

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Parametrický program pro hrubování odvalovací frézy s využitím
pětiosého stroje

Autor: **Bc. Jan OLIVERIUS**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří VYŠATA, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan OLIVERIUS**
Osobní číslo: **S13N0072P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Parametrický program pro hrubování odvalovací frézy s využitím pětiosého stroje**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Analýza možných způsobů hrubování
3. Analýza možností stroje
4. Návrh matematického modelu kinematiky obrábění
5. Tvorba parametrického programu
6. Technicko-ekonomické zhodnocení

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **JANDEČKA, K., ČESÁNEK, J., KOŽMÍN, P.:** Programování NC strojů. Plzeň : ZČU, 2000.
- **VRABEC, M., MÁDL, J.:** NC programování v obrábění. Praha : ČVUT,2004. Haidenhain iTNC 530 - uživatelská příručka.
- **RERKTORYS K.:** Přehled užití matematiky. Praha : SNTL, 1981.
- **PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R.:** Technologie obrábění. Praha : SNTL 1982.
- **STANĚK, J., NĚMEJC, J.:** Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň : ZČU, 2005.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **20. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, panu Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D, za ochotu a rady při řešení diplomové práce. Poděkování patří i mé rodině za podporu při studiu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Oliverius	Jméno Jan		
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vyšata, Ph.D	Jméno Jiří		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Parametrický program pro hrubování odvalovací frézy s využitím 5-osého stroje			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	72	TEXTOVÁ ČÁST	54	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Diplomová práce se zabývá tvorbou parametrického podprogramu pro hrubování šroubovicové drážky na odvalovacích frézách. Úvodní kapitoly se zabývají popsání dosavadního stavu a analýze možností řešení problému pro vybrané řešení je vytvořen matematický model obrábění a parametrický podprogram. Podprogram je vytvořen v řídicím systému Heidenhain pomocí Q parametrů. V závěru této práce je provedeno technickoekonomické zhodnocení.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Šroubovicová drážka, podprogram, parametrický program, Heidenhain, hrubování, odvalovací frézy</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Oliverius	Name Jan	
FIELD OF STUDY	N2301“ Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vyšata, Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Parametric programm for roughing involute gear hob using a five axis machine		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining technology	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	72	TEXT PART	54	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This diploma thesis is focused on creation of parametric program for roughing helical groove on involute gear hobs. Introductory chapters are focused on description current situation and analysis of possible solution of the problem. For selected solution there is created mathematical model of machining and parametric subroutine. Subroutine is created in the control system Heidenhain and contains Q-parameters. In the conclusion of this work is made technical-economic evaluation.</p>
KEY WORDS	<p>Helical groove, Subroutine, parametric programming, Heidenhain iTNC530, involute gear hob</p>

Obsah

1	Úvod	10
2	Analýza	11
2.1	Detailní specifikace zadání	11
2.2	Popis dosavadního stavu a problémů z toho plynoucích	12
2.3	Analýza teoretických možností	15
2.3.1	Frézování ve více osách	15
2.3.2	Soustružení	17
2.4	Analýza možností dostupných výrobních prostředků	20
2.4.1	Možnosti strojů	20
2.4.2	Analýza možností nástrojů	24
2.5	Výběr technologické varianty pro tvorbu NC podprogramu	24
2.5.1	Výpočet řezných parametrů pro soustružení drážky ve šroubovici	25
2.5.2	Výpočet řezných parametrů pro frézování drážky ve šroubovici	28
2.5.3	Porovnání variant a výběr výhodnější varianty	30
3	Matematický model obrábění	31
3.1	Vstupní parametry a jejich primární úprava	31
3.2	Vztahy definující oblast obrábění	33
3.3	Natočení obrobku do startovní pozice	39
3.4	Kontrola hloubky řezu	41
4	Parametrický podprogram	43
4.1	Q parametry	43
4.1.1	Geometrické Q parametry	43
4.1.2	Technologické Q parametry	45
4.1.3	Ostatní Q parametry	46
4.2	Přepis matematického modelu pomocí Q parametrů	47
4.3	Struktura a popis průběhu podprogramu	49
4.3.1	Přepočty vstupních parametrů a hloubky přísuvu	51
4.3.2	Cyklické jádro podprogramu DRAZKA-HRUB	51
4.3.3	Podprogram DRAZKA-POV	52

5	Technickoekonomické hodnocení	54
5.1	Faktory ovlivňující výhodnost obou variant	54
5.1.1	Porovnání z hlediska požadavků na výkresovou dokumentaci	55
5.1.2	Porovnání z hlediska požadovaného softwarového vybavení	55
5.1.3	Odladění NC programu	56
5.1.4	Čas tvorby nového programu	56
5.2	Náklady na tvorbu parametrického podprogramu a jeho užívání	57
5.2.1	Fixní náklady	57
5.2.2	Variabilní náklady	58
5.2.3	Celkové náklady	58
5.3	Náklady na tvorbu programu pomocí CAM:	59
5.3.1	Fixní náklady	59
5.3.2	Variabilní náklady	59
5.3.3	Celkové náklady	60
5.4	Porovnání nákladů obou variant	60
6	Závěr	62
	Použitá literatura	64
	Seznam použitých obrázků	64
	PŘÍLOHA č. 1	65
	PŘÍLOHA č. 2	68
	PŘÍLOHA č. 3	71

Seznam obrázků

Obrázek 2-1: Šroubovicová drážka na odvalovací fréze	12
Obrázek 2-2: Pohled na frézku na závity	13
Obrázek 2-3: Pohled na upínací trn a vřeteno stroje s nástrojem	14
Obrázek 2-4: Současný postup frézování drážky	14
Obrázek 2-5: Možnosti frézování šroubovicové drážky	16
Obrázek 2-6: Možné způsoby zajištění rovnoměrného přídavku na boku drážky	17
Obrázek 2-7: Profil lichoběžníkového závitu [1]	18
Obrázek 2-8: Vůle při řezání závitu [2]	19
Obrázek 2-9: Strategie řezání závitu na soustruhu jednobřítým nástrojem [2]	19

Obrázek 2-10: Celkový pohled na stroj Hermle U1130 [3]	21
Obrázek 2-11: Kinematika stroje Hermle U1130 [2]	22
Obrázek 2-12: Celkový pohled na stroj Emco Maxxturn [4]	23
Obrázek 2-13: Momentová a výkonová charakteristika stroje Emco Maxxturn [5]	24
Obrázek 2-14: Závislost krouticího momentu a výkonu na otáčkách vřetena [2]	25
Obrázek 2-15: Užitečný výkon při soustružení [2]	26
Obrázek 2-16: Výpočet řezné rychlosti a otáček vřetena při soustružení [2]	26
Obrázek 2-17: Výpočet specifické řezné síly [2]	26
Obrázek 2-18: Výpočet krouticího momentu [2]	27
Obrázek 2-19: Výpočet rychlosti úběru materiálu [2]	28
Obrázek 2-20: Výpočet požadovaného užitečného výkonu pro frézování [2]	28
Obrázek 2-21: Výpočet rychlosti posuvu frézy [2]	29
Obrázek 2-22: Výpočet řezné rychlosti a otáček pro frézování [2]	29
Obrázek 2-23: Specifické řezné síly při frézování [2]	29
Obrázek 2-24: Výpočet krouticího momentu pro frézování [2]	29
Obrázek 2-25: Rychlost úběru kovu při frézování [2]	30
Obrázek 2-26: Realizovaná strategie frézování drážky	30
Obrázek 3-1: Vstupní parametry profilu drážky	31
Obrázek 3-2: Šířka drážky na roztečné kružnici	32
Obrázek 3-3: Šířka drážky na největším průměru odvalovací frézy	32
Obrázek 3-4: Příklad na plochu ve směru šířky drážky	33
Obrázek 3-5: Vzdálenost prvního bodu	34
Obrázek 3-6: Vzdálenost posledního bodu	35
Obrázek 3-7: Šířka drážky v hladině řezu	36
Obrázek 3-8: Vzdálenost prvního bodu středu nástroje od středu drážky	36
Obrázek 3-9: Vzdálenost prvního a posledního bodu středu nástroje v jedné hladině řezu	37
Obrázek 3-10: Průměr dna obráběné drážky	38
Obrázek 3-11: Úhel natočení mezi dvěma šroubovicemi se shodným osovým stoupáním	39
Obrázek 3-12: Úhel natočení mezi dvěma body na přímce kolmé ke šroubovici	40
Obrázek 4-1: Vnější geometrické Q parametry	45
Obrázek 4-2: Parametr Q336-startovací úhel	47
Obrázek 6-1: Obrobený kus při odlaďování parametrického podprogramu	62

1 Úvod

V dnešní době je cena jedním z ukazatelů při rozhodování o výběru výrobce či dodavatele. Podnikatel, který chce být konkurenceschopný, se tedy snaží nabídnout zboží s co nejnižší cenou někdy dokonce na úkor kvality zpracování. Proto by mělo být snahou výrobce zajistit co nejpříznivější průběh výroby z ekonomického hlediska a tedy průběh efektivní.

Efektivní průběh výroby ale není vždy snadné zajistit. Existují však možnosti, kterými lze minimalizovat vzniklé problémy. Jednou takovou možností je variantní (náhradní) technologie. Náhradní technologie má význam, pokud například z důvodu kapacitního vytížení stroje není možné splnit termín dodání daný zákazníkem. Obecně vždy, když primárně určená technologie není aktuálně k dispozici. Ovšem pouze fakt nahraditelnosti technologie jinou, jež zajistí stejný výsledek (výrobek), není dostačující pro správnou funkci podniku. Důležité je, aby tehdy byly srovnatelné nebo alespoň přijatelné výrobní náklady variantní technologie s primární.

Dalším z případů nutnosti hledání nového způsobu výroby je, když technologičnost součásti ukáže nesoulad se stávajícím způsobem výroby, nebo dokonce se stávajícím strojním parkem výrobního systému. To se stane například, když rozměr součásti přesahuje upínací prostor obráběcího stroje. V případě problému hrubování odvalovacích fréz, který se tato práce snaží vyřešit, jde sice také o součásti větších rozměrů, než pro které je určen stroj, na němž se dosud vyráběly, ale problém nevzniká při upínání. Problémem totiž je skutečnost, že při výrobě šroubovicové drážky odvalovací frézy vyššího modulu nelze použít stávající stroj a nástroje, aniž by přitom bylo možné vůbec hrubovat šroubovicovou drážku.

Velikost modulu evolventního ozubení definuje i rozměry odvalovací frézy potřebné pro výrobu tohoto ozubení. Odvalovací frézy s moduly šestnáct a vyššími představují pro zadavatele diplomové práce (výrobce nástrojů) v současné době z hlediska šroubovicové drážky problém. Šroubovicová drážka je prvkem odvalovací frézy a její tvar tvoří bok zubu frézy. Současný stroj na výrobu drážky, není dimenzován na výrobu šroubovicové drážky pro moduly větší než šestnáct. Jedná se o přibližně 50 let starý stroj. Z toho důvodu jeho současný technický stav nedovoluje zaručenou výrobu ani pro drážky modulových odvalovacích fréz, pro něž byl stroj navržen. Jelikož od zákazníků přicházejí poptávky na odvalovací frézy pro moduly až dvacet pět milimetrů, je třeba nalézt novou technologii výroby drážky ve šroubovici a tím se vyhnout případnému kooperování operace hrubování šroubovicové drážky.

2 Analýza

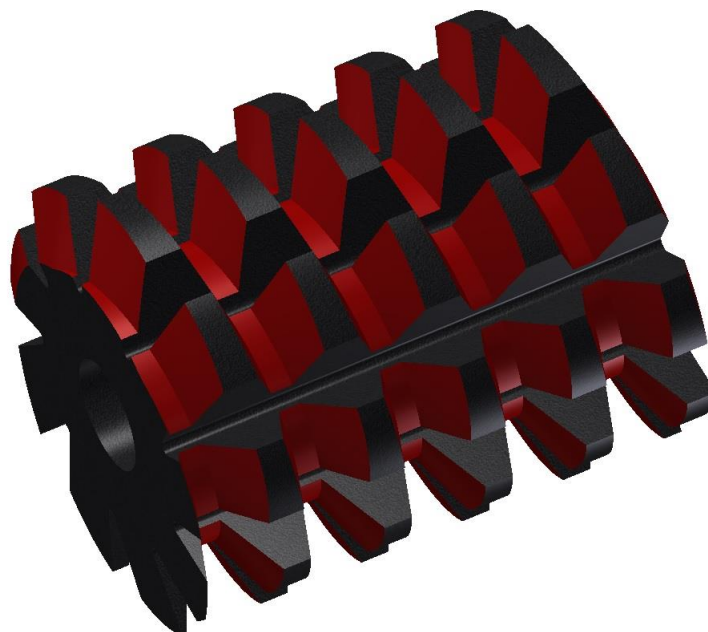
Výsledná varianta řešení určitého problému má splňovat daná kritéria a měla by být lepší v těchto požadovaných kritériích ve srovnání s ostatními variantami stejného řešeného problému, pokud více variant řešení vyvstane. Kritéria je možné rozdělit například na technická a ekonomická. Technická kritéria jsou taková kritéria, jejichž povaha má ryze technický charakter. Mohou jimi být například tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek, řezná rychlost a řezný odpor. Pro posouzení ekonomické stránky problému slouží ekonomická kritéria, jimiž jsou například náklady na použité nástroje a náklady na upínací přípravky. Výsledná varianta řešeného problému by měla převyšovat technickou úroveň zbylých navržených variant řešení, ale zároveň být co nejekonomičtější.

Pro stanovení racionálních variant řešení daného problému, je zapotřebí provést analýzu možností dostupných prostředků k řešení problému. To proto, aby se předešlo případnému návrhu nerealizovatelných variant, například z důvodu rozsahů otáček vřetena stroje. V případě hrubování drážky ve šroubovici se analýza zaměřuje na teoretickou analýzu možností obrábění drážky a na analýzu dostupných prostředků pro obrábění šroubovicové drážky, kterými jsou například použité stroje, nástroje. Předtím než bude přistoupeno k samotné analýze, bude vhodné seznámení se současným stavem věci a detailní specifikací zadání.

2.1 Detailní specifikace zadání

Jak již bylo uvedeno v úvodu, zadavatel požaduje nalezení vhodné technologie pro hrubování šroubovicové drážky jenž nahradí stávající. Šroubovicová drážka je prvkem odvalovací frézy a pro ilustraci je zvýrazněna na obrázku (Obrázek 2-1) červenou barvou. Drážka má lichoběžníkový symetrický profil. To znamená, že sklon boku zubu je na obou stranách drážky stejný. Nesymetrický profil by mohl mít například sklon jednoho boku 20° a druhého 45° . Zadavatel požaduje nalezení technologie hrubování pro odvalovací frézy větších modulů. Slovní spojení „větších modulů“ znamená v tomto případě moduly od šestnácti a vyšší. Do modulu šestnáct nejsou ze strany zadavatele požadavky na hrubování šroubovicové drážky.

Dalším požadavkem na technologii hrubování je možnost realizace na současném strojním vybavení. Zadavatel totiž nemá v plánu investici do nového stroje a chce využít pouze stávající stroje. Na použité nástroje není definován, žádný omezující požadavek, ale není předpoklad pro využití speciálních nástrojů. Nástroje vyráběné dle specifických požadavků jsou při kusové výrobě oproti konvenčním nástrojům dražší. Jelikož je výroba odvalovacích fréz kusovou výrobou, použitím speciálních nástrojů by tak došlo k zvýšení nákladů na použité nástroje a tím i k prodražení hrubování drážky. Pokud to tedy bude možné, budou použity pro hrubování pouze standardně dodávané nástroje. Modulové odvalovací frézy jsou vyráběny v určité řadě odstupňované podle modulu. Z tohoto předpokladu bude pro výslednou technologickou variantu hrubování odvalovací frézy vytvořen parametrický program. Jelikož program bude volán pro různě velké moduly, je dále v textu parametrický program označen jako podprogram.



Obrázek 2-1: Šroubovicová drážka na odvalovací fréze

2.2 Popis dosavadního stavu a problémů z toho plynoucích

Pro uvedení do problému hrubování odvalovací frézy je patrně vhodné v krátkosti uvést postup celé výroby odvalovací frézy. Samotné hrubování šroubovicové drážky je v pořadí až třetí operací ze všech operací při výrobě odvalovací frézy. Hrubování drážky předchází zhotovení díry pro možnost nastrčení frézy na trn, soustružení největšího průměru frézy a protažení nebo obražení drážky pro pero v díře frézy. Po těchto dvou operacích následuje hrubování šroubovicové drážky. Po vyhrubování šroubovicové drážky se frézují podélné drážky, které tvoří mezery pro třísku. Ty se dělají již na jiném stroji než šroubovicová drážka. Podélné drážky tedy rozdělují šroubovicovou drážku na určitý počet částí, který je dán počtem zubů odvalovací frézy. Ve skutečnosti však nejsou zcela rovnoběžné s osou, ale jsou skloněny pod úhlem sklonu ostří λ_s a tvoří tak druhou šroubovici, která je příčně vůči první. Není na ni však kolmá. Její úhel je dán geometrií břitu a nikoli stoupáním profilu ozubení. Po vyhrubování šroubovicové drážky a podélných drážek se obrobek-odvalovací fréza přesouvá na další pracoviště. Tím pracovištěm je podtáčecí soustruh, na kterém se „podtáčí“ tvarovým nožem celý profil šroubovicové drážky a hřbet zubu odvalovací frézy. Podtočením hřbetu frézy dojde ke vzniku odlehčení, které zajistí, že hřbet frézy nebude v kontaktu s obráběným ozubeným kolem. Hřbet frézy se nebude dít o obrobený povrch. Po operaci na pracovišti podtáčecího soustruhu se obrobek tepelně zpracuje. Po tepelném zpracování následuje konečné broušení odvalovací frézy.

Drážka ve šroubovici na odvalovacích frézách pro moduly osm až šestnáct se hrubuje v současné době na frézce na závity. Z hlediska řízení se jedná o klasický stroj, který má

horizontální vřeteník posuvně uložený na loži, viz obrázek (Obrázek 2-2). Vřetení s nástrojem je vůči obrobku vykloněno o 90° . Na trnu naražený polotovár pro odvalovací frézu je upnut horizontálně z jedné strany ve sklíčidle a z druhé podepřen koníkem. Posun vřeteníku po loži a rotace sklíčidla jsou vzájemně kinematicky svázány pomocí převodů s ozubenými koly. Podle úhlu stoupání šroubovice obsluha stroje zařadí příslušná ozubená kola pro dosažení potřebného převodu mezi otáčkami sklíčidla s posuvem vřeteníku. Kinematická vazba mezi obrobkem a nástrojem nesmí být v průběhu frézování drážky, respektive mezi přejezdy a mezi odjezdy a nájezdy do řezu, přerušena. Neboť nesmí dojít k situaci, kdy by dvě po sobě jdoucí dráhy nástroje byly vůči sobě ve směru osy obrobku posunuty. Dalším příkladem ztráty kinematické vazby je vyjmutí obrobku z prostoru stroje a opětovné upnutí. Jak je popsáno výše, trn s obrobkem je z jedné strany upnut ve sklíčidle. Jelikož použité sklíčidlo ani trn nemají aretační prvky, kterými by vůči sobě vymezily jednoznačnou polohu, není možné upnout trn do stejné polohy jako předešlé upnutí. Z tohoto důvodu je prakticky nemožné drážku ve šroubovici obrábět na dvou strojích, kde by první stroj drážku předhruboval a druhý dokončil. Najetí¹ předhrubované drážky z prvního stroje by bylo velmi náročné, především časově.

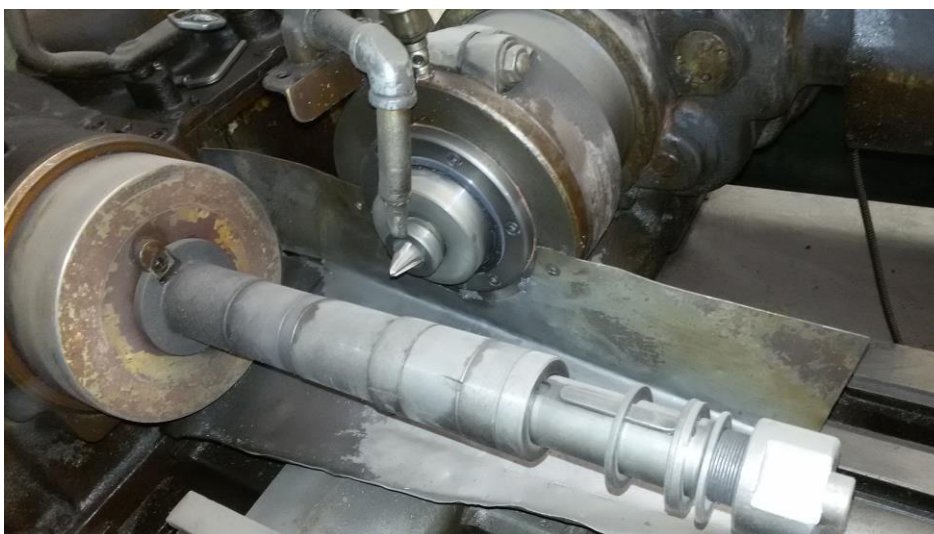


Obrázek 2-2: Pohled na frézku na závity

Drážka ve šroubovici se frézuje na tomto stroji stopkovou tvarovou frézou z rychlořezné oceli (HSS). Detail na nástroj ilustruje obrázek (Obrázek 2-3). Každému modulu odvalovací frézy přísluší jeden speciální nástroj přesného tvaru daného profilem drážky. Tvořící profil drážky leží v rovině binormály a je shodný s profilem základního hřebenu. Jedná se o lichoběžníkový profil, přičemž směrem k ose rotace odvalovací frézy se drážka zužuje. Poměr horní a dolní šířky drážky pro evolventní ozubení s úhlem záběru 20° je přibližně 1:3,5. Po vyhrubování

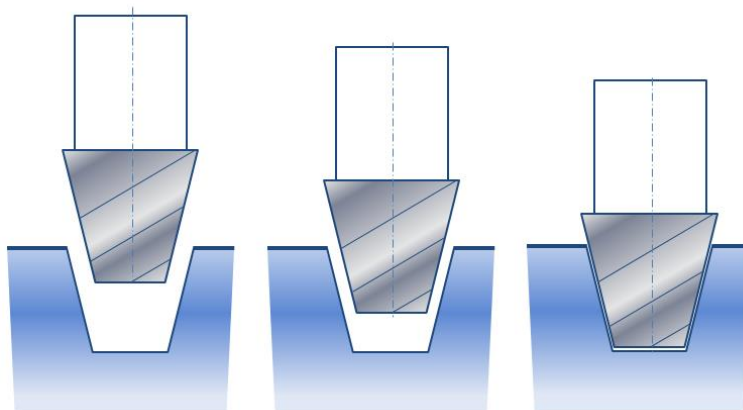
¹ Nalezení správné polohy obrobku vůči stroji pomocí měřicích prostředků, jako je například číselníkový úchylkoměr, se v provozu označuje jako „najetí“.

frézy a zakalení na požadovanou tvrdost se profil drážky dokončuje na brusce. Broušením se docílí přesných rozměrů a tvaru drážky.



Obrázek 2-3: Pohled na upínací trn a vřeteno stroje s nástrojem

Drážka se nefrézuje na plnou hloubku jedním záběrem, ale frézuje se postupně na několik přísuvů, jak schematicky znázorňuje obrázek (Obrázek 2-4). Přísuvy jsou pouze ve směru osy nástroje. Není možné drážku rozfrézovat do strany menší frézou v jedné hloubce. Přerušila by se tak vazba mezi rotací obrobku a posuvem vřeteníku a tím by došlo k nesprávnému obrábění drážky ve šroubovici.



Obrázek 2-4: Současný postup frézování drážky

2.3 Analýza teoretických možností

Systematickou analýzou teoretických možností lze získat řadu poznatků, které nemusí být v konečném řešení plně zahrnuty, ale poslouží jako základ pro další postup při řešení problému. Řešením problému na teoretické rovině lze předpokládat získání nadhledu a třeba i nové vize pro řešení daného problému. Analýza teoretických možností se omezuje pouze na dvě technologie obrábění. Jsou jimi frézování a soustružení.

2.3.1 Frézování ve více osách

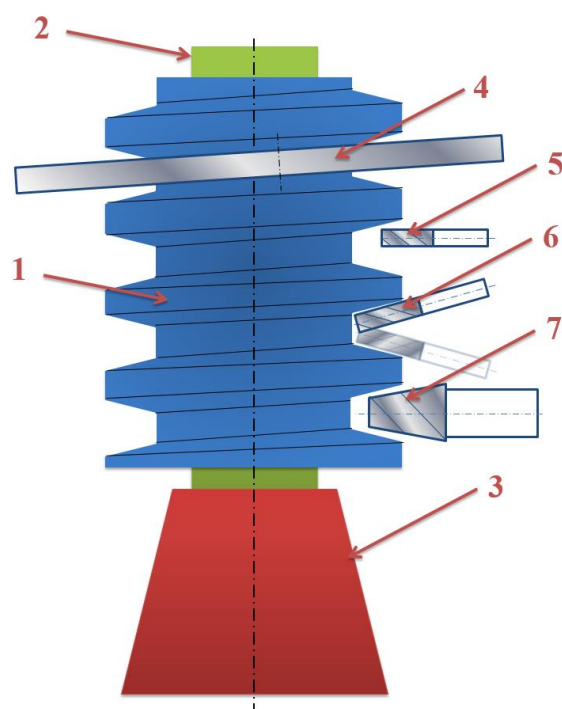
Varianta technologie frézování je omezena na frézování ve více osách, čímž je myšleno více jak tříosé frézování. To je z důvodu geometrie šroubovicové drážky, kterou by pouze tříosým frézování bylo možné obrobit jen za předpokladu speciálního stroje. Tento stroj by musel disponovat dvěma lineárními osami (X a Z) a jednou rotační (C). Osa X by zároveň musela být současně středovou osou šroubovice. Jednalo by se o obdobu současného stroje pro výrobu šroubovicové drážky, více viz kapitola 2.2. V případě klasického tříosého frézovacího centra, které by mělo pouze lineární osy, by šroubovicovou drážku na odvalovací fréze nebylo vůbec možné vyrobit. Pro hrubování drážky je tedy zapotřebí čtyř a víceosý stroj. Pětiosý stroj splní požadavek obrobení šroubovicové drážky z pohledu přístupu nástroje k obrobku s jistotou.

Pro hrubování šroubovicové drážky je možné využít více typů fréz. Jsou jimi například stopková fréza čelní válcová, stopková tvarová fréza, kotoučová fréza. Drážka může být obráběna pouze jedním nástrojem nebo kombinací více typů. Zda je možné použít pouze jeden nebo více typů fréz se odvíjí od požadavků na hrubovanou drážku. Jednotlivé typy nástrojů jsou zobrazeny na obrázku (Obrázek 2-5). Jedná se však pouze o ilustraci, v reálném případě by současně použití všech těchto nástrojů bylo nelogické a i nereálné. Význam jednotlivých pozic v obrázku vysvětluje seznam níže:

- 1 Odvalovací fréza (obrobek)
- 2 Nástrčný trn
- 3 Upínací přípravek
- 4 Kotoučová fréza
- 5 Stopková fréza
- 6 Stopková fréza natočená k boku drážky
- 7 Tvarová fréza

Kotoučová fréza má při stejné požadované hloubce drážky větší tuhost než stopková fréza, při stejném vyložení. Je to dáno konstrukcí jednotlivých fréz. Na druhou stranu u stopkové frézy není třeba řešit problém s podřezáváním boku drážky, které je zapříčiněno tvarem kotoučové frézy a odklonem šroubovice od její tečny. Kotoučová fréza je schopna frézovat bez podříznutí drážky, které jsou přímkové. Pokud by na bok drážky byl zvolen dostatečně velký přírůstek na obrábění, bylo by možné kotoučovou frézu pro hrubování využít i s tím faktem, že dojde k podříznutí. Směrnice tečny je totiž dána nejen stoupáním, ale také vzdáleností od osy – tedy poloměrem. Přímo v ose by směrnice byla rovnoběžná s osou. Při konstantním

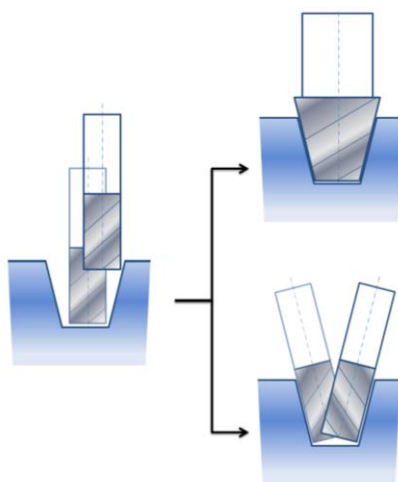
stoupání se však se zvětšujícím se průměrem její směr stáčí do směru tečného, až u nekonečného poloměru se skutečně zorientuje se směrem tečným – tedy k ose kolmým. Roviny čel kotoučové frézy však s osou obráběné šroubovice svírají stále stejný úhel pro libovolnou vzdálenost od osy. Tento nesoulad ve sklonech je příčinou zmíněného podříznutí. Když ale tvar profilu má boky šikmé a když se ponechá jistá přídavek na dokončení, pak podříznutí nemusí znamenat vážný problém. Stačí nástroj vhodně vyklonit, aby se podříznutí minimalizovalo, jak je vidět na obrázku (Obrázek 2-5). Úhel vyklonění udává stoupání šroubovice drážky na odvalovací fréze na obráběném průměru.



Obrázek 2-5: Možnosti frézování šroubovicové drážky

Použitím stopkové frézy namísto kotoučové nedojde k podříznutí boku drážky, ale může se vyskytnout problém s tuhostí nástroje, z důvodu relativně vyloženého nástroje pro dosažení dna drážky. Problém tuhosti stopkového nástroje je možné zmírnit například změnou frézy čelní válcové za tvarovou, jejíž tvar může být shodný s frézou na obrázku (Obrázek 2-5) označené pozicí 7. Pozicí 5 je na obrázku (Obrázek 2-5) zobrazen nástroj, který je vykloněn právě o 90° vůči ose obrobku. Po takto vykloněném nástroji zůstane na stěně drážky po vyhrubování materiál. Zbytkový materiál vytvoří jakési schody. To se však nemusí vůbec jevit jako problém. Drážka je pouze hrubována a po operaci hrubování následují další operace vedoucí k dokončení drážky. Pozice 6 ilustruje situaci, kdy nástroj v podobě stopkové frézy je vykloněn k boku drážky tak, aby byl dodržen požadavek na co nejrovnoměrnější přídavek na obrábění po operaci hrubování. Doobrobení zbytkového materiálu v podobě schodů na boku drážky může být provedeno několika způsoby. Na obrázku (Obrázek 2-6) jsou zobrazeny dva možné způsoby. První způsobem je projetí drážky tvarovou frézou přesného tvaru drážky.

Nástroj však musel mít rozměry drážky zmenšené o přídavky. Druhou možností by bylo vyklonění stopkové frézy podél obou boků zubů, čímž by se nahradil tvarový nástroj.

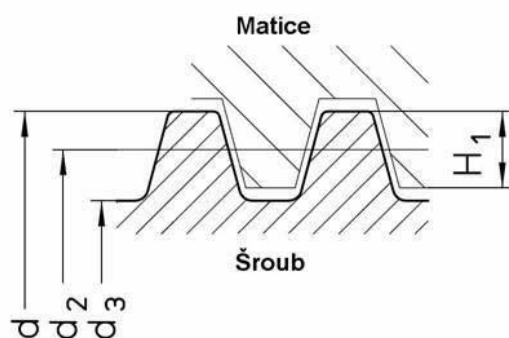


Obrázek 2-6: Možné způsoby zajištění rovnoměrného přídavku na boku drážky

Pro frézování šroubovicových drážek z pohledu podřezávání se jeví jako lepší nástroj stopková fréza a to z několika důvodů. Prvním důvodem je fakt, že kotoučová fréza podřezává bok drážky při nezvolení dostatečného přídavku na obrábění. Tento problém u stopkové frézy nevzniká. Dalším důvodem výhodnosti stopkové frézy oproti kotoučové je výkonové zatížení stroje. Při frézování kotoučovou frézou bude vřetenou stroje zatíženo více než u stopkové frézy při stejných řezných silách. Je to dáno průměrem kotoučové frézy. Nevýhodou stopkové frézy oproti kotoučové je její nižší tuhost, která je dána potřebným vyložení nástroje pro dosažení dna drážky. To ovšem neplatí v případě upnutí kotoučové frézy na dlouhém trnu. Trn musí být tak dlouho, aby nedošlo ke kolizi vřeteníku s obrobkem.

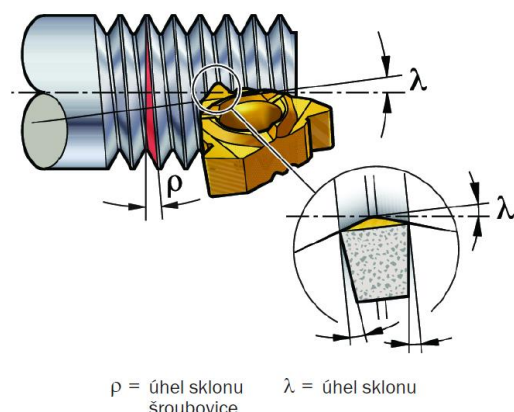
2.3.2 Soustružení

Soustružení šroubovicové drážky má jistou velmi blízkou podobnost se soustružením závitů. V obou případech nástroj koná řezný pohyb po šroubovici s daným stoupáním a výsledkem je šroubovicová drážka určitého profilu. Profil závitů může být i v jistých případech tvarově shodný s profilem šroubovicové drážky odvalovací frézy. S jistou abstrakcí lze prohlásit tímto profilem právě profil lichoběžníkového rovnoramenného závitů, viz obrázek (Obrázek 2-7). Avšak podobnost profilů je pouze tvarová, nikoli rozměrová. Šroubovicová drážka na odvalovacích frézách je rozměrově několikanásobně větší.



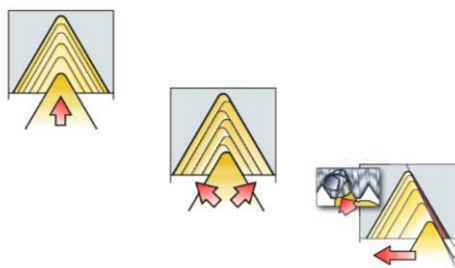
Obrázek 2-7: Profil lichoběžníkového závitu [1]

U soustružení šroubovicové drážky na odvalovací fréze není požadováno přesné dokončení tvaru (profilu) drážky, jako tomu je v případě závitů, jelikož se jedná o hrubování. Po tomto vyhrubování drážky následují další technologické operace, jak již bylo dříve uvedeno v kapitole 2.2. Protože se jedná pouze o hrubovací operaci, po které na boku a dně zůstane přídavek na další opracování, není zapotřebí pro soustružení tvarového nástroje, jako je tomu v případě soustružení – řezání závitů. Ale je možné pro hrubování zvolit jako nástroj zapichovací nůž, který ovšem bude splňovat určité požadavky. Prvním požadavkem je nastavení nástroje, nebo jen jeho řezné části, vůči obrobku tak, aby nedocházelo ke kontaktu nože s obrobenou plochou. Není tedy možné soustružit šroubovicové drážky zapichovacím nožem se stejným nastavením, jako pro obrábění zápichů na válcové ploše obrobku. Vzhledem ke zmíněné podobnosti se soustružením závitu je podobný i tento problém. Ten je dokumentován a popsán v [4]. Při řezání závitů je vůle mezi hřbetem VBD a příslušnými boky závitu velmi důležitá. Pro dosažení dlouhé životnosti nástroje, kvality závitu a předvídatelných výsledků je nutné zajistit, aby se řezná hrana VBD opotřebovávala rovnoměrně po obou stranách. Pro dosažení stejnoměrného opotřebování musí být VBD skloněna pod určitým úhlem tak, aby byla vůle mezi hřbetem VBD a jednotlivými boky závitu co možná nejsymetrickější - vůle na hřbetu. Cílem je dosáhnout stejného úhlu sklonu VBD jako je úhel sklonu šroubovice, Obrázek (Obrázek 2-8) je použit pro ilustraci úhlu hřbetu VBD. Pro obrábění šroubovicové drážky na odvalovací fréze by nebylo nemožné použít stejnou VBD jako je na obrázku, jelikož se jedná o VBD pro řezání metrického závitu.[4]



Obrázek 2-8: Vůle při řezání závitu [2]

Strategií soustružení šroubovicové drážky, respektive hrubování, může být několik v závislosti na použitém nástroji. Pokud bude zvolen tvarový nůž vhodný spíše pro menší moduly odvalovacích fréz, jsou možné strategie hrubování šroubovicové drážky shodné se strategiemi pro řezání závitu. Na obrázku (Obrázek 2-9) jsou zobrazeny tři možné strategie. Jsou jimi strategie s radiálním přísuvem, s přírůstkovým posuvem do záběru a strategie modifikovaného bočního přísuvu. Pro obrábění šroubovicové drážky na odvalovací fríze, by měl nástroj jiný tvar, než je zobrazen na obrázku (Obrázek 2-9). Obrázek je zde použit hlavně pro ilustraci směru přísuvu nástroje.



Obrázek 2-9: Strategie řezání závitu na soustruhu jednobřítým nástrojem [2]

Pro hrubování drážek na odvalovacích frézách větších modulů bude výhodnější nástroj podobný zapichovacímu noži, který bude splňovat podmínku úhlu hřbetu, aby nedošlo ke kontaktu s obrobenu plochou. Strategií soustružení drážky ve šroubovici zapichovacím nožem může být opět několik. Jejich základ může pramenit z výroby zápichů, ale s tím rozdílem že u šroubovicové drážky je zapotřebí mimo radiálního přísuvu ještě posuv do strany.

2.4 Analýza možností dostupných výrobních prostředků

Pro výběr nejlepší varianty řešení je nutné zohlednit i možnosti dostupných výrobních prostředků. To proto, aby nedošlo při realizaci vybrané varianty řešení k zjištění, že variantu nelze realizovat například z důvodu malého pracovního prostoru stroje nebo z důvodu požadavku na nástroje, které není možné vyrobit nebo by jejich použití nebylo v souladu se zachováním tuhosti nástroje, jinými slovy poměr délky a průměru nástroje by byl příliš velký.

2.4.1 Možnosti strojů

Pro hodnocení možností strojů jsou vybrány 2 NC obráběcí stroje s CNC řídicím systémem, Pětiosé CNC obráběcí centrum Hermle U1130 a 3-osý CNC soustruh EMCO TurnMAXX. Výběr strojů proběhl s ohledem na potenciální možné využití pro hrubování drážky ve šroubovici, tedy na základě rozměrů odvalovací frézy s modulem $m=25$, jakožto potenciálně největšího obrobku. Kritéria pro výběr vyplývala kromě rozměrů také z již výše uvedených podmínek kinematických. Byla to tedy především možnost realizovat řízené pohyby ve dvou translačních osách a v jedné ose rotační. Technické údaje jednotlivých strojů jsou uvedeny níže.

Limitujícími rozměry odvalovací frézy (obrobku) jsou:

- průměr obrobku
- délka obrobku
- stoupání šroubovice (rozteč zubů frézy)

Při výběru strojů se naskytl i NC soustruh SPT32, kterému by se svým výkonem 2 vybrané stroje nemohly rovnat. Důvod zamítnutí tohoto soustruhu je však ten, že podélný posuv má tento stroj „pouze“ 10 mm na otáčku². Pro odvalovací frézu s modulem $m=25$ je potřeba posuv 78,5mm na otáčku.

5-osé obráběcí centrum Hermle U1130 [5]

Hermle U1130 je 5-osé frézovací centrum. Celkový pohled na stroj je zobrazen na obrázku (Obrázek 2-10). Kinematika stroje, navrženého pro obrobky středních až větších rozměrů, spolu s CNC řídicím systémem Heidenhain iTNC530 umožňuje plynulé 5-osé obrábění. Centrum má kinematické uspořádání typu hlava-stůl³, jak je možné vidět na obrázku (Obrázek 2-11), a je vybaven třemi lineárními osami X, Y, Z a dvěma rotačními B a C. Výklopná hlava s vřeteníkem umožňuje vyklonění nástroje v ose B, tedy v rotační ose kolem osy X, v rozsahu -5° až 95° . Rozsahy jednotlivých os stroje ukazuje seznam níže.

² Informace získána při návštěvě podniku od obsluhy stroje.

³ Kinematické uspořádání hlava-stůl znamená, že stroj má výklopný vřeteník v ose B a otočný stůl v ose C.



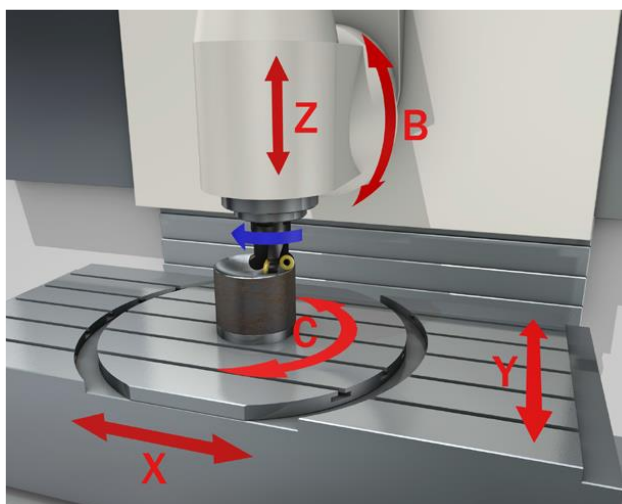
Obrázek 2-10: Celkový pohled na stroj Hermle U1130 [3]

Zdroj: http://www.ording-werkzeugbau.de/images/p_hermle_u1130_720x500.jpg

Rozsahy jednotlivých os:

- osa X: 0-1300mm
- osa Y: 0-720mm
- osa Z: 0-630mm
- osa B: $-5^{\circ}/95^{\circ}$
- osa C: $-360^{\circ}/360^{\circ}$

Nejvyšší posuvová rychlost dosažitelná v ose X nebo Y je $30\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Tato rychlost ovšem není dosažena ihned od rozjetí posuvu stroje v dané ose, ale dochází k rozjezdu se zrychlením $5\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. V ose Z je maximální posuvová rychlost ve srovnání s osami X a Y nižší. Hodnota posuvu v této ose je $20\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Taktéž i zrychlení v ose Z je ve srovnání s lineárními osami X a Y nižší o $1\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, tedy $4\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.



Obrázek 2-11: Kinematika stroje Hermle U1130 [2]

Maximální možné výkonové zatížení vřetene je 32kW. Krouticí moment nesmí překročit 200Nm. Maximální hodnoty výkonu a krouticího momentu elektromotoru vřetena jsou udávány při 30%ED. To znamená 30% využití vřetena při maximálních hodnotách výkonu nebo krouticího momentu za časové období. V technických manuálech ke stroji není časové období nijak specifikováno. Nejčastější základ pro časové období se uvádí 30 minut. Za tohoto předpokladu by bylo možné vřeteno na plný výkon zatížit po dobu 9 minut. Hodnotu maximálního výkonu/krouticího momentu pro 100%ED výrobce v technických parametrech neuvádí.

Upínací plochy stolu má rozměry 1300 mm v podélném směru (osa X) a 720mm v příčném směru (osa Y). Rotační stůl má průměr 800mm. Výrobce stroje uváděné největší možné zatížení stolu má hodnotu 1000kg. V případě upnutí obrobku pouze na rotační stůl může zatížení dosahovat hodnot 700kg.

Stroj disponuje šestnácti pozicovým řetězovým zásobníkem nástrojů a automatickou výměnou nástrojů. Upínat do vřetena je možné pouze nástroje či držáky nástrojů s kuželem SK40 a to do průměru 80mm a délky 250mm.

Soustružnické centrum Emco Maxxturn 65 [6]

Soustružnické centrum Emco Maxxturn 65 je tříosé soustružnické centrum s jedním hlavním vřetenem a vedlejším protivřetenem, které může sloužit i jako koník (podpěra obrobku), a revolverovým zásobníkem nástrojů. Stroj je navržen pro obrobky středních až větších rozměrů. Celkový pohled na stroj je zobrazen na obrázku (Obrázek 2-12).



Obrázek 2-12: Celkový pohled na stroj Emco Maxxturn [4]

Jednotlivé hodnoty rozměrů (průměrů a délek) obrobků jsou:

- maximální točný průměr nad ložem: 610mm
- maximální točný průměr obrábění: 500mm
- maximální délka obrobku: 550mm

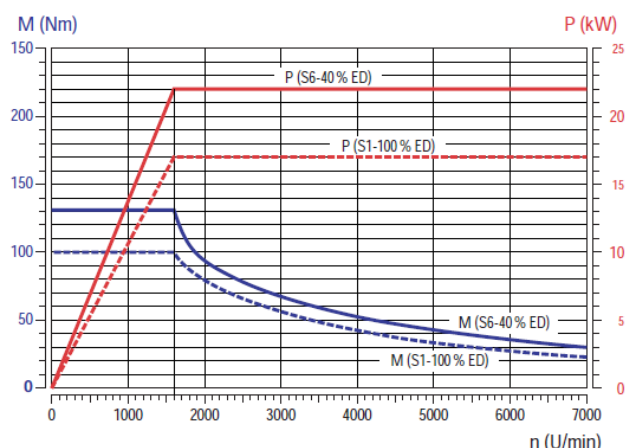
Spolu s CNC řídicím systémem Sinumerik od firmy Siemens, umožňuje soustružnické centrum plynulé 3-osé obrábění. Je vybaven dvěma lineárními osami X, Z a jednou rotačními osou C. Rozsahy jednotlivých os stroje ukazuje seznam níže.

Rozsahy jednotlivých os:

- osa X: 0-260mm
- osa Z: 0-610mm
- osa C: nekonečný rozsah

Nejvyšší posuvová rychlost dosažitelná v ose Z a X je $30\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Tato rychlost ovšem není dosažena ihned od rozjetí posuvu stroje v dané ose, ale dochází k rozjezdu se zrychlením, které výrobce stroje v technické dokumentaci neuvádí.

Maximální možné výkonové zatížení hlavního vřetene je 21kW (100%ED) a 24kW (40%ED) a krouticí moment nesmí překročit 250Nm. Momentová a výkonová charakteristika stroje je uvedena na obrázku (Obrázek 2-13). Maximální možné výkonové zatížení protivřetena je 17kW (100%ED) a 22kW (40%ED) a krouticí moment nesmí překročit 130Nm. Maximální hodnoty výkonů elektromotorů obou vřeten jsou udávány při procentuálním zatížení %ED. To znamená % využití vřetena při maximálních hodnotách výkonu za časové období. V technických manuálech ke stroji není časové období nijak specifikováno. Jako nejčastější základ pro časové období se uvádí 30 minut. Za tohoto předpokladu by bylo možné hlavní vřeteno na plný výkon 24kW zatížit při 40%ED po dobu 12 minut.



Obrázek 2-13: Momentová a výkonová charakteristika stroje Emco Maxxturn [5]

2.4.2 Analýza možností nástrojů [4]

Analýza možností nástrojů nepřímo navazuje na kapitolu 2.3 a její podkapitoly. V těchto podkapitolách byly již lehce nastíněny možné typy nástrojů pro hrubování šroubovicové drážky. V této kapitole jsou závěry z těchto podkapitol shrnuty a navrženy možné typy nástrojů pro hrubování drážky.

Vhodným materiálem nástroje pro obrábění nástrojové oceli by mohl být slinutý karbid, který v dnešní době patří mezi nejpoužívanější materiál pro řezné nástroje. Řezná rychlost pro obrábění nástrojové rychlořezné oceli nástrojem ze slinutého karbidu se pohybuje kolem 100 m/min. [4]

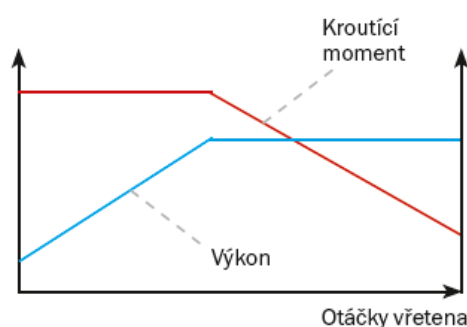
Nástroje pro frézování uvedené v kapitole 2.3.1 jsou běžně dostupnými nástroji. Pro frézování lze využít jak monolitních fréz, tak i fréz s VBD. Pro hrubování je obecně vhodné využívat čelní válcové frézy. Z pohledu volby či výběrů nástrojů pro frézování šroubovicové drážky nevyvstává žádný velký problém.

U soustružení je situace ohledně volby nástroje komplikovanější nástrojů. Ohledně vhodného nástroje bylo již psáno v kapitole 2.3.2. Nástroj pro soustružení šroubovicových drážek musí splňovat podmínku geometrie takové, aby se zamezilo kontaktu neúměrně velké části hřbetu nože po obrobeném povrchu. Nejspíše by bylo zapotřebí pro případ soustružení drážky navrhnout speciální nástroj. Ideálně by měl být takový, aby s ním bylo možné soustružit více druhů odvalovacích fréz různých modulů.

2.5 Výběr technologické varianty pro tvorbu NC podprogramu

Z předchozích podkapitol vyplývá, že vyrobit šroubovicovou drážku na odvalovací fríze lze různými technologiemi. Avšak pracnost u jednotlivých technologií se může lišit v závislosti na parametrech výrobku, zejména na modulu. Před samotnou tvorbou podprogramu je proto proveden výběr výhodnější technologické varianty. Do procesu výběru vstupují informace, které vyplývají z výše v textu provedených analýz. Nejdůležitějšími informacemi jsou

výkonové parametry strojů, jelikož právě výkonové parametry jsou často více omezujícím kritériem než parametry použitého nástroje. Toto tvrzení lze demonstrovat na soustružení velkých průměrů malou řeznou rychlostí. Moderní NC stroje mají momentovou charakteristiku, která od nulových otáček a po určitou hranici otáček má konstantní krouticí moment, viz obrázek (Obrázek 2-14). Výkon v této oblasti roste od nuly až do svého maxima. Při nízkých otáčkách obrobku je právě krouticí moment omezujícím parametrem. Pokud by skutečný krouticí moment převýšil maximální krouticí moment stroje, respektive elektromotoru stroje, došlo by k zastavení vřetena. Proto pro výběr technologické varianty bude nutné provést výpočet řezných parametrů a porovnání těchto vypočtených hodnot s parametry strojů, které jsou uvedeny v kapitole 2.4.1.



Obrázek 2-14: Závislost krouticího momentu a výkonu na otáčkách vřetena [2]

Jelikož se hrubování šroubovicové drážky týká odvalovacích fréz větších modulů, bude Je nutno podotknout, že do výpočtových vztahů vstupuje řada proměnných, kterými lze ovlivnit výsledek výpočtu. Proměnnými se zde myslí například řezná rychlost, hloubka řezu, šířka řezu, atd. Pro účely výpočtu jsou hodnoty řezných podmínek voleny na základě katalogů výrobců nástrojů a také s ohledem na doporučení odborníků z praxe.

Výpočty jsou provedeny pro dvě technologické varianty. První variantou je frézování šroubovicové drážky čelní válcovou stopkovou frézou. Druhou variantou je soustružení šroubovicové drážky zapichovacím nože uzpůsobeným pro soustružení této drážky, jak je popsáno v kapitole 2.3.2. Volba právě těchto dvou variant vychází z analýzy teoretických možností a doporučení odborníků z praxe. Výpočty výkonu a krouticího momentu pro jednotlivé varianty obrábění šroubovicové drážky jsou dále v textu rozděleny na podkapitoly.

2.5.1 Výpočet řezných parametrů pro soustružení drážky ve šroubovici

Do vzorce pro výpočet užitečného výkonu pro soustružení, zobrazeného na obrázku (Obrázek 2-15) vstupuje řada proměnných. Užitečný výkon se rovná součinu těchto řezných parametrů, jejichž výčet je uveden v seznamu níže.

- řezná rychlost v_c [m/min]
- hloubka řezu a_p [mm]
- posuv na otáčku [mm/ot]

- specifická řezná síla k_c [N/mm²]

Užitečný výkon (P_c)
(kW)

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3}$$

Obrázek 2-15: Užitečný výkon při soustružení [2]

Prvním vstupujícím parametrem je řezná rychlost. Její hodnota je pro obrábění nástrojové oceli stanovena na 100 m/min, protože materiál nástroje použitého pro soustružení drážky je slinutý karbid. V případě volby rychlořezné oceli, jako materiálu nástroje, by dosahovala řezná rychlost nižších hodnot. Při znalosti řezné rychlosti a průměru obrobku lze vypočítat otáčky vřetena podle vzorce uvedeného na obrázku (Obrázek 2-16). Tyto otáčky nefigurují při výpočtu výkonu, ale jsou použity pro kontrolu či porovnání skutečných otáček vřetena s maximálními otáčkami stroje a také pro rozhodnutí zda bude limitujícím faktorem řezného procesu maximální kroučící moment stroje či jeho maximální výkon.

Řezná rychlost (v_c)
(m/min)

$$v_c = \frac{D_m \times \pi \times n}{1000}$$

Otáčky vřetena (n)
(ot/min)

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$

Obrázek 2-16: Výpočet řezné rychlosti a otáček vřetena při soustružení [2]

Hloubka řezu a_p je v pořadí druhou hodnotou vstupující do výpočtu užitečného výkonu. Je to hodnota radiálního přísmvu nástroje do řezu. Hloubka řezu spolu s posuvem na otáčku, jenž je dalším proměnnou, udávají průřez odebírané třísky. Poslední proměnnou vstupující do vzorce pro výpočet užitečného výkonu je specifická řezná síla. Vzorec pro výpočet této síly je uveden na obrázku (Obrázek 2-17). Jedná se o řeznou sílu na plochu 1 mm² daného obráběného materiálu. Specifická řezná síla je závislá na tloušťce odebírané třísky. Pokud klesá tloušťka odebírané třísky, roste specifická řezná síla a naopak.

Specifická řezná síla (k_c)
(N/mm²)

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

Obrázek 2-17: Výpočet specifické řezné síly [2]

Vzorec pro specifickou řeznou sílu obsahuje následující veličiny:

- měrná řezná síla k_{cl} [N/mm²]
- průměrná tloušťka třísky h_m [mm]
- opravný součinitel m_c pro danou h_m [-]
- úhel čela nástroje γ_o [°]

Pro obráběný materiál RO a materiál nástroje SK jsou dány hodnoty pro výčet k_c takto:

- $k_{cl}=2360$ N/mm²
- $h_m=0,1$ mm
- $m_c=0,25$
- $\gamma_o=5^\circ$

Po zadání všech veličin, které obsahuje vzorec výpočtu užitečného výkonu, je možné vypočítat konkrétní hodnotu výkonu pro jednoho vybraného představitele ze souboru odvalovacích fréz, tedy pro odvalovací frézu s modulem $m=25$. Šířka nástroje je zvolena 4 mm. Posuv na otáčku je pro výpočet výkonu nahrazen šířkou nástroje, protože nástroj je celou svou šířkou v řezu. Tato situace odpovídá první dráze nástroje. Po dosazení do vzorce pro výpočet užitečného výkonu pro soustružení šroubovicové drážky nástrojem šířky 4mm a hloubkou řezu 0,1mm vyjde hodnota pro $P_c=2,65$ kW. Vypočtená hodnota výkonu zdaleka nepřevyšuje maximální výkon soustružnického centra, jehož hodnota je 21kW.

Z řezné rychlosti a průměru, na kterém se soustruží, lze vypočítat dle vzorce uvedeného vpravo na obrázku (Obrázek 2-16) otáčky vřetena. Největší průměr odvalovací frézy pro modul $m=25$ je 280 mm. Jestliže řezná rychlost v_c se rovná 100 m/min a soustružený průměr D_m se rovná 280 mm, otáčky vřetena jsou cca 113 ot/min. Z technické dokumentace ke stroji EMCO vyplývá, že maximální moment vřetena je 250 Nm a je konstantní do otáček $n=1500$ ot/min. Krouticí moment pro výše vypočtený užitečný výkon P_c se vypočte dle vztahu pro krouticí moment zobrazený na obrázku (Obrázek 2-18). Po dosazení užitečného výkonu P_c a otáček n vychází krouticí moment $M_c=223$ kW.

Krouticí moment (M_c)
(Nm)

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$

Obrázek 2-18: Výpočet krouticího momentu [2]

Hodnota vypočteného krouticího momentu již je relativně blízko k hranici maximálního krouticího momentu vřetena. Pro soustružnický nůž šířky 5 mm a při stejné hloubce řezu by již skutečný krouticí moment M_c přesahoval hodnotu maximálního momentu vřetena stroje. Pro porovnání varianty soustružení a frézování z časového hlediska je do výpočtu řezných

parametrů zahrnut i výpočet rychlosti úběru materiálu. Vztah pro výpočet je uveden na obrázku (Obrázek 2-19). Dosazení již dříve vypočtených či zvolených hodnot dostaneme rychlost úběru kovu pro soustružení šroubovicové drážky $Q=40\text{cm}^3/\text{min}$.

Rychlost úběru kovu (Q)
(cm^3/min)

$$Q = v_c \times a_p \times f_n$$

Obrázek 2-19: Výpočet rychlosti úběru materiálu [2]

2.5.2 Výpočet řezných parametrů pro frézování drážky ve šroubovici

Výpočet řezných parametrů pro frézování šroubovicové drážky se vztahuje k stejnému obrobku jako v případě soustružení, tedy k odvalovací fréze modulu $m=25$. To pro možnost následného porovnání obou variant. Pro následné výpočty je třeba určit, jakým typem frézy se bude drážka frézovat. Po provedené analýze v kapitole 2.3.1 vyšla jako výhodnější stopková fréza čelní válcová. Výpočty, které jsou provedeny níže v textu, jsou pro případ, kdy fréza je celým svým průměrem v materiálu obrobku. Jedná se tak o první dráhu nástroje v jedné hloubce řezu šířky drážky.

Pro výpočet užitečného výkonu při frézování platí obdobné vztahy jako v případě soustružení. Výpočet řezného výkonu se provede dle vzorce na obrázku (Obrázek 2-20). Pro výpočet je zapotřebí určit nebo vypočítat tyto proměnné:

- hloubka řezu a_p [mm]
- šířka řezu a_e [mm]
- rychlost posuvu v_f [mm/min]
- specifická měrná síla k_c [N/mm^2]

Požadovaný užitečný výkon (P_c)
(kW)

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

Obrázek 2-20: Výpočet požadovaného užitečného výkonu pro frézování [2]

Hloubka řezu a_p je zvolena dle katalogových hodnot na 3 mm. Hodnota šířky řezu odpovídá průměru nástroje, jelikož se frézuje do plného materiálu. Pro stanovení rychlosti posuvu je třeba znát počet zubů frézy, posuv na zub a otáčky frézy, které vycházejí z řezné rychlosti. Vzorec výpočtu posuvové rychlosti zobrazuje obrázek (Obrázek 2-21). Pro frézování je zvolena třízubá fréza $z_c=3$ o průměru $D_{cap}=16\text{ mm}$ a posuvu na zub $f_z=0,08\text{ mm}$. Z hodnoty počtu zubů a průměru nástroje lze stanovit počet otáček frézy, dle vzorce na obrázku

(Obrázek 2-22). Vypočtené otáčky frézy jsou $n=3979 \text{ ot/min}$. Nyní již jsou známy všechny vstupní parametry pro výpočet posuvové rychlosti. Hodnota posuvové rychlosti je $v_f=955 \text{ mm/min}$.

Posuv stolu nebo rychlost posuvu (v_f) (mm/min)	Řezná rychlost (v_c) (m/min)	Otáčky vřetena (n) (ot/min)
$v_f = f_z \times n \times z_c$	$v_c = \frac{D_{\text{cap}} \times \pi \times n}{1000}$	$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_{\text{cap}}}$

Obrázek 2-21: Výpočet rychlosti posuvu frézy [2]

Obrázek 2-22: Výpočet řezné rychlosti a otáček pro frézování [2]

K výpočtu potřebného krouticího momentu ještě zbývá určit specifickou měrnou sílu k_c . Výpočet této síly je na obrázku (Obrázek 2-23)

Jestliže hodnota γ_0 není známa, použijte $\gamma_0 = 0^\circ$, takže platí:

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c}$$

Obrázek 2-23: Specifické řezné síly při frézování [2]

Do vzorce pro výpočet specifické síly vstupují tyto hodnoty:

- $k_{c1}=2360 \text{ N/mm}^2$
- $h_m=0,08 \text{ mm}$
- $m_c=0,25$

Hodnoty proměnných k_{c1} a m_c jsou shodné jako v případě výpočtu v kapitole 2.5.1. Rozdílná je hodnota průměrné tloušťky třísky h_m . Po dosazení těchto třech hodnot do vzorce pro výpočet specifické síly vychází $k_c=4438 \text{ MPa}$. Potřebný užitečný výkon při frézování drážky stopkovou frézou o průměru 16mm v hloubce řezu 3mm je $P_c=3,4 \text{ kW}$. Dosazení vypočteného výkonu do vzorce pro krouticí moment, uvedeného na obrázku (Obrázek 2-24), vychází pro daný $M_c=8,2 \text{ Nm}$. Vypočtené hodnoty výkonu a krouticího momentu zdaleka nepřekračují maximální hodnoty výkonu (32kW) ani krouticího momentu (200Nm) stroje.

Krouticí moment (M_c)
(Nm)

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$

Obrázek 2-24: Výpočet krouticího momentu pro frézování [2]

Stejně jako v případě soustružení i u frézování není opomenut výpočet rychlosti úběru kovu, definován vzorce na obrázku (Obrázek 2-25). Dosazení hodnoty hloubky řezu, šířky řezu a posuvové rychlosti získáme hodnotu rychlosti úběru $Q=45,8\text{cm}^3/\text{min}$.

Rychlost úběru kovu (Q)
(cm^3/min)

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000}$$

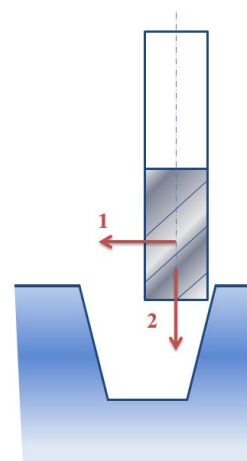
Obrázek 2-25: Rychlost úběru kovu při frézování [2]

2.5.3 Porovnání variant a výběr výhodnější varianty

Při porovnání varianty soustružení a frézování šroubovicové drážky z hlediska řezných parametrů vyplývá, že při soustružení se hodnotou požadovaného krouticího momentu dosahuje téměř maximálních hodnot stroje při zvolených řezných podmínkách. To je dáno relativně malými otáčkami a velkým průměrem, na němž se soustruží. V případě frézování se ani požadovaný výkon ani krouticí moment nepřiblížil k maximálním hodnotám vřetene stroje. A nakonec i porovnání rychlosti úběru obou variant se jeví výhodněji pro frézování. Tento ukazatel ale nemusí být vždy směrodatný. Obzvláště v případech, kdyby strojní hodinová sazba soustruhu byla výrazně nižší než frézovacího centra, pak by nemusela být varianta z nákladového hlediska nevýhodná, byť by časově nevýhodná byla.

Při rozhodování o výběru výhodnější varianty je třeba zvážit i otázku použitých nástrojů. Šroubovicovou drážku je možné frézovat konvenčními stopkovými frézami. U soustružení by bylo třeba do jisté míry speciálního nástroje, obzvláště pro velké moduly, kdyby nebylo možné použít tvarový nůž a zamezit tak kontaktu hřbetu s obrobenou plochou. Což by znamenalo vyšší náklady na nástroj.

Zvýše provedeného rozboru vyplývá výhodněji zrealizovat tvorbu parametrického podprogramu pro pětiosé frézovací centrum Hermle U1130. Drážka bude hrubována stopkovou frézou čelní válcovou. Princip realizované strategie frézování drážky ilustruje obrázek (Obrázek 2-26). Na obrázku je drážka otočena o 90° vůči skutečně realizované variantě. Číslem 1 je znázorněno rozfrézování drážky frézou v celé šířce v dané hloubce řezu a následně zajetí na další hloubku řezu, zobrazeno číslem 2. Nástroj bude po při obrábění vykloněn o 90° vůči ose Z a ke dnu drážky bude kolmo.



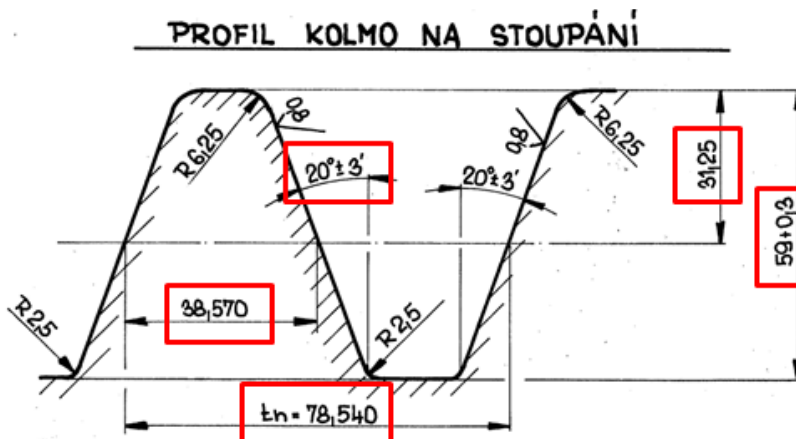
Obrázek 2-26: Realizovaná strategie frézování drážky

3 Matematický model obrábění

Matematický model obrábění tvoří základ pro tvorbu parametrického NC kódu. Pomocí matematického modelu je možné popsat geometrické parametry obráběné drážky a následně pomocí tohoto matematického popisu generovat dráhy nástroje. Konkrétně pro případ obrábění drážky ve šroubovici jde o určení několika vztahů. Vypočtené vztahy slouží pro určení vazby mezi šířkou drážky a hloubkou, ve které se aktuálně obrábí. Dalšími vztahy lze vypočítat počet drah nástroje v závislosti na průměru nástroje, natočení obrobku do startovací pozice s ohledem na polohu středu nástroje od středu drážky, atd.

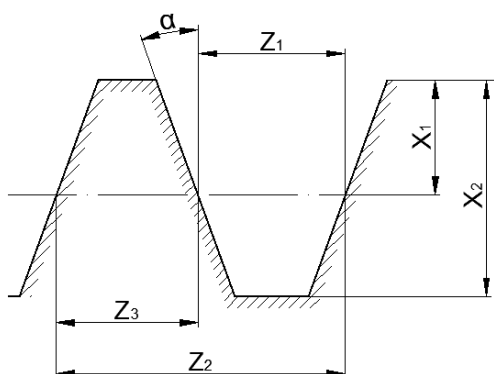
3.1 Vstupní parametry a jejich primární úprava

Veškeré geometrické parametry pro tvorbu matematického modelu jsou vztaženy k výkresové dokumentaci. Tvar drážky je popsán v normálovém řezu na stoupání šroubovice. Geometrické parametry dostatečně popisující tvar drážky jsou zvýrazněny na obrázku (Obrázek 3-1). Jsou jimi šířka zubu, rozteč zubů, výška hlavy zubu, celková výška zubu a sklon boku zubu. Dále ke geometrickým parametrům patří celková délka obrobku, průměr hlavové kružnice (největší průměr odvalovací frézy) a osové stoupání šroubovice.



Obrázek 3-1: Vstupní parametry profilu drážky

Pro tvorbu NC kódu je však třeba přepočítat, respektive vypočítat šířku drážky na největším průměru obrobku (odvalovací frézy) z výše uvedených geometrických parametrů drážky. Jelikož drážku je třeba pouze vyhrubovat, profil se dokončuje na podtáčecím soustruhu, je možné profil drážky zjednodušit, a to zanedbáním horního rádiusu u největšího průměru drážky a spodního rádiusu u dna drážky. Zanedbání spodního rádiusu je možné si dovolit s ohledem na volbu přídavek na obrábění pro dokončení profilu a také s ohledem na tvar nástroje, kterým bude drážka obráběna. Špičky břitů fréz na hrubování jsou nejčastěji se zaoblením či zkosením. Tvar drážky po zjednodušení a přepsání číselných hodnot kót za parametry, které jsou dále využity při tvorbě matematického modelu, zobrazuje obrázek (Obrázek 3-2).



Obrázek 3-2: Šířka drážky na roztečné kružnici

Z důvodu toho, že může být šířka zubu větší, rovna, nebo menší než šířka drážky na roztečné kružnici, není možné počítat šířku drážky na roztečné kružnici pouze jako polovinu rozteče v normálovém řezu (t_n). Výpočet šířky drážky je roven rozdílu rozteči a šířky zubu na roztečné kružnici, rovnice (1):

$$z_1 = z_2 - z_3 \quad (1)$$

z_1 ... šířka drážky na roztečné kružnici [mm]

z_2 ... rozměr dle výkresu [mm]

z_3 ... rozměr dle výkresu [mm]

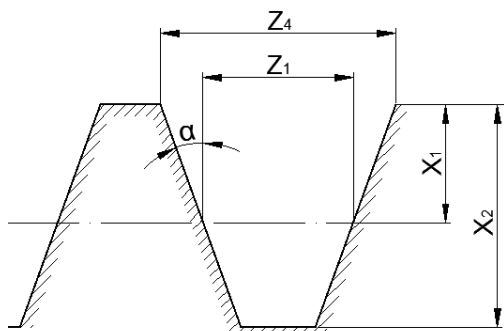
Rovnice (1) udává šířku drážky na roztečné kružnici. Pro určení drážky na největším průměru je nutné k šířce na roztečné kružnici připočítat dvojnásobek vzdálenosti, která odpovídá hloubce drážky od povrchu k roztečné kružnici vynásobenou tangentou úhlu sklonu boku drážky, viz obrázek (Obrázek 3-3).

$$z_4 = z_1 + 2 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

z_4 ... šířka drážky na největší průměru odvalovací frézy [mm]

α ... úhel boku zubu [°]

x_1 ... vzdálenost největšího průměru odvalovací frézy od roztečné kružnice [mm]



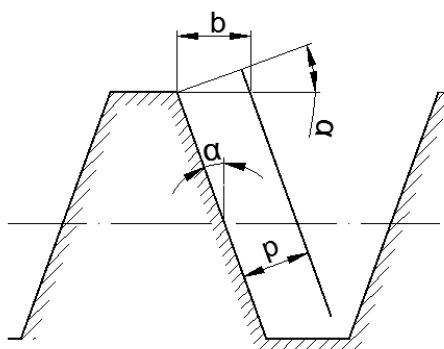
Obrázek 3-3: Šířka drážky na největším průměru odvalovací frézy

Po dosazení rovnice (1) do rovnice (2):

$$z_4 = (z_2 - z_3) + 2 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

3.2 Vztahy definující oblast obrábění

Jelikož šroubovicová drážka je pouze hrubována, připočítá se k povrchu drážky přídavek na plochu, což je kolmá vzdálenost od povrchu boku drážky. Přídavek na plochu je třeba přepočítat do směru šířky drážky, viz obrázek (Obrázek 3-4). To proto, že veškeré parametry šířky drážky jsou počítány v ose z, tedy v rotační ose obrobku.



Obrázek 3-4: Přídavek na plochu ve směru šířky drážky

Velikost přídávku, na plochu v ose z, je dána jako součin přídávku na plochu a cosinus úhlu boku sklonu drážky α . Vztah, pro přepočet přídávku na plochu na přídavek ve směru šířky drážky, udává rovnice (4):

$$b = p \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

b... přídavek ve směru šířky drážky [mm]

p ... přídavek na plochu [mm]

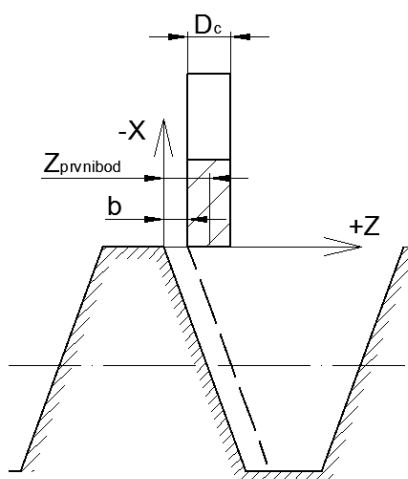
α ... úhel boku zubu [°]

Počáteční bod drážky leží ve středu šířky drážky a zůstává po celou dobu na jednom místě. Pro tento bod je v programu vztažený počáteční úhel drážky, zadávaný uživatelem parametrického programu.

Nyní je však třeba určit počáteční bod drážky, ke kterému budou dále počítány další parametry, počátek pro výpočty. Tento počátek leží na levém okraji drážky vždy v aktuální hladině řezu, viz obrázek (Obrázek 3-5). Počátek pro výpočty se tedy vůči pevnému počátečnímu bodu drážky posouvá s hloubkou frézování drážky. Počátek pro výpočty je umístěn právě takto s ohledem na zvolenou strategii obrábění, která počítá s postupným rozfrézováním drážky, tedy pohybem nástroje od jednoho okraje k druhému s daným bočním přísuvem. Volba levého kraje drážky vychází čistě z autorova rozhodnutí. Indexy u os Z a X

znázorněných na obrázku (Obrázek 3-5) udávají svým směrem v kladném smyslu směr frézování drážky.

První bod středu nástroje od počátku pro výpočty od tohoto bodu ve vzdálenosti vyjádřené součtem přídatku na plochu v ose z a poloměru nástroje, viz rovnice (5). Vzdálenost prvního bodu od počátku pro výpočty je konstantní pro jeden průměr v celé hloubce drážky.



Obrázek 3-5: Vzdálenost prvního bodu

$$z_{prvni bod} = b + \frac{D_c}{2} \quad (5)$$

$z_{prvni bod}$... vzdálenost nájezdu prvního bodu středu nástroje v jedné hladině řezu [mm]

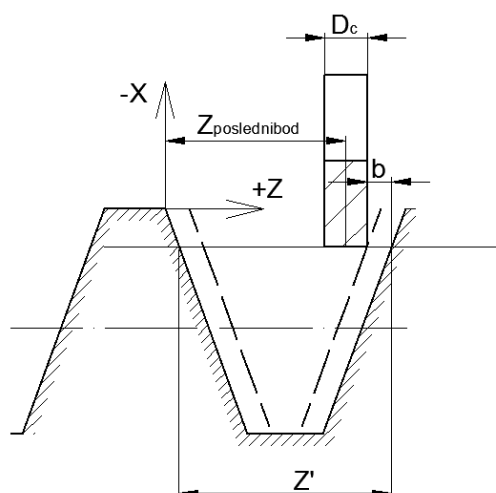
D_c ... průměr nástroje [mm]

b ... přídavek ve směru šířky drážky [mm]

Po dosazení rovnice (4) do rovnice (5):

$$z_{prvni bod} = p \cdot \cos \alpha + \frac{D_c}{2} \quad (6)$$

Při výpočtu vzdálenosti posledního bodu středu nástroje od počátku pro výpočet je již nutností brát v potaz šířku drážky v aktuální hloubce řezu, jak je znázorněno na obrázku (Obrázek 3-6). Poslední bod nástroje se nachází ve vzdálenosti od počátku pro výpočet, která je dána rozdílem šířky drážky v aktuální hloubce řezu, poloměru nástroje a přídatku na plochu promítnutého do osy z.



Obrázek 3-6: Vzdálenost posledního bodu

Rovnice pro výpočet vzdálenosti posledního bodu od počátku pro výpočet má tvar:

$$z_{\text{poslednibod}} = z' - b - \frac{D_c}{2} \quad (7)$$

$z_{\text{poslednibod}}$... vzdálenost nájezdu posledního bodu středu nástroje v jedné hladině řezu [mm]

Po dosazení rovnice (4) do rovnice (7):

$$z_{\text{poslednibod}} = z' - p \cdot \cos \alpha - \frac{D_c}{2} \quad (8)$$

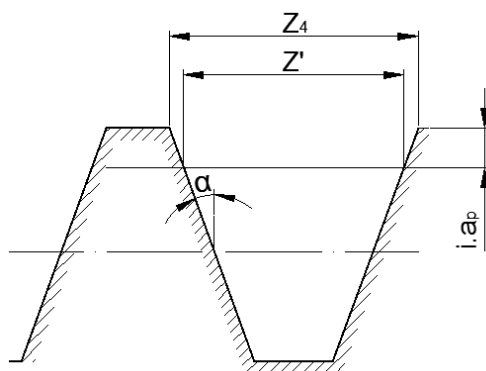
V rovnicích (4) a (5) je uvedena proměnná z' . Tato proměnná udává šířku drážky v hladině řezu, viz obrázek (Obrázek 3-7). Pokud je úhel boku drážky různý v intervalu od (0,90), zároveň se mění i proměnná z' .

$$z' = z_4 - 2 \cdot i \cdot a_p \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (9)$$

z' ... šířka drážky v hladině řezu dané hloubkou řezu [mm]

a_p ... hloubka řezu přepočtená podle celkové hloubky drážky [mm]

i ... index počtu řezů (myšleno počet hladin řezů) [-]



Obrázek 3-7: Šířka drážky v hladině řezu

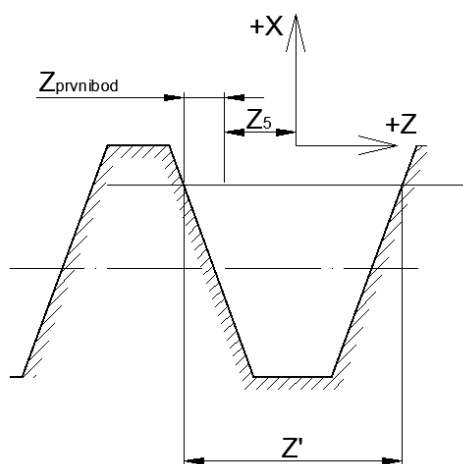
Po dosazení rovnice (3) do rovnice (9):

$$z' = [(z_2 - z_3) + 2 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha] - 2 \cdot i \cdot a_p \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (10)$$

První bod středu nástroje je třeba přepočítat ke středu šroubovicové drážky s ohledem na další tvorbu NC kódu, kde je zvolen střed drážky za referenční hodnotu startovacího úhlu.

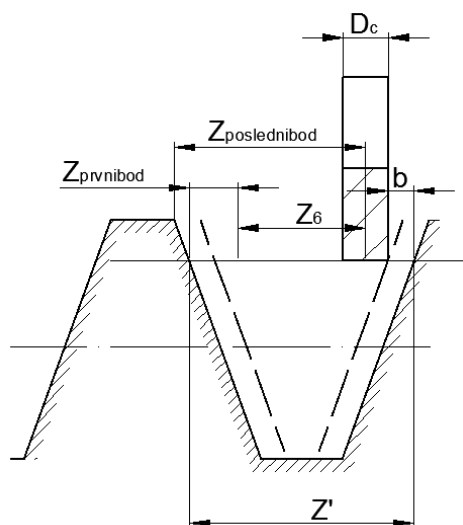
$$z_5 = \frac{z'}{2} - z_{\text{prvníbod}} \quad (11)$$

z_5 ... vzdálenost prvního bodu středu nástroje od středu drážky [mm]



Obrázek 3-8: Vzdálenost prvního bodu středu nástroje od středu drážky

Vzdálenost prvního a posledního bodu středu nástroje v jedné hladině řezu s ohledem na přidavek na obrábění určuje zbytek šířky drážky, kterou je třeba obrobít.



Obrázek 3-9: Vzdálenost prvního a posledního bodu středu nástroje v jedné hladině řezu

$$z_6 = z' - 2 \cdot \left(b + \frac{D_c}{2} \right) \quad (12)$$

z_6 ... vzdálenost prvního a posledního bodu středu nástroje v jedné hladině řezu [mm]

Postup obrábění šířky drážky dané rovnicí (12) je proveden pomocí výpočtu potřebných průchodů nástroje. Vzdálenost odpovídající parametru z_6 vydělená průměrem nástroje, korigovaným koeficientem snížení radiální šířky řezu, se rovná nezaokrouhlenému počtu potřebných průchodů nástroje.

$$s' = \frac{z_6}{D_c \cdot k_{D_c}} \quad (13)$$

s' ... počet průchodů nástroje v jedné hladině řezu [-]

k_{D_c} ... koeficient snížení radiální šířky řezu [-]

Po zaokrouhlení rovnice (13) na nejbližší vyšší celé číslo je již znám skutečný počet průchodů nástroje v šířce drážky dané rovnicí (12).

$$s \doteq \text{nahoru}(s') \quad (14)$$

s ... zaokrouhlený počet průchodů nástroje v jedné hladině řezu na nejbližší vyšší číslo [-]

Pak skutečná vzdálenost bodů středu nástroje v šířce drážky dané rovnicí (12) je dána podílem vzdálenosti mezi prvním a posledním bodem středu nástroje a skutečným počtem průchodů nástroje.

Aktuální hloubka řezu od povrchu obrobku je pak dána rovnicí:

$$x = \frac{D}{2} - i \cdot a_{p\text{přepoč}} \quad (18)$$

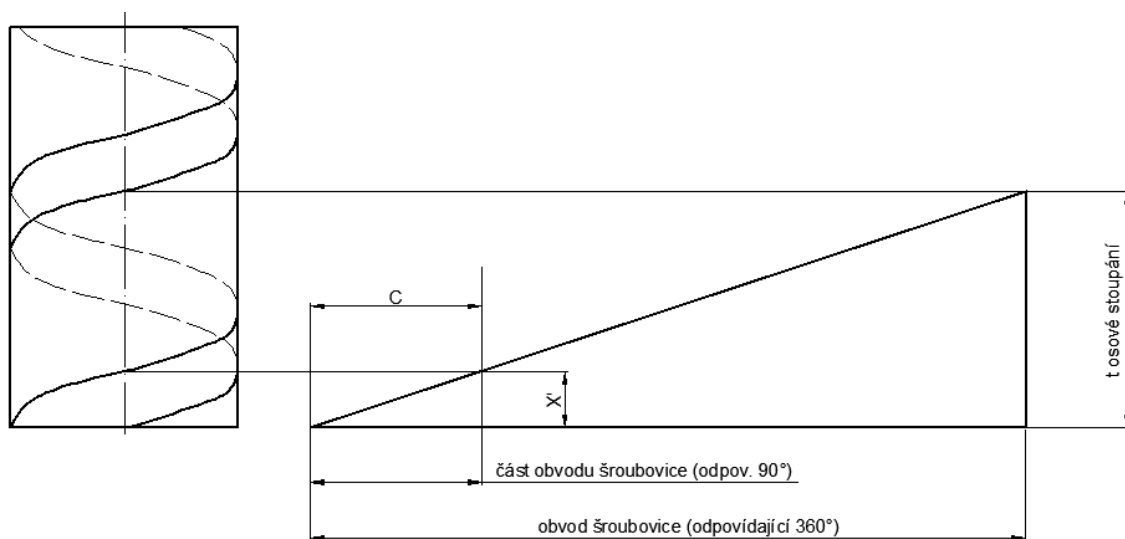
x ... aktuální hloubka řezu [mm]

i ... index počtu řezů (myšleno počet hladin řezů) [-]

a_p ... hloubka řezu [mm]

3.3 Natočení obrobku do startovní pozice

Princip natáčení obrobku o určitý úhel C vychází z představy dvou vzájemně osově posunutých šroubovic se stejným stoupáním. Šroubovicemi je zde znázorněna dráha středu nástroje při frézování šroubovicové drážky. Obě šroubovice leží na stejném průměru, což při frézování drážky znamená, že se fréza pohybuje ve stejné hloubce řezu v obou případech. Účelem výpočtu natočení startovacího bodu pro dvě posunuté dráhy nástroje po šroubovici je nalezení úhlu natočení obrobku oproti výchozí poloze a dodržení podmínky normálového postavení nástroje ke dnu drážky při rozfrézování drážky do strany nástrojem menšího průměru než je šířka drážky.



Obrázek 3-11: Úhel natočení mezi dvěma šroubovicemi se shodným osovým stoupáním

Výpočet úhlu natočení C podle rovnice (20) udává přepočet osového posunutí dvou šroubovic stejného stoupání v závislosti na proměnném osovém posunutí. Vzdálenost osového posunutí je ve vzorci nazvána vzdáleností od středu profilu v ose. To proto, že střed profilu je považován z hlediska počátku šroubovice jako základní bod. Na obrázku (Obrázek 3-11) je znázorněn případ, kdy dvě šroubovice jsou vzájemně osově posunuty o 0,25 násobku osového stoupání. Pokud se přenesou osové posunutí těchto dvou šroubovic do rozvinuté šroubovice, je možné pak určit o kolik stupňů je jedna šroubovice posunuta od druhé, jelikož osové stoupání

je dáno na obvod válce, na kterém je šroubovice navinuta. Obvod válce je ovšem možné vyjádřit jako 360° . Poté je možné z rozvinuté šroubovice změřit, že osové posunutí dvou šroubovic stejného osového stoupání na shodné válcové ploše odpovídá úhlu natočení 90° .

$$\frac{C}{X'} = \frac{360}{t} \quad (19)$$

C ...úhel natočení [$^\circ$]

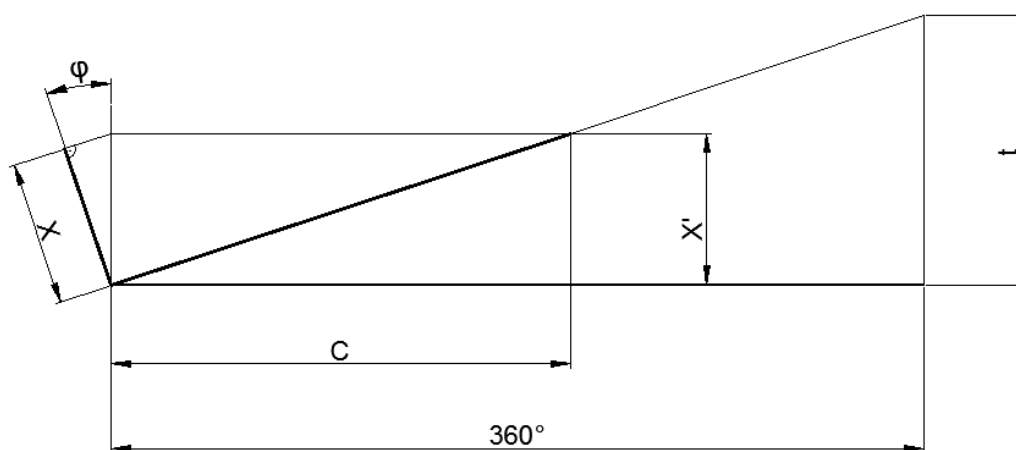
X' ... vzdálenost od středu profilu v ose [mm]

t ... stoupání šroubovice [mm]

Rovnici (19) lze přepsat do tvaru:

$$C = \frac{360}{t} \cdot X' \quad (20)$$

V případě hrubování šroubovicové drážky je nutné ještě vyšetřit závislost posunutí bodu na kolmici ke šroubovici a vzdálenosti od středu profilu drážky v ose, viz obrázek (Obrázek 3-12). To proto, že profil odvalovací frézy je na výkresové dokumentaci definován v normálovém řezu ke šroubovici. Pro vyjádření výše popsané závislosti je opět použit rozvin šroubovice. Nyní však je kolmo k počátku přikreslena úsečka dané vzdálenosti X. Vzdálenost X představuje vzdálenost posunutí středu nástroje od středu profilu drážky. Vzdálenost středu nástroje, která je vypočtena v předchozí kapitole, se pomocí úhlu stoupání šroubovice přepočítá na vzdálenost osového posunutí od středu profilu. Přepočtená vzdálenost je rovna podílu vzdálenosti v normálovém řezu a kosinu úhlu stoupání šroubovice φ , viz rovnice (21).



Obrázek 3-12: Úhel natočení mezi dvěma body na přímce kolmé ke šroubovici

$$X' = \frac{X}{\cos\varphi} \quad (21)$$

X' ... vzdálenost od středu profilu v ose [mm]

X ... vzdálenost od středu profilu v normálovém řezu [mm]

φ ... úhel stoupání šroubovice

Úhel stoupání šroubovice je závislý na průměru válcové plochy, na které je šroubovice navinuta. Pokud dvě šroubovice mají stejné stoupání, ještě nelze tvrdit, že mají i stejný úhel stoupání šroubovice. Pokud jedna šroubovice bude mít menší průměr válcové plochy, na níž je navinuta, pak její úhel stoupání šroubovice bude větší než úhel stoupání šroubovice, která bude navinuta na válcové ploše většího průměru. V podprogramu pro hrubování drážky je mimo jiné zadávána hloubka přísuvu pro frézování. Tato hodnota udává, o kolik milimetrů nástroj zajede pod povrch obrobku. Tím pádem lze vypočítat průměr válcové plochy, po které se střed na čele nástroje bude pohybovat. Proto, aby v podprogramu nebylo nutné počítat úhel stoupání šroubovice, je tento úhel matematickou úpravou nahrazen stoupáním šroubovice a obvodem válcové plochy, na které šroubovice leží. Postup matematických úprav je znázorněn rovnicí (22). Nejdříve je třeba provést úpravu goniometrické funkce $\cos\varphi$ na $\cos^2\varphi$. Po vyjádření $\cos^2\varphi$ pomocí $\tan^2\varphi$ je možné do vzorce pro přepočtení vzdálenosti od středu profilu drážky v normálovém řezu a osové vzdálenosti dosadit proměnné pro stoupání šroubovice a poloměru šroubovice.

$$\begin{aligned} X' &= \frac{X}{\cos\varphi} = X \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi}} = X \cdot \sqrt{1 + \tan^2\varphi} \\ &= X \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{t}{2 \cdot \pi \cdot r}\right)^2} \end{aligned} \quad (22)$$

r ... poloměr šroubovice [mm]

t ... stoupání šroubovice [mm]

Výsledný tvar rovnice (20) po dosazení za proměnnou X' z rovnice (22) je:

$$C = \frac{360}{t} \cdot X \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{t}{2 \cdot \pi \cdot r}\right)^2} \quad (23)$$

3.4 Kontrola hloubky řezu

Kontrolu dosažení konečné hloubky drážky, s případným přídavkem na dno drážky, v NC programu zajistí podmínka rovnosti počtu vykonaných a vypočtených průjezdů v jednotlivých hloubkách řezu daných přísuvem a_p přepoč. Od uživatelsky zadaného přísuvu se přepočítaný

přísuv odlišuje o odchylku, která vzniká při zaokrouhlení počtu potřebných přísuvů k dosažení požadované hloubky řezu. Například při obrábění drážky hluboké 23,1 mm a požadovaném přísuvu $a_p=1$ mm bude vlivem odchylky skutečný přísuv $a_{p \text{ přepoč}}=0,96$ mm.

$$s'_1 = \frac{D - [D - 2 \cdot (x_2 - p_{dno})]}{2 \cdot a_p} = \frac{x_2 - p_{dno}}{a_p} \quad (24)$$

s_1 ... nezaokrouhlený počet přísuvů pro dosažení hloubky drážky [-]

a_p ... uživatelem NC programu zadaný přísuv [mm]

Jelikož počet přísuvů k dosažení požadované hloubky drážky nemůže být desetinné číslo, za předpokladu, že by z výpočtu desetinné číslo vyšlo, je třeba jej zaokrouhlit a to na nejbližší vyšší celé číslo.

$$s_1 \doteq \text{nahoru}(s'_1) \quad (25)$$

s_1 ... zaokrouhlený počet přísuvů pro dosažení hloubky drážky [-]

Skutečná hloubka přísuvu se pak vypočte z rovnice (25):

$$a_{p \text{ přepoč}} = \frac{x_{max}}{s_1} \quad (26)$$

$a_{p \text{ přepoč}}$... skutečná hloubka přísuvu s ohledem na požadovanou hloubku drážky [mm]

x_{max} ... maximální možné hloubka obrábění drážky (vztaženo k počátečnímu bodu) [mm]

Jak bylo uvedeno na začátku této kapitoly, kontrola dosažení hloubky drážky je provedena pomocí počtu hloubek přísuvů. To znamená, že drážka, z pohledu hloubky, bude obrobena když:

$$s_1 = i \quad (27)$$

s_1 ... zaokrouhlený počet přísuvů pro dosažení hloubky drážky [-]

i ... koeficient počtu již odjetých hloubek řezu [-]

Pro kontrolu dosažení požadované šířky drážky v jedné hloubce řezu (v jedné hloubce přísuvu) je využito stejné metody, jako v případě kontroly dosažení hloubky drážky. Při rovnosti rovnice (14) a koeficientu počtu průchodů nástroje v hloubce řezu, je dosaženo požadované šířky drážky.

$$s = j \quad (28)$$

4 Parametrický podprogram

Parametrickým podprogramem lze nazvat jakýkoliv NC program, který ve své struktuře obsahuje kromě číselně zadaných hodnot souřadnic os, hodnot posuvů a otáček, a dalších hodnot, také hodnoty zadané parametry, respektive proměnnými, a je volán v jiném programu. Podprogram může obsahovat vnější i vnitřní parametry. Vnějšími parametry jsou takové parametry, které zadává uživatel podprogramu, například operátor NC stroje. Tyto parametry nejčastěji definují geometrické rozměry obrobku, případně technologické parametry, kterými jsou řezná rychlost, posuv, atd. Vnější parametry se nacházejí obvykle v hlavním programu, ve kterém je podprogram volán, to kvůli jisté přehlednosti, ale i faktu, že od těchto vnějších parametrů jsou případně odvozeny parametry vnitřní. Vnitřní parametry jsou parametry, které již uživatel nedefinuje. Tyto parametry jsou uvnitř podprogramu a jejich účelem jsou pomocné výpočty uvnitř programu, uchovávání dočasných hodnot parametrů, slučování více parametrů do jednoho, pokud řídicí systém například neumožňuje matematické operace více parametrů v jednom bloku.

Parametrický podprogram je přímo navržen pro hrubování šroubovicové drážky na odvalovacích frézách. Z toho vyplývají i níže popisované Q parametry, které v podprogramu figurují a které jsou zvoleny na základě výkresové dokumentace k odvalovacím frézám, viz obrázek 4-1. Ale jelikož jsou vstupní Q parametry uvnitř podprogramu přepočítávány na vnitřní parametry, kterými jsou například šířka drážky na největší průměru a průměr dna drážky, lze nepříliš složitými úpravami podprogramu vytvořit nový podprogram pro frézování šroubovicové drážky, která je definována právě šířkou na největším průměru frézy a průměrem dna drážky.

4.1 Q parametry

Parametry jsou v parametrickém podprogramu jakýmsi stavebními kameny. Pro parametrické programování jsou v jazyce Heidenhain označeny parametry jako Q parametry.

V následujících podkapitolách jsou čtenáři představeny vnější Q parametry vstupující do parametrického podprogramu. Tyto vnější parametry, jsou jedinými parametry, které má uživatel možnost editovat.

4.1.1 Geometrické Q parametry

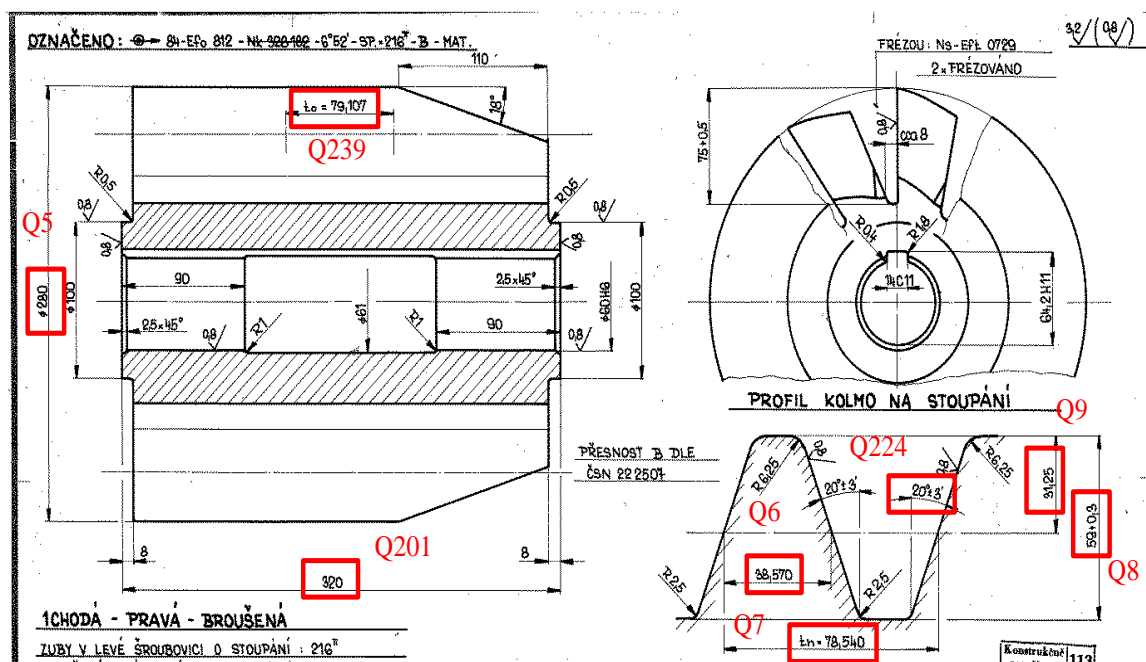
Vstupní geometrické parametry zadávané uživatelem jsou parametry, jejichž hodnoty jsou zjistitelné z výkresové dokumentace. To proto, aby se předešlo případným chybám, které by mohly pramenit z přepočítávání hodnot rozměrů drážky na hodnoty, s kterými pracuje podprogram. Jedním příkladem je šířka drážky na největším průměru obrobku. Pokud by v NC programu musel uživatel zadávat zmíněnou šířku drážky na největším průměru, znamenalo by to buď již zmíněný přepočet nejdříve ze šířky zubu na roztečné kružnici a rozteče na šířku drážky na roztečné kružnici. Následoval by, i s ohledem na úhel sklonu boku zubu, samotný výpočet šířky drážky na největším průměru. Výpočet není náročný z pohledu matematické analýzy, ale může být potencionálním zdrojem chyb. Proto je proces výpočtu

zajištěn vnitřními parametry v podprogramu. Přehled uživatelem zadávaných 8 geometrických Q parametrů zobrazuje tabulka 4-1.

Q5	PRŮMĚR OBROBKU
Q201	DÉLKA OBROBKU (v absolutních souřadnicích od nul. bodu obrobku)
Q239	STOUPÁNÍ OSOVÉ t_0 (+pravé, -levé)
Q6	ŠÍŘKA ZUBU (z profilu kolmo na stoupání)
Q7	ROZTEČ ZUBU t_N
Q8	CELKOVÁ VÝŠKA ZUBU
Q9	VÝŠKA ZUBU
Q224	ÚHEL SKLONU BOKU DRÁŽKY

Tabulka 4-1: Přehled geometrických Q parametrů

Hodnota průměru obrobku je zadávána do parametru Q5. U odvalovací frézy je to největší průměr frézy. Další v pořadí druhým geometrickým Q parametrem je parametry Q201, což je délka obrobku. Délku obrobku je třeba zadávat v absolutní hodnotě od nulového bodu obrobku. Parametrický program je vytvořen pro nulový bod definovaný na horní ploše čela obrobku. Z toho vyplývá, že hodnoty délky obrobku jsou zadávány se znaménkem mínus (například -320). Parametr Q239 náleží pro hodnotu stoupání šroubovice na výkrese označované jako t_0 . Stoupání t_0 je osové stoupání šroubovice. Pro zadání smyslu stoupání šroubovicové drážky doprava musí být hodnota stoupání kladná. Pro zadání levotočivé šroubovice musí být zadáno stoupání se znaménkem mínus. Po definici průměru obrobku, délky obrobku a osového stoupání t_0 následuje pět geometrických parametrů, jejichž hodnoty jsou spjaty s profilem drážky kolmo ke šroubovici. První z těchto pěti parametrů je parametr Q6, šířka zubu. Šířka zubu je na výkrese zakótována na roztečné kružnici. Po definici parametru Q6 následuje parametr Q7. Parametr Q7 v sobě uchovává hodnotu rozteče zubu t_n , což je hodnota stoupání šroubovice v profilu kolmo ke šroubovici. Zbylé tři parametry souvisejí s výškou zubu a úhlem sklonu zubu, respektive úhlem sklonu drážky. Parametrem Q8 definuje uživatel celkovou výšku zubu. Druhou výškou zubu zadávanou do parametru Q9 je výška zubu od největšího průměru odvalovací frézy k roztečné kružnici. Posledním z osmi geometrických parametrů je parametr úhlu sklonu boku drážky, parametr Q224. U tohoto parametru je možné zadávat hodnoty od 0 až do 89°. Zadání větších hodnot než 89° by znamenalo to, že drážka by měla nulovou hloubku. Bok drážky by se o 90° pootočil a stalo by se z něho dno drážky. Zadání záporných hodnot by zase znamenalo, že profil drážky by se postupně od horní hrany drážky až ke dnu drážky rozšiřoval.



Obrázek 4-1: Vnější geometrické Q parametry

4.1.2 Technologické Q parametry

Skupinou parametrů, které již nesouvisí s geometrií obráběné drážky, ale souvisejí přímo s rezným pohybem nástroje a přejezdy mezi řezy, jsou technologické parametry. Přehled uživatelsky zadávaných technologických parametrů dává tabulka 4-2.

Prvním technologickým parametrem je parametr Q203, který uchovává hodnotu vzdálenosti povrchu čela obrobku-odvalovací frézy od nulového bodu obrobku. Hodnota parametru Q203 může být kladná i záporná, nebo nula. Kladná hodnota bude, pokud povrch čela je nad nulovým bodem, tedy pokud Z souřadnice povrchu čela je kladná. Pokud čelo bude mít Z souřadnici zápornou, tehdy bude i parametr Q203 záporný. V pořadí dalším parametrem je parametr Q200 definující vzdálenost nástroje od povrchu čela obrobku ve které nástroj najíždí k povrchu čela. Parametr Q200 musí být kladný a větší než nula. Pokud by byl nulový, znamenalo by to, že nástroj najíždí přímo na povrch čela obrobku, což s přihlédnutím k rychlosti posuvu příjezdu nástroje do bodu nájezdu, který je rychloposuv, by mohlo znamenat i zničení nástroje. Záporná hodnota by znamenala jisté zničení nástroje, jelikož by nástroj přijel pod povrch čela rychloposuvem.

Q203	POVRCH
Q204	ODJEZD
Q200	NÁJEZD
Q205	PŘEJEZD
Q368	PŘÍDAVEK NA STĚNU p
Q369	PŘÍDAVEK NA DNO p _{dno}

Q207	PRACOVNÍ POSUV
Q202	HLOUBKA PŘÍSUUVU a_p
Q351	DRUH OBRÁBĚNÍ FRÉZOVÁNÍM U M03 (+1 sousledné, -1 nesousledné)
Q370	FAKTOR PŘEKRYTÍ DRÁHY

Tabulka 4-2: Přehled geometrických Q parametrů

Po projetí celé délky šroubovicové drážky je potřeba, aby nástroj ještě přešel o určitou vzdálenost pod povrch spodního čela obrobku (myšleno v ose z) a tím dofrézoval drážku. Pokud by hodnota parametru Q205 byla nulová, nástroj by dojel svým středem na spodní hranu povrchu čela obrobku. Po vyplnění parametru přejezdu následují dva parametry související s přídávky na obrábění. Jsou jimi parametry Q368 a Q369. První z dvou přídavek je přídavek na stěnu drážky. Velikost přídávku je kolmou vzdáleností ke stěně drážky. V programu je parametr přepočítán do směru šířky drážky, a tudíž není třeba zadávat ani jakkoliv přepočítávat přídavek do směru šířky drážky. Druhým z přídavek je přídavek na dno drážky. Přídavek na dno je definován jako kolmá vzdálenost od povrchu dna drážky. Po definici obou přídavek, následuje zadání hodnoty pracovního posuvu. Parametr udávající posuvovou rychlost frézy je označen Q207. Hloubka přísuvu a_p se skrývá pod parametrem Q202. Předposledním z technologických Q parametrů je parametr Q351. Hodnotou tohoto parametru uživatel definuje, zda drážka bude obráběna sousledně či nesousledně při pravém smyslu otáček nástroje. Pro sousledné frézování nabývá parametr Q351 hodnoty +1 a pro nesousledné -1. Posledním technologickým parametrem je parametr Q370. Tento parametr může nabývat hodnot 0 až 1 a slouží pro snížení délky posunutí mezi průjezdy nástroje v jedné hloubce. Jinými slovy, když parametr Q370 se bude rovnat právě 1, pak se nástroj v jedné hloubce bude posouvat po projetí celkové dráhy šroubovicové drážky o vzdálenost rovnající se právě průměru nástroje. Pokud uživatel zadá do parametru Q370 hodnotu 0,5, pak se nástroj posune pouze o polovinu svého průměru.

4.1.3 Ostatní Q parametry

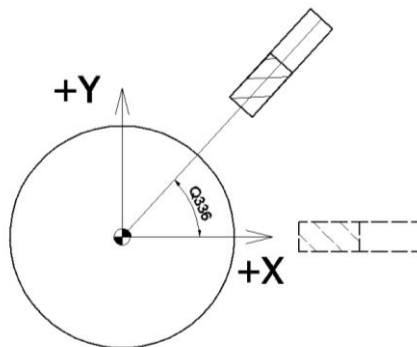
Poslední skupinou Q parametrů, které má možnost uživatel změnit či zadat, jsou parametry, kterými se definuje souřadnice středu obrobku v osách X a Y vůči nulovému bodu a počáteční startovní úhel drážky. Přehled ostatních parametrů udává tabulka 4-3.

Q336	STARTOVNÍ ÚHEL
Q216	X SOUŘADNICE STŘEDU
Q217	Y SOUŘADNICE STŘEDU

Tabulka 4-3: Přehled geometrických Q parametrů

Startovní úhel šroubovicové drážky, je úhel, který svírá v rovině XY průsečík středu obrobku a průsečík středu šířky drážky, viz obrázek (Obrázek 4-2). Pokud je zadána nulová hodnota

startovního úhlu, pak fréza, kterou se drážka obrábí, najíždí v ose X. Zadání startovního úhlu má význam především pokud by byl požadavek na frézování dvou a více šroubovicových drážek vůči sobě vzájemně pootočených o daný úhel. Zadání jiných hodnot parametrů Q216 a Q217 než 0 by znamenalo například to, že nulový bod obrobku, jenž je válcového tvaru, není ve středu obrobku. Jednalo by se o speciální případ, který pravděpodobně nikdy v průběhu využívání cyklu nenastane, ale pro případ specifického požadavku někdy v budoucnu je zde tato možnost posunutí středu vůči nulovému bodu obrobku zahrnuta.



Obrázek 4-2: Parametr Q336-startovací úhel

4.2 Přepis matematického modelu pomocí Q parametrů

V kapitole 3 jsou stanoveny matematické výrazy, které poslouží pro tvorbu parametrického podprogramu. Proměnné musí být přepsány za Q parametry proto, aby tyto výrazy mohly být v parametrickém podprogramu využity. Bez toho by řídicí systém nemohl rozpoznat jednotlivé výrazy. Přepisovat matematické výrazy je vhodné tehdy, když matematické výrazy jsou v ideálním případě v co nejvíce zkráceném tvaru. Pomůže to řídicímu systému s rychlostí výpočtu výrazů s parametry a k plynulému běhu programu při samotném obrábění.

Přepis matematických výrazů Q parametry by se mělo provádět po určitých úpravách těchto výrazů. Z tohoto důvodu přepis matematických rovnic z kapitoly 3 nezačíná od první rovnice a nepokračuje po jednotlivých rovnicích až k poslední. Ale přepisovány jsou vždy ty rovnice, které obsahují pouze vnější parametry, tedy parametry zadávané uživatelem. První takovou rovnicí je rovnice pro výpočet šířky drážky na největším průměru obrobku, rovnice (3) v kapitole 3. Do rovnice vstupují geometrické parametry rozteč zubu t_n (Q7), šířka zubu (Q6), výška zubu (Q9) a úhel sklonu boku drážky (Q224). Hodnota šířky drážky na největším průměru je uložena do vnitřního parametru Q5 a po přepisu proměnných za Q parametry má rovnice následující tvar:

$$Q5 = (Q7 - Q6) + 2 \cdot Q9 \cdot \operatorname{tg} Q224 \quad (1)$$

Do rovnice (6) v kapitole 3 pro výpočet vzdálenosti prvního bodu středu nástroje vstupují parametry vnější i vnitřní. Vnějšími parametry jsou přídavek na stěnu (Q368) a úhle sklonu

boku drážky (Q224). Vnitřním parametrem je parametr Q108. Parametr Q108 uchovává hodnotu poloměru nástroje aktuálně navoleného nástroje. Vzdálenost prvního bodu nájezdu nástroje od počátečního bodu drážky v sobě uchovává vnitřní parametr Q10:

$$Q10 = Q368 \cdot \cos Q224 + Q108 \quad (2)$$

Následující rovnicí pro přepis pomocí Q parametrů je rovnice (8) z kapitoly 3. Tato rovnice slouží pro výpočet posledního bodu nájezdu nástroje v určité hloubce řezu. Parametry, které figurují v přepsané rovnici (8) jsou šířka drážky v hladině řezu (Q7), dále pak stejné parametry jako v případě výpočtu prvního bodu nájezdu. Parametr Q7 je vnitřní parametr. Jeho definice je uvedena níže. Hodnotu vzdálenosti posledního bodu nájezdu uchovává parametr Q11. Přepsaná rovnice (8) pomocí Q parametrů má tvar:

$$Q11 = Q7 - Q368 \cdot \cos Q224 - Q108 \quad (3)$$

V předchozí rovnici byl použit vnitřní parametr, který je ale třeba vypočítat. Tím vnitřním parametrem je šířka drážky v hloubce řezu. Přepsáním proměnných v rovnici (9) vznikne nová rovnice pro výpočet parametru Q7. Do rovnice vstupují parametry šířky drážky (Q5), parametr hloubky řezu (Q12) a parametr úhlu sklonu boku drážky. Přepsaná rovnice pak má tvar:

$$Q7 = Q5 - 2 \cdot Q12 \cdot \operatorname{tg} Q224 \quad (4)$$

Následující výpočet je v parametrickém programu zařazen, aby byla vypočtena vzdálenost prvního bodu nájezdu v dané hloubce řezu pro následné natočení obrobku. Vzdálenost prvního bodu středu nástroje je vypočítána ke středu šroubovicové drážky. Střed drážky je zvolen jako referenční bod startovacího úhlu (Q336), který spadá mezi ostatními vnějšími parametry. Hodnota parametru Q13 je rovna rozdílu poloviční hodnoty parametru Q7 (šířka drážky v hladině řezu) a hodnoty parametru Q10 (vzdálenost prvního bodu nájezdu).

$$Q13 = \frac{Q7}{2} - Q10 \quad (5)$$

Pro kontrolu obrobení celé šířky drážky je zahrnut výpočet vzdálenosti prvního a posledního bodu nájezdu v šířce drážky, která odpovídá součtu bočních přísuvů nástroje v jedné hloubce řezu. Vzdálenost prvního a poslední bodu nástroje odpovídá šířce drážky v dané hloubce řezu zmenšené o dvojnásobek součtu přídávku na obrábění a poloměru nástroje a její hodnota je uchována v parametru Q11.

$$Q11 = Q7 - 2 \cdot (Q368 \cdot \cos Q224 + Q108) \quad (6)$$

Pomocí Q parametrů přepsaná rovnice (13), která určuje počet průchodů nástroje v jedné hloubce řezu.

$$Q88 = Q11 / (2 \cdot Q108 \cdot Q370) \quad (8)$$

Pro přepis rovnice pro výpočet maximálního počtu průchodů nástroje přes celou hloubku drážky je použita rovnice (24).

$$Q14 = ((Q16 - Q335) / 2) - Q369 / Q202 \quad (9)$$

Výpočet natočení obrobku pro první nájezd (první třísku), který je přepsán pomocí Q parametrů, má tvar:

$$Q366 = Q84 - Q351 \cdot \left[\frac{360}{Q239} \cdot Q13 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{Q239}{2 \cdot \pi \cdot Q83} \right)^2} \right] \quad (10)$$

Pro výpočet natočení obrobku pro ostatní body nájezdu nástroje dostává předchozí přepsaná rovnice tvar:

$$Q366 = Q87 + Q351 \cdot \left[\frac{360}{Q239} \cdot Q18 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{Q239}{2 \cdot \pi \cdot Q83} \right)^2} \right] \quad (11)$$

Výpočet aktuálního průměru dna po přepisu pomocí Q parametrů má tvar:

$$Q335 = Q16 - 2(Q6 + 1) \cdot Q202 \quad (12)$$

4.3 Struktura a popis průběhu podprogramu

Do této doby bylo o parametrickém podprogramu pro hrubování šroubovicové drážky na odvalovacích frézách různých modulů psáno, jako kdyby se jednalo pouze o jeden podprogram. Ve skutečnosti je členěn do dvou programů. Jsou jimi *DRAZKA-HRUB* a *DRAZKA-POV*. Program *DRAZKA-HRUB-HL*, do kterého uživatel zadává vstupní geometrické, technologické a ostatní parametry je označen jako hlavní program a to z důvodu, že podprogram je v tomto programu volán. Rozčlenění na tři programy má své opodstatnění. Podstatou členění programu je jisté zpřehlednění, zjednodušení práce při využívání podprogramu a i zabránění například nechtěnému přepisu odladěného programu. Všechny důvody, proč je rozdělen program na více částí, jsou ozřejměny dále v textu při popisu jednotlivých podprogramů.

Hlavní program *DRAZKA-HRUB-HL* je z pohledu obsluhy NC stroje či uživatele parametrického programu, jediným programem se kterým přijde do kontaktu. Program v sobě zahrnuje funkci pro vyvolání nástroje a definici jeho otáček, dále samotnou definici geometrických, technologických a ostatních Q parametrů. Pod definicí parametrů je už jen vyvolání podprogramu *DRAZKA-HRUB* a ukončení hlavního programu *DRAZKA-HRUB-HL*. Jistě by bylo možné tento hlavní program zcela vypustit a zadání parametrů a volání nástroje by mohlo být až ve volaném podprogramu. Tímto krokem by se však vytratila obrovská výhoda podprogramu, kterou je možnost vyvolání stejného podprogramu v jednom hlavním programu. Ale každý podprogram, byť se jedná pořád o ten samý, může obrábět zcela rozměrově jinou drážku. A není tomu tak, ani proto, že pro zachování přehlednosti a jisté elegantnosti. Při práci s parametrickým podprogramem je důležité uživateli cyklu předkládat pouze pro něho potřebná data, kterými jsou pouze zadávané parametry. Parametrizované programy svou povahou nebývají ve většině případů krátké a ani pro nezasvěcené osoby na první pohled příliš přehledné. To z důvodu pospání někdy i velmi složitých geometrických tvarů, či netriviálních pohybů nástroje při obrábění. Tudíž není ani snahou programátora parametrického podprogramu uživateli předkládat veškeré jádro parametrického programu, které uživatel nemá potřebu jakkoliv měnit. Ba naopak, jakákoliv změna by mohla znamenat neshodu při průběhu výpočtu a vlastním obrábění drážky.

Pro výše vyjmenované důvody vedoucí především k zpřehlednění programu je jádro parametrického programu uschováno v podprogramu *DRAZKA-HRUB*, jenž je volán v hlavním programu. Podprogram *DRAZKA-HRUB* v sobě zahrnuje parametrizované výpočty pro určení úhlu natočení obrobku do startovní pozice. Z této pozice nástroj najíždí do řezu a dochází tak k frézování drážky. Samotný pohyb nástroje po šroubovicové dráze řeší podprogram

DRAZKA-POV, který je volán v podprogramu *DRAZKA-HRUB*. Do programu *DRAZKA-HRUB* vstupují parametry definované v hlavním programu. Z geometrických parametrů se vypočtou vnitřní parametry, s kterými se dále v podprogramu pracuje. Především se jedná o šířku drážky na největším průměru obrobku, průměru dna drážky, jednotlivé šířky drážky v aktuální hloubce řezu, atd. Z těchto vypočtených parametrů a dalších parametrů, jako je například poloměr nástroje, se určí bod v hladině řezu v profilu drážky, který odpovídá bodu středu nástroje, kterým se zvolená drážka má obrábět. Poloha bodu středu nástroje je dána šířkou drážky zmenšenou o přídavky na obrábění a také tím, kolik již průchodů nástroje v konkrétní hloubce řezu předcházelo právě počítanému průjezdu nástroje. Poloha bodu středu nástroje se tedy s ohledem na zvolenou metodu obrábění (sousledné, nesousledné) mění od jednoho boku drážky k druhému. V podprogramu *DRAZKA-HRUB* je vždy nejdříve vypočítáno natočení obrobku pro první bod nájezdu středu nástroje v dané šířce drážky. Po projetí jedné šroubovice, jedné dráhy nástroje, je pootočení obrobku vypočteno jako relativní hodnota oproti předchozímu bodu natočení, nikoli k původně zadanému startovacímu úhlu středu profilu drážky.

Pokud je vypočtena hodnota natočení obrobku, je volán druhý podprogram *DRAZKA-POV*, který řeší pouze pohyb nástroje po jedné dráze, po jedné šroubovici. Podprogram

DRAZKA-POV vznikl na základě jiného parametrického podprogramu řešící frézování šroubovicové drážky kulovou frézou uvnitř kruhového otvoru, program *ZAV-DIR* zdroj [9]. Pro vytvoření podprogramu *DRAZKA-POV* bylo třeba pochopit funkci podprogramu, jehož úpravou vznikl podprogram pro hrubování šroubovicové drážky na odvalovacích frézách. Změny souvisí především se změnou přístupu nástroje k obrobku. V případě zdrojového podprogramu *ZAV-DIR* se frézovala drážka uvnitř díry, v podprogramu *DRAZKA-POV* je třeba frézovat drážku ve šroubovici na povrchu obrobku. Důvod neimplementování podprogramu *DRAZKA-POV* do předcházejícího podprogramu *DRAZKA-HRUB* je ten, aby při odladování celého parametrického programu bylo možné snáze odhalit problémy. Jinými slovy odladování je rozdělené do více částí, přičemž pokud nebude stoprocentně funkční pohyb nástroje po šroubovicové dráze, nemá cenu hledat problém v generování úhlu natočení obrobku. Pokud by podprogramy byly spojeny v jeden, bylo by více náročné případné chyby odhalit. Další výhodnou nepřímo plynoucí z rozdělení podprogramů je možnost využití pohybu nástroje i na úplně jiné šroubovicové drážce než je ta na odvalovacích frézách. Jednalo by se tak o období současně frézovaných drážek na odvalovacích frézách na klasickém stroji, frézce na drážky (viz kap2.2).

Po vykonání nástrojem jedné dráhy po šroubovici se skokem běh programu vrací do podprogramu *DRAZKA-HRUB*, kde opět přepočítává bod středu nástroje s ohledem na šířku drážky, již obrobenou šířkou drážky, přídavky, atd. Následuje skok do podprogramu *DRAZKA-POV* a projetí drážky. Tato procedura se cyklicky opakuje do té doby, než dojde k dosažení celé šířky drážky, respektive celkové hloubky drážky. Poté dojde ke skoku do hlavního programu a k ukončení celé operace hrubování šroubovicové drážky.

V další části této podkapitoly je čtenáři představen hlouběji chod parametrického programu. Chod podprogramu je vysvětlen na vytvořeném podprogramu, který je přílohou této práce.

4.3.1 Přepočet vstupních parametrů a hloubky přísluvu

Po zadání vstupních parametrů v hlavním programu dojde k volání podprogramu *DRAZKA-HRUB* pomocí příkazu *CALL*. Tímto příkazem dojde ke skoku do volaného podprogramu. Na začátku podprogramu jsou pouze pro informaci uvedeny vstupní parametry. Řídicí systém tyto bloky přeskočí a pokračuje až na blok číslo 36. Od toho bloku až po blok číslo 52 probíhá přepočet vstupních parametrů a parametrů, které se dále v cyklu nebudou měnit. Tímto parametrem je i parametr Q14, respektive parametr Q15, který v sobě uchovává počet průchodů nástroje pro dosažení dna drážky. V bloku číslo 50 je vypočtena hloubka přísluvu z počtu průchodů nástroje. V bloku 52 je vynulován parametr Q6, jenž slouží pro uchování počtu odjetých drah, myšleno počet hloubek řezu.

4.3.2 Cyklické jádro podprogramu DRAZKA-HRUB

Cyklické jádro podprogramu začíná od bloku číslo 54. V tomto bloku je návěstí, na které se cyklus vrací po obrobení šířky drážky v jedné hloubce řezu. V případě že parametr Q6 (počet odjetých hloubek) bude roven parametru Q15 dojde k ukončení celého podprogramu. Pokud

tomu tak není, běh podprogramu pokračuje dále na další blok, ve kterém je počítán aktuální průměr šroubovice, na kterém se bude pohybovat střed nástroje. Následuje výpočet počtu průchodů nástroje v jedné hloubce řezu. Počet průchodů v sobě uchovává parametr Q89. V bloku číslo 68 je do parametru Q80 přiřazena vzdálenost prvního bodu středu nástroje. Parametr Q80 je následně použit ve výpočtu natočení obrobku o daný úhel vůči startovacímu úhlu, tedy středu drážky, pro nájezd středu nástroje do prvního bodu. Po výpočtu úhlu natočení je volán druhý podprogram pro pohyb nástroje po šroubovici. Tento podprogram bude vysvětlen v následující podkapitole. Po projetí první dráhy nástroje je do parametru Q85 vložena hodnota 1, jenž odpovídá právě provedené dráze nástroje. Přísuv nástroje v šířce drážky do strany udává parametr Q81 a to v závislosti na počtu předchozích průchodů nástroje v dané hloubce řezu. V bloku číslo 80 je vypočtena velikost úhlu natočení obrobku, aby nástroj obráběl v dané poloze drážky a zároveň směřoval do osy obrobku. Po tom to výpočtu úhlu natočení je opět volán podprogram *DRAZKA-POV*. Tím dojde k provedení druhého průchodu nástroje po šroubovici. Po provedení druhého průchodu se do parametru Q85 připočte jednička za odjetou dráhu. Cyklus se vrací na blok č. 77 a opět provádí kontrolu, zda už není dosaženo celé šířky drážky v dané hloubce řezu. Pokud tomu tak není, běh programu pokračuje dále, až tomu tak je. Po obrobení celé šířky drážky se do parametru Q6 přičte hodnota jedna za provedení jedné hloubky řezu. Cyklus se vrací na blok č. 54. Zde probíhá kontrola, zda není již dosaženo dno drážky, respektive zda parametr Q6 není roven parametru Q15. Pokud se ty dva parametry sobě nerovnají, cyklus pokračuje dále na další blok. Pokud si jsou parametry pro kontrolu dosažení hloubky drážky rovny, cyklus se skokem přesouvá na blok číslo 90, tedy na návěstí LBL55. V bloku č. 93 se vyvoláním podprogramu *ODJEZD*⁴ vrací nástroj do své výchozí pozice a podprogram *DRAZKA-HRUB* je ukončen.

4.3.3 Podprogram *DRAZKA-POV*

Podprogram *DRAZKA-POV* je volán v podprogramu *DRAZKA-HRUB* vždy po výpočtu úhlu natočení. Podprogram *DRAZKA-POV* provádí pohyb nástroje po šroubovici. Na začátku podprogramu je parametrem Q23 pevně definován 90° úhel odklonu frézy vůči ose obrobku. Tento úhel vyplývá ze zvolené strategie hrubování drážky. Poté následuje připočtení úhlu, jeho hodnota je v parametru Q1, odvozeného od parametru Q200 k vypočtenému parametru Q366 z podprogramu *DRAZKA-HRUB*. Připočtený úhel odpovídá prodloužení šroubovicové dráhy v Z ose právě o hodnotu danou parametrem Q200. Součet úhlu v parametru Q366 a Q1 uchovává parametr Q2. Následuje vynulování parametru Q90 pro uchování hloubky a výpočet inkrementu o který se bude nástroj v cyklickém jádru pohybovat po šroubovici. Parametry Q97 a Q98 řeší X a Y souřadnici bodu středu nástroje při nájezdu k obrobku. V bloku číslo 43 se obrobek natočí v ose C o úhel daný parametrem Q2. Poté se zapne funkce M128. Funkce M128 slouží pro posunu bodu natáčení nástroje na špičku navoleného nástroje. Následuje příjezd nástroje k obrobku ve vzdálenosti od povrchu dané parametrem Q204. Současně s příjezdem je i naklopen vřeteník o úhel 90°. Nyní je nástroj stále mimo obrobek.

⁴ Podprogram *ODJEZD* proveden odjezd nástroje v ose Z od obrobku až do maximální hodnoty, poté odjezd do výchozí polohy a klopení vřetení. Podprogram *ODJEZD* není náplní této diplomové práce.

Proto, aby bylo dosaženo odebrání materiálu, musí nástroj najet na souřadnice dané průměrem právě obráběné hloubky drážky. V podprogramu je tento proces v rozsahu bloků číslo 47 až 51. Po nájezdu nástroje do řezu následuje cyklické jádro podprogramu. V tomto jádru je prováděna rutina, ve které je do parametru Q99 připočítávám inkrement úhlu daný parametrem Q95 k startovnímu úhlu Q2. Parametr Q94 může nabývat hodnoty +1 nebo -1, to v závislosti na smyslu stoupání šroubovice. V bloku č. 99 se provede pohyb nástroje pracovním posuvem daným parametrem Q207 o daný inkrement, respektive na souřadnice dané tímto přičteným inkrementem k úhlu stratu Q2. Cyklus se opakuje do té doby, než bude dosaženo celé hloubky šroubovice dané parametrem Q3, jehož hodnota je součtem rozdílem hodnot parametrů Q201, Q200 a Q205. Když bude parametr Q90 roven parametru Q3, dojde ke skoku na blok číslo 70 a odjezdu nástroj. Nástroj nejdříve odjede od povrchu obrobku a následně na Z souřadnici danou parametrem Q200. Poté je podprogram *DRAZKA-POV* ukončen a běh programu se vrací do podprogramu *DRAZKA-HRUB*.

5 Technickoekonomické hodnocení

Pro správné fungování podniku je třeba vytvářet zisk, což je i jedním z primárních cílů průmyslového podniku. Zisk je možné docílit pouze tehdy, když náklady vložené do výrobku či služby nepřevyšují obdržený výnos za prodej výrobku či služby. Pokud by tomu bylo naopak, docházelo by ke ztrátě a postupnému úpadku podniku, k postupnému zadlužování a nakonec k uzavření podniku, jelikož by neexistovaly finanční prostředky, kterými by fungování podniku bylo zajištěno. Aby k úpadku podniku nedošlo, je třeba zvážit a zhodnotit ekonomickou stránku plánované aktivity (výroby, inovace stávající technologie, či zavedení nové technologie). Náklady na plánovanou aktivitu se ovšem nemusí shodovat se skutečnými vloženými náklady na aktivitu. Mohou nastat dvě situace, respektive tři, kdy plánované náklady jsou nižší, vyšší nebo rovny skutečným nákladům. Pro podnik nepřijatelná je situace, kdy plánované náklady jsou nižší než skutečně vložené náklady. Toto tvrzení ovšem nemusí platit přísně v případech, které se stanou ojediněle, a vzniklá ztráta není pro podnik devastující.

Proto, aby se předešlo výrobě nebo investici, která by pro podnik byla ztrátová je důležité technickoekonomická analýza plánovaného zásahu do výroby. V případě této práce, která se zabývá tvorbou parametrického programu pro hrubování šroubovicové drážky, je smysluplné provést technickoekonomické zhodnocení pro porovnání varianty tvorby NC programu na hrubování drážky pomocí CAM⁵ softwaru a tvorby parametrického programu, který po změně vstupních parametrů se stává novým NC programem, protože především tuto stránku výroby šroubovice ovlivní podprogram vytvořený v rámci předložené práce.

5.1 Faktory ovlivňující výhodnost obou variant

Nesporná výhoda zadání hodnot pomocí parametrů se projeví při změně rozměrů obrobku, který je typově stejný, jako obrobek pro který byl NC program napsán. Typová shodnost obrobků je důležitá vlastnost po tvorbu parametrického programu. Pokud by tato vlastnost dvou obrobků nebyla dodržena, stával by se parametrický program velmi složitý s mnoha rozhodovacími pravidly. Tato pravidla by musela rozhodnout, o který obrobek se jedná. Je jistě zřejmé, že i samotná tvorba parametrického programu pro dvě tvarově sobě si nepodobné součásti, by byla dosti časově náročná. Ve výsledku by bylo vhodnější vytvořit dva neparаметrické programy. To ale není případ hrubování odvalovacích fréz. Frézy jsou typově shodné a proto je i NC program pro hrubování šroubovicové drážky předurčen pro parametrizaci.

V případě programování NC strojů s využitím metod CAD/CAM je nutným požadavkem pro tvorbu programu mít alespoň model obrobku, pomocí kterého budou danými funkcemi CAM softwaru vygenerovány CL-data, tedy data definující dráhu nástroje. Avšak CL-data nejsou rozpoznatelná pro řídicí systém obráběcího stroje. Proto, aby CL-data byla použitelná, musí

⁵ Zkratka CAM (z anglického: *Computer Aided Manufacturing*) znamená využití počítačového softwaru pro programování NC strojů.

tato data projít procesem zvaným postprocesing. Jedná se o proces, ve kterém jsou data generovaná CAM softwarem převedena pomocí převodníku postprocesoru přeložena do jazyka řídicího systému, jež je řídicím systémem daného stroje, na kterém se bude operace provádět. Data generovaná CAM softwarem jsou dráhy nástroje (tzv. CL-data), volba posuvů, řezných rychlostí a dalších přídavných funkcí, jako je například zapnutí či vypnutí chlazení. Každý řídicí systém má vlastní programovací jazyk, byť v jistých případech dosti podobný ostatním programovacím jazykům využívaných pro programování NC strojů. Z toho důvodu je třeba pro každý řídicí systém vytvořit unikátní postprocesor, což se může promítnout do nákladů. Firma, pro kterou byl podprogram vytvořen, sice disponuje CAD/CAM systémem s postprocesorem pro příslušný stroj, ale postprocesor dosud nemusel řešit úlohy více než 3D programování a jeho uzpůsobení pro tento účel by představovalo náklady navíc.

Ještě než lze přistoupit k samotnému určení výhodnosti či nevýhodnosti tvorby parametrického programu pro hrubování šroubovicové drážky na odvalovacích frézách oproti tvorbě NC programu pomocí CAM softwaru, je nutné provést porovnání těchto dvou metod tvorby NC programu. Porovnání je provedeno z několika hledisek a v závěru této kapitoly je proveden výpočet výhodnosti či nevýhodnosti parametrického programu vůči programu vytvořeného v CAM softwaru.

5.1.1 Porovnání z hlediska požadavků na výkresovou dokumentaci

K vytvoření parametrického programu je postačující 2D výkresová dokumentace, tedy výrobní výkres odvalovací frézy. Pokud je výkresová dokumentace vypracována správně dle norem, obsahuje veškeré informace, které definují tvar a rozměry odvalovací frézy, respektive šroubovicové drážky. Vytvoření 2D výkresové dokumentace je nezbytné pro samotnou výrobu i pro plánování výroby, tudíž by se zhotovila bez ohledu na to, jestli se program vytváří v CAM softwaru nebo jako parametrický program. 3D modelu součásti je však nezbytný pro tvorbu programu v CAM softwaru. Tvorbu 3D modelu lze chápat jako práci navíc, kterou je třeba vykonat, ve srovnání s variantou parametrického programu, aby bylo možné naprogramovat hrubování drážky v CAM softwaru.

Pro konkrétní případ hrubování šroubovicové drážky lze stanovit náklady na výkresovou dokumentaci. Jelikož jsou porovnávány dvě varianty, které obě v sobě zahrnují jisté požadavky, například 2D výkres, není pro porovnání s tímto nákladem počítáno. Dalším předpokladem na výkresovou dokumentaci, respektive na 3D modely, je fakt, že modely nejsou dány zákazníkem, ale je třeba je namodelovat.

5.1.2 Porovnání z hlediska požadovaného softwarového vybavení

Tvorba parametrického programu je ruční tvorba NC programu. Program může být psán na jakémkoliv počítači v libovolném textovém editoru v jazyce řídicího systému a následně vytvořený textový soubor exportovat na disk řídicího systému stroje. Programy pro obrobky lze samozřejmě vytvářet i přímo na stroji, a to i v případě, že stroj právě obrábí jiný díl. Přesto se může stát, že vytižení stroje nebo krátké časy pro změnu upnutí neumožňují soustředění při programování na místě.[11] Pro ověření správnosti programu je možné využít softwarová

řešení v podobě simulátorů NC programů nebo v podobě programovacích stanic přímo od výrobců řídicích systémů.

Druhý způsob tvorby NC programu je pomocí CAM softwaru. Tento způsob klade vyšší požadavky, co se týče softwarového vybavení, oproti ruční tvorbě NC programu. Podle počtu řízených os NC stroje, lze dělit i moduly obrábění CAMu. Pro případ hrubování drážky ve šroubovici by bylo potřeba pětiosého modulu, jelikož se nástroj při hrubování drážky pohybuje souvisle ve čtyřech osách. Ve zbylé páté ose se nástroj naklopí pouze na začátku programu a po zbytek obrábění zůstává pátá osa ve stejné poloze. Jak již bylo uvedeno na začátku této kapitoly, pro vygenerování NC programu z CL dat generovaných CAM softwarem je zapotřebí postprocesoru. Což je další požadavek navíc oproti ručnímu programování.

Další požadavek softwaru je na CAD software. Pro tvorbu 2D výkresů postačí software pouze na tvorbu výkresů, na rozdíl od 3D modelů, kde je potřeba modeláře. Z hlediska nákladů na software jsou 3D modelovací programy nákladnější.

5.1.3 Odladění NC programu

Odladění NC programu znamená opravení chyb či nedostatků v programu přímo na NC stroji. Nejčastěji se jedná o úpravu přejezdů nástroje mezi řezy. Odladění parametrického programu může být dosti náročné, především proto, že program je psán ve většině případů bez jakékoliv předešlé simulace. Ale nemusí tomu tak vždy být. To jak odladění ručně psaného programu závisí také na znalostech a umu programátora. Důležitým faktem však je to, že jednou již odladěný parametrický program není potřeba při změně vstupních hodnot opět znovu ladit. Tento fakt je výhodou oproti vytváření programů pomocí CAMu, kdy může docházet k zanesení nepřesností, především v nájezdech a přejezdech nástroje mezi řezy a obsluha NC stroje tudíž musí každý nový program odladit.

Na druhou stranu v dnešní době existují CAM softwary, které v sobě mají simulátory obrábění včetně samotného obráběcího stroje. V simulátoru jsou simulována již vygenerovaná NC data, která prošla prostprocessingem, tudíž simulované pohyby jsou stejné jako na skutečném stroji. Tím se může výrazně zkrátit čas případného odladění NC programu na stroji a v nejlepším případě zcela odladění vynechat.

5.1.4 Čas tvorby nového programu

U parametrického programu se musí rozlišovat dva pojmy. A to čas potřebný pro vytvoření parametrického programu a čas pro vytvoření programu pro již konkrétní rozměry, pro konkrétní součást. Zatím co čas pro parametrizovaný NC program se může pohybovat v řádech hodin i dnů, čas zadání konkrétních hodnot do programu a vytvoření tak „nového“ programu je otázkou řádově minut. Čas zadání hodnot parametrů je dán počtem parametrů a také uspořádáním parametrů v programu.

Čas tvorby NC programu pomocí CAM se skládá z přípravy modelu, exportu modelu do prostředí CAM. Dále z výběru nástroje a držáku nástroje pro případnou kontrolu kolizí

nástroje a upínače s upínacími prvky obrobku a obrobkem samým. Do času se také započítává vyplnění a editace vybrané funkce, kterou programátor využije pro hrubování drážky. A nakonec se do času započítává i postprocessing a případná kontrola NC programu.

5.2 Náklady na tvorbu parametrického podprogramu a jeho užívání

5.2.1 Fixní náklady

Náklady na vytvoření parametrického podprogramu

Náklady na vytvoření podprogramu jsou uvedeny pouze pro ilustrování situace v reálném podniku. Ve skutečnosti při tvorbě podprogramu v rámci této práce nevznikla zadavateli žádná platební povinnost. Pro ilustrativní případ lze náklady na vytvoření podprogramu vyčíslit jako součin hodinové mzdy programátora a času potřebného pro tvorbu podprogramu. Hodinová mzda programátora byla odborným odhadem stanovena na 250,- Kč za hodinu. Čas práce na vytvoření NC programu, stanovený na 30 hodin, odpovídá času práce autora při tvorbě podprogramu. Náklady spojené s vytvoření parametrického podprogramu jsou rovny 7500,-Kč.

$$N_{VPP} = HMZ_P \cdot T_{VPP} = 250 \cdot 30 = 7500, -Kč \quad (13)$$

N_{VPP} ...náklady spojené s vytvoření parametrického podprogramu [Kč]

HMZ_P ... hodinová mzda programátora [Kč.hod⁻¹]

T_{VPP} ...čas tvorby parametrického podprogramu [hod]

Náklady spojené s odladěním parametrického podprogramu

Výše nákladů na odladění podprogramu je vypočtena jako součin času potřebného pro odladění podprogramu a součtu hodinových sazeb osob zapojených do odladování a strojního hodinové sazby stroje. Hodinová mzda je vyčíslena na 250,-Kč za hodinu a hodinová mzda obsluhy stroje na 150,-Kč za hodinu. Strojní hodinová sazba stroje, na kterém se podprogram odladuje, činí 1200,-Kč za hodinu. Ladění programu trvalo 4 hodiny.

$$\begin{aligned} N_{OPP} &= (HMZ_P + HMZ_O + SHZ) \cdot T_{OPP} \\ &= (250 + 150 + 1200) \cdot 4 = 6400, -Kč \end{aligned} \quad (14)$$

N_{OPP} ...náklady spojené s odladěním parametrického podprogramu [Kč]

HMZ_P ... hodinová mzda programátora [Kč.hod⁻¹]

HMZ_O ... hodinová mzda obsluhy stroje [Kč.hod⁻¹]

SHS ... strojní hodinová sazba [Kč.hod⁻¹]

T_{OPP} ...čas ladění parametrického podprogramu [hod]

Celkové fixní náklady

Celkové fixní náklady jsou součtem jednotlivých fixních nákladů, tedy nákladů na vytvoření parametrického podprogramu a nákladů spojených s odladěním parametrického podprogramu.

$$CFN_{PP} = N_{VPP} + N_{OPP} = 7500 + 6400 = 13\,900, -Kč \quad (15)$$

CFN_{PP} ...celkové fixní náklady pro tvorbu parametrického podprogramu [Kč]

5.2.2 Variabilní náklady

Náklady na zadání vstupních parametrů a vyvolání podprogramu

Zadání vstupních parametrů do podprogramu a jeho vyvolání zabere určitý časový úsek. Vynásobí-li se tento časový úsek se součtem hodinové mzdy uživatele podprogramu (v tomto případě obsluha stroje) a hodinovou sazbou stroje vyjdou z výpočtu náklady na zadání vstupních hodnot. Čas zadání vstupních parametrů závisí na počtu parametrů. V případě šroubovicové drážky je čas zadání stanoven na 3minuty. V tomto čase je zahrnuta i volba nástroje a řezných podmínek. Hodinová mzda obsluhy a strojní hodinová sazba stroje jsou shodné v kapitole 5.2.1. Náklady na zadání vstupních parametrů jsou 67,5,-Kč.

$$N_{ZP} = (HMZ_O + SHZ) \cdot T_{ZP} = (150 + 1200) \cdot 0,05 = 67,5Kč \quad (16)$$

N_{ZP} ...náklady spojené s vyvolání podprogramu [Kč]

HMZ_o ... hodinová mzda obsluhy stroje [Kč.hod⁻¹]

SHS ... strojní hodinová sazba [Kč.hod⁻¹]

T_{ZP} ...čas zadání vstupních parametrů [hod]

Celkové průměrné variabilní náklady

Celkové průměrné variabilní náklady jsou shodné s náklady na zadání vstupních parametrů a volání podprogramu. Tyto náklady přísluší na zadání hodnot do jednoho podprogramu.

$$PVN_{PP} = N_{ZP} = 67,5Kč \quad (17)$$

PVN_{PP} ...celkové průměrné variabilní náklady pro tvorbu parametrického programu [Kč]

5.2.3 Celkové náklady

Celkové náklady na vytvoření a využívání parametrické podprogramu pro hrubování šroubovicové drážky jsou dány součtem fixních a variabilních nákladů. Nákladová funkce pro má tvar:

$$CN_{PP} = CFN_{PP} + q \cdot PVN_{PP} = 13\,900 + q \cdot 67,5 \quad (18)$$

5.3 Náklady na tvorbu programu pomocí CAM:

5.3.1 Fixní náklady

Náklady na software

V současné době zadavatel disponuje CAM systémem, z čeho vyplývá, že není třeba tento software opět nakupovat. Ale v současné době používaný postprocesor nedokáže generovat NC kód pro více jak 3D frézování, jak je uvedeno v kapitole 5.1. Z důvodu úpravy postprocesoru vznikne fixní náklad odhadnutý na 50 000,-Kč, který lze zařadit do nákladů na software.

$$N_{SW} = 50\,000, -Kč \quad (19)$$

N_{sw} ...náklady na software [Kč]

Cena software (včetně postprocesoru, atd.)

Celkové fixní náklady

Celkové fixní náklady jsou rovny nákladů na software.

$$CFN_{CAM} = N_{SW} = 50\,000Kč \quad (20)$$

CFN_{CAM} ...celkové fixní náklady pro tvorbu programu v CAM [Kč]

5.3.2 Variabilní náklady

Náklady spojené s tvorbou 3D modelu

Pro tvorbu programu na hrubování šroubovicové drážky v CAM softwaru je zapotřebí existence 3D modelu obrobku, nebo případně pouze obráběné části. Náklady na tvorbu 3D modelu jsou stanoveny jako součin hodinové mzdy konstruktéra, která je stanovena na 250,- Kč za hodinu, a času potřebného pro na tvorbu modelu, který je stanoven na 30minut.

$$N_{3D} = HMZ_K \cdot T_{VD} = 250 \cdot 0,5 = 125Kč \quad (21)$$

N_{3D} ... náklady spojené s tvorbou 3D modelu a výkresové dokumentace [Kč]

HMZ_K ... hodinová mzda konstruktéra [Kč.hod⁻¹]

T_{3D} ...čas tvorby 3D modelu [hod]

Náklady na vytvoření programu

Tyto náklady v sobě zahrnují práci programátora na tvorbě programu a simulaci vytvořeného programu v CAM softwaru. Hodinová mzda programátora je 250Kč,- za hodinu a čas tvorby a simulace programu v CAM odhadnut na 45minut.

$$N_{VPC} = HMZ_P \cdot T_{VP} = 250 \cdot 0,75 = 187,5Kč \quad (22)$$

N_{VPC} ...náklady spojené s vytvoření programu v CAM[Kč]

HMZ_P ... hodinová mzda programátora [$Kč.hod^{-1}$]

T_{VP} ... čas tvorby programu [hod]

Celkové průměrné variabilní náklady

Celkové průměrné variabilní náklady jsou dány součtem jednotlivých variabilních nákladů. Tyto náklady přísluší na vytvoření jednoho programu pro hrubování šroubovicové drážky pomocí CAM softwaru.

$$PVN_P = N_{3D} + N_{VP} + N_{OP} = 375 + 187,5 = 562,5Kč \quad (23)$$

PVN_{CAM} ... celkové průměrné variabilní náklady pro tvorbu programu v CAM [Kč]

5.3.3 Celkové náklady

Celkové náklady na tvorbu programu pro hrubování šroubovicové drážky v pomoci CAM jsou dány součtem fixních a variabilních nákladů. Nákladová funkce má tvar:

$$CN_{CAM} = CFN_{CAM} + q \cdot PVN_{CAM} = 50\,000 + q \cdot 562,5 \quad (24)$$

5.4 Porovnání nákladů obou variant

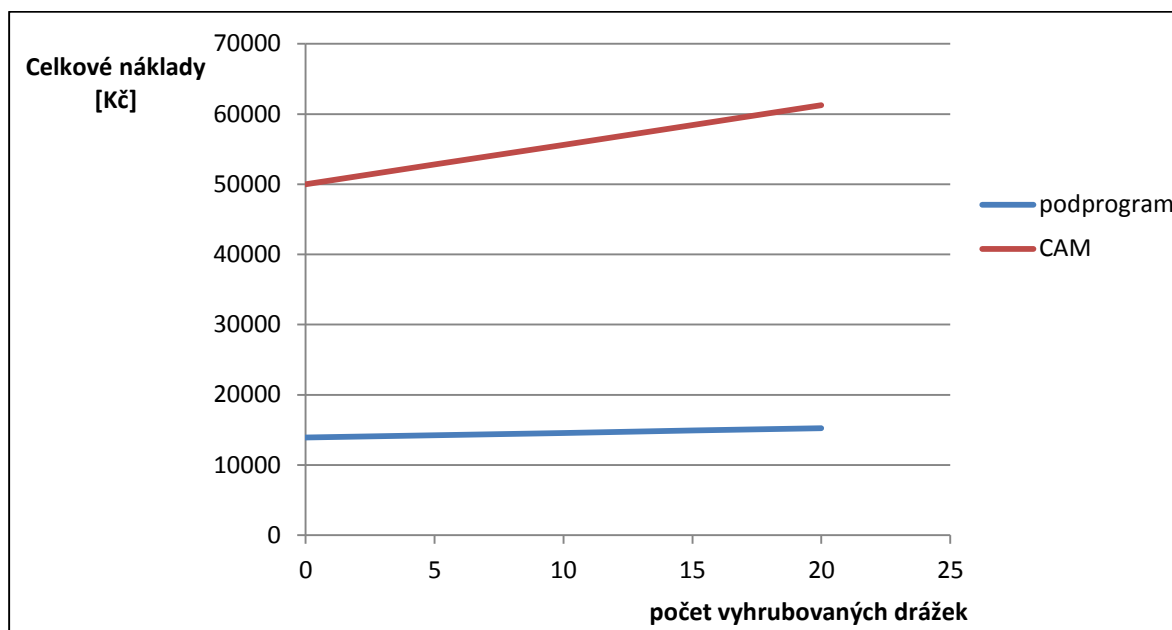
Porovnání obou variant je provedeno pomocí kritického množství. V předchozí kapitole byla stanovena pro každou variantu jedna nákladová funkce.

Nákladové funkce obou variant

$$CN_{PP} = 13\,900 + q \cdot 67,5 \quad (25)$$

$$CN_{CAM} = 50\,000 + q \cdot 562,5 \quad (26)$$

Porovnáním nákladových funkcí mezi sebou je možné dojít k závěru, že tvorba podprogramu pro hrubování šroubovicové drážky je vždy výhodnější než tvorba programu pro hrubování drážky pomocí CAM pro různé modulové frézy. Tento závěr potvrzuje i graf (Graf 5) závislosti celkových nákladů a počtu vyhrubovaných drážek. Výhodnost první varianty je dána nižšími fixními i variabilními náklady první varianty oproti druhé. Jelikož je první varianta vždy výhodnější, neexistuje opodstatněný důvod, proč počítat kritické množství, při kterém se mění výhodnost jedné varianty oproti druhé. Tento bod by ležel v záporné části vodorovné osy, což by znamenalo záporný počet vyhrubovaných drážek.



Graf 5: Závislost celkových nákladů na počtu vyhrubovaných drážek

Naznačení výhodnosti první varianty v konkrétních číslech podává tabulka níže. V prvním sloupci tabulky jsou hodnoty počtu vyhrubovaných drážek. Pro ilustraci je uvedeno 5 různých počtů vyhrubovaných drážek. Do počtu vyhrubovaných drážek nejsou započítány drážky odvalovacích fréz stejného modulu, které již dříve byli hrubovány. Pro tyto drážky již NC program existuje. V dalších zelenou barvou označených sloupcích jsou udány hodnoty celkových nákladů pro příslušný počet hrubovaných drážek a danou variantu tvorby programu. V poslední sloupci je vyčíslen rozdíl varianty CAM a podprogramu.

počet vyhrubovaných drážek	celkové náklady		úspora
	podprogram	CAM	
1	13 968 Kč	50 563 Kč	36 595 Kč
5	14 238 Kč	52 813 Kč	38 575 Kč
15	14 913 Kč	58 438 Kč	43 525 Kč
20	15 250 Kč	61 250 Kč	46 000 Kč
50	17 275 Kč	78 125 Kč	60 850 Kč

Tabulka 5: Závislost celkových nákladů na počtu vyhrubovaných drážek

6 Závěr

Účelem této práce bylo nalezení vhodné technologie pro hrubování šroubovicové drážky na odvalovacích frézách velkých modulů. Výstupem je pak vytvořený parametrický podprogram *DRAZKA-HRUB*. Výsledná varianta technologie hrubování drážky byla vybrána na základě porovnání dostupných výrobních prostředků. Rozhodnutí probíhalo mezi dvěma stroji, jež jsou součástí strojního parku zadavatele. Jedním strojem bylo soustružnické centrum Emco MAXXTURN a druhým frézovací centrum Hermle U1130. Porovnáním dostupných nástrojů a výpočtem řezných podmínek pro jednotlivé technologie byla vybrána varianta pětiosého frézovacího centra Hermle U1130 s CNC řídicím systémem Heidenhain. Podprogram je plně parametrizován pomocí Q parametrů. Pouze změnou vstupních parametrů lze hrubovat drážky od nejmenších po největší moduly odvalovacích fréz.

Do podprogramu vstupují geometrické, technologické a ostatní parametry. Geometrické parametry zadávané do podprogramu jsou odvozeny od výkresové dokumentace pro odvalovací frézy. Tímto se předejde případným potenciálním chybám při přepočtu geometrický údajů drážky použitelnými pro podprogram. Jedná se především o největší šířku drážky. Potřebné úpravy a výpočty geometrických parametrů provádí samotný podprogram před spuštěním cyklu. Zadáním technologický parametrů má uživatel možnost zvolit mezi sousledným a nesousledným frézování, zvolit hloubkou řezu, velikosti přídavek a vzdálenosti související s nájezdem a odjezdem nástroje z řezu. Vyplněním ostatních parametrů v podprogramu lze definovat posunutý střed osy rotace válce, na kterém leží drážka a startovní úhel drážky.



Obrázek 6-1: Obrobený kus při odladování parametrického podprogramu

Šroubovicová drážka se obrábí ve směru shora dolů. Mezi jednotlivými dráhami přejíždí nástroj v bezpečné vzdálenosti od obrobku. Současně s tím se obroben natáčí do startovní pozice. Výpočet úhlu řeší podprogram ve svém jádru v závislosti na poloze středu nástroje a počátečního bodu drážky. Pohyb středu nástroje po šroubovici řeší z podprogramu volaný další podprogram *DRAZKA-POV*. Tento podprogram je možné využít i samostatně pro výrobu šroubovicové drážky stopkovou frézou jednou dráhou nástroje. Je však třeba vytvořit hlavní program, ze kterého bude program *DRAZKA-POV* a který bude obsahovat zadání vstupních parametrů. Po vyhrubování celé drážky dojde k ukončení k odjezdu nástroje do výchozí pozice-nulového bodu stroje. K ukončení podprogramu dojde i v případě pokud průměr nástroje je větší než šířka drážky, bez ohledu na to, zda je dosažena zvolená hloubka drážky. Nástroj po celou dobu obrábění směřuje kolmo k povrchu dna drážky. Podprogram je napsán pro pětiosé obrábění, z čehož vyplývá, že není třeba ustavovat obrobek přesně no osy C stolu stroje. Tím se výrazně zkracuje čas přípravy při ustavování upínacího přípravku.

Jelikož do doby dopsání této práce nebyl podprogram pro hrubování šroubovicové drážky využit pro hrubování skutečné odvalovací frézy, byl pouze odladěn podprogram na zkušebním kusu, nebylo možné získat data pro porovnání či kalkulaci nákladů pro hrubování pomocí podprogramu. V technickoekonomického hodnocení bylo provedeno porovnání dvou variant tvorby programu pro hrubování šroubovicové drážky. První variantou byla tvorba parametrického podprogramu a druhou tvorba NC programu pomocí CAM softwaru. Porovnání obou variant vychází výhodněji varianta parametrického podprogramu. To je dáno především téměř nulovými náklady na vyvolání podprogramu, kterým dojde k vyhrubování drážky.

Vytvořený parametrický podprogram byl odladěn na pracovišti zadavatele, firmy Pilsen Tools, s.r.o. Proměřením obrobeného kusu (Obrázek 6-1) z odladění podprogramu byla ověřena shoda profilu i rozměrových parametrů drážky se zadanými parametry. Při odladění vyplynul požadavek na další doplnění podprogramu o parametr uchovávací hloubku obrábění. To pro případ, kdyby byla potřeba předhrubování drážky nástrojem většího průměru a dohrubování zbytku drážky nástrojem menšího průměru. V hlavním programu by byl podprogram *DRAZKA-HRUB* vyvolán dvakrát. Pro každý nástroj se stejnými geometrickými parametry. Vyvolaný podprogram pro průměrově menší nástroje by pak pokračoval v obrábění v hloubce dané vnitřní parametrem uchovávací hloubku obrábění předchozího nástroje. Tato úprava podprogramu však nebyla realizována z důvodu nemožnosti odladění této úpravy.

Použitá literatura

- [1] JANDEČKA, K., ČESÁNEK, J., KOŽMÍN, P.: *Programování NC strojů*. Plzeň: ZČU, 2000.
- [2] VRABEC, M., MÁDL, J.: *NC programování v obrábění*. Praha : ČVUT, 2004.
- [3] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R.: *Technologie obrábění*. Praha : SNTL 1982.
- [4] SANDVIK COROMANT. *Technická příručka*. [DVD]. 2010 [cit. 2015-05-1].
- [5] Technická dokumentace ke stroji Hermle U1130
- [6] Technické dokumentace ke stroji Emco MAXXTURN 65
- [7] RERKTORYS K.: *Přehled užití matematiky*. Praha : SNTL, 1981.
- [8] HEIDENHAIN iTNC 530 - *uživatelská příručka*.
- [9] VYŠATA, Jiří. *Frézování závitu v hluboké díře vykloněnou kulovou frézou* [online]. 2012 [cit. 2015-05-1].
- [10] STANĚK, J., NĚMEJC, J.: *Metodika zpracování a úprava diplomových prací*. Plzeň : ZČU, 2005
- [11] CNC řízení: programovací pracoviště-HEIDENHAIN. *Rotační snímače, úhlové snímače, lineární snímače, Řízení obráběcích strojů* [online]. 2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/cnc-řízení/programovací-pracoviste/

Seznam použitých obrázků

- [1] Trapézové šrouby a matice. *Strojní díly Elesa Ganter, CNC obrábění, Ozubené a klínové řemeny Kladno* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.pab.cz/trapezove-srouby-matice>
- [2] SANDVIK COROMANT. *Technická příručka*. [DVD]. 2010 [cit. 2015-05-1].
- [3] *Ludger Ordning GmbH - Werkzeugbau - 4-Seiten Fräszentrum Hermle U 1130* [online]. 2006 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.ordning-werkzeugbau.de/leistungen_hermle_u1130.htm
- [4] Maxxturn 65. *Diomash* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.diomash.ru/catalog/tokarnoe/vysokoproizvoditelnye_tokarnye_obraabyvayuschie_centry/maxxturn_65/
- [5] Technické dokumentace ke stroji Emco MAXXTURN 65

PŘÍLOHA č. 1

Podprogram pro hrubování drážky ve šroubovici DRAZKA-HRUB

```

0 BEGIN PGM DRAZKA-HRUB MM
1 ; POZOR! Toci se se stolem
2 ; vyplnit radius NASTROJE do tabulky
3 ;
4 ;=====
5 ; ----- CYKLUS HRUBOVANI DRAZKY VE SROUBOVICI NA VALCI -----
6 ;--- GEOMETRICKY PARAMETRY ---
7 ;Q16 = 50 ; - PRUMER OBROBKU
8 ;Q201 = -48 ; - DELKA OBROBKU (zadano v absolutnich souradnicich od
nul.bodu)
9 ;Q239 = 9.434 ; - STOUPANI (+ PRAVY, - LEVY) (tO-osové)
10 ;Q6 = 4.7124 ; SIRKA ZUBU (Z PROFILU KOLMO NA STOUPÁNÍ)
11 ;Q7 = 9.4248 ; ROZTEC ZUBU tn
12 ;Q8 = 7.53 ; CELKOVA VYSKA ZUBU
13 ;Q9 = 3.75 ; VYSKA ZUBU
14 ;Q224 = 20 ; - UHEL SKLONU BOKU DRAZKY
15 ;
16 ; --- TECHNOLOGICKY PARAMETRY ----
17 ;Q203 = 0 ; - POVRCH
18 ;Q204 = 100 ; - ODJEZD
19 ;Q200 = 2 ; - NAJEZD
20 ;Q205 = 2 ; - PREJEZD
21 ;Q368 = 0 ; - PRIDAVEK NA STENU (p)
22 ;Q369 = 0 ; - PRIDAVEK NA DNO (p dno)
23 ;Q207 = 500 ; - PRAC POSUV
24 ;Q202 = 0.05 ; - HLOUBKA PRISUVU (ap)
25 ;Q351 = 1 ; - DRUH OBRABENI FREZOVANIM U M03 (+1 sousledne, -
l~nesousledne)
26 ;Q370 = 1 ; - FAKTOR PREKRYTI DRAHY
27 ;
28 ; --- OSTATNI PARAMETRY ---
29 ;Q336 = 0 ; - STARTOVNI UHEL
30 ;Q216 = 0 ; - X SOURADNICE STREDU
31 ;Q217 = 0 ; - Y SOURADNICE STREDU
32 ;Q23 = 90 ; - ODKLON FREZY
33 ;=====
34 ;
35 ; ----- PREPOCET PARAMETRU PRO PUVODNI VERZI PROGRAMU-----
36 Q5 = ( Q7 - Q6 ) + 2 * Q9 * TAN ( Q224 ) ; - SIRKA DRAZKY (z4)
37 Q335 = Q16 - 2 * Q8 ; - PRUMER DNA ZAVITU
38 ;
39 Q84 = Q366 ; puvodni startovni uhel zadany uzivatelem
40 ; ----- ZMENA ZNAMENKA PRO LEVOU SROUBOVICI U Q351 -----
41 FN 11: IF +0 GT +Q239 GOTO LBL 93 ; PRO LEVOU SROUBOVICI JE POTREBA
PREHODIT ZNAMENKA U Q351
42 Q351 = - Q351
43 LBL 93
44 ; ----- PREPOCET PRISUVU DLE HLOUBKY DRAZKY S PRIDAVKEM NA DNO -----
45 Q14 = ( ( ( Q16 - Q335 ) / 2 ) - Q369 ) / Q202 ; max pocet hloubek
46 Q15 = INT Q14
47 FN 11: IF +Q15 GT +Q14 GOTO LBL 83
48 Q15 = Q15 + 1
49 LBL 83
50 Q202 = ( ( Q16 / 2 ) - ( Q335 / 2 ) - Q369 ) / Q15
51 ;
52 Q6 = 0 ; i - pocet odjetych prisuvu
53 ; ----- ZACATEK CYKLUS -----
54 LBL 11
55 FN 9: IF +Q6 EQU +Q15 GOTO LBL 55
56 Q335 = ( Q16 ) - 2 * ( ( Q6 + 1 ) * Q202 ) ; aktualni PRUMER sroubovice

```

```
57 Q366 = Q84 ; puvodni start. uhel zadan uzivatelem
58 Q7 = Q5 - 2 * Q6 * Q202 * TAN Q224 ; z - SIRKA DRAZKY ZAVISLA NA ap
59 Q11 = ( Q7 - 2 * ( ( Q368 * COS Q224 ) + ( Q108 ) ) ) ; z6
60 FN 12: IF +Q11 LT +0 GOTO LBL 55 ;
61 Q88 = ( Q11 / ( 2 * Q108 * Q370 ) ) ; z6/ Dc*kdc
62 Q89 = INT ( Q88 ) ; ZAOKROUHLENY POCET DRAH NASTROJE V JEDNE HLOUBCE
REZU
63 FN 11: IF +Q89 GT +Q88 GOTO LBL 22
64 Q89 = Q89 + 1
65 LBL 22
66 ; Q89 - pocet drah nastroje
67 Q83 = Q335 / 2 ;
68 Q80 = Q7 / 2 - Q368 * COS Q224 - Q108 ; VZDALENOST STREDU NASTROJE OD
STREDU DRAZKY
69 FN 11: IF +0 GT +Q80 GOTO LBL 55 ; KONTROLA ZDA NASTROJ NEMA VETSI
PRUMER NEZ JE SIRKA DRAZKY
70 Q336 = Q84 - Q351 * ( 360 * ABS ( Q80 ) * SQRT ( 1 + SQ ( Q239 / ( 2 *
PI*Q83) ) / Q239 ) ; pocatecni STARTOVNI UHEL S PRIHLEDNUTIM K NATOCENI
OBROBKU
71 LBL 72
72 ;
73 ; ----- VYVOLANI PODPROGRAMU PRO PRVNI DRAHU V JEDNE HLOUBCE -----
74 CALL PGM \DRAZKA-POV
75 Q87 = Q336
76 Q85 = 1 ; j - koeficient poctu odjetych drah v jedne hloubce
77 LBL 33
78 FN 11: IF +Q85 GT +Q89 GOTO LBL 44
79 Q81 = Q85 * ( Q11 / Q89 ); vzdalenost prisuvu do strany
80 Q336 = Q87 + Q351 * ( 360 * Q81 * SQRT ( 1 + SQ ( Q239 / ( 2 * PI * Q83 ) ) ) / Q239 ) ;
STARTOVNI UHEL S PRIHLEDNUTIM K NATOCENI OBROBKU a poleze na drazce
81 ; ----- VYVOLANI PODPROGRAMU PRO OSTATNI DRAHY V JEDNE HLOUBCE -----
82 CALL PGM \DRAZKA-POV
83 ;
84 Q85 = Q85 + 1
85 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 33
86 ;
87 LBL 44
88 Q6 = Q6 + 1 ; i - pocet odjetych prisuvu
89 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 11
90 LBL 55
91 ;
92 ; ----- ODJEZD
93 CALL PGM \ODJEZD
94 END PGM DRAZKA-HRUB MM
```

PŘÍLOHA č. 2

Podprogram pro pohyb nástroje po šroubovici DRAZKA-POV

```
0 BEGIN PGM DRAZKA-POV MM
1 ; POZOR! Toci se se stolem
2 ; vyplnit radius koule do tabulky
3 ; v pripade potreby odklounu nastroje, predefinujte rade 14 s parametrem
Q23 nasledovne( 14 ; Q23 - ODKLON NASTROJE)
4 ; Q201 - DELKA OBROBKU
5 ; Q203 - POVRCH
6 ; Q204 - ODJEZD (rovina v ose Z v niz se naklapi nastroj)
7 ; Q200 - BEZPECNA VZDALENOST
8 ; Q205 - BEZPECNA VZDALENOST PRO VYJEZD Z REZU
9 ; Q207 - PRAC POSUV
10 ; Q335 - PRUMER DNA ZAVITU
11 ; Q239 - STOUPANI (+ PRAVY, - LEVY) ; ZMENA
12 ; Q336 - STARTOVNI UHEL
13 ; Q216 - X SOURADNICE STREDU
14 ; Q217 - Y SOURADNICE STREDU
15 ; Q16 - PRUMER OBROBKU
16 Q23 = 90 ; - ODKLON FREZY
17 ; =====
18 ;
19 ; POKUD NENI ZADANA Q205, Q205=Q200
20 FN 11: IF +Q205 GT +0 GOTO LBL 4
21 Q205 = Q200
22 LBL 4
23 ;
24 Q1 = ( 360 * ( Q200 - Q203) ) / Q239 ; vypocet pootoceni obrobkou pro najezd
25 Q2 = Q1 + Q336
26 Q99 = Q336 ; UHEL
27 Q90 = 0 ; HLOUBKA - AKTUAL
28 Q94 = 1 ; STUPEN DOPRAVA
29 FN 11: IF +Q239 GT +0 GOTO LBL 2
30 Q94 = - 1
31 LBL 2
32 Q95 = ABS ( Q239 / 360 ) ; INKREMENT
33 Q92 = Q335 / 2 ; RADIUS SROUBOVICE V AKTUALNI HLOUBCE REZU
34 ;
35 ; ----- TEST ODJEZDU -----
36 Q4 = Q203 + Q200
37 FN 11: IF +Q4 GT +Q204 GOTO LBL 31
38 ;
39 ; ----- NATOCENI NASTROJE
40 Q97 = ( Q16 / 2 + Q204 ) * SIN ( Q99 + Q1 ) + Q217 ; Y
41 Q98 = ( Q16 / 2 + Q204 ) * COS ( Q99 + Q1 ) + Q216 ; X
42 M129
43 C+Q2 R0 FMAX M126
44 M128
45 L X+Q98 Y+Q97 Z+Q200 B+Q23 R0 FMAX M3 M126
46 ; ----- NAJEZD - podle bezpecne vzdalenosti pootocit obrobek v ose C
47 FN 11: IF +Q201 GT +Q90 GOTO LBL 30
48 Q97 = ( Q92 ) * SIN ( Q99 + Q1 ) + Q217 ; Y
49 Q98 = ( Q92 ) * COS ( Q99 + Q1 ) + Q216 ; X
50 Q2 = Q336 + Q1 ; uhel C
51 L X+Q98 Y+Q97 Z+Q4 C+Q2 R0 FMAX M128
52 ;
53 ; ----- CYKLUS -----
54 Q3 = Q201 - Q200 - Q205 ; celkova draha v ose Z (celkova hloubka
obrabeni)
55 LBL 1
56 FN 11: IF +Q3 GT +Q90 GOTO LBL 30
57 Q99 = Q2 + Q90 * Q94 / Q95
```

```
58 Q97 = Q92 * SIN ( Q99 ) + Q217 ; Y SOURADNICE
59 Q98 = Q92 * COS ( Q99 ) + Q216 ; X SOURADNICE
60 Q96 = Q203 + Q200 + Q90 ; Z SOURADNICE
61 L X+Q98 Y+Q97 Z+Q96 C+Q99 R0 FQ207 M126
62 Q90 = Q90 - Q95
63 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 1
64 Q90 = Q3 ; POSL SPONA
65 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 1
66 LBL 31
67 STOP M0
68 ; ----- BEZPECNA ROVINA MUSI BYT NAD POVRCHEM
69 STOP M30
70 LBL 30
71 Q97 = ( ( Q16 / 2 ) + Q204 ) * SIN Q99 + Q217 ; Y
72 Q98 = ( ( Q16 / 2 ) + Q204 ) * COS Q99 + Q216 ; X
73 L X+Q98 Y+Q97 R0 FMAX
74 Z+Q200 FMAX
75 M1
76 ; ----- DALE TLACITKEM START (MOZNO VYPNOUT PRERUSENI CYKLU)
77 ; B+0 R0 FMAX M129
78 END PGM DRAZKA-POV MM
```

PŘÍLOHA č. 3

Hlavní program pro volání podprogramu DRAZKA-HRUB-HL

```
0 BEGIN PGM DRAZKA-HRUB-HL MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-140 Y-140 Z-320
2 BLK FORM 0.2 X+140 Y+140 Z+0
3 ; POZOR! Toci se se stolem
4 ; vyplnit radius frezy do tabulky
5 ;
6 TOOL CALL 15 Z S12000 F500 ; FR-VALC
7 ;=====
8 ; ----- CYKLUS HRUBOVANI DRAZKY VE SROUBOVICI NA VALCI -----
8 ;--- GEOMETRICKY PARAMETRY ---
9 Q16 = 280 ; - PRUMER OBROBKU
10 Q201 = - 320 ; - DELKA OBROBKU (zadano v absolutnich souradnicich od
nul. bodu)
11 Q239 = 79.107 ; - STOUPANI (+ PRAVY, - LEVY) (tO-osové)
11 Q6 = 38.570 ; SIRKA ZUBU (Z PROFILU KOLMO NA STOUPÁNÍ)
12 Q7 = 78.540 ; ROZTEC ZUBU tn
12 Q8 = 59 ; CELKOVA VYSKA ZUBU
13 Q9 = 31,25 ; VYSKA ZUBU
14 Q224 = 20 ; - UHEL SKLONU BOKU DRAZKY
15 ;
16 ; --- TECHNOLOGICKY PARAMETRY ----
10 Q203 = 0 ; - POVRCH
11 Q204 = 100 ; - ODJEZD
12 Q200 = 10 ; - NAJEZD
23 Q205 = 10 ; - PREJEZD
17 Q368 = 0.3 ; - PRIDAVEK NA STENU (p)
16 Q369 = 0.2 ; - PRIDAVEK NA DNO (p dno)
13 Q207 = 500 ; - PRAC POSUV
25 Q202 = 2.5 ; - HLOUBKA PRISUVU (ap)
26 Q351 = 1 ; - DRUH OBRABENI FREOZANIM U M03 (+1 sousledne, -1
nesousledne)
28 Q370 = 1 ; - FAKTOR PREKRYTI DRAHY
28 ;
16 ; --- OSTATNI PARAMETRY ---
18 Q336 = 0 ; - STARTOVNI UHEL
19 Q216 = 0 ; - X SOURADNICE STREDU
20 Q217 = 0 ; - Y SOURADNICE STREDU
22 Q23 = 90 ; - ODKLON FREZY
29 ; =====
30 CALL PGM DRAZKA-HRUB
31 M30
31 ; UPRAVENO 6.4. 20:19
32 END PGM DRAZKA-HRUB-HL MM
```