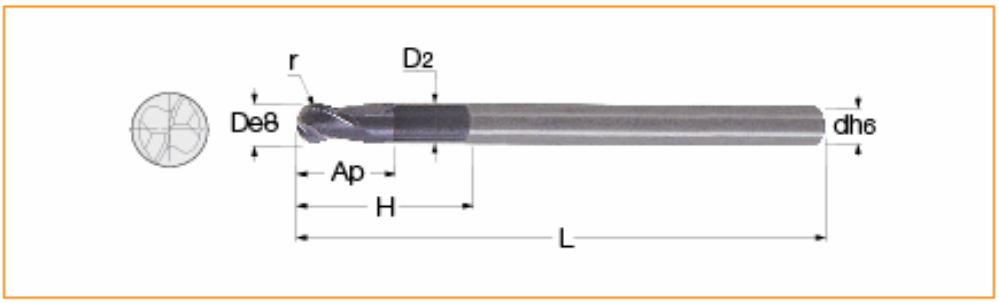
Pro méně příznivé podmínky je optimální volbou pro obrábění materiálu tvrdosti 43≤HRC≥63 nástroj od firmy ISCAR® Tyto frézy jsou mnohostranně použitelné. Pro optimalizaci výkonu obrábění se proto doporučuje provést přesný výpočet posuvu na zub, s přihlédnutím k určitým korekčním faktorům pro radiální a axiální hloubku řezu. Pro výpočet otáček vřetene je určujícím faktorem řezná rychlost efektivního průměru frézy.(14)

Výpočet otáček nástroje:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_{c2}} = \frac{125 \cdot 1000}{\pi \cdot 2} = 11892 \text{ ot/min} \Rightarrow 12\,000 \text{ ot/min} \qquad 1.7$$

Výpočet posuvu nástroje:

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 4000 \cdot 0{,}125 \cdot 2 = 3000 \text{ mm/min} \qquad 1.8$$



Obr.31 nástroj

Tab.4 s parametry nástroje

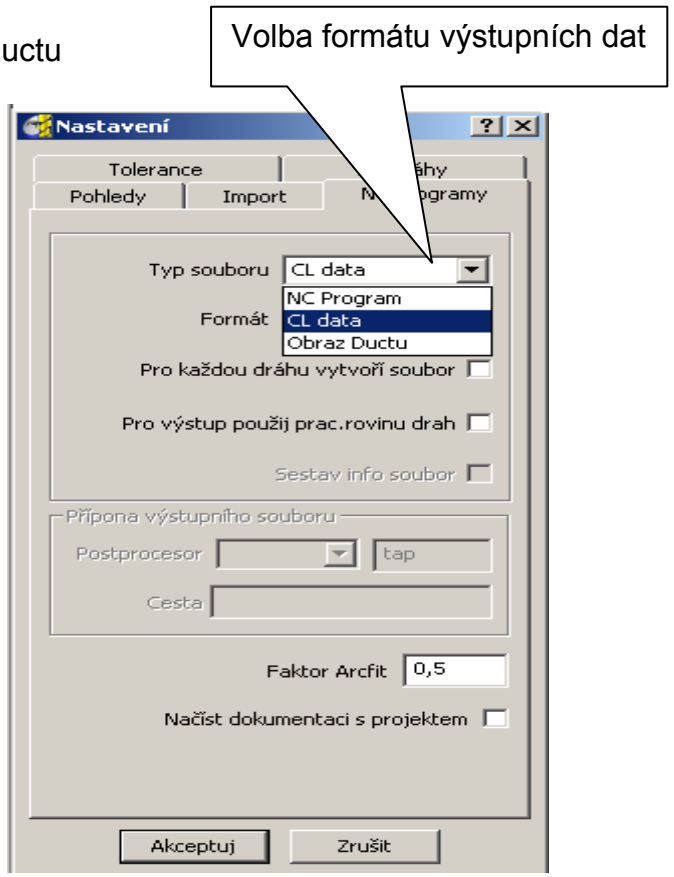
Kód	EB-A2 02-02/04CO6M5	
De8	2	mm
D2	2	
L	80	mm
H	30	
dh6	4	mm
r	1	
Ap	20	mm

3. ZPRACOVÁNÍ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NC PROGRMU

3.1 Tvorba NC programu

NC program je textový soubor, který se skládá z řádků NC kódu, obsahující instrukce srozumitelné ovladači – řídící jednotce stroje, která je provádí postupně krok za krokem tak, jak je čte ze souboru NC kódu. Řídící jednotky od různých výrobců mohou používat různé formáty NC dat - programů. Při vytváření NC programu musíme nejprve z CAM softwaru určit, zda budeme chtít výstup dat ve formě:

- NC programu
- CL data
- Obraz Ductu



Obr.32 typ dat

3.2 CL Data

CL data jsou druh formátu, který obsahuje srozumitelný zápis interní struktury činnosti NC modulu CAD/CAM systému. CL data jsou reformátu ASII a v podstatě obsahují prostorové souřadnice koncových bodů pohybu nástroje. Obvykle jsou používány při speciálních činnostech při vývoji a ladění postprocesorů a podobně.(15)

Formát CL dat normovaný normou SO/DIN a obsahuje následující skupiny informací:

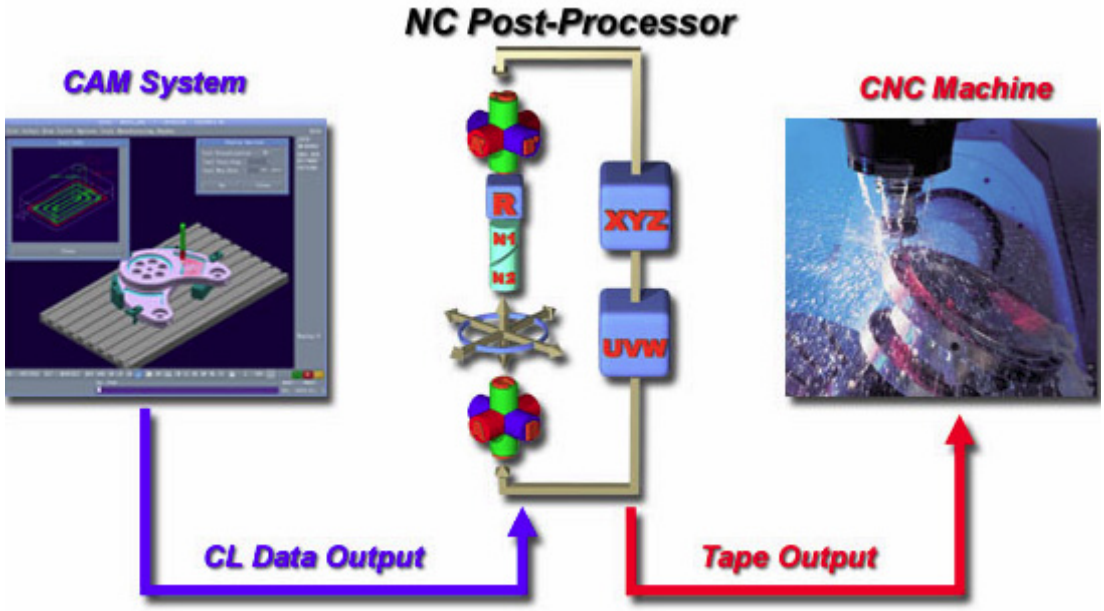
- Hlavičku Tool Pathu
- Hlavičku procedury
- Definici jednotlivých činností
- Zakončení procedury
- Zakončení Tool Pathu

3.3 Postprocesory

Standardní zpracování CL dat manuálním způsobem je značně složité a co do efektu nevhodné. Postprocesor jako modul nebo funkce CAD/CAM systému umožňuje racionálně generovat NC programy a navíc umožňuje během zpracování provádět řadu kontrol nebo speciálních činností spojených s konkrétním NC strojem a řídícím systémem pro který je postprocesor určen. Existuje celá řada postprocesorů pro konkrétní NC stroj a řídícím systémem, které jsou dodávány s CAD/CAM systémem nebo je lze zhotovit pomocí generátoru postprocesorů.

Postprocesor je program, který transformuje interní datovou strukturu nebo CL data do formy řídícího NC programu. Postprocesor může být externí program, který se zpracovává textový soubor CL dat. Může být vytvořen v libovolném programovacím jazyce (Pascal, Lisp, Fortran, C, atd.). Tento princip lze realizovat mimo konkrétní CAD/CAM systém, a vyžaduje široké znalosti programovacích jazyku. Znalosti struktury CL data a také dobré znalosti NC technologií i řídících systémů.(15)

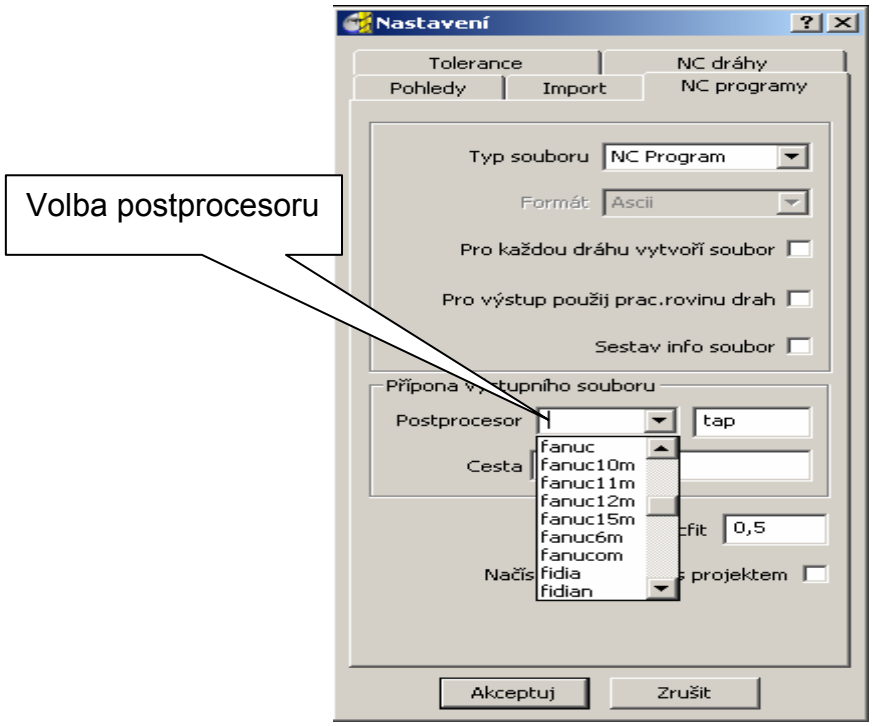
Jiný způsob řešení této problematiky je použit u současných CAD/CAM systémů, které nabízí využití generátoru postprocesorù (GPP). Generátor postprocesorù je programový modul, který je součástí CAD/CAM systému a v důsledku toho využívá komunikace s interní datovou reprezentací a nabízí vyšší uživatelský komfort při tvorbě postprocesoru. Nevyžaduje speciální znalosti programovacích jazyků, má zpravidla blokovou strukturu v hodnou pro řešení.(15)



Obr.33 návaznost postprocesoru (15)

Volba postprocesoru je dána operačním systémem na obráběcím stroji. Na výběr je mnoho systému od různých výrobců. Mezi ty nejznámější patří.

- Sinumerik
- Fanuc
- **Heidenhain**



Obr.34 volba postprocesoru

Blíže přiblížím řídící systém HEIDENHAIN iTNC 530 používaný ve velké míře na obráběcích centech.

3.4 Heidenhain

HEIDENHAIN iTNC 530 je univerzální, dílensky orientované souvislé řízení pro obráběcí centra. Má integrované digitální řízení pohonů s integrovaným měničem. Při obrábění s vysokými rychlostmi posuvu dosahuje velmi přesných kontur obrobku. iTNC 530 řídí až 13 os + vřetena. Doba zpracování 1 bloku je 0.5 ms. Paměťovým mediem je pevný disk. S iTNC 530 lze programovat běžné frézování, nebo vrtání přímo na stroji v dialogu s řízením. Má k dispozici množství grafických prostředků v prakticky orientovaných pevných cyklech. Pro jednoduché práce, jako je například plošné frézování, není nutné psát program. iTNC 530 může být také programováno dálkově, stejně jako například v CAD/CAM systému, nebo na programovacím pracovišti HEIDENHAIN. Rozhraní ethernet zaručuje velmi krátkou dobu přenosu i pro velmi dlouhé programy.

Obr.35 ukázka obrábění

HEIDENHAIN iTNC 530 se již roky etabluje jako univerzální CNC řízení pro frézky, vyvrtávačky a obráběcí centra. Vedle dílenského programování v dialogu HEIDENHAIN nebo v DIN-ISO se iTNC 530 vyznačuje užitečnými funkcemi a inovačními prvky. K nimž patří:

- přesné vedení nástroje při 5-tiosém obrábění
- jednoduché sklápění roviny obrábění
- funkce pro seřízení dílce na stroji
- vysoká tvarová přesnost v režimu HSC frézování
- komplexní obráběcí cykly
- podpora programování pomocí symbolických softkláves, volné programování obrysu, grafika programování s podpůrnými výkresy cyklů a animací
- programy obrábění kompatibilní s vyššími verzemi
- externí programování a rychlý přenos dat,

4. DOPORUČENÁ POVRCHOVÁ ÚPRVA

Oběžné kolo turbodmychadla pracuje ve vysokoteplotním prostředí a odolávat vysokoteplotní korozi. Pro delší životnost se doporučuje povrch chránit žárovými nástřiky.

4.1 Aplikace technologie žárového nástřiku

Aplikace kovových, kovo keramických a keramických povlaků vytvořených různými metodami technologie žárového nástřiku pro zvyšování životnosti a spolehlivosti namáhaných dílců. Jejichž povrch nebo část povrchu je namáhána a degradována různými mechanismy opotřebení vycházejícími z daných pracovních podmínek zařízení.

Zaváděním nových a zdokonalováním známých technologií a technologických zařízení v průmyslu obecně a zvláště pak v oblasti ochrany proti korozi a tepelnému zatížení, narůstají požadavky na vývoj nových technologických postupů s novými konstrukčními prvky se specifickými vlastnostmi. Ve většině případů již dnes nedostačují dosavadní klasické technologie a technologické postupy a proto se sahá k technologiím jiným. Jednou z vhodných možností řešení je využití progresivní technologie žárového nástřiku.

S cílem zvýšení životnosti, spolehlivosti a zvýšení výkonu zařízení. V konečném efektu se sníží výrobní náklady, vzhledem k možnosti náhrady drahých konstrukčních materiálů a v důsledku vyšší životnosti se rovněž velmi výrazně sníží náklady na údržbu a opravy.(12)

4.2 Princip technologie

Povlaky vytvořené technologií žárového nástřiku lze nanášet na všechny běžné konstrukční materiály (železné i neželezné kovy). Při nanášení materiálů technologií žárového nástřiku není tedy podstatné chemické složení základního materiálu opracovaného dílce. Povlaky nelze nanášet pouze na nitridované vrstvy a na již provedené povrchové úpravy chromováním.

Během procesu nanášení povlaků technologií žárového nástřiku nedochází k ohřátí základního materiálu nad teploty vyšší než 100 ^{0}C, ve výjimečných případech do 150 ^{0}C. To znamená, že v průběhu nanášení materiálu povlaku nedochází ani k deformaci povlakovaného dílce, ani k degradaci struktury v důsledku tepelného ovlivnění základního materiálu.

Obecně lze proces vytváření povlaků technologií žárového nástřiku charakterizovat jako natavování přídavného materiálu (ve formě prášku, drátu nebo tyčinky), jehož částice jsou urychlovány a nanášeny na předem připravený povrch základního materiálu (odmaštění, suché tryskání). Po dopadu na základní materiál dochází k částečné nebo úplné deformaci individuálně dopadajících částic, které postupně velmi rychle tuhnou, ochlazují se a vytvářejí heterogenní strukturu.

Na příčném řezu povlakem jsou vidět vytvořené hranice mezi deformovanými částicemi a mezi jednotlivými nanesenými vrstvami povlaku, včetně všech průvodních vlastností především pórovitosti (i když ve většině průmyslových aplikací povlaků vytvořených technologií žárového nástřiku je snaha omezit velikost a množství pórů na co nejmenší hodnotu). V případě nedodržení technologického postupu i defektů (mikrotrhliny, trhliny, nespojení jednotlivých částic v povlaku, resp. nespojení jednotlivých nanášených vrstev atd.). Proto je nezbytně nutné provedení optimalizace technologického procesu.

Provedení optimalizace technologických parametrů pro konkrétní přídavný materiál (chemické složení, zrnitost, technologie výroby – mechanická směs, tavený drcený, sintrovaný drcený, sintrovaný aglomerovaný atd.), použitou metodu technologie a dané pracovní podmínky dílce je základním předpokladem pro úspěšné dosažení požadovaných vlastností povlaku a jeho životnosti.

V případě špatně zvolených technologických parametrů může docházet ke vzniku defektů ovlivňujících negativně vlastnosti povlaků a tím i snižování jejich životnosti a spolehlivosti.

Jak je tedy z výše uvedeného zřejmé, skutečný povlak není zcela homogenní ani kompaktní a už sama podstata tvorby povlaku vytváří podmínky pro vznik pórů, resp. jiných průvodních jevů jako jsou např. oxidy, které vznikají v průběhu žárového nástřiku některých kovových materiálů (na bázi železa) v normální atmosféře.

Nejnovější metoda této technologie - vysokorychlostní kontinuální detonační nanášení - umožňuje vytvářet povlaky, jejichž strukturu lze hodnotit jako poměrně homogenní, s vysokými hodnotami přilnavosti povlaků k základnímu materiálu, soudržnosti povlaku a nízké hodnoty pórovitosti (pod 1 %). To znamená, že podle použité metody technologie žárového nástřiku, technologických parametrů a typu a formy použitého materiálu se výrazně liší struktura naneseného povlaku a tím i jeho základní vlastnosti.(12)

4.3 Vlastnosti povlaků

Mezi základní vlastnosti povlaků můžeme zařadit následující parametry:

- přilnavost povlaku k základnímu materiálu (adheze)
- soudržnost povlaku (koheze)
- pórovitost povlaku
- tvrdost, mikrotvrdost
- lomová houževnatost
- teplotní a tepelná roztažnost
- elektrické vlastnosti.

Mezi vlastnosti, které mají přímý vliv na úspěšnost aplikace povlaků vytvořených technologií žárového nástřiku v praxi, můžeme zařadit:

- odolnost proti otěru, erozi, abrazi
- odolnost proti korozi a oxidaci za nízkých a vysokých teplot
- odolnost proti erozi plyny a kapalinami
- odolnost proti kavitaci
- odolnost proti jiskře.

4.4 Metody technologie žárového nástřiku

Obecně lze technologii žárového nástřiku rozdělit podle používaných metod - a to následovně:

- žárový nástřik plamenem, používaný materiál ve formě prášku, drátu nebo tyčinky,
- žárový nástřik elektrickým obloukem, používaný materiál ve formě drátu (plný, trubičkový drát),
- žárový nástřik plazmou, používaný přídavný materiál ve formě prášku (kov, kovokeramika, keramika),
- žárový nástřik vysokorychlostním kontinuálním nanášením, používaný přídavný materiál ve formě prášku (především kov, kovokeramika, výjimečně keramika).

4.5 Aplikace technologie žárového nástřiku

Pro praktickou možnost výběru vhodné metody je nutné mít k dispozici následující informace a podklady:

1. Výkresovou dokumentaci dílce
   - základní materiál dílce
   - tepelné zpracování
   - velikost plochy určené k povlakování/opravě
   - jmenovitý rozměr
   - kvalita povrchu – drsnost (R_a, R_z).

2. Pracovní parametry dílce:
   - materiál protikusu – třecí dvojice
   - velikost otáček
   - pracovní médium
   - pracovní teplota
   - způsob namáhání (statické/dynamické, dlouhodobé-creep).

3. Provedení kontrolního pevnostního výpočtu
    - povlak vytvořený na dílci není nosný, nosný je jenom zbývající průřez

4. Rozsah a hloubka opotřebení
    - velikost poškození povrchu dílce

Na základě těchto informací je možné stanovit:

1. Metodu/metody technologie žárového nástřiku (v případě většího poškození je možná i kombinace metod této technologie)
2. Typ přídavného materiálu (chemické složení, zrnitost)
3. Konstrukční úpravu poškozeného povrchu dílce, tj. opracování poškozeného povrchu pod žárový nástřik
4. Technologický postup operace provedení povlaku technologií žárového nástřiku
5. Konečné opracování povlaku dle dodané výkresové dokumentace
6. Kontrolní činnosti v průběhu oprav.

Tab. 5 použití povlaku

Mechanismus opotřebení, Vlastnosti povrchu povlaku	**Typické aplikace**	**Vhodné povlaky**
Tepelné bariéry	Komponenty komor spalovacích a proudových motorů,	ZrO_2/CaO/MgO/Y_2O_3, $ZrSiO_4$,
Vysokoteplotní koroze	Rozváděcí a oběžné lopatky plynových turbín, pecní systémy	Systémy MCrAlY, NiCr,

ZÁVĚR

Cílem této práce je návrh výroby oběžného kola turbodmychadla pomocí třískového obrábění. Za použití CAD/CAM softwaru PowerMill 7, byly uplatněny hrubovací strategie: **Offset conture, Profile Area clearance from model** a dokončovací strategie: **Swarf finishing, Projection cruve finishing** na generování drah nástroje. Tento software umožňuje 5-ti osé obrábění, které bylo použito na při obrábění lopatek. Nástroje byly vybrány od firem Iscar a Sandvik Coromant. Při obrábění byly aplikovány čtyři strategie:

Offset conture hrubovací strategie, pomocí které se docílilo velkého úběru materiálu. Nástroj - stopková fréza průměr 32 mm od firmy ISCAR, řezné podmínky: otáčky nástroje n_1=1250 ot/min a posuv f_1=625 mm/min. Za použití řezné kapaliny mohlo být využito vysokorychlostní obrábění HSC a dosaženo času hrubování t_1= 0:7:42 hod.

Profile Area clearance from model druhá aplikovaná strategie pro hrubování profilu modelu. Tato strategie vytvářela již přibližný profil oběžného kola s přídavky 1mm na dokončení na lopatkách. Nástroj – kulová fréza průměr 10 mm od firmy Sandvik Coromant. Nastavené řezné podmínky: otáčky nástroje n_2= 4000 ot/min, posuv f_2= 1000 mm/min. Nástroj se pohybuje jen v horizontálním a vertikálním směru. Proto museli být použity další strategie, aby mohly být obrobeny lopatky. Čas druhé použité strategie byl t_2 = 0:15:45 hod.

Swarf finishing. Obrábění bokem frézy, kdy osa nástroje kopíruje plochu lopatky. Při uplatnění hrubovacího cyklu se nástroj vyklonil o 10 stupňů, aby obráběl jen čelní kulovou částí. Poprvé byla dráha nástroje generována s přídavkem 1 mm na ploše lopatky. Následně při druhém generování dráhy nedošlo k vyklonění nástroje, aby se zamezilo stopám po nástroji na plochách lopatek. Nástroj - kulová fréza o průměru 2mm od firmy Iscar. bez přídavku bylo docíleno požadovaného tvaru lopatky. Dráhy jsou tvořeny s axiálním krokem 1 mm. Vygenerované dráhy byly překopírovány postupně na zbylé lopatky, tak aby se zamezilo zbytečným přejezdům.Řezné podmínky: otáčky $n_{3=}$ 12000ot/ min, posuv f_3= 3000mm.

Strojní čas při obrábění jedné malé lopatky je t_m = 0:8:02 hod a velké lopatky t_v = 0:10:50 hod. Při obrobení všech 12-ti lopatek na oběžném kole, je strojní čas t_3 = 1:51:12 hod.

Projection cruve finishing. Strategie, kdy docházelo k obrábění prostoru mezi lopatkami. Nástroj byl veden pomocí křivky tak, aby se zabránilo případné kolizi s obrobkem. Nástroj kulová fréza od firmy Iscar. Řezné podmínky: otáčky $n_{4=}$ 12000ot/ min, posuv f_4= 3000mm. Doba obrábění jedné mezery pod malou lopatkou je t = 0:2:38 hod a pod velkou t = 0:2:52 hod. Při obrábění všech mezer mezi lopatky je strojní čas t_4 = 0:31:20 hod.

Celkový čas výroby oběžného kola je t=2:43:20 hod. V celkovém času včetně přejezdů a výměn nástroje.

Výstupní data hrubovacích metod jsou ve formátu NC programu uvedeny v příloze 2 a ve formátu CL data jsou zbylé metody v příloze 3.

Jakost povrchu je závislá na metodě obrábění a na použitých řezných podmínkách. V důsledku toho byly dráhy nástroje voleny tak, aby vytvářeli podobný směr s proudnicemi vzduchu na těle oběžného kola. Povrch lopatek byl obráběn bokem frézy, zde nejsou viditelné stopy, které by vytvářeli negativní vlastnosti při prodění vzduchu při provozu oběžného kola v turbodmychadle. Pro případné zvýšení jakosti povrchu lze doporučit brousit povrch na CNC bruskách.

Pro zvýšení životnosti byla doporučena povrchová úprava oběžného kola žárovými nástřiky, které odolávají vysoko teplotní korozi.

Programování výroby oběžného kola bylo ve spolupráci s firmou Delcam Brno s.r.o. prodejcem CAM systémů.

LITERATURA

1. AB SANDVIK, Sandviken, Sweden. *Understanding Cemented Carbide - Grain* size [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.hardmaterials. sandvik.com>.
2. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
3. PowerMil 6.0 releasase issue 1,0 07/07/2005 User Guide by Delcam.
4. Delcam Brno s.r.o.,programování PowerMILLU, Dostupné na World Wide Web: < http://www.delcam.cz/clanek.php> (22.3.2007, hod. 18:30)
5. Delcam, 5 axis machining, Dostupné na World Wide Web: <http://www.powermill.com/general/5axis.asp> (22.3.2007, hod. 19:00)
6. www.xanadu.cz(28.3.2007, hod. 10:15)
7. uživatelská příručka PwerMill. Chat is New in PowerMill 6.0 by Delcam plc.
8. HEIDENHAIN*: Příručka pro uživatele DIN/ISO, programování iTNC 530,533* 188-Co-SW01.1.5/2005,Německo, Traunreut 1.vyd.,578s.
9. Vystyd M. – Hakl J.: Žáropevné niklové slitiny
10. www.mmspektrum.com (2.5.2007, hod. 10:30)
11. Aplikace žárových nástřiků, Dostupné na World Wide Web: <http://www.svarak.cz/c/cz-2/aplikace-technologie-zaroveho-nastriku-v-oblasti-oprav-a-renovaci.htm> (2.5.2007, hod. 15:45)
12. www.fermatmachinery.com (10.5.2007, hod.10:30)
13. DMG Brno, obráběcí stroje, Dostupné na World Wide Web: <www.dmgbrno.com/en,dmg,dmg-czech> (10.5.2007, hod. 10:45)
14. Iscar, *katalog nástrojů*, Dostupné na World Wide Web: <www.iscar.com/Ecat/chouseapp.asp/mapp/ML/GFSTYP/M/lang/EN > (10.5.2007, hod. 18:30)

15. NC program, Dostupné na World Wide Web: <http://www.fst.zcu.cz/page3.html>
16. Heidenhain, *příručka pro programování CNC strojů*, Dostupné na World Wide Web: <www2.sps-jia.cz/~hill/heidenhain.html.cz>
17. KOCMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

Seznam použitých symbolů a zkratek

CNC	[-]	Computer Numeric Control
NC	[-]	Numeric Control
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CAD	[-]	Computer-Aided Design
HSC	[-]	High Speed Cutting
A_p	[mm]	délka řezné části
D	[mm]	průměr frézy
D_c	[mm]	průměr řezné části frézy
dh_6	[mm]	průměr stopky frézy
D_2	[mm]	průměr dříku frézy
De8	[mm]	průměr řezné části frézy
f_z	[mm]	posuv na zub
H	[mm]	délka vyložení
L	[mm]	délka nástroje
L_1	[mm]	délka přesahu nástroje
n	[min^{-1}]	otáčky nástroje
r	[mm]	zaoblení rohu břitové destičky
r_ε	[mm]	zaoblení špičky nástroje
v_c	[$m.min^{-1}$]	řezná rychlost
V_f	[$m.min^{-1}$]	rychlost posuvu
z_n	[-]	počet břitů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres oběžného kola
Příloha 2 NC program
Příloha 3 CL data
Příloha 4 Materiálový list