

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 SOFTWARE POWERMILL PŘI PONORNÉM OBRÁBĚNÍ.

APPLICATION CAD/CAM SOFTWARE POWERMILL WITH PLUNGE MACHINING.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ COUFAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER

BRNO 2007

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2006/07

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Coufal Tomáš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL při ponorném obrábění.

v anglickém jazyce:

Aplication CAD/CAM software PowerMILL with plange machining.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor strategie hrubování odvrtáváním (ponorné obrábění) v systému PowerMILL, včetně praktické aplikace na zadané součásti. Vytvoření NC programů a jejich simulace v prostředí PowerMILL s následným obráběním na FV 25 CNC A / Heidenhain iTNC 530.

Cíle bakalářské práce:

Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL při ponorném obrábění. Zpracování technické dokumentace pro zadané součásti. Zpracování a experimentální ověření NC programů.

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT-SANDVIK CZ, s. r. o. Příručka obrábění. - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6

Uživatelská příručka PowerMILL. What's New in PowerMILL 6.0 by Delcam plc.

PowrMILL 6.0 release issue 1,0 07/07/2005 User Guide by Delcam.

HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele, Popisný dialog-Heidenhain iTNC 530. 533 190-81-SW01.3.1/2005, Německo, Traunreut, 1. vyd., 652 s.

HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele DIN/ISO, Programování iTNC 530. 533 188-Co-SW01.1.5/2005, Německo, Traunreut, 1. vyd., 578 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Polzer

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2006/07.

V Brně, dne 11.12.2006



Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Tomáš Coufal
Bytem: Orlické Podhůří, Rozsocha 7, 562 01 Ústí nad Orlicí
Narozen/a (datum a místo): 30.6.1985 , Ústí nad Orlicí
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství
se sídlem Technická 2896/2, 616 69 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL při ponorném
obrábění.

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Aleš Polzer

Ústav: Strojírenská technologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:9.5.2007.....

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Bakalářská práce obsahuje souhrn informací o speciální hrubovací strategii odvrtáváním neboli ponorném obrábění. Popisuje vhodný řezný nástroj, nároky na CNC stroj a na obráběný materiál. Zhodnocuje geometrii modelů a jednotlivé metody ponorného obrábění. Poskytuje informace o využití této metody a obsahuje detailní postup pro vytvoření efektivního NC programu v aplikaci PowerMILL.

Klíčová slova:

ponorné obrábění, odvrtávání, NC, CNC, PowerMILL

ABSTRACT

The bachelor thesis includes a complex information about the special roughing strategy by routing otherwise plunge machining. It describes a suitable cutting tool, the demand on CNC machine and on machined material. It assesses the geometry of models and separate methods of plunge machining. It provides the information about the usage of this method and includes the detailed process for the creation of an effective NC programme in the PowerMILL application.

Key words:

plunge machining, routing, NC, CNC, PowerMILL

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

COUFAL, Tomáš. *Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL při ponorném obrábění: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 34 s., 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Polzer.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL při ponorném obrábění vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 17. 5. 2007

.....
Tomáš Coufal

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzerovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	9
1 Řezné nástroje	10
1.1 Popis řezného nástroje	10
1.2 Geometrie vsazeného nože řezného nástroje	10
1.3 Rohový poloměr vsazeného nože	12
1.4 Upevňovací šroub vsazeného nože	12
1.5 Design drážek a odstraňování třísek	12
2 CNC stroj	13
2.1 Výkon a krouticí moment vřetene	13
2.2 Pevnost vřetene	13
2.3 Konstrukce vřetene	13
2.4 Upevnění nástroje	14
2.5 Chladicí kapalina	14
2.6 Upevnění obrobku	14
3 Materiál	15
4 Geometrie modelu	16
4.1 Model: Hlava válce JAWA 50/20 Pionýr	16
4.2 Model: Kolečko od dětské tříkolky	17
5 Metody ponorného obrábění	18
5.1 Základní zásady při ponorném obrábění	18
5.1.1 Vytváření ponorných drah nástroje v aplikaci PowerMILL	18
5.1.2 Překročení	18
5.1.3 Poloměr jádra	18
5.1.4 Vzdálenost odtáhnutí	18
5.1.5 Dráhy ponorných pohybů	19
5.1.5.1 Lineární dráha řezného nástroje	19
5.1.5.2 Dráha řezného nástroje „CIK CAK“	20
5.1.6 Sousledné x nesousledné frézování	20
5.1.7 Pilotní otvor	20
5.2 Trojrozměrné ekvidistanční ponorné obrábění	21
5.3 Konstantní spirálové ponorné obrábění	22
5.4 Rastrové ponorné obrábění	23
5.5 Manuálně definované ponorné obrábění	24
6 Praktická realizace ponorného obrábění	25
6.1 Převod z aplikace CAD do CAM	25
6.2 Hrubování základního profilu	25
6.3 Předvrtání pilotních otvorů	26
6.4 Vrtání středové díry	26
6.5 Ponorné obrábění kapes	27
6.5.1 Vytvoření hranice kapsy	27
6.5.2 Vytvoření lokálního polotovaru, sériového modelu, pomocné plochy a šablonových drah	27

6.5.3 Ponorné pohyby	28
6.6 Dokončovací obrábění	29
6.6.1 Dokončení kapes.....	29
6.6.2 Dokončení výsledného povrchu.....	29
6.7 Generování NC programů	30
Závěr	31
Seznam použitých zdrojů	32
Seznam použitých symbolů a zkratek.....	33
Seznam příloh	34

ÚVOD

Technologie třískového obrábění se dělí na několik specifických odvětví. Je to například soustružení, frézování, vrtání, atd. Mezi ně patří také, prozatím poněkud méně známé, ponorné obrábění, kterým se tato práce podrobně zabývá.

Ponorné obrábění se používá poměrně dlouho. Doposud se omezovalo hlavně na odvětví, kde je kladen velký důraz na dobu výroby. Tak je tomu například v leteckém nebo vesmírném průmyslu, kde se vyrábějí ve velkém množství rozměrné komponenty, které je třeba obrobit v co nejkratší době. V těchto odvětvích není neobvyklé věnovat velké množství času manuálnímu vytváření optimálních sad NC programů, ve kterých se často musí manuálně definovat jednotlivé ponorné pohyby. Vynaložená práce na programování je přijatelná, pokud se součásti vyrábějí ve velkém množství. Pak dojde k úspoře času ve vlastní výrobě.

V poslední době je o tento typ obrábění zájem i v dalších odvětvích (např. výroba forem), především proto, že se velice rozšířily CNC stroje a nástroje, které jsou vhodné pro ponorné obrábění.

Ponorné obrábění používá speciální řezný nástroj k odstranění velkého množství materiálu z obrobku řadou vertikálních ponorných pohybů. Velkou výhodou je skutečnost, že při správném použití je rychlost odstraňování materiálu velmi vysoká a v mnoha případech překonává rychlost konvenčního „profilového“ obrábění. Ponorné obrábění klade velmi vysoké nároky (zejména z hlediska tuhosti) na CNC stroj i obráběcí nástroj, čímž se stává dosti nákladným. Jedná se o metodu hrubovací, po které vždy následují dokončující operace.

1 ŘEZNÉ NÁSTROJE

1.1 Popis řezného nástroje

Řezné nástroje (Obr. 1.1) pro ponorné obrábění jsou tvořeny tělem, do kterého jsou upevněny speciální vyměnitelné břitové destičky. Ve středu spodní části nástroje je neobrábějící vypouklá oblast, která je často označována jako „poloměr jádra“.

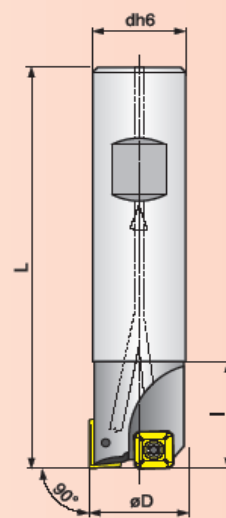
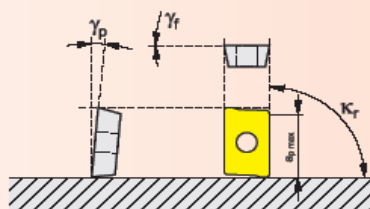
1.2 Geometrie vsazeného nože řezného nástroje

Důležitou součástí řezného nástroje pro ponorné obrábění jsou vyměnitelné břitové destičky (Obr. 1.2), které mají většinou nejméně dva definované břity. První z nich je umístěn ve spodní části a provádí hlavní ponorný řez. Další břity jsou umístěny na vnějším průměru nástroje a umožňují boční řez.

SSA

ZÁVRTNÉ FRÉZY
ZÁVRTNÉ FRÉZY

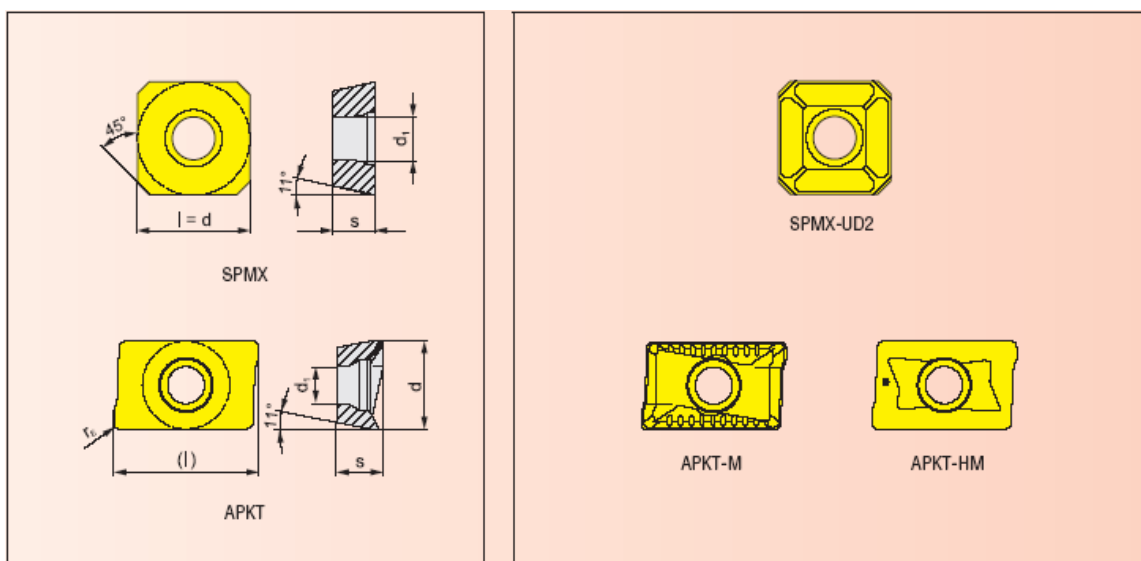
γ_p	$+4^\circ \div +5^\circ$	κ_r	90°
γ_f	0°	$a_{p\max}$	9; 14 mm



Z* - Počet zubů / Počet zubov

ISO	Sortiment	Rozměry / Rozmery								
		D	dh6	L	I	Z*	středová VBD středová VRD	obvodová VBD obvodová VRD	Chlazení Chlazenie	[kg]
20H1R025B20C-SSA10	●	20	20	90	25	1+1	SPMX 0703AP-UD2	APKT1003	+	0,9
25H1R032B25C-SSA16	●	25	25	100	32	1+1	SPMX 0903AP-UD2	APKT1604	+	1,0
32H1R033B32C-SSA16	●	32	32	110	33	1+1	SPMX 12T3AP-UD2	APKT1604	+	1,3

Obr. 1.1 Závrtná fréza ¹


VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY (VBD) / VYMEINTELNÉ REZNÉ DOŠTIČKY (VRD)

ISO	ANSI	Materiály								Rozměry / Rozmery				
		5026	8016	8026	8040	S45	HF7			(l)	d	s	d ₁	r _z
SPMX 0703AP-UD2	SPMX -2AP-UD2	•				•				7,940	7,940	3,18	2,80	-
SPMX 0903AP-UD2	SPMX 32AP-UD2	•				•				9,525	9,525	3,18	3,40	-
SPMX 12T3AP-UD2	SPMX 4(2.5)AP-UD2	•				•				12,700	12,700	3,97	3,80	-
APKT 1003PDER-M	APKT -2PDER-M	•	•	•	•					11,000	6,700	3,50	2,88	0,5
APKT 1003PDR-FA	APKT -2PDR-FA					•				11,000	6,700	3,50	2,88	0,5
APKT 1604PDR-HM	APKT -3PDR-HM	•	•	•	•					17,272	9,440	5,67	4,60	0,8
APKT 1604PDR-GM	APKT -3PDR-GM	•	•	•	•					17,272	9,440	5,67	4,60	0,8

Obr. 1.2 Vyměnitelné břitové destičky ²

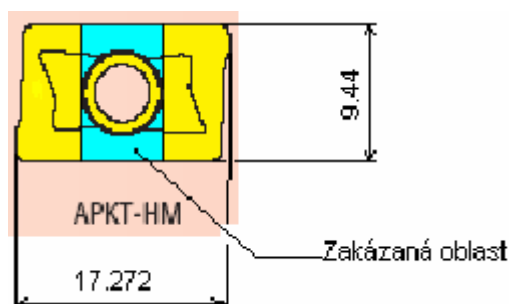
Výše uvedené nástroje jsou od firmy Pramet Tools, s.r.o. Nástroje pro ponorné obrábění se od různých výrobců liší tvarem a konstrukcí. Každý výrobce nabízí řadu vsazených nožů, z nichž každý je vhodný pro odlišné použití či materiál. Všechny parametry, tj. tloušťka vsazeného nože, jeho povrchová úprava, úhel sklonu či celková velikost, hrají důležitou roli pro dosažení optimálních podmínek ponorného obrábění.

1.3 Rohový poloměr vsazeného nože

Vsazený nůž má definovaný rohový poloměr v místě, kde se setkávají břity. Hodnota tohoto poloměru má zásadní vliv na stabilitu vsazeného nože rezného nástroje.³

1.4 Upevňovací šroub vsazeného nože

Vsazený nůž na obrázku 1.3 má rozměry 17,272 x 9,44 mm, tloušťku 5,67 mm a jeho rohový poloměr je 0,8 mm. Překročení nesmí překročit maximální délku vsazeného nože (v tomto případě 17,272 mm), dále je také třeba zohlednit stroj, materiál apod. Důležitou roli hraje přítomnost upínacího šroubu, který se nachází uprostřed vsazeného nože, kde vytváří zeslabenou oblast. Zvolené překročení musí respektovat tuto skutečnost a je třeba se této oblasti vyhnout. Nesmí dojít k takovému překročení, aby okraj obráběného materiálu ležel přímo pod šroubem v „zakázané“ oblasti. Typické překročení se tedy může v tomto případě pohybovat mezi 12 až 15 mm podle materiálu a vlastností stroje.



Obr. 1.3 Zakázaná oblast vsazeného nože

1.5 Design drážek a odstraňování třísek

Design drážek těla rezného nástroje a přítomnost vysokotlakého chladiva procházejícího rezným nástrojem má zásadní vliv na efektivní odstraňování třísek z místa řezu. Tělo rezného nástroje má menší průměr, než je skutečný průměr vsazených nožů, což zajišťuje čistotu těla během obrábění. Tělo nástroje má přímo před vsazeným nožem drážky, které umožňují odstraňování třísek z nástroje.⁴

2 CNC STROJ

Ponorné obrábění působí na CNC stroj velkými silami. Stejně jako řezný nástroj má i CNC stroj mnoho různých prvků, které mají svoje vlastnosti jimiž přímo ovlivňují ponorné obrábění. Je to především pevnost vřetene, výkon stroje, použitá chladicí kapalina, upnutí nástroje a obrobku.

2.1 Výkon a krouticí moment vřetene

Převážná většina tlaku působí kolmo na vřeteno stroje. To musí mít dostatečný výkon a pevnost, aby byla umožněna bezpečná funkce ponorného obrábění. V úvahu je třeba vzít také krouticí moment, jaký má daný stroj k dispozici. Rychlosti otáček vřetene pro ponorné obrábění jsou závislé na materiálu a použitém průměru nástroje. Stroj musí mít dostatečný výkon a krouticí moment i při nižších rychlostech otáček vřetene.

2.2 Pevnost vřetene

Při vnoření nástroje do materiálu působí obráběný materiál proti tlaku nástroje. Tento tlak („odražení“) může nástroj zatlačit do boku mimo naprogramovanou cestu. Když nástroj dosáhne spodní části daného ponorného pohybu a začne se stahovat z komponentu, „odražení“ se sníží nebo zcela vymizí, což způsobí, že řezný nástroj přejede přes komponent a způsobí poškození řezného nástroje. Řezný pohyb je třeba programovat s funkcí „odtáhnutí“, která přidá řeznému nástroji boční pohyb, kterým se nástroj posune do boku mimo materiál předtím, než se nástroj vrátí nahoru mimo obráběný materiál. Když se nástroj stahuje ze součásti, hrozí riziko, že řezný nástroj přejede přes komponent a způsobí tak poškození nástroje, případně i stroje. Stroj musí mít dostatečně tuhé vřeteno, aby odolávalo vysokým vertikálním silám, které při ponorném obrábění vznikají.

2.3 Konstrukce vřetene

Vysokorychlostní vřetena jsou konstruována za použití přesných ložisek vyrobených z jednoho materiálu. Tato ložiska umožňují, aby se vřeteno otáčelo vysokou rychlostí a zároveň si udrželo potřebnou stabilitu. Ložiska jsou většinou vyrobena za použití jednoho z řady materiálů, jako je například ocel, nebo keramika. Vřetena s keramickými ložisky jsou méně vhodná pro tento typ obrábění, protože neudrží nezbytnou stabilitu výkonu a neumožní tak správnou funkci ponorného obrábění.

2.4 Upevnění nástroje

Těla řezných nástrojů mají různou konstrukci. Nejčastějším typem je způsob uchycení do modulárních nástavců, které umožňují variabilní délku řezného nástroje. Jiný typ uchycení vytváří z těla řezného nástroje a nástavce jeden celek. Přesné sestavení těchto modulárních kusů a výsledná pevnost nástroje má přímý vliv na rychlost a posuv, kterých lze tímto nástrojem dosáhnout. U velmi dlouhých ponorných řezných nástrojů je jedinou možností použití modulárního uchycení, kdy tělo nástroje je pevným celkem, na který lze přesně upevnit vyrovnané nástavce. Pevnost celé sestavy od nástroje k vřetenu se však tímto způsobem výrazně sníží, což je nutné zohlednit při volbě řezných podmínek.⁵

2.5 Chladicí kapalina

Chladicí kapalina výrazně zvyšuje efektivitu ponorného obrábění. Efektivita vzrůstá v poměru k rychlosti, kterou lze chladivo dodávat k obrobku a k řeznému nástroji. Nejlepší řešení je použití vysokotlakého chladiva procházejícího řezným nástrojem, které zajistí odstraňování třísek z obrobku, čímž je výrazně sníženo riziko poškození vsazených břitových destiček. Nevhodné je použití chladiva proudem nebo mlhovinou. To lze použít pouze jako přídatné chlazení k chladivu procházejícímu nástrojem.⁶

2.6 Upevnění obrobku

Jedna z hlavních zásad při ponorném obrábění je dosažení co největší pevnosti v obráběcí jednotce. Je nutné plně podepírat obrobek. Při obrábění velkých bloků je třeba podepírat celou spodní stranu obráběného materiálu. Při nesprávném podepření dojde k prohnutí obrobku, což způsobí obalení řezného nástroje třískami a jeho následné poškození.

3 MATERIÁL

Ponorné obrábění je nejúčinnější, když řezný nástroj vytváří pravidelně nalámané třísky. Problém nastane, když se vytvoří dlouhá táhlá tříska, která se navine na tělo řezného nástroje a způsobí tak jeho poškození. Ponorné obrábění nejlépe funguje ve spojení s tvrdšími materiály, např. titanem. Tento materiál je při obrábění stabilní a neuhýbá pod tlakem řezného nástroje, který se noří do materiálu. U měkčích materiálů (např. hliníku) je stabilita materiálu poměrně nízká. Materiál netvoří lámavou třísku a uhýbá řeznému nástroji. Jakmile se nástroj stáhne z místa řezu, materiál vypruží zpět a poškodí řezný nástroj nebo vřeteno. Proto je třeba při programování zahrnout „odtahovací“ pohyby, které tento problém odstraní.

4 GEOMETRIE MODELU

Typickými modely pro ponorné obrábění jsou rozměrné součásti s tenkými vysokými žebry, která nelze radiálně zatěžovat, rozměrné kapsy, atd. Tak je tomu třeba u leteckých komponentů nebo forem. V těchto případech překonává ponorné obrábění svými výkony klasické „profilové“ obrábění. Důležité je zvážit vhodnost použití ponorného obrábění pro danou součást a zohlednit výhody a nevýhody jednotlivých metod.

4.1 Model: Hlava válce JAWA 50/20 Pionýr

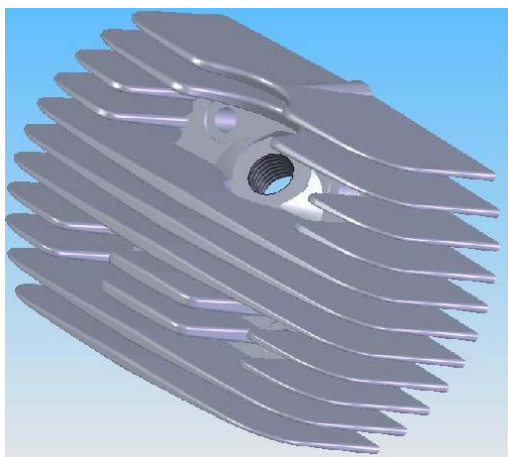
Model hlavy válce z motocyklu (Obr. 4.3 a 4.4) je vytvořen podle skutečné součásti (Obr. 4.1 a 4.2) v programu SolidWorks. Jedná se o součást s tenkými žebry, kterou lze hrubovat ponorným obráběním. Z ekonomického hlediska se však uvedená součást bude vyrábět jinou metodou, která je v tomto případě mnohem efektivnější. Součást má poměrně malé mezery mezi žebry a nelze odebírat masové množství materiálu v krátkém čase. Vytvoření optimálního programu zabere navíc velké množství času. Součást tedy není vhodná pro tuto metodu obrábění.



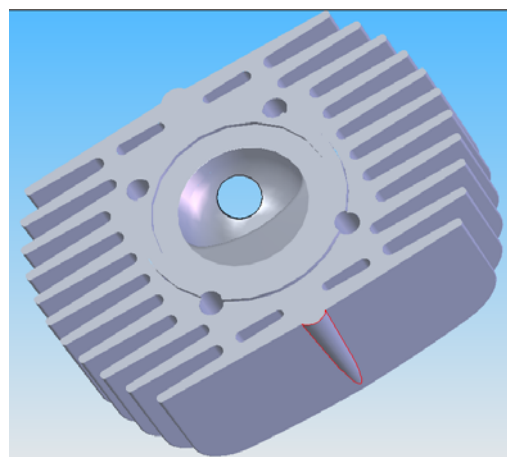
Obr. 4.1 Hlava válce pohled 1



Obr. 4.2 Hlava válce pohled 2



Obr. 4.3 Model hlavy válce pohled 1



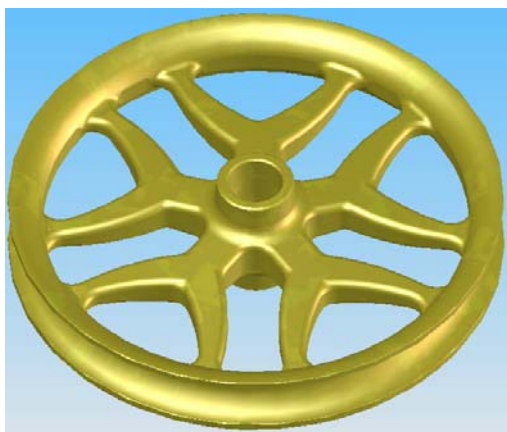
Obr. 4.4 Model hlavy válce pohled 2

4.2 Model: Kolečko od dětské tříkolky

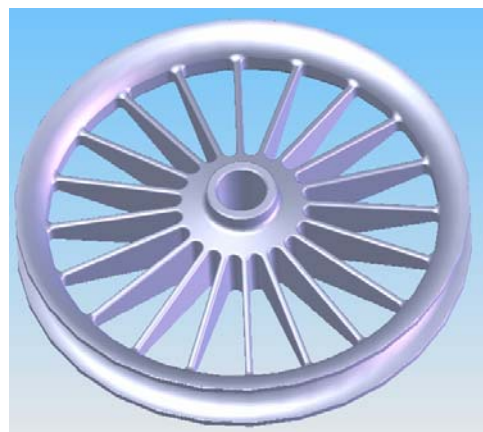
Model je vytvořen podle skutečné součásti v programu SolidWorks. Základní profil a rozměry jsou dodrženy, aby bylo možné vyrobené kolečko použít v původní tříkolce. Ostatní rozměry a tvary jsou voleny libovolně.

Modely na obrázku 4.5 a 4.7 lze obrábět ponorným obráběním. Obsahují rozměrné kapsy, ve kterých lze aplikovat tuto metodu. Mají však poměrně masivní prvky a je zde možné použít i jiné „konvenčnější metody“ obrábění. Před zahájením výroby je třeba zvážit ekonomičnost jednotlivých metod.

Modely na obrázku 4.6 a 4.8 jsou vhodné pro ponorné obrábění. Obsahují rozměrné kapsy, které jsou od sebe odděleny tenkými žebry. Tato žebra se budou při klasickém „profilovém“ obrábění prohýbat, nebo dokonce praskat vlivem značných radiálních sil. Ponorné obrábění působí na obrobek převážně axiálními silami, takže namáhání žebek bude minimální.



Obr. 4.5 Kolečko varianta 1



Obr. 4.6 Kolečko varianta 2



Obr. 4.7 Kolečko varianta 3



Obr. 4.8 Kolečko varianta 4

5 METODY PONORNÉHO OBRÁBĚNÍ

Existují různé možné metody ponorného obrábění. Každá z nich má na daném modelu svá slabá i silná místa.

5.1 Základní zásady při ponorném obrábění

5.1.1 Vytváření ponorných drah nástroje v aplikaci PowerMILL

1. Vytvořit dráhu nástroje, která představuje šablonovou cestu, podél níž se uskuteční ponor.
2. Nadefinovat potřebný řezný nástroj, držák, aj.
3. Vytvořit sériový model představující materiál, který bude ponorně obroben.
4. Vytvořit dráhu nástroje ponorného obrábění, která používá šablonovou cestu a sériový model.

Nejprve se vytvoří vhodná šablonová dráha nástroje. Poté je třeba vytvořit dráhu nástroje ponorného obrábění. Tento typ dráhy nástroje v aplikaci PowerMILL nabízí řadu nastavení pro vytváření programu ponorného obrábění. Jedná se o překročení, poloměr jádra a vzdálenost odtáhnutí.⁷

5.1.2 Překročení

Překročení ponorné dráhy nástroje kontroluje množství odstraněného materiálu u každého ponorného pohybu. V ideálním případě musí být tato hodnota co nejvyšší, aby zajistila odstranění co největšího množství materiálu. Existují však i různé další faktory (kvalita obrobeného povrchu, „zakázaná oblast“, tuhost vřetena,...), které určují, jaké překročení použít.

5.1.3 Poloměr jádra

Vysoce specializované nástroje pro ponorné obrábění mají tzv. „zakázané oblasti“. Je to vyklenutá plocha mezi vsazenými noži na spodním čele těla řezného nástroje. Tato oblast není schopna řezu, a proto musí být dráha nástroje vytvořena tak, aby se touto částí nástroje neobrábělo. PowerMILL umožňuje kontrolovat tuto proměnnou definováním poloměru jádra.

5.1.4 Vzdálenost odtáhnutí

Vzdálenost odtáhnutí na dráze nástroje ponorného obrábění umožňuje, aby nástroj odtáhnul z právě obráběného materiálu před tím, než jej zcela sejme z bloku. Pokud se nenastaví vzdálenost odtáhnutí, výsledná dráha nástroje způsobí, že řezný nástroj přejede přes boční strany součásti, což vede k poškození řezného nástroje nebo vřetena stroje.

5.1.5 Dráhy ponorných pohybů

Jestliže je obráběna kapsa, jejíž hloubka přesahuje délku drážky těla řezného nástroje, je nutné zajistit způsob, kterým jsou efektivně odstraňovány třísky z komponentu. Je kladen důraz na to, aby třísky opouštěly komponent bokem. V těchto případech inteligentní programování CAM programů značně přispívá k delší životnosti řezného nástroje.

5.1.5.1 Lineární dráha řezného nástroje

Na obrázku 5.1 a 5.2 je příklad velmi jednoduché dvourozměrné kapsy, jejíž hloubka je větší než délka drážky těla řezného nástroje. První dráha obrobí kapsu použitím řady ponorných pohybů, které kopírují lineární vzor. Provádí se tak drážkové obrábění, kterému je třeba se vyhnout. Úhel záběru se na řezném nástroji zvýší, čímž je příliš zatížen řezný nástroj a vsazené nože. Úhel záběru má být udržován na cca 90° v závislosti na druhu materiálu. Pokud úhel záběru dosáhne hodnoty blížíící se 180° , dochází k poškození řezného nástroje.

Lineární dráha řezného nástroje vede k následujícím potížím:

a) **Přetížení řezného nástroje :**

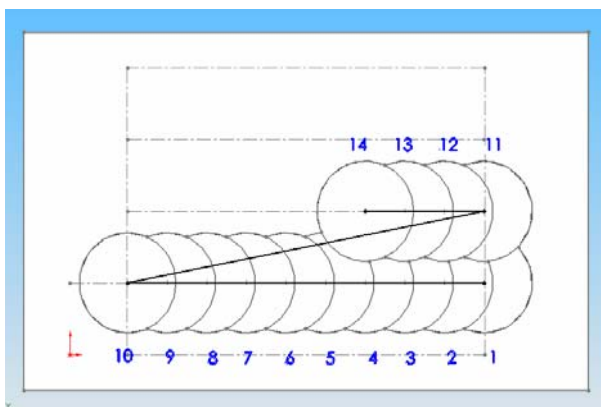
Zatížení řezného nástroje je velmi vysoké, což vede k jeho předčasnému selhání.

b) **Není dovolen odtahovací pohyb:**

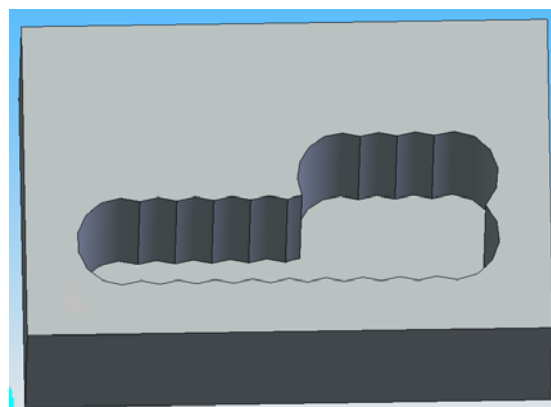
Nástroj musí zůstat uvnitř otvoru. Nemá možnost pohybu do boku k umožnění odtahovacího pohybu předtím, než se vzdálí od součásti.

c) **Snížení rychlosti odstraňování pilin:**

Oblast odebraného materiálu je poměrně malá (tvoří se drážka). Piliny lze odstraňovat pouze směrem zpět podél drážky, kde se nahromadí a poškozují řezný nástroj.



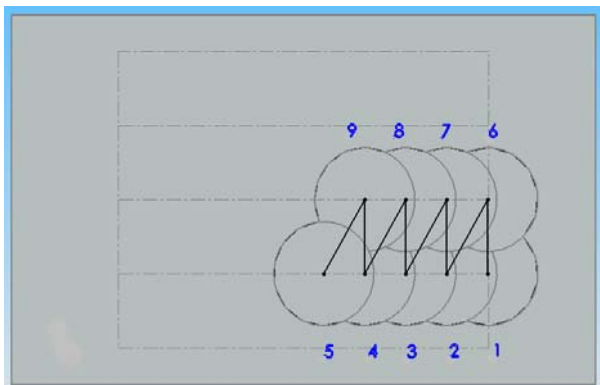
Obr. 5.1 Lineární dráha řezného nástroje



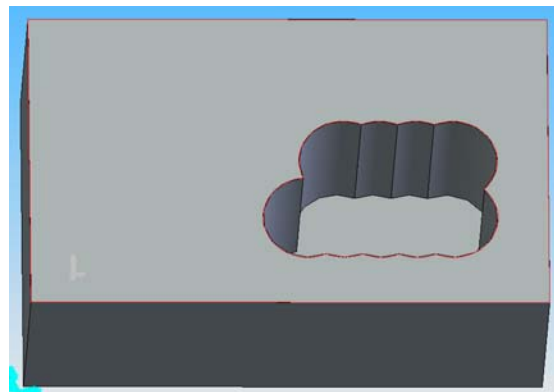
Obr.5.2 Kapsa tvořená lineární dráhou řezného nástroje

5.1.5.2 Dráha řezného nástroje „CIK CAK“

Pro stejnou kapsu jako výše je použito odlišné pořadí ponorných pohybů. Kapsa je obráběna klikatě (Obr. 5.3, Obr. 5.4), a tak se nástroj postupně pohybuje podél lineární šablony. Tímto obráběním tvoří dráha nástroje velkou otevřenou plochu, po které se mohou třísky bezpečně a volně pohybovat. Rozdíl v řezném čase je minimální a možnost poškození nástroje je mnohem menší než u předchozího případu. Nevýhodou je dodatečné úsilí, které se vynaloží pro vytvoření NC programu.



Obr. 5.3 Dráha řezného nástroje „CIK CAK“



Obr. 5.4 Kapsa tvořená dráhou řezného nástroje „CIK CAK“

5.1.6 Sousledné x nesousledné frézování

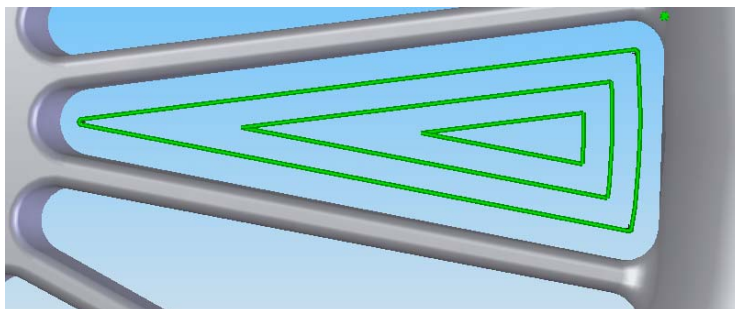
Je vhodné používat sousledné frézování, protože prodlouží životnost vsazených nožů a sníží pravděpodobnost vytvoření otřepů na obrobku.

5.1.7 Pilotní otvor

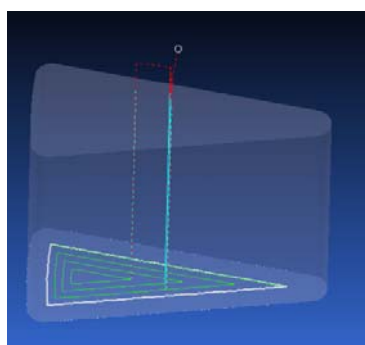
Většina řezných nástrojů není schopna středového řezu. Proto je třeba při ponorném obrábění slepé kapsy předvrtat pilotní otvor. Otvor je umístěn tak, aby se překrýval s dráhou nástroje ponorného obrábění. Velikost otvoru musí být mírně větší, než je průměr řezného nástroje.

5.2 Trojrozměrné ekvidistanční ponorné obrábění

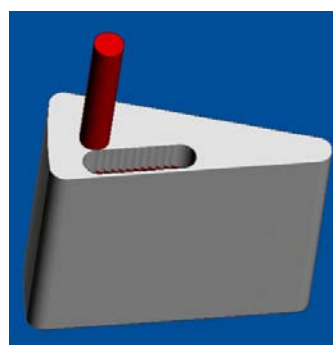
Řešení využívá „ekvidistanční rovinné dokončování“.



Obr. 5.5 Ekvidistanční dráha řezného nástroje



Obr. 5.6 Ekvidistanční dráha
v systému
PowerMILL



Obr. 5.7 Simulace ekvidistanční
dráhy v systému
PowerMILL

Výhody :

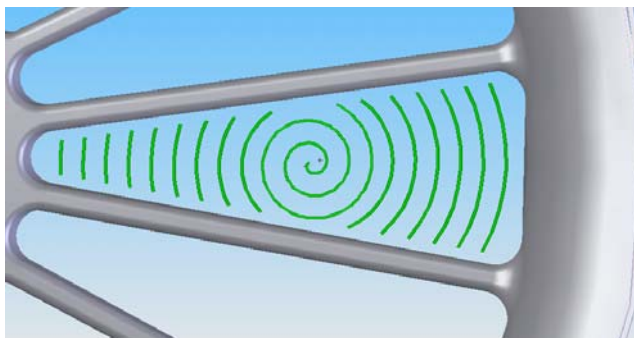
- Snadnost naprogramování v rámci aplikace PowerMILL.

Nevýhody :

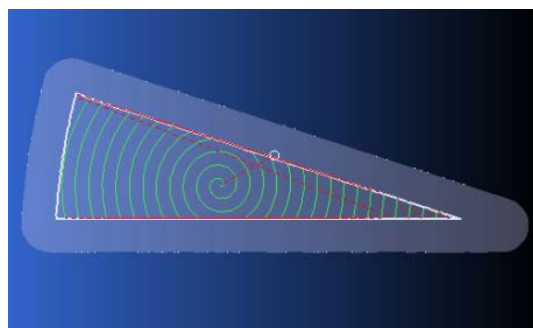
- Množství materiálu odstraněného u každého ponoru není konstantní. To znamená, že dráha nástroje plně nevyužívá řezný nástroj, což snižuje celkovou efektivitu ponorného obrábění. Tento problém způsobuje předčasné selhání řezného nástroje, protože celkové zatížení je soustředěno na jeden vsazený nůž a není rovnoměrně rozptýleno mezi všechny vsazené nože.
- Zvýšená pravděpodobnost, že dráha nástroje zanechá malé výstupky na okraji kapsy. Tyto výstupky se během obrábění ohýbají a poškozují tak řezný nástroj.
- Nástroj začne obrábět úzkou drážku. Tento postup vyvolává hromadění pilin v kapse, což způsobuje poškozování řezného nástroje.

5.3 Konstantní spirálové ponorné obrábění.

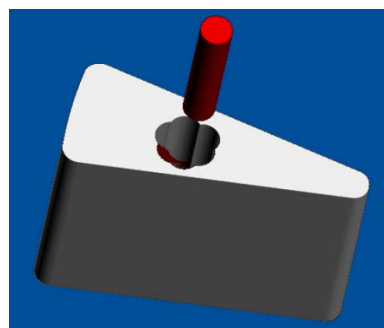
Toto řešení využívá „Spirálové dokončování“.



Obr. 5.8 Dráha řezného nástroje po spirále



Obr. 5.9 Spirálová dráha
v systému
PowerMILL



Obr. 5.10 Simulace spirálové
dráhy v systému
PowerMILL

Výhody :

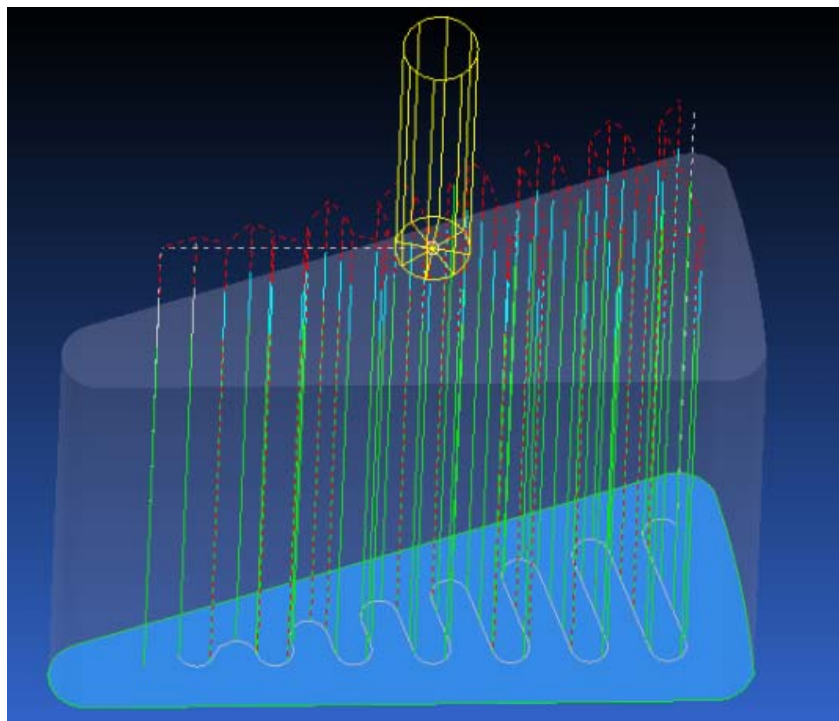
- Tato metoda se v rámci aplikace PowerMILL snadno programuje.
- Množství materiálu, které je odstraněno každým ponorným pohybem je konstantnější oproti předchozímu případu, čímž se zvyšuje celková efektivita obrábění a vyrovnává se zatížení na vsazených nožích.

Nevýhody :

- Množství materiálu odstraněného u každého ponoru je sice konstantnější, ale dráha nástroje ještě stále plně nevyužívá řezný nástroj a obsahuje mnoho ponorných pohybů, při kterých se odstraňují jen velmi malé ostrůvky materiálu.
- Dráha nástroje zanechává na okrajích kapsy malé výstupky.
- Nástroj začne obrábět ve středu kapsy a potom postupně obrábí směrem k vnějšímu okraji kapsy. Tento postup vyvolává zvyšování teploty ve středu kapsy, což způsobí lokální deformaci komponentu.

5.4 Rastrové ponorné obrábění

Tato metoda využívá „Dokončení rastrem“.



Obr. 5.11 Dráha řezného nástroje tvořená rastrem v aplikaci PowerMILL

Výhody :

- Tato metoda se v rámci aplikace PowerMILL snadno programuje.
- Množství materiálu, které je odstraněno každým ponorným pohybem, je konstantnější, čímž se zvyšuje účinnost.

Nevýhody :

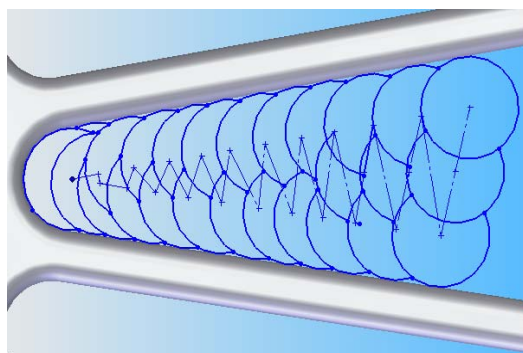
- Několik prvních ponorných pohybů může tvořit drážku, kdy úhel záběru překračuje 180° , což vede k selhání řezného nástroje. Na tomto modelu začíná nástroj obrábět ve špičce kapsy, čímž je zajištěno bezpečné rozšiřování kapsy. Ne vždy je to však možné.
- Tato metoda může způsobit problémy s hromaděním třísek, které mohou poškodit řezný nástroj. Jakmile je však vytvořena první drážka, je možné ji využít pro odstraňování třísek. Na tomto modelu je opět tento problém vyřešen.
- Dráha nástroje zanechává na okraji kapsy malé výstupky.

5.5 Manuálně definované ponorné obrábění

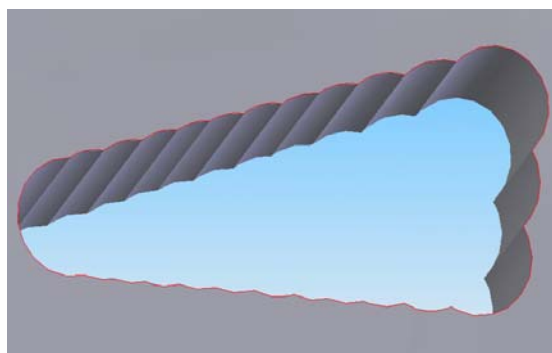
Toto řešení má řadu zásadních výhod ve srovnání s předchozími druhy ponorného obrábění. Hlavní výhodou je skutečnost, že se maximalizovalo množství odebíraného materiálu při každém ponorném pohybu. Zároveň je zajištěno, aby žádné části modelu nezůstaly neobrobené.

Řešení využívá ruční definování drah obrábění v aplikaci SolidWorks, PowerSHAPE, AutoCAD atd., a následné převedení do aplikace PowerMILL.

Čas potřebný k vytvoření tohoto typu dráhy je mnohem delší než u předchozích příkladů. Používá se proto především u masově vyráběných komponentů, které se budou vyrábět po dlouhou dobu.



Obr. 5.12 Manuálně definovaná dráha řezného nástroje



Obr. 5.13 Kapsa tvořená manuálně definovanou dráhou řezného nástroje

Výhody :

- Tato metoda přináší velmi efektivní rychlost odstraňování materiálu.
- Množství materiálu, který se odstraní každým ponorným pohybem, je poměrně konstantní.
- Riziko, že zůstanou neobrobeny malé výstupky, je minimální.
- Riziko vzniku deformací vlivem lokálního zvýšení teploty je minimální.
- Dráha nástroje koná pohyby, které zabrání vytvoření drážky a následnému hromadění třísek.

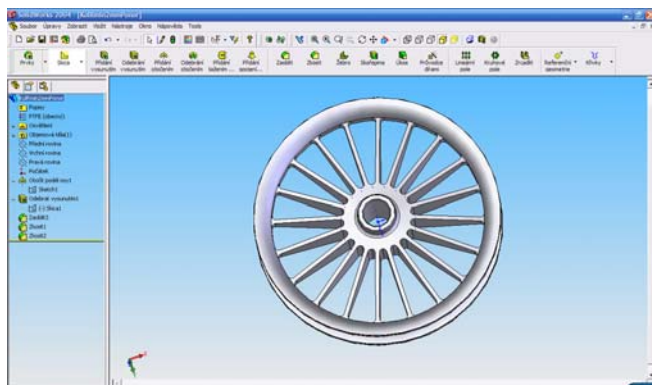
Nevýhody :

- Vytváření dráhy nástroje vyžaduje více času a úsilí.

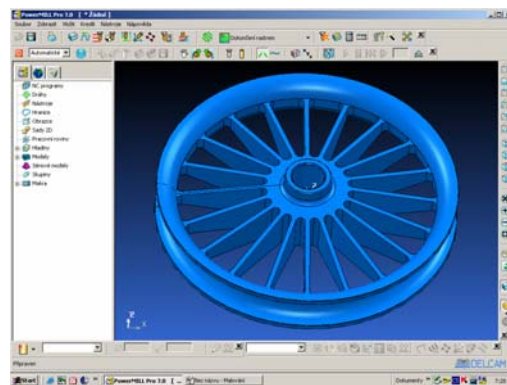
6 PRAKTICKÁ REALIZACE PONORNÉHO OBRÁBĚNÍ

6.1 Převod z aplikace CAD do CAM

Model vytvořený v CAD programu, např. SolidWorks (Obr. 6.1), je třeba převést do aplikace PowerMILL (Obr. 6.2) pomocí PS-Exchange, který je součástí instalačního balíčku firmy Delcam.



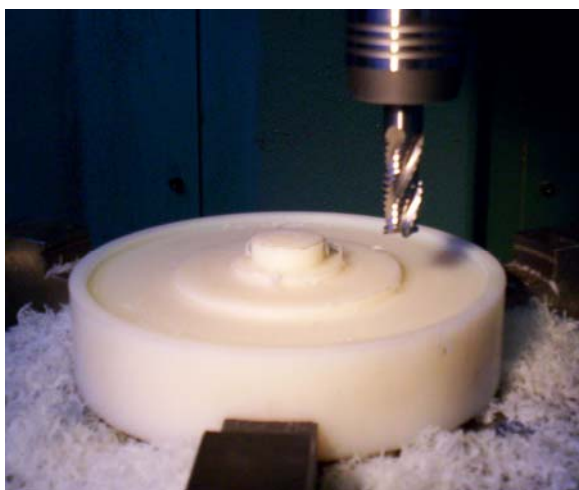
Obr. 6.1 Model v aplikaci SolidWorks



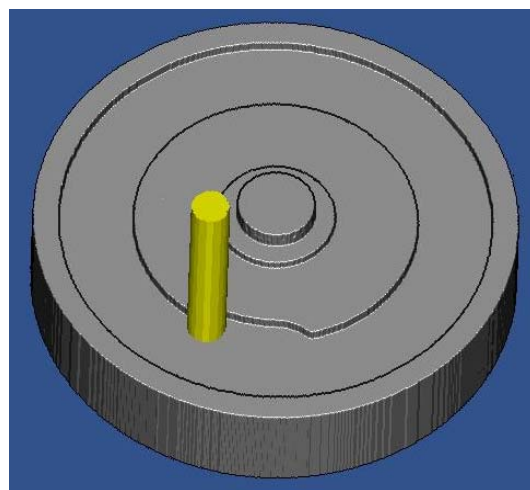
Obr. 6.2 Model v aplikaci PowerMILL

6.2 Hrubování základního profilu

Nejprve je nutné nadefinovat polotovar a provést hrubování základního profilu. Pro tuto součást je polotovar válec a dráhy nástroje pro hrubování jsou vygenerovány offsetem (Obr. 6.3, Obr. 6.4).



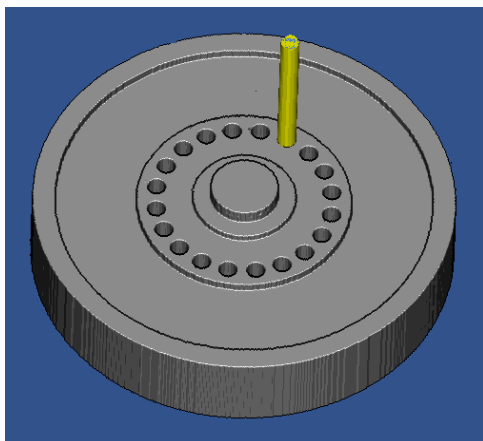
Obr. 6.3 Hrubování základního polotovaru



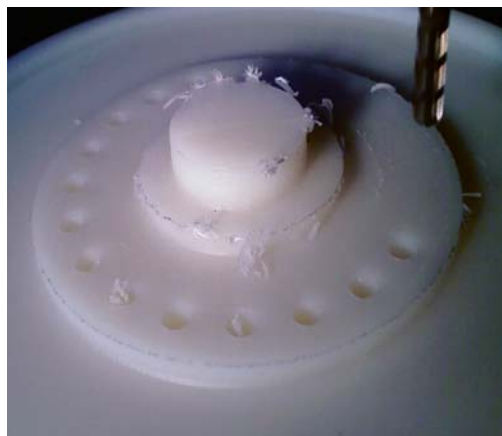
Obr. 6.4 Simulace hrubování základního polotovaru v aplikaci PowerMILL

6.3 Předvrtání pilotních otvorů

Před ponorným obráběním uzavřených kapes je velice důležité předvrtání pilotních otvorů (Obr. 6.5, Obr. 6.6). Z těchto otvorů pak budou vycházet první ponorné pohyby nástroje a postupně je tak rozšiřovat v kapsu. Nástroj vhodný pro ponorné obrábění není totiž schopen vrtat do plného materiálu. U hlubokých otvorů je důležité volit vrtání s výplachem, tj. na dva a více zdvihů. Zlepší se tak odvod třísek a sníží se pravděpodobnost porušení rezného nástroje.



Obr. 6.5 Simulace předvrtání pilotních otvorů v aplikaci PowerMILL



Obr. 6.6 Předvrtání pilotních otvorů

6.4 Vrtání středové díry

Středová díra má poměrně velký průměr a hloubku. Musí se tedy nejprve předvrtat menším průměrem vrtáku a potom průměrem vrtáku požadovaného rozměru. Pro lepší přesnost se díra ještě vyhrubuje a vystruží.

6.5 Ponorné obrábění kapes

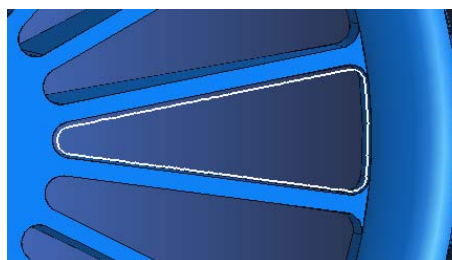
Metoda ponorného obrábění má značné nároky na procesor počítače. Výpočet jednotlivých drah nástroje je velmi náročný a může, podle složitosti a rozměru kapes, trvat i několik desítek minut. Je tedy nezbytně nutné provést několik následujících kroků, které tuto dobu výrazně sníží.

6.5.1 Vytvoření hranice kapsy

Nejprve se vytvoří hranice siluetou podle modelu (Obr. 6.7). Pro snížení nároků na výpočet se ponechá pouze silueta jedné kapsy (Obr. 6.8).



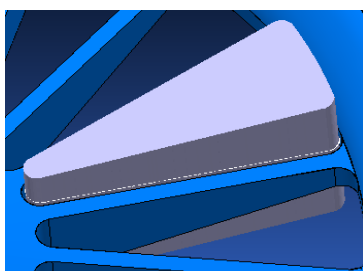
Obr. 6.7 Hranice vytvořené siluetou



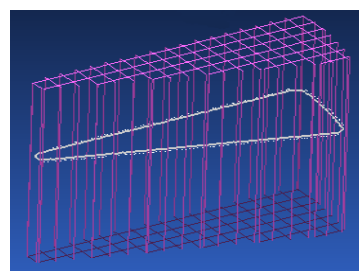
Obr. 6.8 Hranice jedné kapsy

6.5.2 Vytvoření lokálního polotovaru, sériového modelu, pomocné plochy a šablonových drah

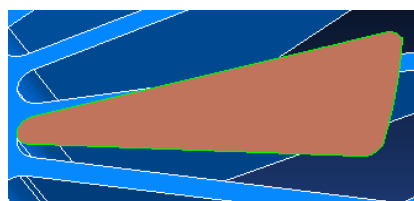
Na předem definované hranici se vytvoří polotovaz požadované velikosti představující materiál jedné kapsy (Obr. 6.9). Na základě tohoto polotovaru se zhotoví sériový model (Obr. 6.10), který je nutný k programování ponorného obrábění. Na spodní části sériového modelu je třeba zhotovit plochu (Obr. 6.11), na níž budou promítnuty dráhy vygenerované jednou z metod 3D dokončujícího obrábění. Na obr. 6.12 je zvolena dráha řezného nástroje po spirále se středem ve špičce kapsy. Tyto dráhy představují šablonovou cestu, podle níž bude uskutečněn ponorný pohyb řezného nástroje.



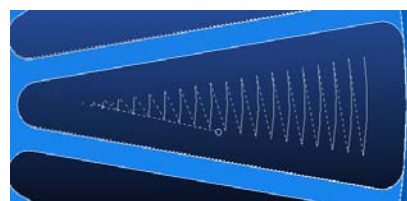
Obr. 6.9 Polotovaz kapsy



Obr. 6.10 Sériový model kapsy



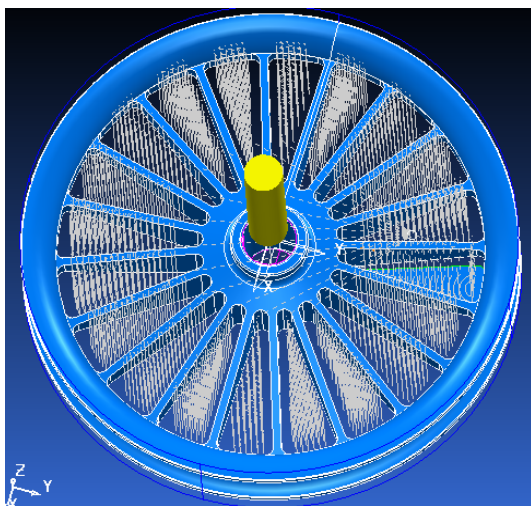
Obr. 6.11 Pomocná plocha



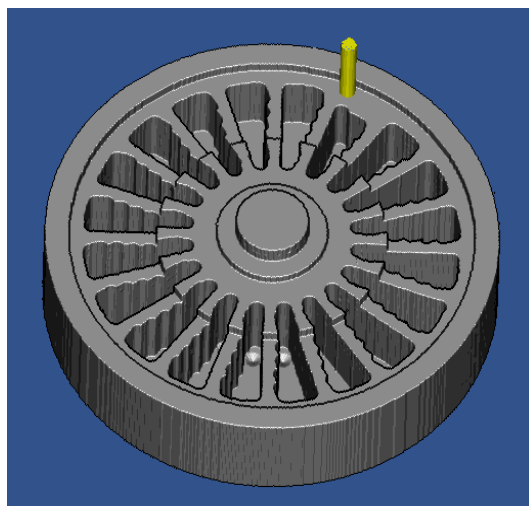
Obr. 6.12 Šablonová dráha spirálou

6.5.3 Ponorné pohyby

Na vytvořených šablonových drahách se nadefinují ponorné pohyby řezného nástroje a zkopírují se do všech kapes v obrobku (Obr. 6.13). Na obrázku 6.14 je ukázka simulace ponorného obrábění v aplikaci PowerMILL a na obrázku 6.15 je fotografie jedné kapsy hrubované ponornými pohyby nástroje.



Obr. 6.13 Ponorné pohyby řezného nástroje



Obr. 6.14 Simulace ponorného obrábění v systému PowerMILL



Obr. 6.15 Vyhrubovaná kapsa ponorným obráběním

6.6 Dokončovací obrábění

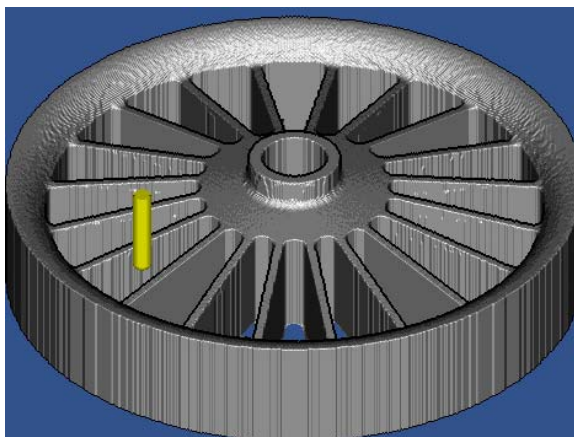
Pro dokončení výsledného tvaru je možné použít mnoho metod, které jsou nabízeny v aplikaci PowerMILL.

6.6.1 Dokončení kapes

Po ponorném obrábění zůstává značně nerovný povrch na stěnách kapes. Je možné nakreslit křivku rovnoběžnou s kapsou a vzdálenou od stěn o poloměr řezného nástroje. Podle této křivky je vedena dráha řezného nástroje, který tak odstraní přebytečný materiál.

6.6.2 Dokončení výsledného povrchu

Pro dokončení zbývajících povrchů lze zvolit jednu z metod 3D dokončovacího obrábění aplikace PowerMILL. V tomto případě je zvoleno vzhledem k tvaru součásti dokončování po spirále se středem uprostřed polotovaru. Na obrázku 6.16 je znázorněna obrobená součást v simulaci systému PowerMILL a na obrázku 6.17 je fotografie dokončeného kolečka.



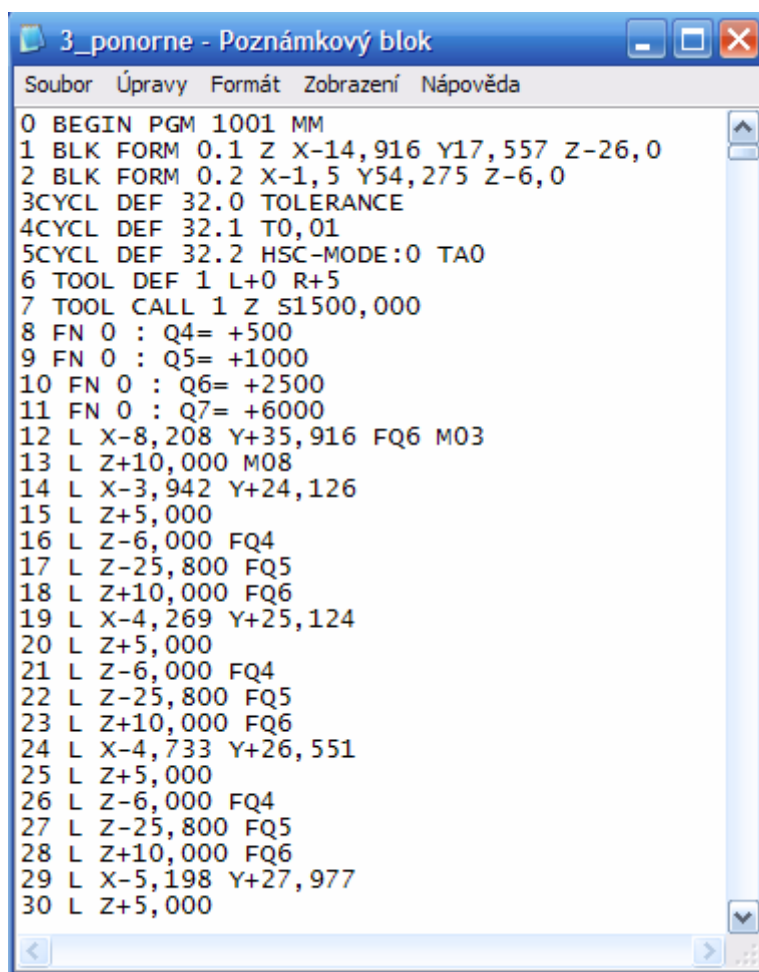
Obr. 6.16 Dokončené kolečko v simulaci systému PowerMILL



Obr. 6.17 Dokončené kolečko

6.7 Generování NC programů

Po vytvoření strategie obrábění je třeba zhotovit individuální NC program, který lze vytvořit v několika typech souborů (CL data, NC program). Zvolí se typ formátu „Binární“, nebo „Ascii“. NC program je nutné přizpůsobit konkrétnímu stroji a jeho řídicímu systému pomocí externího překladače PM POST. Na obrázku 6.18 je ukázka části NC programu pro vertikální konzolovou frézku FV 25 CNC řízenou systémem Heidenhain iTNC 530.⁸



```
0 BEGIN PGM 1001 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-14,916 Y17,557 Z-26,0
2 BLK FORM 0.2 X-1,5 Y54,275 Z-6,0
3CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
4CYCL DEF 32.1 T0,01
5CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:0 TAO
6 TOOL DEF 1 L+0 R+5
7 TOOL CALL 1 Z S1500,000
8 FN 0 : Q4= +500
9 FN 0 : Q5= +1000
10 FN 0 : Q6= +2500
11 FN 0 : Q7= +6000
12 L X-8,208 Y+35,916 FQ6 M03
13 L Z+10,000 M08
14 L X-3,942 Y+24,126
15 L Z+5,000
16 L Z-6,000 FQ4
17 L Z-25,800 FQ5
18 L Z+10,000 FQ6
19 L X-4,269 Y+25,124
20 L Z+5,000
21 L Z-6,000 FQ4
22 L Z-25,800 FQ5
23 L Z+10,000 FQ6
24 L X-4,733 Y+26,551
25 L Z+5,000
26 L Z-6,000 FQ4
27 L Z-25,800 FQ5
28 L Z+10,000 FQ6
29 L X-5,198 Y+27,977
30 L Z+5,000
```

Obr. 6.18 NC program pro vertikální konzolovou frézku FV 25 CNC řízenou systémem Heidenhain iTNC 530

ZÁVĚR

Ponorné obrábění lze s výhodou použít jen v opodstatněných případech. Jsou to především součásti s hlubokými rozměrnými kapsami a tenkými žebry, u kterých je tato metoda nejvýkonnější. Používá se speciální řezný nástroj, který je namáhán na krut a vzpěr. Při tomto typu namáhání má řezný nástroj mnohem větší únosnost ve směru řezného pohybu, který je vertikální, než při klasickém profilovém obrábění, kde je nástroj namáhán na ohyb a krut. Proto lze jedním ponorným pohybem odebrat celou hloubku materiálu bez radiálního namáhání žeber.

V práci jsou uvedeny požadavky na řezný nástroj, obráběcí stroj a obráběný materiál. Zhodnoceny jsou především základní způsoby ponorného obrábění, geometrie součástí a jejich vhodnost použití pro tuto metodu obrábění.

Praktická realizace se skládá z vytvoření NC programů, simulace obrábění v aplikaci PowerMILL a z následného obrábění na vertikální konzolové frézce FV 25 CNC řízené systémem Heidenhain iTNC 530. Názorně je uveden detailní postup pro velice efektivní způsob vytvoření ponorných pohybů nástroje v aplikaci PowerMILL. Při ponorném obrábění jednotlivých kapes je kladen důraz na postupné rozšiřování otvoru, aby nedošlo k nahromadění třísek v místě řezu, což by vedlo k porušení řezného nástroje.

Na základě této práce je nově zařazeno ponorné obrábění do výuky Aplikace CAD/CAM v technologii obrábění II, která je vyučována na Ústavu strojírenské technologie v Brně.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1) *Stopkové frézy* [on-line]. Pramet Tools, s.r.o. Česká republika. Květen 2006. [cit. 12. 2. 2007]. Frézování 2006. SSA. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pramet.cz/pramet.cz/index.html>>
- 2) *Stopkové frézy* [on-line]. Pramet Tools, s.r.o. Česká republika. Květen 2006. [cit. 12. 2. 2007]. Frézování 2006. SSA. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pramet.cz/pramet.cz/index.html>>
- 3) 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. s. X76 – X87. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- 4) Tamtéž, s. X88 – X107.
- 5) Tamtéž, s. XIII-10 – XIII-24.
- 6) Tamtéž, s. XII-22 – XII-26.
- 7) Uživatelská příručka PowerMILL. *What's New in PowerMIL 6.0*. Delcam plc.
- 8) HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele, Popisný dialog-Heidenhain iTNC 530. 533 190-81-SW01.3.1/2005, Německo, Traunreut, 1. vyd. s. 267 – 276.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	(COMPUTER AIDED DESIGN)	Programy používané pro kreslení a návrh 2D a 3D objektů.
CAM	(COMPUTER AIDED MANUFACTURING)	Programy pro vytváření a simulaci NC programů.
CNC	(COMPUTER NUMERIC CONTROL)	Počítačové číslicové řízení.
NC	(NUMERIC CONTROL)	Číslicové řízení.
2D		Rovinné promítání.
3D		Prostorové promítání.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 CD - ROM – Model kolečka v aplikaci SolidWorks, počítačový program pro jeho obrábění v aplikaci PowerMILL, NC program pro obrábění.