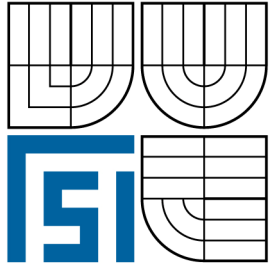




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**MOŽNOSTI SYSTÉMU HEIDENHAIN PŘI
PROGRAMOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**
HEIDENHAIN TOOLS FOR NC PROGRAMMING OF MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VLADISLAV CINK

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.D.

BRNO 2010

Zadání

ABSTRAKT

Popis možností řídicího systému Heidenhain iTNC 530 a stroje FV 25 CNC A. Detailní rozbor vlivu jednotlivých programovacích funkcí pro zefektivnění obrábění na předepsaném stroji.

Klíčová slova

Heidenhain iTNC 530, frézka FV 25 CNC A, NC program, programování, popisný dialog

ABSTRACT

The Description of the control system Heidenhain iTNC 530 and the machine FV 25 CNC A. Detailed analysis of the impact of single programming functions for more effectivity machining by the help of specified machine.

Key words

Heidenhain iTNC 530, Milling machine FV 25 CNC A, NC programme, programming, description dialogue

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CINK, Vladislav. *Možnosti systému Heidenhain při programování obráběcích strojů: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 66 s., 7 příloh. Vedoucí práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Možnosti systému Heidenhain při programování obráběcích strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. 5. 2010

.....
Vladislav Cink

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	4
Poděkování	5
Obsah	6
Úvod.....	8
1 MOŽNOSTI ŘÍDICÍHO SYSTEMU HEIDENHAIN A MOŽNOSTI JEHO PROGRAMOVÁNÍ.....	9
1.1 Programovací režimy.....	10
1.2 Strojní provozní režimy.....	10
1.3 Programy a soubory.....	11
1.3.1 Podprogramy.....	12
1.3.2 Opakování části programu.....	13
1.4 Programování obrysů	13
1.4.1 Programování pomocí dráhových funkcí.....	13
1.4.2 Volné programování obrysu FK.....	14
1.4.3 Parametrické programování.....	15
1.5 Obráběcí cykly.....	17
1.6 Korekce rádiusu nástroje.....	18
1.7 Generování dráhy.....	19
2 KONZOLOVÁ VERTIKÁLNÍ FRÉZKA FV 25 CNC A.....	21
2.1 Technické parametry.....	21
2.2 Souřadný systém.....	22
2.3 Vztažné body na CNC frézce.....	23
2.4 Ovládací panel.....	23
2.5 Obrazovka strojního panelu.....	24
2.6 Příslušenství k řídicímu systému.....	26
2.6.1 3D-dotykové sondy.....	26
2.6.2 Elektronické ruční kolečko HR 410	27
3 MATERIÁLY A JEJICH OBROBITELNOST.....	28
3.1 Polyacetál POM.....	29

3.2 Polyethylen tereftalát PET.....	30
3.3 Obrobitelnost termoplastů.....	31
3.3.1 Frézování.....	33
3.3.2 Vrtání.....	34
4 PROGRAMOVACÍ FUNKCE PRO ZEFEKTIVNĚNÍ OBRÁBĚNÍ.....	35
4.1 Najetí a opuštění obrysu.....	35
4.2 Zaoblení rohů.....	36
4.3 Rychlost posuvu u kruhových oblouků.....	36
4.4 Tolerance - cyklus 32.....	37
5 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE A NC PROGRAMŮ.....	41
5.1 Součást 1.....	41
5.2 Součást 2.....	44
5.2.1 Parametrické programování paraboloidu.....	46
5.2.2 Obrábění paraboloidu pomocí CAD/CAM technologie.....	49
6 OBRÁBĚNÍ NA STROJI A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	52
6.1 Součást 1.....	53
6.2 Součást 2.....	58
Závěr.....	61
Seznam použitých zdrojů.....	63
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	65
Seznam příloh.....	66

ÚVOD

V současnosti jsou ve strojírenství kladeny nároky především na kvalitu, hospodárnost, zvyšování konkurenceschopnosti výrobků s ohledem na výrobní náklady a především při snižování vedlejších časů. Nový CNC stroj a výkonný software může všechny tyto zlepšující parametry poskytnout a velmi významně zvýšit výkon a rychlost obrábění¹.

CNC řídicí systém je srdce i mozek CNC obráběcího stroje. Na jeho výkonu, rychlosti zpracování dat, snadnosti obsluhy a programování a především spolehlivosti budeme vždy při obrábění závislí. S vývojem řídicích systémů je spojena i snaha zjednodušit vlastní etapu přípravy NC programů. V dnešní době nám řídicí systém umožňuje programovat různými způsoby, jako je ISO kód nebo pomocí dialogových oken, které se spíše používají pro dílenské programování přímo u stroje.

Dílenskému programování v systému Heidenhain iTNC 530 je věnována převážná většina této práce. Cílem je seznámení a popis možností řídicího systému Heidenhain iTNC 530 a stroje FV 25 CNC A. Dále se pak zaměřuje na rozbor vlivu jednotlivých programovacích funkcí. Rozborem těchto funkcí na elementární pohyby lze při reálném obrábění poukázat na fáze, které mohou při provozu stroje ovlivnit přesnost, ale i čas výroby.

1 MOŽNOSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU HEIDENHAIN A ZÁKLADY JEHO PROGRAMOVÁNÍ

System HEIDENHAIN iTNC 530 je řídicí systém pro frézky, vyvrtávačky a obráběcí centra. System dokáže řídit 3 až 12 poháněných os. Proto je iTNC koncipován jak pro nasazení v dílnách, tak také pro automatizovanou výrobu, například pro výrobní centra se zásobníky nástrojů nebo výměníky palet.

Při programování v Heidenhain iTNC 530 je na výběr zda programovat klasicky v **DIN/ISO** nebo použít programování pomocí **popisného dialogu HEIDENHAIN** nebo v dílensky orientovaném **SmarT.NC**. Každé zvolené programování má své výhody i nevýhody. Při programování v DIN/ISO je nutno si pamatovat různé G-funkce a pomocné M-funkce, dá se v něm ale dobře programovat pomocí parametrů. Pro programátory zvyklé z jiných systémů programovat pomocí ISO kódů to je přijatelná volba. Při programování v popisném dialogu HEIDENHAIN je řízení vedeno pomocí srozumitelných otázek a pokynů. Programovací grafika zobrazuje během zadávání programu jednotlivé kroky obrábění. Při programování jsou k dispozici funkce přímk, kruhových oblouků, zkosení, sražení a řada pevných cyklů obrábění pro často opakované operace. Kromě toho, pokud neexistuje výkres vhodný pro NC, pomáhá volné programování obrysů. SmarT.NC je další z možností, jak připravovat strukturované programy s popisným dialogem rychle a bez velkých nákladů na školení. Je vhodný pro začínající uživatele TNC, protože se tam nevyskytuje řada interpolací nástrojů, které lze v popisném dialogu blíže specifikovat a naprogramovat.

iTNC 530 se programuje přímo na stroji nebo častěji na programovacím pracovišti, odkud se posléze program nahraje do stroje. Pro jednoduché práce, např. ofrézování rovinných ploch, není nutno psát žádný NC program, protože iTNC 530 umožňuje obrábění i v ručním režimu.

Heidenhain iTNC 530 je výkonný řídicí systém pro technologie frézování resp. komplexní obrábění skříňových dílců a forem. Vestavěný digitální regulátor pohonů a výkonové moduly jsou cestou k vysoké dynamice a vysoké kvalitě povrchu při využívání HSC technologie. iTNC 530 ovládá max. 12 pohonů včetně

vřetena. Zvýšená výpočetní kapacita dosahuje času zpracování NC bloku 0,5 ms, tedy cca o 1 řád rychleji než předchozí typová řada TNC. Programy jsou uloženy na pevném disku².

1.1 Programovací režimy



Program zadat, editovat - V tomto režimu se realizuje samotné programování nebo se zde dá pracovat s již vytvořenými programy a různě je upravovat.



Test programu - TNC simuluje vytvořené programy nebo části programů. Systém vyhledá různé geometrické neslučitelnosti, chybějící údaje, např. posuvy, neroztočení vřetena atd. Ve spojení s opčním softwarem dynamického monitorování kolizí se dá kontrolovat, zda v programu nedochází ke kolizím. TNC přitom bere do úvahy jak průběh programu, tak i všechny pevné části stroje definované od výrobce a změřená upínadla. Po ukončení grafického testu se automaticky zobrazí čas obrábění.

1.2 Strojní provozní režimy



Ruční provoz - Režim pro ruční seřízení stroje, lze zde ručně nebo krokově polohovat strojní osy, nastavovat vztažné body a naklápět rovinu obrábění.



Elektronické ruční kolečko - Pojízďení v osách je řešeno přes elektronické ruční kolečko, které je příslušenstvím řídicího systému.



Polohování s ručním zadáváním - V tomto provozním režimu se dají naprogramovat jednoduché dráhové pohyby, které se programují přímo při obrábění. Často se využívá např. k ofrézování plochy nebo k předpolohování.



Provádění programu po bloku - Každý blok se spouští jednotlivě externím tlačítkem START.



Provádění programu plynule - V tomto režimu provede iTNC celý program nebo do okamžiku ručního přerušení. Po přerušení lze ručně znovu zahájit provádění programu.



smarT.NC - Dají se zde připravovat strukturované programy s popisným dialogem rychle a bez velkých nákladů na školení.

1.3 Programy a soubory

Když chceme zadat nový program, je nutné napsat jméno programu, tečku a za to koncovku. Podle toho iTNC zařadí programy do souborů a uloží na pevný disk. V tabulce (Tab. 1.1) jsou uvedeny všechny používané soubory s jejich koncovkami. Pro rychlou orientaci má iTNC speciální okno pro správu souborů. Zde je možné jednotlivé soubory vyvolávat, kopírovat, přejmenovávat a mazat. Aby bylo umístění programů co nejpřehlednější, je možné v každém souboru ještě založit adresáře a podadresáře.

Pomocí iTNC lze spravovat téměř libovolný počet souborů, maximálně však 25 GB. Jednotlivý NC program může být maximálně 2 GB velký³.

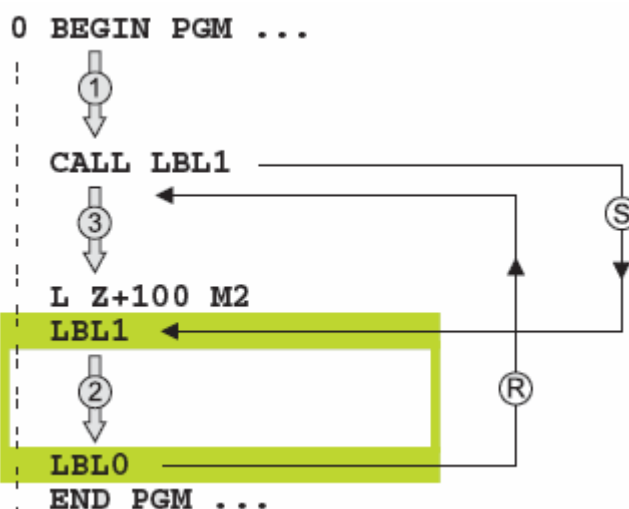
Tab. 1.1 Soubory a jejich koncovky.

Soubory v TNC	Typ
Programy ve formátu HEIDENHAIN ve formátu DIN/ISO	.H .I
Soubory smarT.NC Strukturovaný Unit-program (jednotkový) Popisy obrysů Tabulky bodů pro obráběcí pozice	.HU .HC .HP
Tabulky pro Nástroje Výměníky nástrojů Palety Nulové body Body Předvolby (vztažné body) Řezné podmínky Řezné materiály, materiály obrobků	.T .TCH .P .D .PNT .PR .CDT .TAB

Texty jako Soubory ASCII Soubory NÁPOVĚDY	.A .CHM
Data výkresů jako Soubory ASCII	.DXF
Ostatní soubory Předlohy upínadel Parametrizovaná upínadla Závislá data (např. body členění)	.CFT .CFX .DEP

1.3.1 Podprogramy

Jednou naprogramované obráběcí kroky se v programu dají opakovat pomocí podprogramů a opakování části programu. TNC provádí program obrábění až do vyvolání podprogramu pomocí **CALL LBL1**. Obrábění dále pokračuje podle podprogramu označeného **LBL1** až do konce podprogramu **LBL0**. Potom pokračuje TNC v provádění programu blokem, který následuje za vyvoláním podprogramu **CALL LBL1**. Schéma je zobrazeno na (Obr. 1.1).



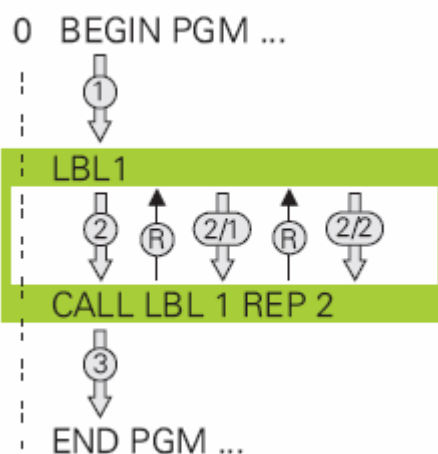
Obr. 1.1 Struktura podprogramu³.

Poznámky pro programování

- Hlavní program může obsahovat až 254 podprogramů
- Podprogramy můžete vyvolávat libovolně často v libovolném pořadí
- Podprogram nesmí vyvolávat sám sebe
- Podprogramy programujte na konci hlavního programu (za blokem s M2, popřípadě M30)
- Pokud se podprogramy nacházejí v programu obrábění před blokem s M2 nebo M30, pak se provedou nejméně jednou i bez vyvolání³.

1.3.2 Opakování části programu

U opakování části programu se v programu zadá LBL1 tam, odkud se má program opakovat. TNC pak vykonává obráběcí program, až dojde k **CALL LBL1 REPn**. Poté TNC opakuje část programu mezi vyvolaným návěstím LABEL a vyvoláním CALL LBL n REPn tolikrát, kolik je zadáno v parametru REP. Po posledním opakování pokračuje hlavní program dále v programu obrábění.



Obr. 1.2 Struktura opakování části programu³.

Poznámky pro programování

- Část programu lze opakovat až 65 000krát po sobě
- Opakovaná část programu se vykoná o jedno opakování vícekrát, než je počet naprogramovaných opakování, protože se k tomu přičítá první provedení programu před najetím na CALL LBL n REPn.

1.4 Programování obrysů







Obrys obrobku se skládá obvykle z více obrysových prvků, jako jsou přímky a kruhové oblouky. V systému Heidenhain iTNC 530 se dá obrys programovat pomocí dráhových funkcí, volného programování nebo pomocí parametrů s matematickými rovnicemi.

1.4.1 Programování pomocí dráhových funkcí

Dráhové funkce jsou zobrazeny v (Tab. 1.2). Při programování obrysů se pro každý prvek obrys obrobku postupně zadávají souřadnice koncových bodů. Ze zadaných souřadnic, nástrojových dat a korekce rádiusu spočítá TNC skutečnou

dráhu pojezdu nástroje. Systém pojíždí současně všemi strojními osami, které se naprogramují v jednom bloku dráhové funkce. U kruhových pohybů, při vytváření kruhů a oblouků, pojíždí iTNC dvěma strojními osami současně. Nástroj se pohybuje relativně vůči obrobku po kruhové dráze. Pro kruhové pohyby se zadává střed kruhu CC.

Tab. 1.2 Funkční klávesy.

	Přímka
	Střed kruhu, pól pro polární souřadnice
	Kruhová dráha kolem středu kruhu
	Kruhová dráha s rádiusem
	Kruhová dráha s tangenciálním napojením
	Zkosení
	Zaoblení rohů

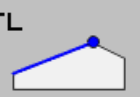
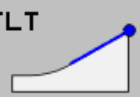
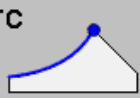
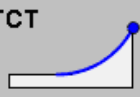
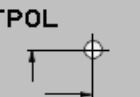
1.4.2 Volné programování obrysu FK

Volné programování se používá všude tam, kde chybí na výkresech obrobků souřadnice cílových bodů. Postupně se zadávají všechny známé údaje, aniž by se muselo něco přepočítávat. Při tom mohou být jednotlivé prvky kontury neurčité, dokud není určena celková kontura sama o sobě. Vedou-li data k několika matematickým řešením, nabízí programovací grafika systému iTNC 530 k rozhodnutí jaká verze je správná.

Možné údaje o obrysovém prvku - Známé souřadnice koncového bodu

- Pomocné body na obrysovém prvku
- Pomocné body v blízkosti obrysového prvku
- Relativní vztah k jinému obrysovému prvku
- Údaje o směru (úhel) / údaje o poloze
- Údaje o průběhu obrysu

Tab. 1.3 Softklávesy pro volné programování.

FL 	Přímka bez tangenciálního napojení
FLT 	Přímka s tangenciálním napojením
FC 	Kruhový oblouk bez tangenciálního napojení
FCT 	Kruhový oblouk s tangenciálním napojením
FPOL 	Pól pro FK programování

1.4.3 Parametrické programování

Pomocí Q-parametrů (zástupce namísto číselného údaje) se dá jedním obráběcím programem definovat celá skupina tvarově podobných součástek. Tento způsob programování je založen na počátečním nastavení vstupních hodnot do tabulky parametrů, jež není součástí NC programu. Po spuštění programu se pak předem nedefinované hodnoty v tabulce načtou a systém s nimi dále pracuje. Výhody parametrického programování je, že se snižuje počet programů pro daný typ součástí.

Q-parametry lze například použít pro - hodnoty souřadnic

- posuvy a otáčky
- data cyklů

Pomocí Q-parametrů se dají programovat obrysy, které jsou popsány pomocí matematických funkcí, nebo řídit provádění obráběcích kroků v závislosti na splnění logických podmínek. Ve spojení s volným programováním obrysů (FK) se dají kombinovat s Q-parametry rovněž obrysy, které nejsou pro NC dostatečně okótovány.

Popis obrysů pomocí matematických funkcí

S použitím Q-parametrů lze programovat pomocí základních matematických funkcí uvedených v Tab. 1.4. K dispozici jsou základní aritmetické operace, goniometrické funkce, mocninné, odmocninné a logaritmické funkce, počítání se závorkami a srovnání s příkazy podmíněných skoků.

FN 1: $Q1 = Q2 + 5$ - Parametru Q1 je přiřazen součet parametru Q2 a čísla 5.

Tab.1.4 Softklávesy matematických funkcí.

FN0 X = Y	Přímé přiřazení hodnoty
FN1 X + Y	Vytvoří a přiřadí součet dvou hodnot
FN2 X - Y	Vytvoří a přiřadí rozdíl dvou hodnot
FN3 X * Y	Vytvoří a přiřadí součin dvou hodnot
FN4 X / Y	Vytvoří a přiřadí podíl dvou hodnot
FN5 Odmocnina	Vytvoří a přiřadí druhou odmocninu z čísla
FN6 SIN(X)	Určí a přiřadí sinus úhlu ve stupních (°)
D7 COS(X)	Určí a přiřadí kosinus úhlu ve stupních (°)
FN8 X LEN Y	Určí a přiřadí délku přepony pomocí Pythagorovy věty
FN13 X ANG Y	Určí a přiřadí arctg úhlu

Podmíněné programové skoky

Podstatou podmíněných skoků je realizace bloků jen v případě, že je splněna stanovená podmínka. TNC porovnává jeden Q parametr s jiným Q-parametrem nebo číselnou hodnotou. Pokud je podmínka splněna, pak pokračuje TNC v programu obrábění na zvolené návěští LABEL, které je naprogramované v řádku za podmínkou. Není-li podmínka splněna, pak provede TNC následující blok. Skok může být realizován, že vrátí provádění programu před nebo i za vytvořenou podmínku.

FN 10: IF +10 NE -Q5 GOTO LBL 1 - Jestliže se parametr Q5 nerovná číslu 10, tak následuje skok na LBL 1.

Tab. 1.5 Softklávesy podmíněných programovacích skoků.

FN9 IF X EQ Y GOTO	Jsou-li si obě hodnoty nebo oba parametry rovny, pak následuje skok na zadané návěští
FN10 IF X NE Y GOTO	Jestliže se obě hodnoty nebo oba parametry nerovnaj, pak následuje skok na zadané návěští
FN11 IF X GT Y GOTO	Je-li první hodnota nebo parametr větší než druhá hodnota nebo parametr, pak následuje skok na zadané návěští
FN12 IF X LT Y GOTO	Je-li první hodnota nebo parametr menší než druhá hodnota nebo parametr, pak následuje skok na zadané návěští

Nepodmíněné programovací skoky

Nepodmíněné skoky jsou skoky, jejichž podmínka je splněna vždy. Lze s nimi měnit posloupnost čtených programovacích bloků.

FN 9: IF+10 EQU+10 GOTO LBL1 – Jestliže se 10 rovná 10, tak následuje skok na LBL1.

1.5 Obráběcí cykly

Pro usnadnění práce, u často se opakujících operací, nabízí systém pro usnadnění programování CNC strojů frézovací a vrtací cykly. Jedná se o předdefinované dráhy obráběcích nástrojů, které umožňují vykonat určitý způsob obrábění na základě vyplněných parametrů cyklu. Například při vrtání zvolí programátor cyklus vrtání 200 a zadává požadované parametry (bezpečnou výšku najetí, celkovou hloubku, posuv na hloubku, souřadnici povrchu v ose Z). Současně TNC zobrazuje v pravé polovině obrazovky grafiku, ve které je každý zadávaný parametr zvýrazněn. Po zadání všech požadovaných parametrů je dialog ukončen. Využití předdefinovaných cyklů, především vrtacích a měřicích šetří čas technologa a výrazně snižuje jeho možnou chybu hrozící z upsání při vytváření NC programu. Detaily jednotlivých předdefinovaných cyklů se nachází v dokumentaci řídicího systému Heidenhain iTNC 530. Vytvořené dráhy nástroje, například konturování nebo kapsování, je možné různě rotovat podle středu rotace, zmenšovat nebo zvětšovat v měřítku, zrcadlit. Využití těchto funkcí umožňuje programátorovi použít jednou napsanou dráhu nástroje pro více obrábění. Cykly se zadávají pomocí softkláves (Obr. 1.3).

Urtání/ závitů	Kapsy/ ostrůvky/ drážky	Transfor. souřadnic	SL CYKLY	Rastr bodů	Řádkování	Speciální cykly	END
-------------------	-------------------------------	------------------------	-------------	---------------	-----------	--------------------	-----

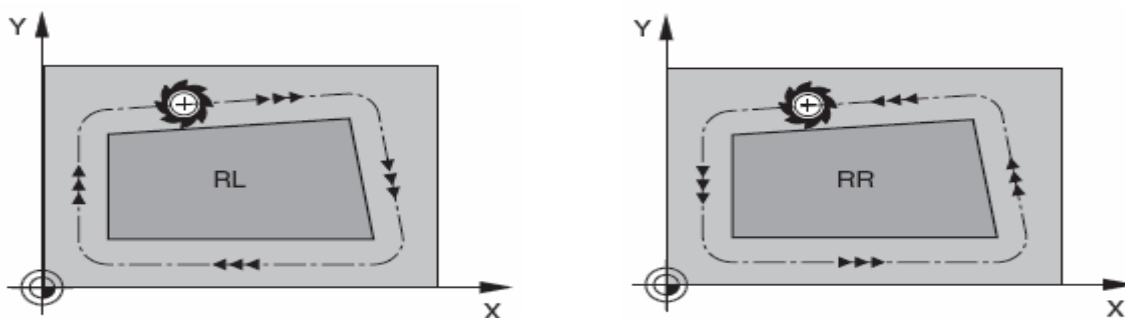
Obr. 1.3 Lišta softkláves cyklů.

Seznam cyklů pod uvedenými softklávesami:

- Cyklus vrtání, hlubokého vrtání, vystružování, vyvrtávání, zahlubování, vrtací frézování, frézování vnějšího závitu, řezání závitu a frézování vnitřního závitu.
- Cyklus frézování pravoúhlé kapsy, kruhové kapsy, drážky, kruhové drážky, pravoúhlého a kruhového čepu.
- Cykly pro transformaci souřadnic, jimiž lze libovolné obrysy posouvat, natáčet, zrcadlit, zvětšovat a zmenšovat.
- SL-cykly, jimiž lze obrábět souběžně s obrysem složitější obrysy, které se skládají z více navazujících dílčích obrysů, interpolace na plášti válce.
- Cykly k vytváření bodových rastrů (vzorů) na kružnici a v řadě, např. díry na kružnici.
- Cykly řádkování k plošnému frézování rovinných nebo vzájemně se pronikajících ploch.
- Speciální cykly časové prodlevy, vyvolání programu, orientace vřetena, tolerance

1.6 Korekce rádiusu nástroje

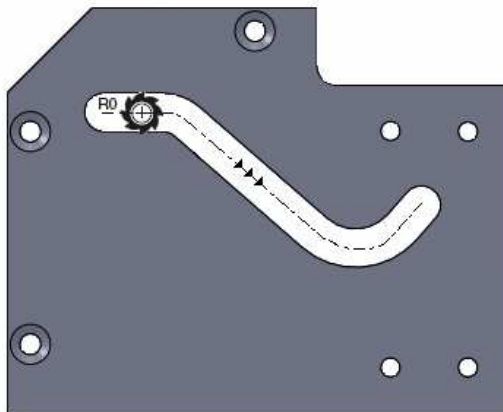
V systému Heidenhain iTNC 530 se rozlišují 2 druhy korekce rádius. Když je nástroj polohován svým středem ve vzdálenosti poloměru nástroje vlevo od programovaného obrysu, označuje se RL (Obr. 1.4), a naopak vpravo od obrysu, označení RR (Obr. 1.5).

Obr. 1.4 Nástroj pojíždí vlevo od obrysu³. Obr. 1.5 Nástroj pojíždí vpravo od obrysu³.

Korekce rádiusu je účinná, jakmile je nástroj vyvolán a pojíždí se jím v rovině obrábění některým přímkovým blokem se zadaným RL nebo RR.

Dráhové pohyby bez korekce rádiusu

Zadává se hodnota $R0$. Nástroj pojíždí svým středem po programované dráze v rovině obrábění. Nejčastěji se používá při vrtání, drážkování a předpolohování nájezdů a výjezdů.



Obr. 1.6 Pohyb bez korekce rádiusu.

1.7 Generování dráhy

Jednoznačně určený povrch při výrobě je přepočten v řídicím systému na ekvidistantní dráhu, ve které je zahrnut tvar a rozměr nástroje. Při skutečném obrábění tvarových obrobků však dochází k porušení ekvidistantnosti skutečné dráhy středu nástroje s dráhou požadovanou a tím k chybám na obrysech a tvarech obrobků. Hlavní příčinou těchto odchylek je časová prodleva mezi vyhodnocením, zpracováním a zadáním nových parametrů řídicímu systému. Všechny dráhy a plochy jsou u číslicově řízených strojů interpretovány pomocí interpolací, které nahrazují skutečný povrch²¹.

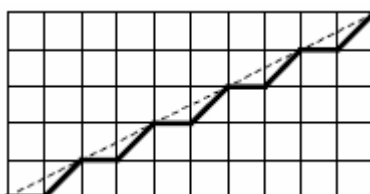
Druhy interpolace

- lineární – pohyb po přímce
- kruhová – kruhový oblouk leží v základní rovině souřadného systému
- hélické – kruhová interpolace ve dvou osách a třetí osa má lineární interpolaci
- vyšší stupně interpolace – parabolické, kubické, splinové

Lineární interpolace

V přímých úsecích dráhy rovnoběžné se souřadnými osami stroje dochází pouze k posuvu jen v jedné ose, inkrementy se sčítají a dráha nástroje je vždy ekvidistantní k žádanému tvaru obrobku. Proto zde nedochází k chybám vlivem interpolace. K odchylkám od ekvidistanty, a tím k úchytkám od ideálního tvaru,

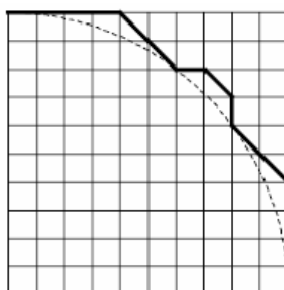
dochází až při přímkových drahách šikmo skloněných k souřadným osám (Obr. 1.7). U lineárních interpolací je největší odchylka od ideálního tvaru menší než základní jednotka odměřování. Další chyba vzniká, pokud budeme lineárním interpolátorem nahrazovat kruhový oblouk nebo obecnou křivku. Tyto křivky je lineární interpolátor schopen nahradit pouze n -úhelníkem²¹.



Obr. 1.7 Chyba při lineární interpolaci²¹.

Kruhová interpolace

U kruhové interpolace dochází také k odchylce skutečné dráhy nástroje od ideální kružnice. To je patrné z obrázku, na kterém je příklad realizace extrémně malé kružnice o poloměru 10 elementárních jednotek dráhy. Poloměrová chyba zde činí 1 až 2 jednotky dráhy (jednotky odměřování) bez ohledu na poloměr kružnice (Obr. 1.8)²¹.



Obr. 1.8 Chyba při kruhové interpolaci²¹.

Spline interpolace

Při spline interpolaci jsou tři body spojovány parabolou, jejíž tečna v druhém bodě je rovnoběžná se spojnicí prvního a třetího bodu. Ideální dráhu nástroje interpolátor prokládá lomenou dráhou sestavenou z elementárních přímkových úseků. Odchylka této skutečné dráhy středu nástroje od dráhy teoretické jsou menší, než je velikost elementárního kroku dráhy²¹.

2 KONZOLOVÁ VERTIKÁLNÍ FRÉZKA FV 25 CNC A

Frézka FV 25 CNC A (Obr. 2.1) je plynule řízená svislá konzolová frézka. Řízený podélný a příčný pohyb v ose X,Y vykonává pracovní stůl a řízený svislý pohyb v ose Z vykonává vřetení. Vřeteník je pevný, pohyb je zajištěn přes výsuvnou pinolu. Konzola s pracovním stolem je manuálně výškově přestavitelná. Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Frézka má pohony řízené rotačními krokovými motory s kuličkovými šrouby.

Stroj se nejčastěji využívá při obrábění středních a malých součástí, kde se používají základní frézovací a vrtací operace. Pohon a rozsah otáček vřetení umožňuje efektivní obrábění všech druhů kovů, od různých druhů ocelí až po slitiny lehkých kovů. Výrobce je TOS Olomouc s. r. o.



Obr. 2.1 Konzolová vertikální frézka FV 25 CNC A.

2.1 Technické parametry

STŮL	
rozměr pracovní plochy	350 x 1300 mm
upínací drážky - počet	5
- šířka a rozteč	14 x 50 mm
maximální zatížení stolu	200 kg
pracovní zdvih - podélný (X)	760 mm
- příčný (Y)	355 mm
- svislý (Z)	152 mm
svislé přestavení konzoly	420 mm
posuvy - plynule X,Y,Z	2,5 – 3000 mm/min
- rychloposuv X,Y,Z	9000 mm/min

VŘETENO

vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	373 mm
otáčky - počet stupňů	2
- rozsah otáček (plynule)	50 - 6000 min ⁻¹
výkon motoru	5,5 kW

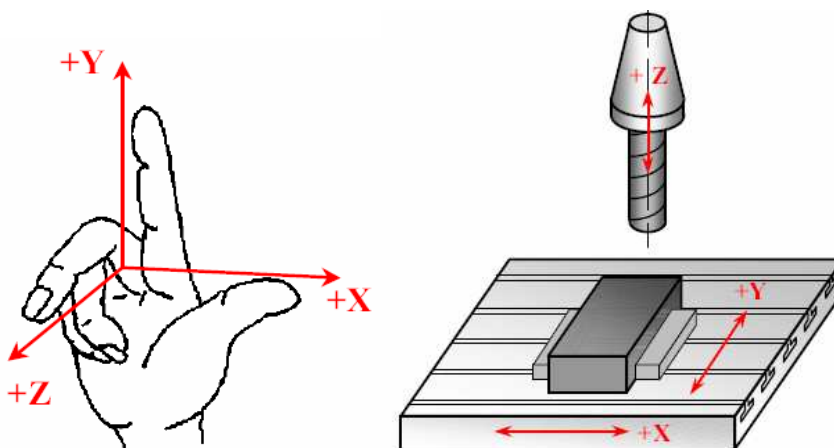
STROJ

celkový příkon	22 kW
hmotnost	1500 kg
zastavěná plocha	2588 x 2750 mm
výška	2030 mm

2.2 Souřadný systém

Souřadným systémem lze jednoznačně definovat polohu bodu v rovině nebo v prostoru. Bod je tedy určen souřadnicemi. V pravouhlém (kartézském) systému jsou definovány tři směry jako osy X, Y a Z. Tyto osy jsou navzájem kolmé a protínají se v jednom bodě, nulovém bodě (počátku). Každá souřadnice udává vzdálenost od nulového bodu v některém z těchto směrů. Takto lze tedy popsat jakoukoli polohu v rovině dvěma souřadnicemi a v prostoru třemi souřadnicemi.

Při obrábění na frézce se kus obecně vztahuje k pravouhlému souřadnému systému. Obrázek 2.2 ukazuje, jak je pravouhlý souřadný systém přiřazen k osám stroje. Pravidlo tří prstů pravé ruky slouží jako pomůcka pro zapamatování: Ukazuje-li prostředník ve směru osy nástroje od obrobku k nástroji, pak ukazuje ve směru +Z, palec ve směru +X a ukazovák ve směru +Y³. iTNC 530 může řídit až 9 os. Vedle hlavních os X, Y a Z existují souběžně probíhající přídatné osy U, V a W. Rotační osy se označují A, B a C. V našem případě budeme pracovat na tříosé frézce, tak si vystačíme s osami X, Y a Z.

Obr. 2.2 Souřadný systém u frézky⁸.

2.3 Vztažné body na CNC frézce



M- nulový bod stroje- Je počátkem souřadného systému pracovního prostoru stroje. Bod je pevně určen konstrukcí a není možné ho měnit. Je to absolutní počátek souřadnic⁹.



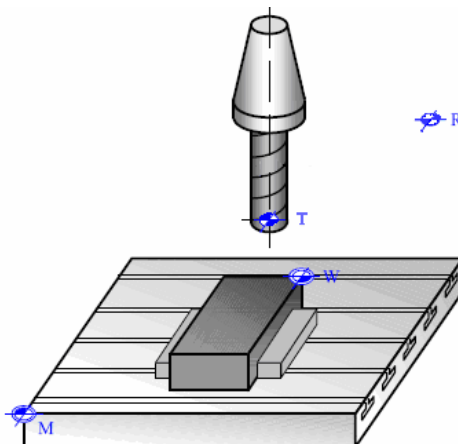
W- nulový bod obrobku- Bod na obrobku, definovaný od programátora. Vztahují se k němu všechny programované souřadnice drah.



T- nulový bod nástroje- Bod ležící v ose nástroje na čele.



R- referenční bod- Je stanoven výrobcem. Po zapnutí se do něj najíždí, aby se našel nulový bod stroje, které jsou od sebe v určité vzdálenosti a uloženy do paměti řídicího systému.

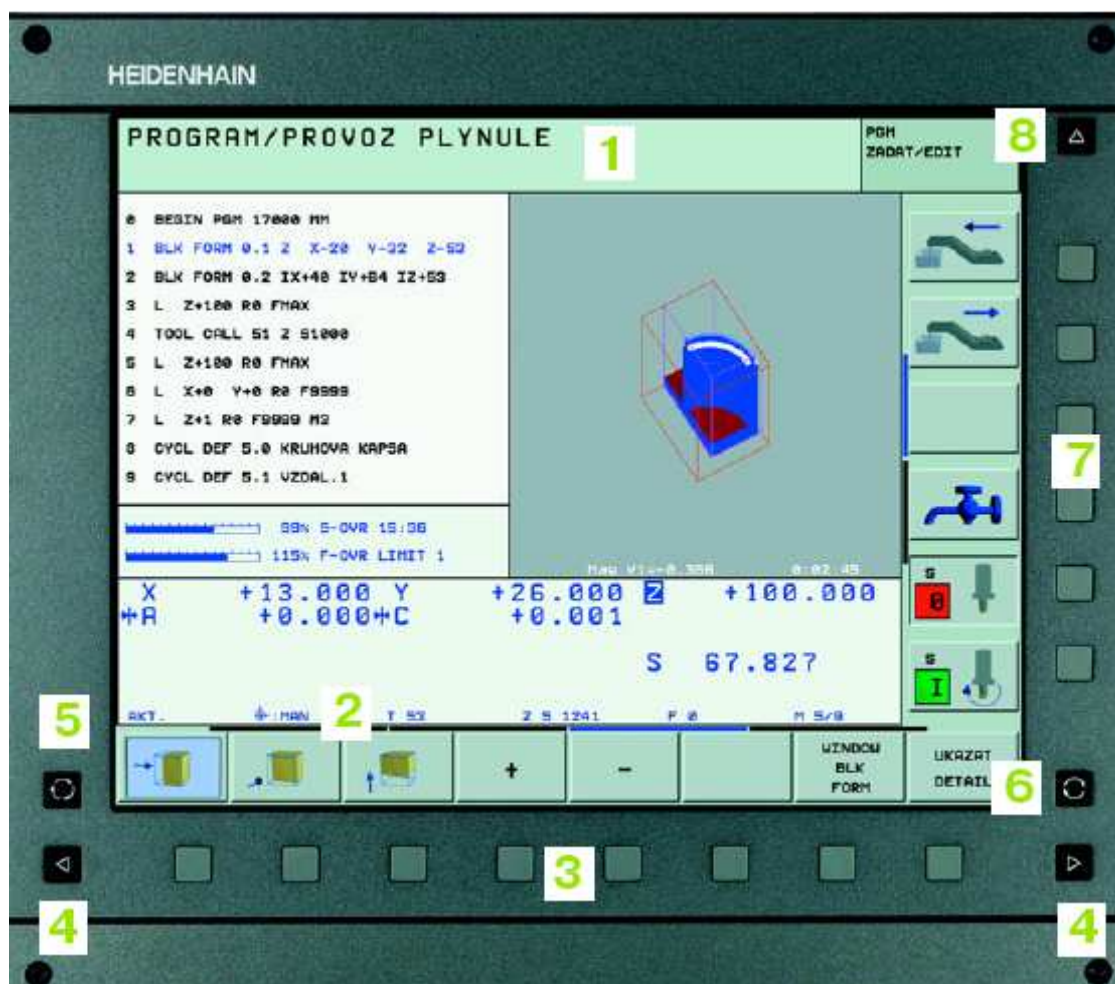


Obr. 2.3 Vztažné body na frézce⁹.

2.4 Ovládací panel

Ovládací panel stroje TE 530 (Obr. 2.4) umožňuje komunikaci mezi programátorem a obráběcím strojem. Obsahuje tlačítka pro tvorbu a simulaci NC programů, ovládání stroje v ručním i automatickém režimu a ovládací prvky např. pro upínání nástroje nebo spouštění kapaliny. Označení kláves zajišťuje dobrou orientaci obsluhy při zadávání programu³.

průběh obrábění nebo stavové záznamy. V průběhu zpracování programu jsou na obrazovce stále k dispozici stavové záznamy, které poskytují informaci o typu a poloze nástroje, aktuální části programu, aktivních cyklech obrábění a transformacích souřadnic atd. Zrovna tak je na iTNC 530 stále viditelný záznam výrobního času⁶.



Obr. 2.5 Obrazovka strojního panelu⁶.

1. Záhloví

Zobrazuje se v něm aktuálně navolený provozní režim. Dále se tam objevují otázky dialogu a texty hlášení.

2. Klíčové klávesy (dále jen softklávesy)

V řádku zápatí zobrazuje TNC v liště softkláves další funkce. Tyto funkce se volí pomocí tlačítek pod nimi. Pro orientaci ukazují úzké proužky nad lištou softkláves počet lišt softkláves, které lze navolit klávesami se šipkami uspořádanými na okraji. Aktivní lišta softkláves se zobrazuje jako prosvětlený proužek.

3. Tlačítka pro výběr softkláves
4. Přepínání lišt softkláves
5. Definování rozdělení obrazovky
6. Tlačítko přepínání obrazovky mezi strojními a programovacími provozními režimy
7. Tlačítka pro výběr softkláves výrobce stroje
8. Přepínání tlačítek pro výběr softkláves výrobce stroje

2.6 Příslušenství k řídicímu systému

K řídicímu systému lze dále dokoupit některá pomocná zařízení pro zlepšení práce na stroji. Přičemž při obrábění popisovaném v této práci byla využita spínací dotyková sonda TS 640 a elektronické ruční kolečko HR 410.

2.6.1 3D-dotykové sondy

Spínací dotykové sondy TS 220 a TS 640 (Obr. 2.6) jsou sondy vhodné především k automatickému vyrovnávání obrobků, nastavování vztažných bodů a k měření na obrobku. Při vychýlení dotykového hrotu vydá spínací dotyková sonda signál, který je u TS 220 přenášen kabelem, u TS 640 infračerveným přenosem. Sonda se upíná přímo do vřetena pomocí nástrojového držáku. Dotykový hrot je tvořen rubínovou kuličkou.

S pomocí nástrojové dotykové sondy TT 130 (Obr. 2.7) lze měřit frézy a vrtáky a průběžně kontrolovat otupení během obrábění. Nástroj se proměřuje v klidu nebo za rotace. Najetím nástroje na sondu se vychýlí kontaktní talíř a daný signál vyvolá odečtení polohy, která se uloží jako rozměr nástroje.



Obr. 2.6 Spínací dotyková sonda TS 640³. Obr. 2.7 Nástrojová dotyková sonda TT 130³.

2.6.2 Elektronické ruční kolečko HR 410

Elektronické ruční kolečko (Obr. 2.8) zjednodušuje přesné ruční pojíždění strojními saněmi. Posuv odpovídá rychlosti otáčení kolečka. Pro jemné polohování se dá nastavit velikost kroku v ose stroje na jedno otočení kolečka v rozsahu 20 mm až 0,02 mm.



Obr. 2.8 Elektronické ruční kolečko HR 410³.

3 MATERIÁLY A JEJICH OBROBITELNOST

V praxi jsou dnes často používány materiály z technických plastů pro svoje vynikající vlastnosti, jako je samomaznost, nízká hmotnost, dobrá kluznost, vysoká zatížitelnost, odolnost proti rázovému zatížení a relativně dobrá obrobiteľnosť. Technické plasty jsou v mnoha případech schopny hospodárně nahradit ocel, barevné kovy a jiné materiály. Jako materiál na obrábění byl zvolen polyacetal a polyethylen tereftalát.

Uplatnění technických plastů: Balící technika, technika odpadních vod, zemědělské stroje, stroje na zpracování papíru a tiskařské stroje, jeřábová, zdvihací a těžební technika, komponenty letadel, obráběcí stroje, lékařské a laboratorní přístroje.



Obr. 3.1 Příklady plastových součástek¹².

3.1 Polyacetál POM

POM je vysoce krystalický termoplast s vysokou pevností a tuhostí, jakož i s dobrými kluznými vlastnostmi a odolností proti opotřebením, s malou absorpcí vlhkosti. Dobrá rozměrová stabilita a zvláště dobrá únavová pevnost, jakož i vynikající obrobiteľnosť, činí z polyacetalu mnohostranně použitelný konstrukční materiál i pro komplexní stavební díly. Vyhovuje vysokým požadavkům na kvalitu povrchových ploch. Pevnost, tuhost a rozměrovou stabilitu lze ještě zlepšit přidáním skleněných vláken jako plniva, čímž však dojde ke zhoršení kluzných vlastností. POM je odolný vůči slabým kyselinám, slabým a silným louhům, organickým rozpouštědlům, jakož i benzínu, benzenu, olejům a alkoholům.

ERTACETAL je čistý bílý acetalový homopolymer (POM-H). Homopolymer má vyšší mechanickou pevnost, tuhost, tvrdost a odolnost proti tečení. Vyznačuje se i nižší tepelnou roztažností a dobrou odolností proti opotřebením. Dále jsou ještě kopolymery (POM-C), které mají vyšší rázovou houževnatost, větší odolnost proti oděru a tepelně/chemickou stálost.

Nejdůležitější vlastnosti:

- vysoká mechanická pevnost, tuhost a tvrdost
- vynikající pružnost
- dobrá odolnost proti tečení
- vysoká rázová houževnatost i při nízkých teplotách
- není samozhášivý
- bez efektu "ulpívání" na protikus
- velmi dobrá rozměrová stálost (nenasákavý)
- dobré kluzné vlastnosti
- vynikající obrobiteľnosť
- fyziologicky netečný - vhodný pro styk s potravinami
- 100% omyvatelnost - potravinářské provozy, jak vodou tak i chemickými prostředky
- mléčně bílý - vhodné pro potravinářské provozy

Tab. 3.1 Vlastnosti ertacetalu^{18, 19}.

	Zkuš. metoda	Hodnota	Jednotka
Hustota	ISO 1183	1,39	g/cm ³
Bod tání		175	°C
Napětí na mezi kluzu	ISO 527	53	MPa
Tažnost	ISO 527	32	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2100	MPa
Tvrdoost podle Brinella	ISO 2039-1	110	MPa

Použití:

- ozubená kola s malým modulem
- vačky, kladky
- silně zatížené nosné plochy a válce
- kluzná ložiska
- ventily a kohouty
- "zacvakávací" montážní sestavy
- všechny druhy rozměrově stálých přesných strojních součástí
- izolační elektrotechnické komponenty

3.2 Polyethylen tereftalát PET

Díky svým specifickým vlastnostem je čistý PET velmi vhodný pro výrobu mechanicky přesných částí, které jsou určeny pro velké zatížení a jsou vystaveny opotřebením. Výhodou je malý otěr ve vlhkém nebo suchém prostředí. Jen velmi nepatrně pohlcuje vlhkost a díky své nepatrné tepelné roztažnosti poskytuje velkou rozměrovou stálost. Díky jednoduchému strojnímu opracování a dobré tvarové stálosti za tepla je **ERTALYTE** kromě jiného vhodný pro součásti s přesnými tolerancemi. Ertalyte disponuje dobrými dielektrickými vlastnostmi a dobrou odolností proti chemikáliím.

Nejdůležitější vlastnosti:

- vysoká mechanická pevnost, tuhost a tvrdost
- velmi dobrá odolnost proti tečení
- nízký a stálý koeficient tření
- vynikající odolnost proti opotřebení (srovnatelná s odolností nylonů)
- vysoká rozměrová stabilita - lepší než POM
- fyziologicky netečný (vhodný pro kontakt s potravinami)
- 100% omyvatelnost - potravinářské provozy, jak vodou tak i chemickými prostředky
- mléčně bílý - potravinářské provozy

Tab. 3.2 Vlastnosti ertacetalu^{18, 19}.

	Zkuš. metoda	Hodnota	Jednotka
Hustota	ISO 1183	1,4	g/cm ³
Bod tání		255	°C
Napětí na mezi kluzu	ISO 527	80	MPa
Tažnost	ISO 527	70	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2800	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	150	MPa

Použití:

- obzvláště zatížená ložiska, pouzdra, podložky, vodící zařízení atd.
- rozměrově stálé části pro přesné mechanismy: pouzdra, kluzné dráhy, ozubená kola, válce, součásti čerpadel, atd.
- izolační elektrotechnické komponenty
- součástí v potravinářství a balících linkách

3.3 Obrobitelnost termoplastů

Plasty jsou v porovnání s kovovými materiály velice dobře obrobitelné. Z materiálových vlastností plastů však plynou určité zvláštnosti. Kvůli špatné tepelné vodivosti a poměrně nízkým teplotám tavení většiny plastů je třeba dávat

pozor, aby při obrábění nevznikalo příliš mnoho tepla, které by bylo přenášeno do obrobku. Pro snížení následků nadměrného tepelného namáhání plastu, které se mohou projevit např. změnou barvy, pokřivením nebo natavením povrchu, je nutné dodržovat určité zásady:

- Ostří nástrojů by mělo být vždy řádně nabroušeno.
- Úhel hřbetu musí být dostatečně velký, aby na obrobek vždy doléhalo pouze ostří a nedocházelo ke tření.
- Je nutné se postarat o dobrý odvod třísek, aby nedocházelo k zadržování tepla.
- Chladicí kapaliny sice zpravidla nejsou zapotřebí, ale při velkém uvolňování tepla a pro odvod třísek (např. při vrtání či řezání závitů) se používají. Přitom je možné používat běžné chladicí kapaliny, vrtací emulze nebo stlačený vzduch.

Jako řezné materiály se dobře hodí běžné nástroje z rychlořezné oceli nebo vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů. Poměrně nízká tvrdost neklade žádné zvláštní nároky na kvalitu řezného materiálu. Opotřebování řezných hran je za těchto podmínek nepatrné a životnost je tedy prakticky neomezená.

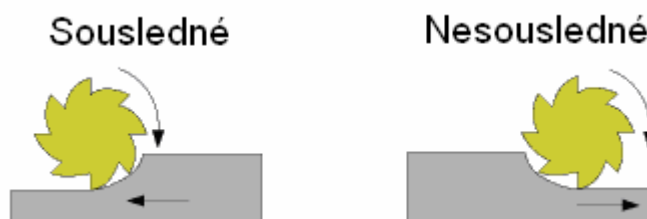
Vznikající řezné síly jsou podstatně nižší než při třískovém obrábění kovů. Díky tomu postačují také nižší upínací síly. Příliš velké upínací síly vedou často k deformacím obrobků (obzvláště u tenkostěnných součástek)¹¹.

Obráběcí tolerance pro termoplasty jsou významně vyšší než tolerance pro kovové součásti. Je to způsobeno zvýšeným koeficientem tepelné roztažnosti, bobtnáním vlivem absorpce vlhkosti a možnými deformacemi způsobenými vnitřním pnutím během obrábění. Deformace se objevují zejména tehdy, kdy obráběním vznikají asymetrické nebo velké změny v průměru (např. pouzdra, vyráběná z velkých tyčí kruhového průřezu). V těchto případech, podle požadavků na toleranci, může nastat nutnost tepelné úpravy (odstranění vnitřního pnutí) po předběžném obrábění (min. přesah 3 % průměru) a před konečným obráběním součástí. V současné době neexistují specifické mezinárodní normy pro tolerance při obrábění termoplastických součástí. Podle empirického pravidla pro soustružené nebo frézované součásti lze přijmout toleranci 0,1 - 0,2 % jmenovitého rozměru, bez zvláštních opatření. Jako vodítko pro tento účel lze použít normu DIN 7168²⁰.

3.3.1 Frézování

Sousledné frézování

Pohybuje-li se v okamžiku záběru posuvová složka hlavního pohybu ve stejném smyslu jako posuv, jedná se o frézování sousledné. Tloušťka třísky je při záběru zubu maximální a zmenšuje se do nuly při výběhu zubu z materiálu. Výsledná řezná síla směřuje do materiálu, což umožňuje zmenšit upínací síly. Další předností je možnost použít větších posuvů na zub při nezměněné hodnotě trvanlivosti, a tím dosáhnout vyšší produktivity frézování. Nevýhodou sousledného frézování je značný silový ráz při záběru každého zubu do materiálu. Dá se však odstranit použitím fréz se šikmými zuby. Sousledné frézování je vhodné spíše pro obrábění měkčích ocelí, neželezných kovů a plastů.



Obr. 3.2 Sousledné a nesousledné frézování.

Nesousledné frézování

Pohybuje-li se obrobek v okamžiku záběru břitu proti směru posuvu, jedná se o nesousledné frézování. Břit každého zubu frézy začíná odebrat materiál od minimální tloušťky, která se zvětšuje až do určitého maxima. Jelikož ostří zubu frézy není ve skutečnosti ostrá hrana, nýbrž zaoblená ploška, začne břit odřezávat materiál, až tloušťka třísky dostoupí určité velikosti. Do té doby břit materiál pouze stlačuje. Nevýhodou je, že řezná síla směřuje nahoru, což má vliv na upínací síly.

Doporučená geometrie nástrojů, rychlosti a posuvy:



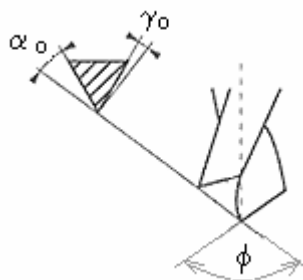
Obr. 3.2 Geometrie zubu frézy.

Tab. 3.3 Doporučené řezné podmínky.

	α_f [°]	γ_f [°]	f_z [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
ERTACETAL	5 ÷ 15	0 ÷ 15	do 0,5	200 ÷ 400
ERTALYTE	5 ÷ 15	0 ÷ 15	do 0,4	150 ÷ 300

3.3.2 Vrtání

Naprosto vyhovují vysokorychlostní šroubové vrtáky. Při vrtání produkujícím velké množství tepla je třeba použít chladicí kapalinu. Pro lepší odvádění tepla a odstraňování pilin je nutné vrták často vytahovat, zejména při vrtání hlubokých děr. Pro vrtání otvorů o velkém průměru se doporučuje používat vrtáky se ztenčeným dříkem, aby se snížilo tření a následně i tvorba tepla. Při vrtání velkých otvorů se rovněž doporučuje vrtat postupně - tzn. otvor o průměru 50 by měl být vyvrtán postupně průměr 15, 35 a 50. Nejdůležitější podmínky obrábění jsou uvedeny v tabulce 3.4.



Obr. 3.3 Geometrie vrtáku.

Tab. 3.4 Doporučené řezné podmínky.

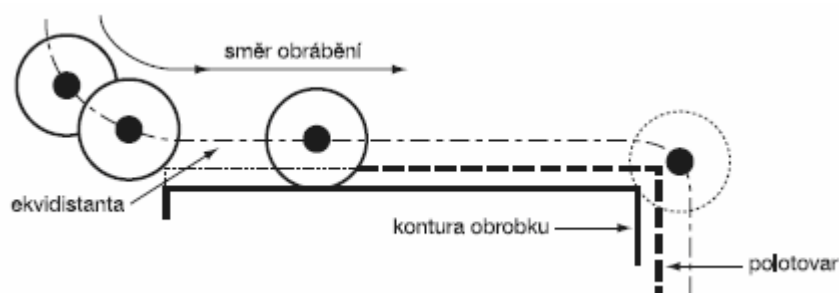
	α_o [°]	γ_o [°]	ϕ [°]	f [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
ERTACETAL	5 ÷ 15	3 ÷ 5	90 ÷ 120	0,1 ÷ 0,3	50 ÷ 100
ERTALYTE	5 ÷ 10	3 ÷ 5	90 ÷ 120	0,1 ÷ 0,3	50 ÷ 80

4 PROGRAMOVACÍ FUNKCE PRO ZEFEKTIVNĚNÍ OBRÁBĚNÍ

V této kapitole jsou popsány vybrané programovací funkce pro zefektivnění obrábění. Výběr funkcí je omezen možnostmi a technickými parametry obráběcího stroje FV 25 CNC A.

4.1 Najetí a opuštění obrysu

Použití této funkce nabývá na stále větším významu u všech druhů obrábění. Při najetí nebo odjetí z obrysu mohou vznikat viditelné stopy po nástroji. Aby se tomuto zamezilo, zadává se začátek obrysu a poloměr dráhy najetí nebo konec obrysu a poloměr dráhy odjetí a systém pak spočítá dráhu s korekcí poloměru nástroje a tím zamezí podfrézování resp. poškození obrysu. Toto se děje převážně u nástrojů s velkým průměrem. Dále je to důležité z hlediska plynulosti nájezdu nástroje do materiálu. Sníží se přitom rázy vzniklé při zastavení nástroje při kolmém najetí, čehož se využívá převážně u HSC – vysokorychlostní obrábění. Možnosti najetí (vyjetí) z obrobku, které nabízí dialog v systému Heidenhain iTNC 530, jsou uvedeny v tabulce 4.1.



Obr.4.1 Plynulý nájezd nástroje po oblouku do třísky¹³.

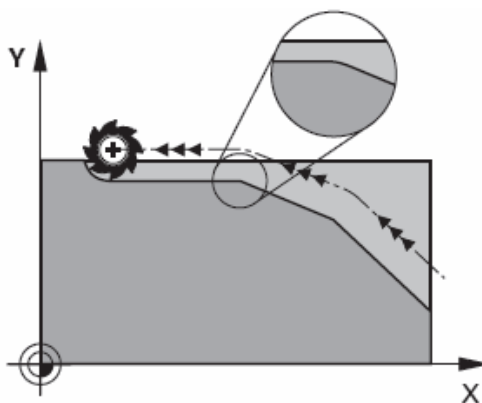
Tab. 4.1 Tvary drah nájezdů a odjezdů.

Přímka s tangenciálním napojením	APPR LT 	DEP LT
Přímka kolmo k bodu obrysu	APPR LN 	DEP LN
Kruhová dráha s tangenciálním napojením	APPR CT 	DEP CT
Kruhová dráha s tangenciálním napojením na obrys, najetí a odjetí do pomocného bodu mimo obrys po tangenciálně napojeném přímkovém úseku	APPR LCT 	DEP LCT

4.2 Zaoblení rohů

Při obrábění obrysů bez korekce rádius nástroje ($R0$) se TNC při najetí do rohu krátce zastaví. U obrábění s korekcí rádius (RR/RL) vloží TNC automaticky na vnějších rozích přechodovou kružnici. Jestliže chceme, aby nástroj pojížděl na rohových přechodech konstantní dráhovou rychlostí, je nutné zadat pomocnou funkci **M90**. Díky této funkci se rohy zaoblí a povrch obrobku bude hladší. Navíc se zkrátí čas obrábění. Tato funkce se používá všude tam, kde se vyskytují plochy složené z krátkých přímkových úseků (Obr. 4.2).

M90 je účinná jen v tom programovém bloku, ve kterém je naprogramována. M90 je účinná na začátku bloku. Musí být navolen provoz s vlečnou odchylkou³.



Obr.4.2 Zaoblení rohů³.

4.3 Rychlost posuvu u kruhových oblouků

Standardně vztahuje TNC programovanou rychlost posuvu k dráze středu nástroje. Proto se využívá funkce **M109**, díky níž udržuje TNC u vnitřního a vnějšího obrábění kruhových oblouků konstantní posuv na břitu nástroje.

Podobné je to s funkcí **M110**, která udržuje konstantní posuv u kruhových oblouků a oblouků vytvořených obrysovými cykly, výhradně však při obrábění vnitřních ploch.

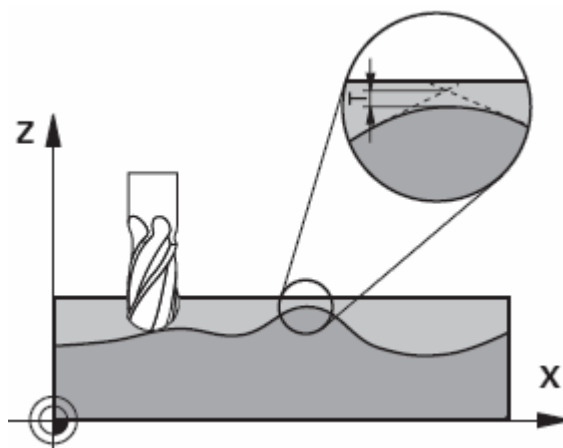
Když se definuje M109 příp. M110 před vyvoláním obráběcího cyklu, působí přizpůsobení posuvu i u oblouků v obráběcích cyklech. Obě funkce jsou aktivní na začátku bloku a ruší se pomocí **M111**.

4.4 Tolerance - cyklus 32

Funkce je užitečná především pro zvyšování řezných výkonů, resp. zkracování výrobních časů obzvláště při frézování složitých tvarových dílců, např. forem naprogramovaných externě. Filtr vyhlazuje konturu a umožňuje tím použít vyšší posuvy, což vede k rychlejšímu obrábění s omezením záskmitů při změně zrychlení. Po nastavení filtračních parametrů vytvoří iTNC 530 sesterský program odfiltrované kontury. Kapacita pevného disku je standardně 30 GB, takže neomezuje délku NC programu. Díky „vyhlazenému posuvu“ při opracování trojrozměrných tvarů a definovanému zaoblování se dosáhne hladšího povrchu současně s vysokou tvarovou přesností¹².

Funkce cyklu

Zadáním údajů v cyklu 32 je možno ovlivnit výsledek obrábění z hlediska přesnosti, kvality povrchu a rychlosti, pokud byl iTNC upraven podle vlastností daného stroje. iTNC automaticky vyhledá obrys mezi libovolnými (nekorigovanými nebo korigovanými) prvky obrysu. Nástroj tak pojíždí po povrchu obrobku plynule a šetří mechaniku stroje. Navíc tolerance definovaná v cyklu působí i při pojezdu po obloucích. Je-li třeba, sníží iTNC automaticky naprogramovaný posuv tak, že program se zpracovává vždy „bez škubání“ s nejvyšší možnou rychlostí. I když iTNC nepojíždí redukovanou rychlostí, tak je definovaná tolerance v zásadě vždy dodržena. Čím větší je definovaná tolerance, tím rychleji může iTNC pojíždět. Vyhlazováním obrysu vzniká odchylka. Velikost této odchylky od obrysu (hodnota tolerance) je definována výrobcem stroje ve strojním parametru. Cyklem 32 je možno měnit předvolenou hodnotu tolerance⁴.

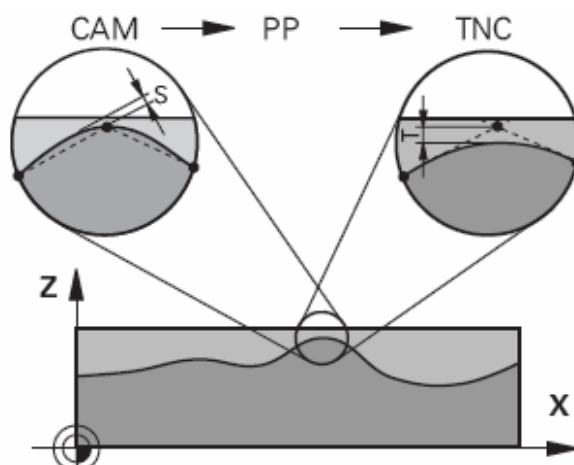


Obr. 4.3 Tolerance v cyklu 32⁴.

Vlivy při definici geometrie v systému CAM

NC programy pro tvarově komplikované plochy jsou obvykle vytvořené pomocí systému CAM a skládají se z jednoduchých lineárních segmentů. Pomocí funkce cyklu 32, lze v NC programu definovat přípustnou odchylku při vytváření kontury¹⁷.

Nejdůležitějším faktorem při externí přípravě NC programu je odchylka tečny S , definovatelná v systému CAM. Pomocí odchylky tečny se definuje maximální vzdálenost bodů NC programu definovaného pomocí postprocesoru. Je-li odchylka tečny rovná či menší než tolerance T zvolená v cyklu 32, tak TNC může body obrysu vyhladit, pokud není speciálním nastavením stroje omezen naprogramovaný posuv. Optimálního vyhlazení obrysu lze dosáhnout volbou hodnoty tolerance v cyklu 32 mezi 1,1- a 2násobkem odchylky tečny CAM⁴.



Obr. 4.4 Převodu z CAM do TNC⁴.

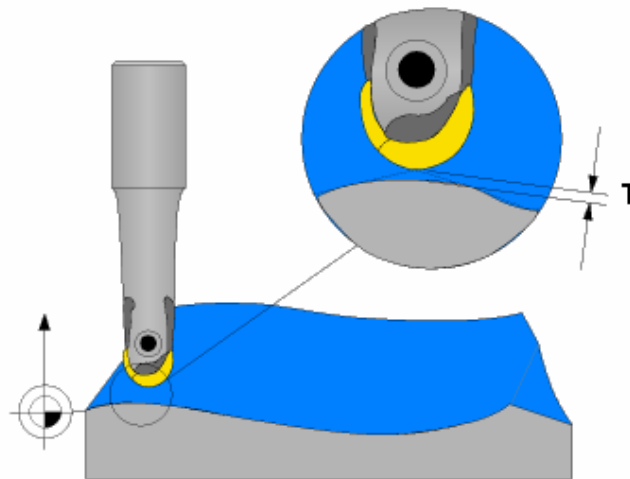
Při velmi malých hodnotách tolerance již stroj nemůže obrys zpracovávat bez „cukání“, které není způsobeno nízkým výpočetním výkonem iTNC, ale tím, že iTNC najíždí přechody obrysů téměř přesně, takže musí snižovat pojezdovou rychlost. Cyklus 32 je aktivní jako DEF, to znamená, že je účinný od své definice v programu. Pro jeho zrušení je zapotřebí ho znovu definovat a na otázku hodnota tolerance zadat NO ENT. Jinak se zruší až vyvoláním nového programu. Po vynulování cyklus 32, aktivuje iTNC toleranci předvolenou pomocí strojních parametrů. Pokud je zaveden program s cyklem 32, který obsahuje jako parametr cyklu pouze hodnotu tolerance T , doplní iTNC oba zbývající parametry hodnotou 0. Při rostoucí zadané toleranci se zpravidla zmenšuje při kruhovém pohybu průměr kruhu.

Ukázka definování parametrů cyklu: 5 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE

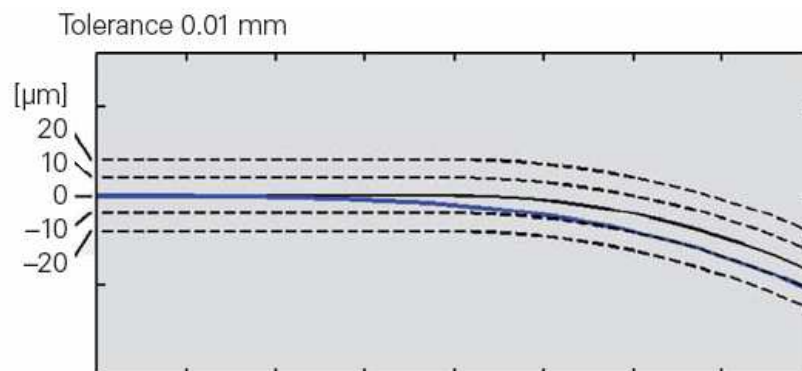
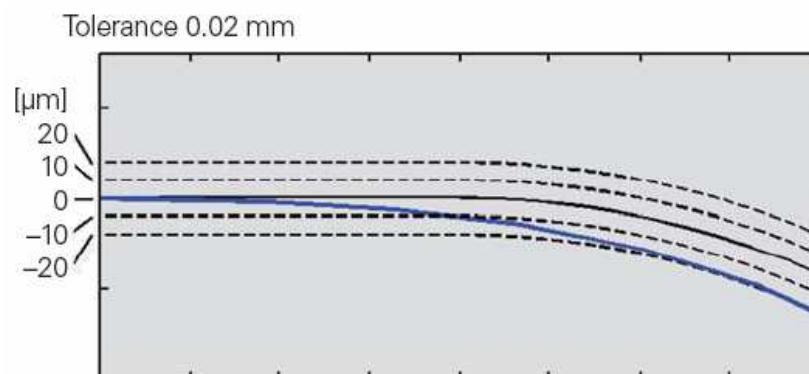
6 CYCL DEF 32.1 T0.05

7 CYCL DEF 32.2 REŽIM HSC:1 TA5

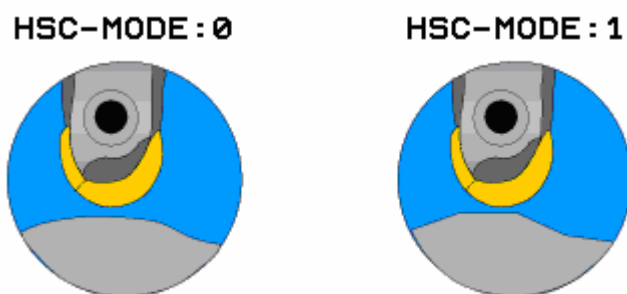
Po zvolení cyklu se zadává hodnota tolerance T, přípustná odchylka obrysu v mm. Na Obr. 4.6 a 4.7 je znázorněn detail tolerancí 0,01 a 0,02.



Obr. 4.5 Tolerance v cyklu 32.

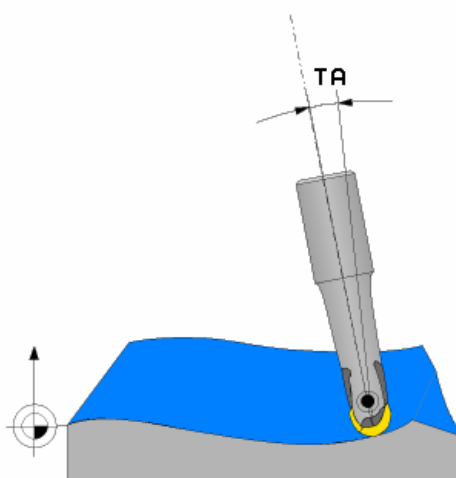
Obr. 4.6 Detail tolerance 0,01¹⁶.Obr. 4.7 Detail tolerance 0,02¹⁶.

Dále se zadává režim dokončování = 0 nebo hrubování = 1 (Obr. 4.8). Při zadání hodnoty 0 se frézuje s vyšší obrysovou přesností. iTNC používá pro dokončování nastavení filtru definované výrobcem stroje. Hodnota 1 znamená frézování s vyšším posuvem. iTNC pracuje s optimálním vyhlazením bodů obrysu, což vede ke zkrácení doby obrábění.



Obr. 4.8 Režim dokončování = 0, hrubování = 1.

Třetím zadávaným parametrem je tolerance pro osy natočení TA (Obr. 4.9). Je to přípustná odchylka polohy os natočení ve stupních při aktivní M128. iTNC redukuje dráhový posuv vždy tak, aby při pohybu ve více osách, se ta nejpomalejší osa projížděla jejím maximálním posuvem. Zpravidla jsou osy natočení podstatně pomalejší než lineární osy. Zadáním větší tolerance (například 10 °) je možno podstatně zkrátit čas obrábění u víceosých obráběcích programů, protože iTNC pak nemusí vždy projíždět osou natočení na předvolené cílové polohy. Obrys se zadáním tolerance os natočení nenaruší. Změní se pouze poloha osy natočení, vztažená k povrchu obrobku.



Obr. 4.9 Tolerance osy natočení.

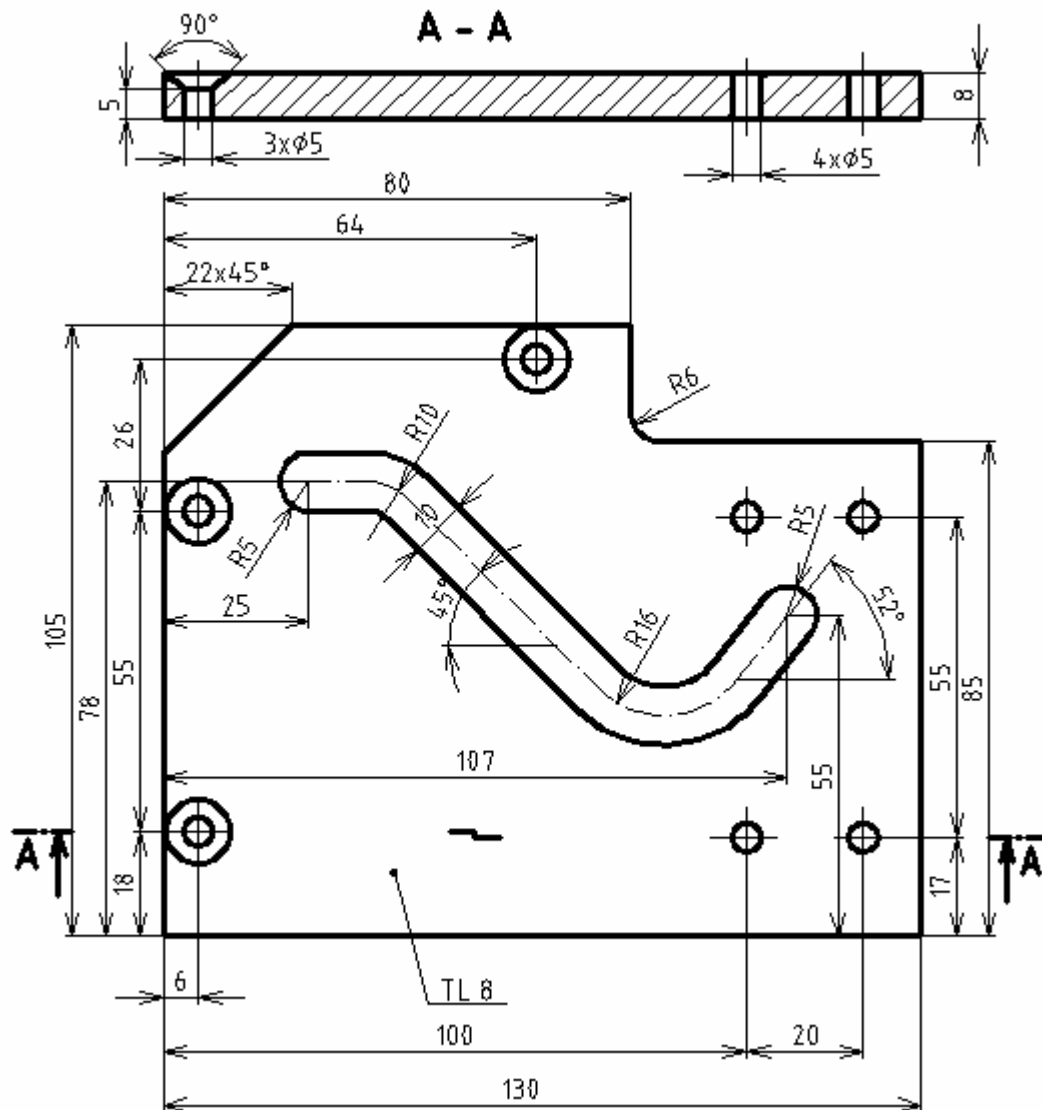
5 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE A NC PROGRAMŮ

V této kapitole je zpracována technická dokumentace ke dvěma zvoleným součástkám různého typu, na kterých jsou ukázány možnosti řídicího systému Heidenhain iTNC 530.

5.1 Součást 1

Součástka je typu deska, příklad 2,5D obrábění. Materiál je polyacetál POM, pod obchodním názvem ertacetal. Díl slouží jako izolační elektrotechnická komponenta do transformátoru.

Výrobní výkres je uveden v příloze č. 2.



Obr. 5.1 Součást 1.

Technologický postup

1. frézování kontury do hloubky 8 mm čelní válcovou frézou $\Phi 10$ mm
2. frézování drážky do hloubky 8 mm čelní válcovou frézou
3. vrtání 7 otvorů do hloubky 8 mm vrtákem $\Phi 5$ mm
4. zahloubení děr do hloubky 3 mm kuželovým záhlubníkem $\Phi 10,4$ mm

Nástrojové vybavení a řezné podmínky

Byly zvoleny nástroje od firmy ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. Řezné podmínky byly zvoleny podle doporučení výrobce nástrojů, s ohledem na hodnoty dosažitelné na stroji FV 25 CNC A. Neuvedené hodnoty, nutné při tvorbě programu, byly dopočítány pomocí následujících vztahů.

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} \quad [\text{min}^{-1}] \quad 5.1$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad 5.2$$

Tab. 5.1 Nástroje a řezné podmínky.

Nástroj	v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	n [min^{-1}]	v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]
čelní válcová fréza $\Phi 10$ mm	300	6000	2400
vrták $\Phi 5$ mm	80	5000	1200
kuželový záhlubník $\Phi 10,4$	80	2500	1000

NC program

Zde je uvedena část NC programu s popisem programovaných bloků. Program je vytvořen se dvěma podprogramy a s použitím cyklu vrtání a rastru v řadě. U vrtání otvorů, kdy bylo použito přesného najetí, bylo zapotřebí vypnout cyklus 32, protože by znepřesňoval polohování vrtaných děr.

Celý program je uveden v příloze č. 4.

0 BEGIN PGM SOUCAST1 MM	Hlavička programu
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-8	Definice neobrobeného polotovaru
2 BLK FORM 0.1 Z X+130 Y+105 Z+0	
3 TOOL CALL 6 Z S6000	Vyvolání nástroje
4 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE	Definice cyklu 32
5 CYCL DEF 32.1 T0.1	
6 L X-30 Y-30 Z+50 R0 FMAX	Příjezd nástroje
7 L Z-8	
8 APPR LT X+0 Y+0 RL F2400 M3	Nájezd po přímce s tang. napojením

9 L Y+105 F2400 M90
10 CHF 22

Obrábění obrysu
Sražení hrany 22 x 45°

.....

Pro naprogramování drážky bylo použito volné programování dráhy.

20 L X+25 Y+78 FMAX M90
21 L Z+2 FMAX
22 L Z-8 R0 F150
23 FL X+35 Y +78 AN+0 R0 F2400
24 FC CCX+35 CCY+68 DR- R10
25 FLT AN-45
26 FCT R16 DR+
27 FLT X+107 Y+55 AN+52
28 L Z+2

Konec programu a dva podprogramy.

.....

37 CALL LBL 2
38 L X-30 Y-30 Z+100 FMAX M30
39 LBL 1
40 L X+6 Y+18 Z+50 R0 F1200 M99
41 L Y+73 M99
42 L X+64 Y+99 M99
43 CYCL DEF 221 RASTR V RADE
Q225=+100 ;STARTBOD V 1. OSE
Q226=+17 ;STARTBOD V 2. OSE
Q237=+20 ;ROZTEC V 1. OSE
Q238=+55 ;ROZTEC V 2. OSE
Q242=+2 ;POCET SLOUPKU
Q243=+2 ;POCET RADKU
Q224=+0 ;UHEL NATOCENI
Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST
Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU
Q204=+50 ;2. BEZPEC. VZDALENOST
Q301=1 ;NAJET BEZPEC. VYSKU

Vyvolání druhého podprogramu
Odjetí nástroje, konec programu
Začátek podprogramu 1
Najede souřadnice a provede vrtání

Definice cyklu rastr v řadě

44 LBL 0
45 LBL 2
46 L X+6 Y+18 R0 FMAX M99
47 L Y+73 FMAX M99
48 L X+64 Y+99 M99
49 LBL 0
50 END PGM SOUCAST1 MM

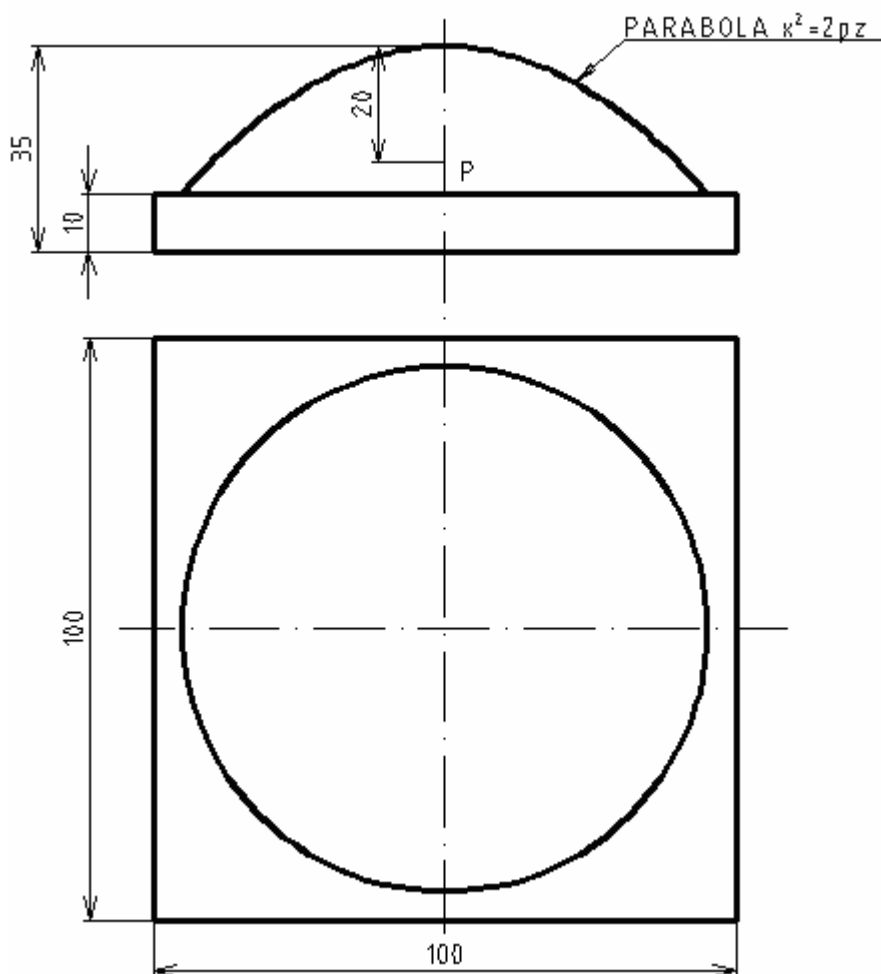
Konec podprogramu
Začátek podprogramu 2
Najede souřadnice a provede vrtání

Konec podprogramu
Konec programu

5.2 Součást 2

Součást je navržena jako reprezentant tvarových ploch, aby se na ní mohly demonstrovat možnosti řídicího systému, zejména parametrické programování. Dále je součást naprogramována pomocí CAD/CAM technologie.

Výrobní výkres je uveden v příloze č. 3.



Obr. 5.2 Součást 2.

Technologický postup

1. Hrubování paraboloidu čelní válcovou frézou $\Phi 20$ mm.
2. Dokončování paraboloidu kopírovací frézou $\Phi 10$ mm.

Nástrojové vybavení a řezné podmínky

Byly zvoleny nástroje od firmy ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. Řezné podmínky byly voleny podle doporučení výrobce nástrojů, s ohledem na hodnoty

dosažitelné na stroji FV 25 CNC A. Neuvedené hodnoty, nutné při tvorbě programu, byly dopočítány pomocí vztahů 5.1 a 5.2.

Tab. 5.2 Nástroje a řezné podmínky.

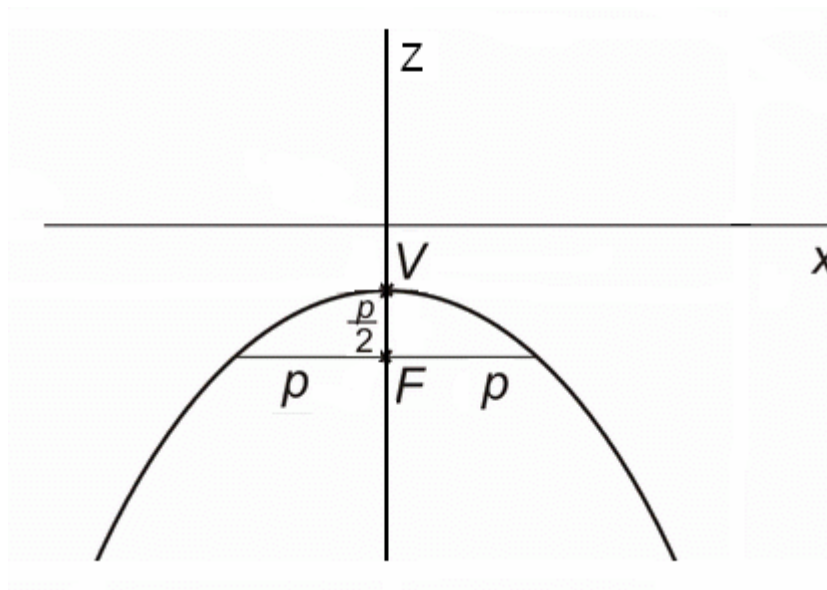
Nástroj	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	v_f [mm·min ⁻¹]
čelní válcová fréza $\Phi 20$ mm	100	1600	500
kopírovací fréza $\Phi 10$ mm	200	6000	2400

Parabola (Obr. 5.3)

Matematicky je parabola definována rovnicí:

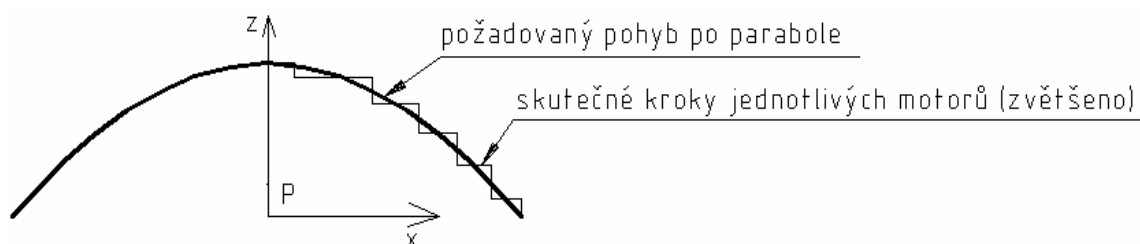
$$x^2 = -2pz \quad 5.3$$

$$p = 40 \text{ mm}$$



Obr. 5.3 Parabola.

Programování pohybu po jakékoli matematicky definované křivce lze zjednodušit na výpočet elementárních lineárních kroků (Obr. 5.4).



Obr. 5.4 Požadovaný a skutečný pohyb po křivce.

5.2.1 Parametrické programování paraboloidu

Programování této součástky bylo uskutečněno třemi způsoby. Součástka je naprogramována pomocí CAD/CAM technologie s použitím softwaru SolidWorks 2008 SP0.0 a PowerMILL 9.0., a dvěma způsoby pomocí parametrů:

varianta 1- nástroj jezdí po parabole v rovině Z, X a natáčí se v rovině X, Y.

varianta 2- nástroj krouží v rovině X, Y a posouvá se po parabole v rovině Z, X.

Při obrábění, kdy nástroj jezdí po parabole v rovině Z, X a natáčí se v rovině X, Y, byly pomocí dynamometru změřeny řezné síly. Viz kapitola 6.

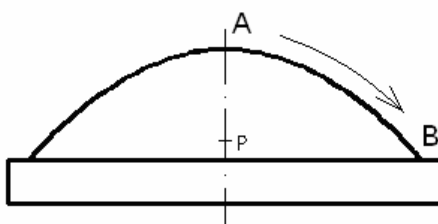
Varianta 1 - Nástroj jezdí po parabole v rovině Z, X a natáčí se v rovině X, Y.

Nástroj se pohybuje z bodu A do bodu B (Obr. 5.5). Pro požadovaný výpočet dráhy podle paraboly je třeba určit parametry zadávané do výpočtové rovnice, zapsat výpočtovou rovnici a zavést skok v programu, aby se stále nemusely opakovat výpočtové řádky programu. Skok vrátí prováděný blok před výpočtový řádek, změní přírůstkově parametr Q0 (krok), vypočte parametr Q1 a provede pohyb na souřadnice zadané těmito parametry. Po splnění podmínky, dosažení bodu B, pokračuje dále v programu. Nástroj najede do nulového bodu, přepočtem parametru Q28, dojde k natočení roviny obrábění o požadovanou hodnotu a celý proces se opakuje znovu, až do doby, kdy se rovina obrábění natočí na koncový úhel natočení. Poté se program ukončí.

Kdyby byla požadována změna velikosti nebo tvaru paraboloidu, stačí jen přepsat definované parametry.

Definované parametry

Q0 = 0	Střed v ose X
Q1 = 0	Střed v ose Z
Q2 = 0	Střed v ose Y
Q3 = +40	Parametr p
Q8 = +0	Úhel startu natočení v rovině X/Y
Q9 = +360	Koncový úhel natočení v rovině X/Y
Q18 = +2	Úhlový krok v rovině X/Y
Q12 = +2400	Posuvová rychlost při frézování



Obr. 5.5 Pohyb po parabole.

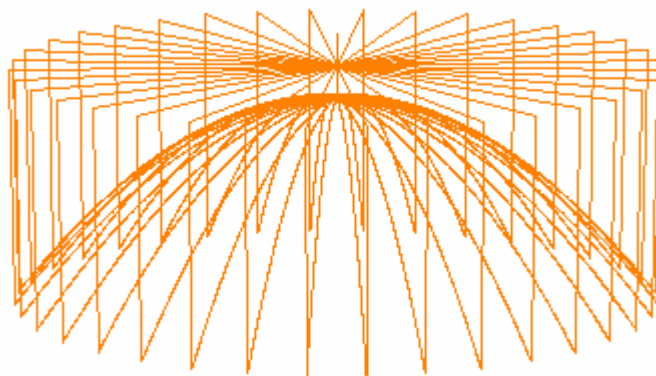
Část NC programu pro řízení pohybu nástroje mezi body A a B

Celý program je uveden v příloze č. 5.

13	BLK FORM 0.1 Z X-50 Y-50 Z-50	Definice neobrobeného polotovaru
14	BLK FORM 0.2 X+50 Y+50 Z+0	
15	TOOL CALL 1 Z S6000	Vyvolání nástroje
16	L X+0 Y+0 Z+5 R0 FMAX M3	Předpolohování nástroje
18	CALL LBL 1	Vyvolání podprogramu 1
19	L Z+100 R0 FMAX M2	Odjetí nástroje, konec programu
20	LBL 1	Podprogram 1
21	FN 1: Q0 =+Q0+ +0.1	Parametru Q0 přičte krok 0.1
22	Q1 = - (Q0 * Q0) / (Q3 * 2)	Výpočet Q1 z rovnice paraboly
23	L X+Q0 Z+Q1 R0 FQ12	Pohyb na přepočtené souřadnice
24	FN 12: IF +Q0 LT +50 GOTO LBL 1	Podmínka zda je parabola dokončena, když ne skok zpět na LBL1
25	Z+5 R0 F1000	Odjezd do nulového bodu
26	L X+0 Y+0 R0 FMAX	
27	L Z+0	

Z takto naprogramované křivky lze už pak jednoduše, zadáním úhlu otáčení, vytvořit prostorovou transformací paraboloid.

28	FN 1: Q28 =+Q8 + +Q18	Přepočet úhlu obrábění
29	FN 1: Q8 = +Q8 + +2	Přepočet úhlu startu
30	CYCL DEF 10.0 OTACENI	Definice cyklu otáčení
31	CYCL DEF 10.1 ROT+Q28	
32	FN 0: Q0 =+0.05	
33	FN 12: IF +Q28 LT +Q9 GOTO LBL1	Podmínka zda je otáčení dokončeno na koncový úhel natočení, jinak LBL1
34	LBL 0	Konec podprogramu 1
35	END PGM Parabolabokem MM	Konec programu



Obr. 5.6 Dráhy nástroje.

Varianta 2 - Nástroj obrábí v rovině X, Y a posouvá se po parabole v rovině Z, X.

Parabola je vytvořena obráběním v rovině X, Y po kruhových drahách s tangenciálním najetím a vyjetím. Po provedení se přičte zvolený krok 0,1 v ose Z a přepočte se poloměr kruhu pro dráhu nástroje. Toto se opakuje až do okamžiku, kdy je splněna v NC programu podmínka v podmíněném skoku.

Definované parametry

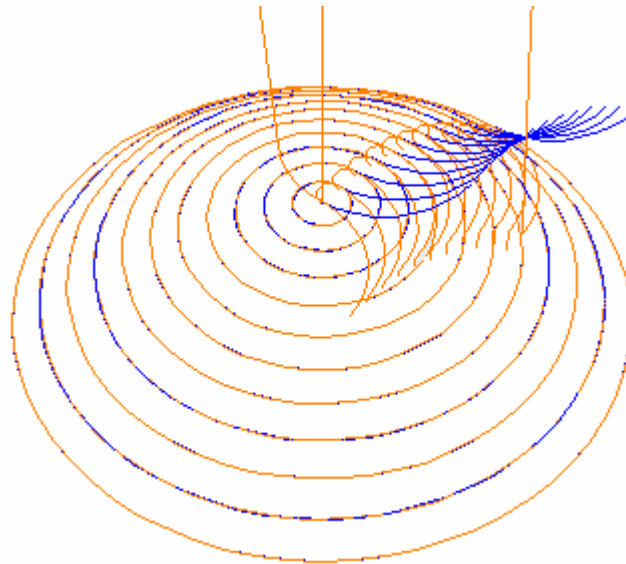
Q1 = 20 Parametr p
 Q2 = 0,1 Počátek v ose X
 Q3 = 25 Konec v ose X
 Q4 = 0,1 Krok v ose X

Část NC programu

Celý program je uveden v příloze č. 6.

8 BLK FORM 0.1 Z X-50 Y-50 Z-50	Definice neobrobeného polotovaru
9 BLK FORM 0.2 X+50 Y+50 Z+0	
10 TOOL CALL 1 Z S6000	Vyvolání nástroje
11 L M3	Roztočení vřetene
12 FN 0: Q0 =+2000	Posuvová rychlost
13 CALL LBL 1	Vyvolání podprogramu 1
14 L Y+200 R0 FMAX M2	Konec programu
15 LBL 1	Podprogram 1
17 L Z+50 R0 FMAX	
18 L X+50 Y+50 R0 FMAX	
19 L Z+2 R0 FMAX	Předpolohování nástroje
20 L Z+0 R0 FQ0	
21 CALL LBL 2	Vyvolání podprogramu 2
22 L Z+100 R0 FMAX	Odjezd nástroje
23 LBL 0	Konec podprogramu
24 LBL 2	Podprogram 2
25 Q11 = Q2	
27 LBL 3	Podprogram 3, vlastní dráha
28 CALL LBL 5	Vyvolání podprogramu 5
29 APPR LCT X+Q11 Y+0 Z+Q12 R15 RL	Nájezd po přímce s tang. napojením
30 CC X+0 Y+0	Střed kruhu
31 CP PA+0 DR-	Kruhová dráha
32 DEP CT CCA90 R+15	Odjezd po přímce s tang. napojením
33 Q11 = Q11 + Q4	Přičtení kroku
34 FN 11: IF +Q11 GT +Q3 GOTO LBL 4	Podmínka zda je paraboloid dokončen, tak skok na LBL4
35 FN 9: IF +0 EQ +0 GOTO LBL 3	Nepodmíněná podmínka
36 LBL 4	Podprogram 4

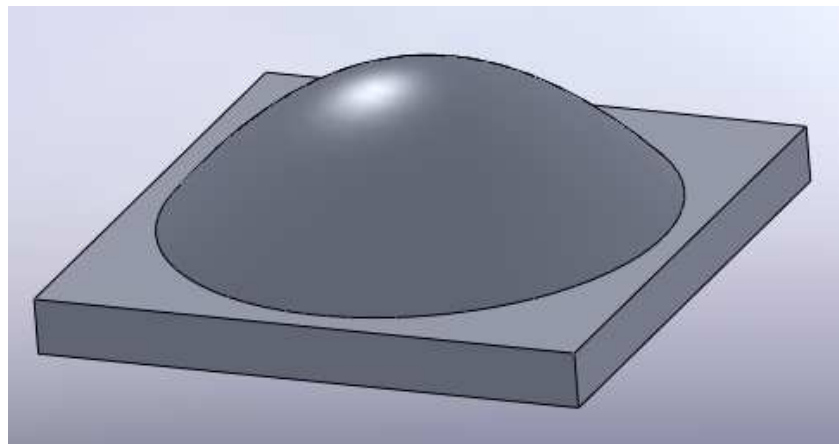
37 L Z+10 R0 FMAX	Odjezd nástroje
38 LBL 0	Konec programu
39 LBL 5	Podprogram 2
40 Q12 = (- 1 * (Q11 * Q11)) / (2 * Q1)	Výpočet osy Z
41 LBL 0	Konec programu
42 END PGM PARABOLOID MM	



Obr. 5.7 Dráhy nástroje.

5.2.2 Obrábění paraboloidu pomocí CAD/CAM technologie

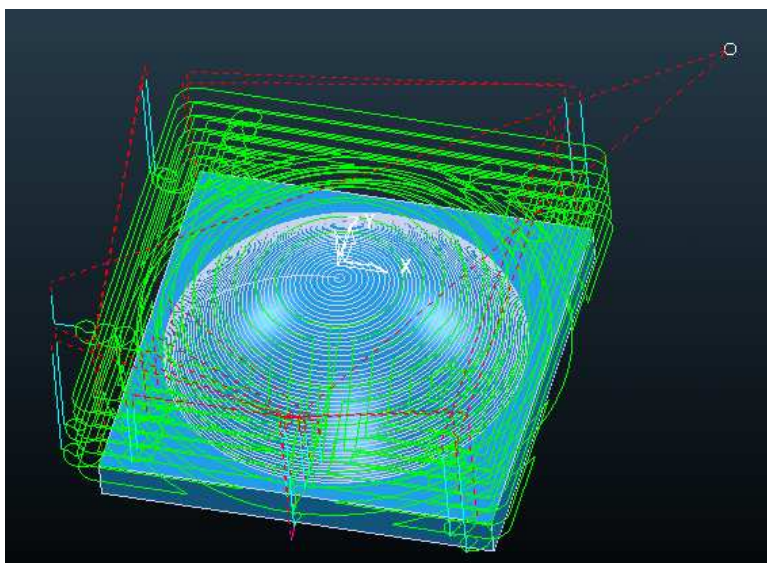
Nejprve je zapotřebí vytvořit 3D model součásti dle výrobního výkresu. Model byl vytvořen pomocí CAD systému SolidWorks 2008 SP0.0.



Obr. 5.8 Součást 2 vytvořená v SolidWorks 2008.

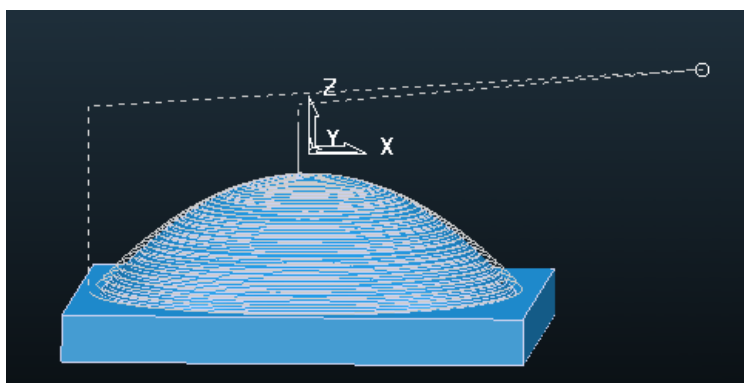
Návrh výrobní technologie v CAM systému

Pro vytvoření obrábění byl použit software PowerMILL 9.0. Byl definován polotovar, nástroj a řezné podmínky. Jako řezný nástroj byla použita čelní válcová fréza o průměru 20 mm. Dále byly nastaveny posuvy a rychlosti, rychloposuvy, počáteční a koncový bod. Byly použity plynulé nájezdy, z důvodů eliminování přetížení stroje. Z hrubovacích strategií byla použita strategie hrubování offsetem s přídávkem na dokončení 1 mm (Obr. 5.9).



Obr. 5.9 Strategie hrubování offsetem.

Pro dokončení byla zvolena strategie dokončení po spirále (Obr. 5.10). Jako řezný nástroj byla definována kopírovací fréza o průměru 10 mm.



Obr. 5.10 Dokončování po spirále.

Celkový čas obrábění je zobrazen v okně statistiky NC programu. Dále tam jsou zobrazeny časy a délky nájezdů, přejezdů a pohybů nástroje (Obr. 5.11).

Nájezdy a přejezdy		
	Délka	Čas
Rychloposuv	2330,63	0:00:46
Přirůstkem	458,73	0:06:02
Pod úhlem	0,00	0:00:00
Další	0,00	0:00:00
Celkový	2789,37	0:06:48

Pohyby nástroje		
	Délka	Čas
Lineárně	14529,51	0:19:01
Oblouky	1611,77	0:02:06
Celkový	16141,28	0:21:07

Celkový		
	Délka	Čas
Celkový	18930,64	0:27:56

Zdvihy: 18

Zjistí Zrušit

Obr. 5.11 Statistika NC programu.

CAM software je v dnešní době nepostradatelnou součástí při vytváření NC programů u tvarově složitých obrobků. Jak je zde ale uvedeno, nemusí to být nezbytná pomůcka. U této součástky bylo s výhodou použito parametrické programování. Při malé změně tvaru paraboloidu bychom museli u CAM technologie začít s vytvářením programu od začátku. U parametricky naprogramované součástky stačí jen přepsat počáteční parametry a program je hotov.

6 OBRÁBĚNÍ NA STROJI A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

V této kapitole je popsáno obrábění na frézce FV25 CNC A, podle předem vytvořeného programu na externím pracovišti. Přes port PS2 se programy nahrály do stroje a byla provedena ještě jednou simulace obrábění. Nebyly zjištěny žádné kolize. Veškeré nástrojové vybavení a zvolené řezné podmínky jsou zpracovány v kapitole 5.

Po zapnutí konzolové frézky bylo provedeno najetí do referenčních bodů. Materiál byl upnut do svěráku, pod kterým byl šrouby připevněn dynamometr Kistler 9257B. Nulový bod obrobku byl získán pomocí spínací dotykové sondy TS 640, upnuté ve vřetenu stroje, kterou byl pomocí elektronického ručního kolečka HR 410 „ořukán“ polotovar najetím v ose X a Y. V ose Z bylo najeto až přímo nástrojem a po naškrábnutí materiálu byla nastavena 0 i v ose Z.

Obrábění proběhlo v pořádku a nedošlo k žádnému koliznímu stavu. Při obrábění byla pořízena tato fotografie (Obr. 6.1).



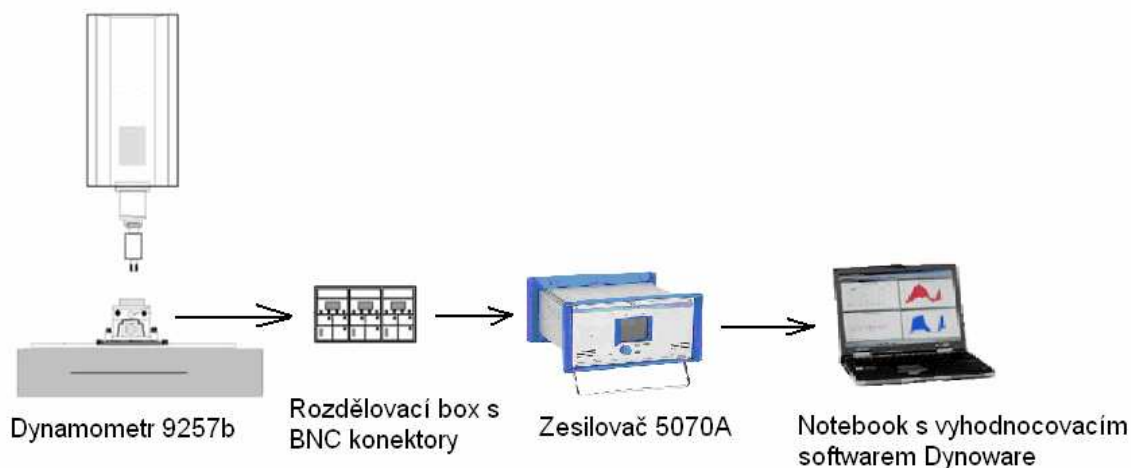
Obr. 6.1 Obrábění součásti 2.

Dynamometr Kistler 9257B

K měření složek řezných sil byl použit tříoskový piezoelektrický dynamometr Kistler 9257B (Obr. 6.2, Tab. 6.1) určený pro frézování a příslušná měřicí soustava (Obr. 6.3).

Obr. 6.2 Dynamometr Kistler 9257B¹⁴.Tab. 6.1 Technická data dynamometru KISTLER 9257B¹⁴.

Parametr zařízení	Jednotka	Hodnota
Rozsah měření F_x, F_y, F_z	kN	-5 až 5
Přetížení F_x, F_y, F_z	kN	-7,5 až 7,5
Práh necitlivosti	N	0,01
Citlivost F_x, F_y	pC/N	≈ -7,5
Citlivost F_z	pC/N	≈ -3,7
Teplotní rozsah měření	°C	0 - 70
Rozměry (šíř. x délka x výška)	mm	140 x 170 x 60
Váha	kg	7,3



Obr.6.3 Schéma zapojení měřící soustavy.

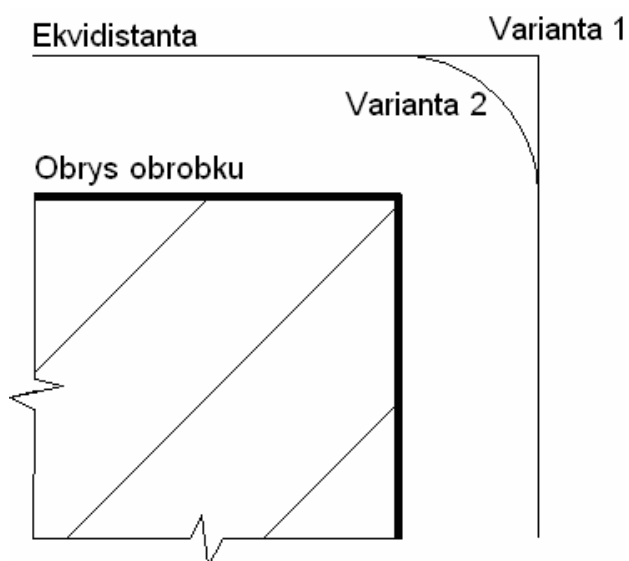
6.1 Součást 1

V experimentu byly, pomocí dynamometru Kistler 9257B, sledovány jednotlivé složky řezné síly, při dokončovacím obrábění horní části kontury. Kontura je tvořena různými obrysovými prvky jako je přímka, rádius nebo sražení. Byl zkoumán vliv zvolených funkcí na velikost řezné síly a čas obrábění.

Byla obráběna část obrysu (Obr. 6.7):

Varianta 1. - Obrys byl naprogramován bez korekce rádius (Obr. 6.5), musela se tedy programovat ekvidistanta vzdálená od obrysu o poloměr nástroje 5 mm. Body obrysu jsou tudíž najížděny přesně. Nástroj se v rozích (v uzlových bodech) zastaví a znovu se rozjíždí.

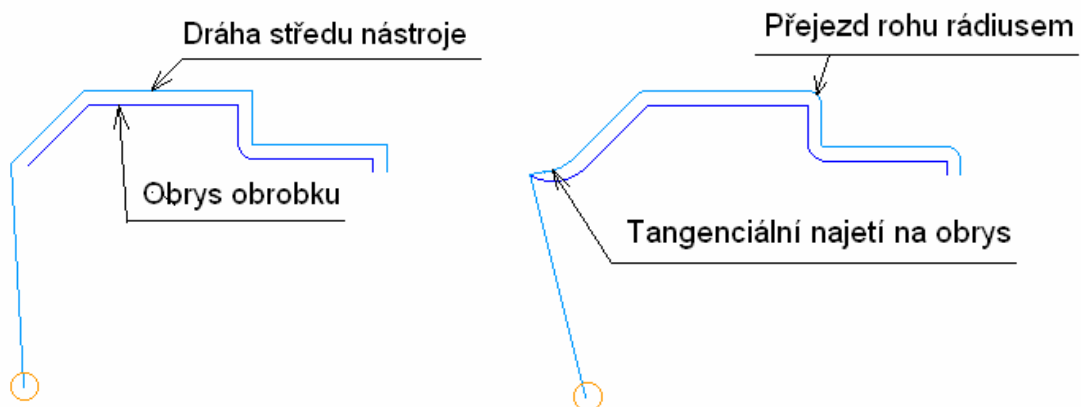
Varianta 2. - Obrys byl naprogramován s korekcí rádiusu, u které systém při obrábění rohu vloží automaticky kruhový oblouk (Obr. 6.6).



Obr 6.4 Dráha ekvidistanty.

Varianta 3. - Obrys byl naprogramován s cyklem 32 a tolerancí 0,01.

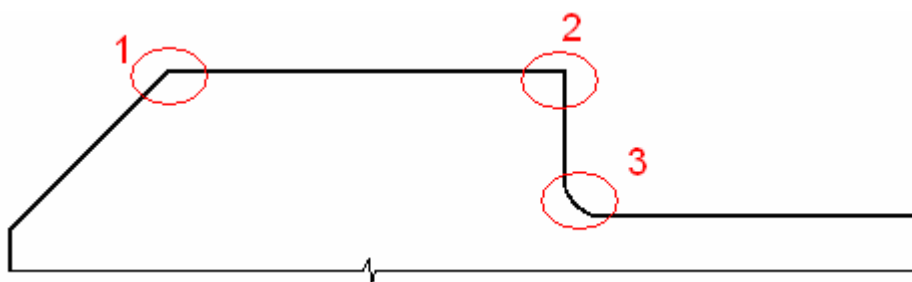
Varianta 4. - Obrys byl naprogramován s funkcí M90 a M109.



Obr. 6.5 Ekvidistanta bez korekce radiusu . Obr. 6.6 Ekvidistanta s korekcí rádiusu RL.

Vyhodnocení experimentu

Z naměřených hodnot jednotlivých složek řezné síly F_x , F_y , F_z , byla vypočtena výsledná síla F . Ta byla dále zpracována do grafu v závislosti na čase. Dále byly v grafech vyznačeny tři místa, která tvoří přechody mezi lineárními a kruhovými interpolacemi u obrábění obrysu. První je přechod mezi dvěma lineárními dráhami pod úhlem 135° , druhý je pod úhlem 90° a třetím je rádius (Obr. 6.7).

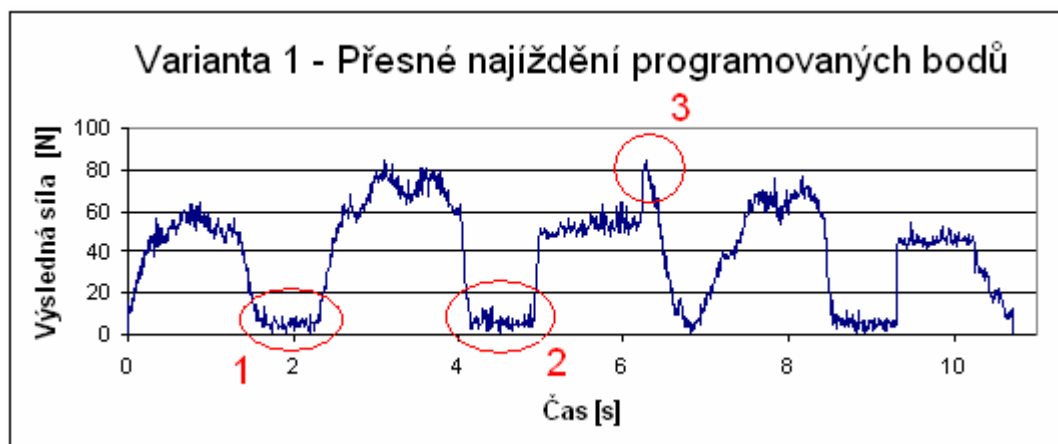


Obr. 6.7 Obráběný obrys.

Níže uvedené grafy znázorňují rozdíly výsledné řezné síly v závislosti na čase.

Varianta 1.

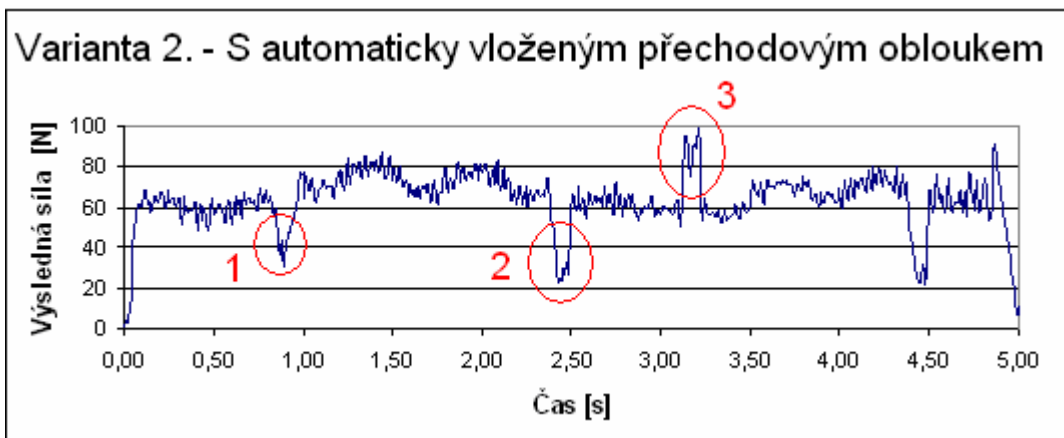
Při obrábění vnějšího rohu není ekvidistanta nástroje zaoblena, ale najíždí roh přesně (Obr. 6.4). V rohu se krátce zastaví a následně pokračuje v druhé ose. Proto je v grafu (Obr. 6.8) v oblasti 1 a 2 výrazně viditelný pokles výsledné síly. Při najetí do rádiusu se nejprve odebírá větší množství materiálu. Výsledná síla se zvýší (oblast 3). K poklesu síly dojde zpomalením posuvové rychlosti a zmenšením odebíraného materiálu.



Obr. 6.8 Přesné najíždění programovaných bodů.

Varianta 2.

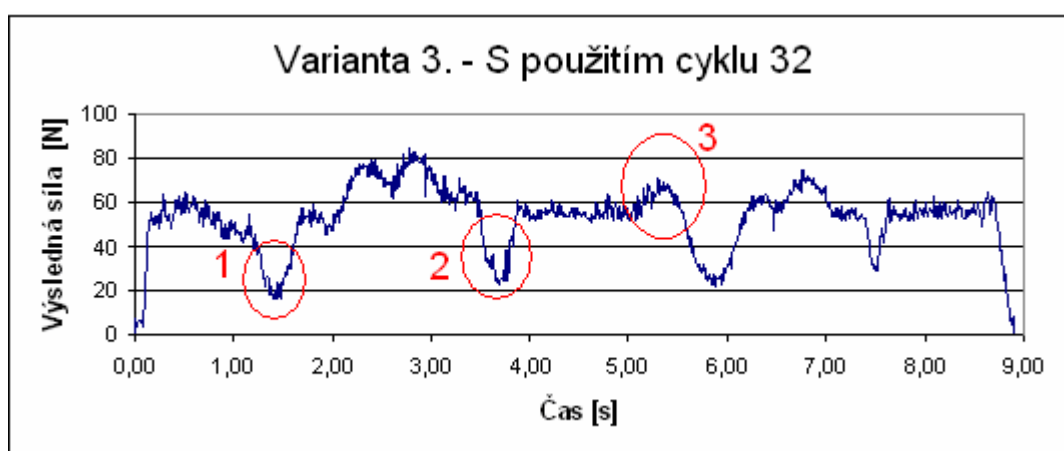
Z grafu (Obr. 6.9) je patrné, že při běžném frézování s korekcí rádius nástroje je čas obrábění výrazně nižší a to o 6 s. Automatickým vložením přechodové kružnice při obrábění vnějšího rohu se nástroj pohybuje po oblouku. Přechod je plynulý a iTNC nemusí výrazně redukovat posunovou rychlost. Nástroj je téměř pořád v záběru. Proto se projeví jen malým snížením řezné síly.



Obr. 6.9 Varianta 2. - S automaticky vloženým přechodovým obloukem.

Varianta 3.

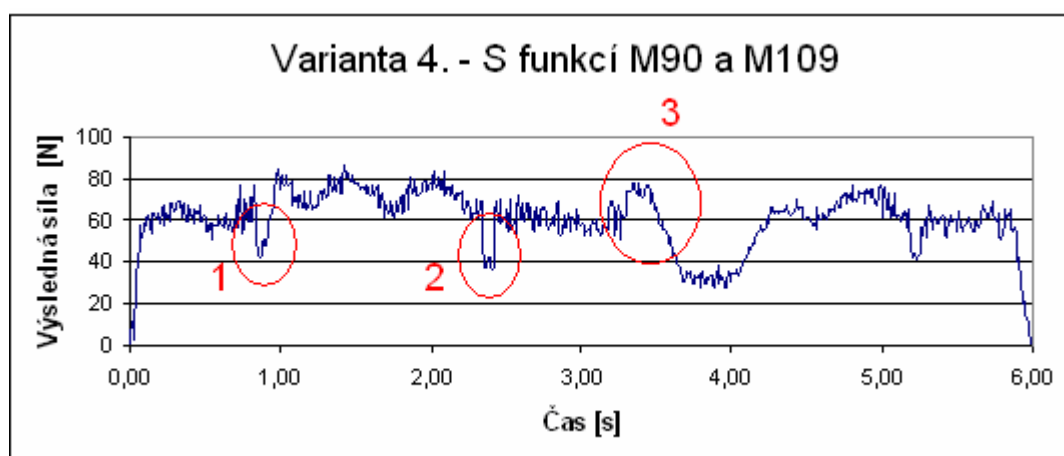
Z grafu (Obr. 6.10) je patrné, že při frézování s použitím cyklu 32 a tolerancí 0,01 je čas obrábění o 4 s delší než u běžného obrábění s korekcí rádiusu. Je to dáno tím, že zvolená tolerance je příliš malá a nástroj najíždí body obrysu přesněji, tím pádem sníží iTNC naprogramovaný posuv.



Obr. 6.10 Varianta 3. - S použitím cyklu 32.

Varianta 4.

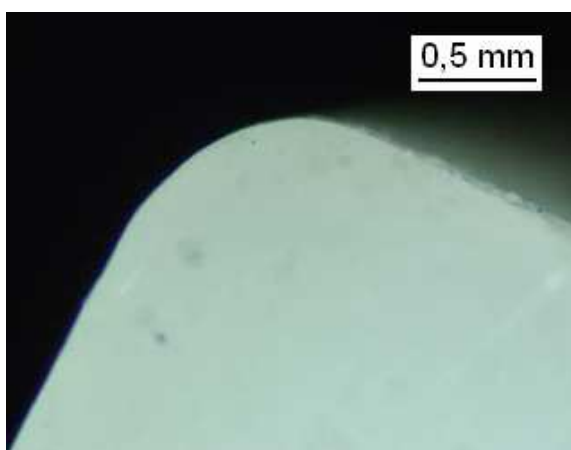
V grafu (Obr. 6.11) je viditelný vliv funkce M109, která udržuje u vnitřního obrábění kruhových oblouků konstantní posuv na břitu nástroje, tudíž se střed nástroje posouvá pomaleji a čas obrábění v oblasti 3 je o 0,5 sekundy delší, než u varianty 2. Oblast 1 a 2 je obrábění rohů s funkcí M90. Velikost řezné síly neklesá až na tak nízké hodnoty jako u běžného obrábění, to je zapříčiněno tím, že se nástroj pohybuje po oblouku konstantní dráhovou rychlostí. Obrobený roh je zaoblen (Obr. 6.4).



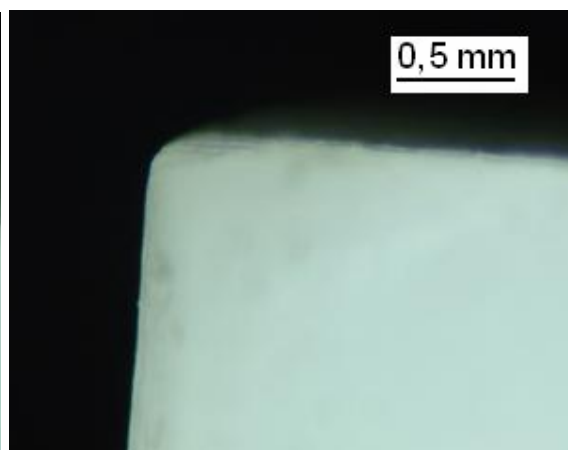
Obr. 6.11 Varianta 4. - S použitím funkce M90 a M109.

Zaoblení rohů funkcí M90

Použitím funkce M90 se nástroj pohybuje při obrábění rohu po oblouku. Takže je místo hrany na obrysu malé zaoblení (Obr. 6.12) (zvětšeno 5krát). Obrázek (Obr. 6.13) je bez funkce M90. Výhodou funkce M90 je, že se netvoří otřepy, které často vznikají právě při obrábění polymerů. Nástroj při obrábění rohu pojíždí po oblouku, čímž se sníží i celkový čas obrábění.



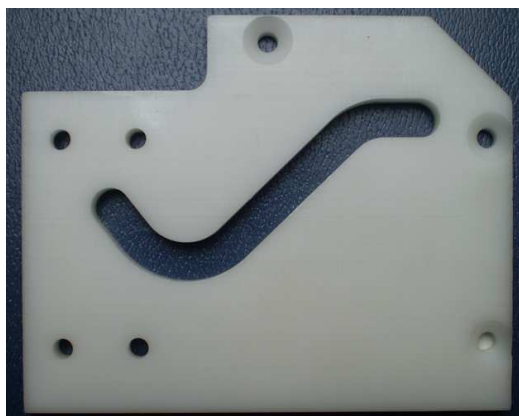
Obr. 6.12 Roh s funkcí M90.



Obr. 6.13 Roh bez funkce M90.

Tab. 6.2 Souhrnná tabulka časů a rozsahu výsledné síly.

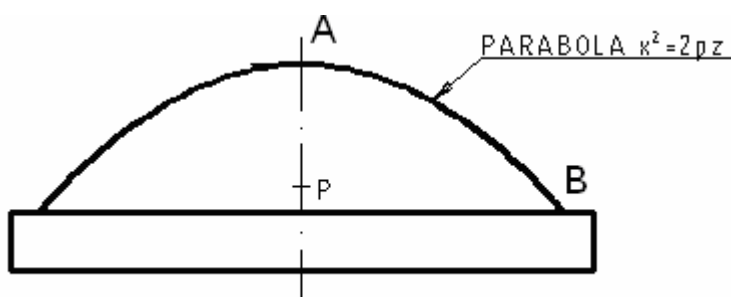
Varianta		Čas obrábění t [s]	Rozsah výsledné síly F [N]
1	S přesným najížděním bodů	11	5 ÷ 80
2	S vloženým přechodovým obloukem	5	20 ÷ 100
3	S cyklem 32 a tolerancí 0,01	9	20 ÷ 80
4	S funkcí M90 a M109	6	30 ÷ 80



Obr. 6.14 Vyrobená součást 1.

6.2 Součást 2

Součást byla nahrubována čelní válcovou frézou s přidavkem 1 mm a dále byla dokončena kopírovací frézou. U této součástky byl posuzován vliv cyklu 32 při obrábění po parabolické dráze. Bylo měřeno jedno projetí dráhy z bodu A do bodu B. Ze složek F_x , F_y a F_z byla stanovena výsledná síla F .



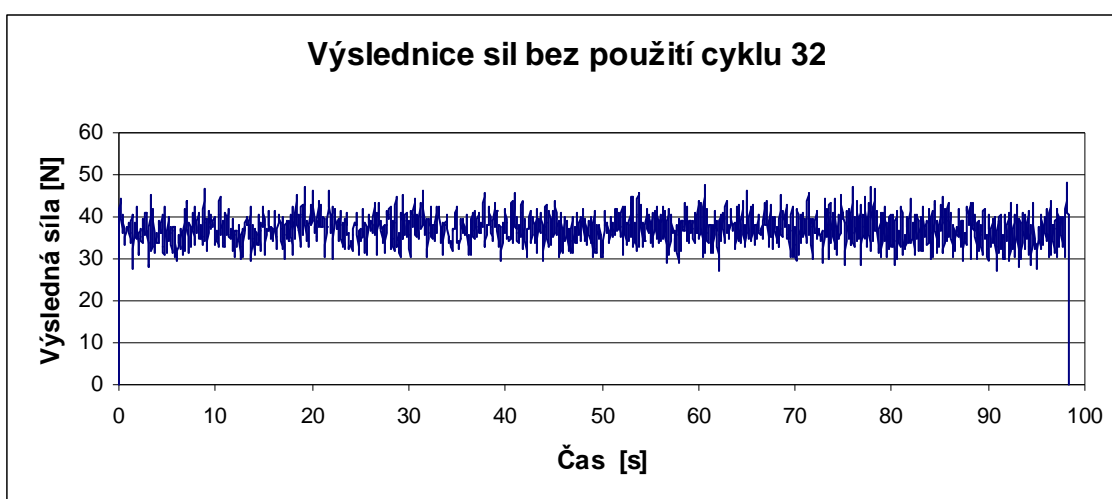
Obr. 6.4 Součást 2.

Měření bylo provedeno s programem - bez cyklu 32

- s cyklem 32, tolerance 0,1 mm

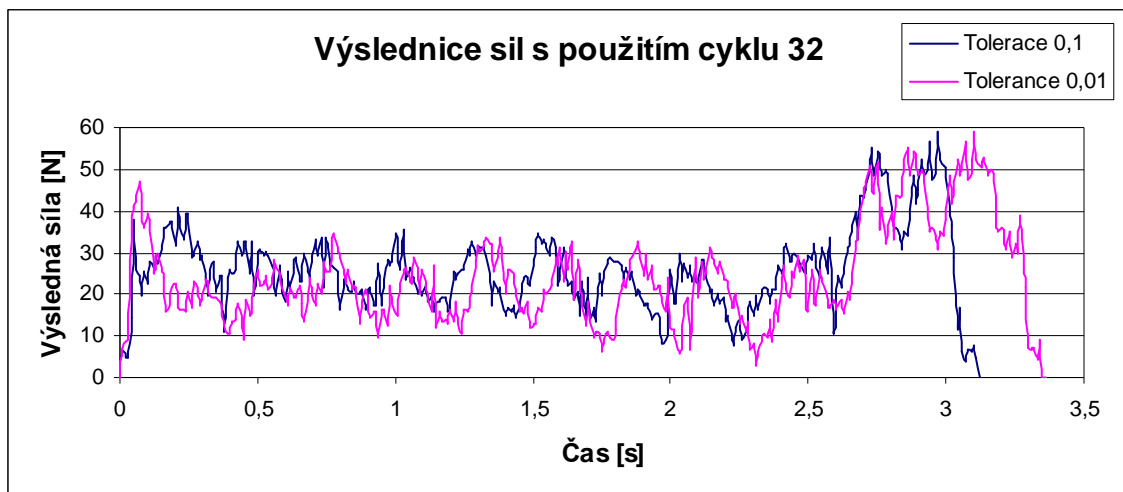
- s cyklem 32, tolerance 0,01 mm

Z grafu (Obr. 6.13) vyplývá, že výsledná síla je v rozsahu od 30 do 45 N. Čas obrábění jedné dráhy je 96 sekund. V porovnání s obráběním, kde je použit cyklus 32, je to o 92 sekund delší čas. Systém totiž musí zpomalit posuvovou rychlost, protože iTNC přesně najíždí vypočtené body obrysu. Povrch obrobené plochy je s řadou otřepů, které jsou způsobené malou posuvovou rychlostí.



Obr. 6.13 Graf výslednice sil bez použití cyklu 32.

V grafu (Obr. 6.14) je porovnána výslednice sil při obrábění s tolerancí 0,1 a 0,01 mm. S tolerancí 0,01 mm trvá obrábění paraboly o 0,4 sekundy déle než s tolerancí 0,1 mm. Z celkového času dokončovacího obrábění paraboloidu, které trvá 21 min, to je navýšení času o 1,5 min. Rozdíl časů obrábění je způsoben tím, že při menší toleranci 0,01 mm iTNC musí najíždět více bodů. Velikost výsledné síly je téměř stejná. Mírný nárůst síly na konci grafu byl způsoben odebráním větší třísky při dojezdu nástroje k základně paraboloidu.



Obr. 6.14 Graf výslednice sil s použitím cyklu 32.

V tabulce 6.3 jsou uvedeny hodnoty času obrábění jedné dráhy a celkový čas výroby celého kusu. Dále byla posouzena struktura obrobeného povrchu.

Tab. 6.3 Časy obrábění a průměrná aritmetická úchylka profilu.

	Čas jedné dráhy t [s]	Celkový čas obrábění [min]	R _a [μm]
bez cyklu 32	96,0	300,0	nezměřeno
s cyklem 32 tolerance 0,1	3,1	21,0	2,37
s cyklem 32 tolerance 0,01	3,4	22,5	2,45

ZÁVĚR

V práci jsou uvedeny možnosti řídicího systému Heidenhain iTNC 530 se zaměřením na dílenské programování. Dále byl proveden rozbor vlivu vybraných programovacích funkcí.

První navržená součást je typu deska (příklad 2,5D obrábění), která spadá do kategorie součástí vhodných k programování formou popisného dialogu. Zde bylo pro zdůraznění speciálních programovacích funkcí použito programování obrysu, drážky pomocí volného programování, a byly využity cykly vrtání a rastru v řadě, nabízené popisným dialogem.

V experimentální části byl porovnáván vliv zvolených programovacích funkcí na silové zatížení a rychlost obrábění. Bylo zjištěno:

- Při přesném najíždění naprogramovaných bodů se v daném případě prodloužil čas obrábění z 5 sekund na 11 sekund.
- Při obrábění s cyklem 32 došlo v daném případě k prodloužení času obrábění o 4 sekundy. Je to způsobeno příliš malou tolerancí 0,01 mm, tudíž systém musí v rozích redukovat posuvovou rychlost.
- Funkce M109 při obrábění vnitřního oblouku prodloužila strojní čas o 19%.

Druhá součást je navržena jako reprezentant tvarových ploch, příklad 3D obrábění. Součástky tohoto typu se běžně programují pomocí CAD/CAM technologie. Jelikož je tvar součástky definován pomocí matematické rovnice, bylo použito i parametrické programování.

V experimentální části byl porovnáván vliv cyklu 32 a velikosti jeho tolerance na obrábění tvarové součástky naprogramované pomocí matematické rovnice. Bylo zjištěno že:

- Cyklus 32 významně snižuje čas obrábění, což se potvrdilo i na této konkrétní součástce. Při daném experimentu došlo ke snížení času při projetí jedné dráhy z 96 sekund na 3,4 sekundy.
- Při malé posuvové rychlosti, která je důsledkem přesného polohování nástroje u obrábění bez cyklu 32, je struktura povrchu paraboloidu vizuálně horší než $R_a = 12,5 \mu\text{m}$. Z důvodu možného poškození měřicího hrotu nebylo doporučeno měřit drsnost obrobeného povrchu.

- Při obrábění s cyklem 32 a tolerancí 0,1 došlo ke snížení času obrábění o 8,8 % než při obrábění s tolerancí 0,01.
- Rozdílná tolerance u cyklu 32 se v daném případě na dosažené drsnosti povrchu výrazně neprojevila.

U první součásti bylo prokázáno, že funkce cyklu 32 nemá tak významný vliv na silové zatížení a rychlost obrábění, proto ji není nutné v daném případě programovat. Naopak pro výrobu druhé součásti je použití cyklu 32 nezbytné. Při programování dané součástky použijí u cyklu 32 toleranci 0,01 mm. Bude výrazně přesnější povrch a celkový čas obrábění naroste jen z 21 minut na 22 minut a 30 sekund.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6
2. HEIDENHAIN: *Výrobní program. 4/2004*, Německo, Traunreut, 1.vyd., 55 s.
3. HEIDENHAIN: *Příručka uživatele Popisný dialog HEIDENHAIN iTNC 530. 2/2009*, Německo, Traunreut, 1.vyd., 671 s.
4. HEIDENHAIN: *Příručka uživatele Programování cyklů iTNC 530. 2/2009*, Německo, Traunreut, 1.vyd., 497 s.
5. HEIDENHAIN: *Průvodce Popisný dialog iTNC 530. 9/2006*, Německo, Traunreut, 1.vyd., 126 s.
6. HEIDENHAIN: *iTNC 530 Víceúčelové CNC řízení pro frézky, vyvrtávačky a obráběcí centra. 9/2002*, Německo, Traunreut, 1.vyd., 33 s.
7. OBRÁBĚCÍ STROJE OLOMOUC s.r.o.: *Návod pro obsluhu stroje FV 25 CNC A*. Olomouc: Obráběcí stroje Olomouc. Dostupné na WWW: <<http://www.oso-olomouc.cz>>.
8. KELLER, P. *Programování a řízení CNC strojů*. [online]. [cit. 12. 3. 2010]. Dostupné na WWW: <http://www.kvs.tul.cz/download/obor/pnc_2.pdf>.
9. OPLATEK, F. *Číslíkové řízení obráběcích strojů*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. 63 s. ISBN 80-7200-294-5
10. HEIDENHAIN [online]. Dostupné na WWW: <www.heidenhain.cz>.
11. Garant *Příručka obrábění Chemnitz 644 s*. Fraunhofer Institut fur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik. Dostupné na WWW: <www.garant-tools.com>.
12. ŠTĚDRÝ, Jan. *Nové možnosti a funkce systému iTNC firmy Heidenhain. Automatizace* [online]. 9. 2005, 48, 12, [cit. 2010-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=985>>.

13. ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1.vyd. Brno: BEN, 2006. 128 s. IBSN 80-7300-207-8.
14. Schnittkraft – messung. KISTLER INSTRUMENTE AG. Schweiz. 2004. 35 s
15. ZPS – FRÉZOVACÍ STROJE. *Katalog frézy*. 2. 2010. Dostupné na WWW: <www.zps-fn.cz>.
16. Fast, Accurate Contour Milling. *Heidenhainfo* [online]. 2009, 1. [cit. 2010-04-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.heidenhain.com/fileadmin/redakteure/us/FINAL-09-Vol1-MT.PDF>>.
17. Fast, Accurate, True to Contour. *Technical Information* [online]. 9. 2007, 1, [cit. 2010-04-23]. Dostupný z WWW: <http://www.heidenhain.com/fileadmin/pdb/media/img/636_225-21.pdf>.
18. Wikipedia. *the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2010-03-12]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyetylentereftal%C3%A1t#Nev.C3.BDhody>>.
19. LPM s.r.o. Technické díly z plastů Jičín [cit. 2010-03-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1301&lng=1>>.
20. Tribon. Polotovary z technických plastů [cit. 18. 3. 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.tribon.cz/plasty/podpora.htm>>.
21. FORNŮSEK, Tomáš; RYBBÍN, Jaroslav. Zjišťování přesnosti při víceosém řízení výrobního stroje. *Sborník*. 14. 4. 2000, [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.fs.vsb.cz/akce/2000/asr2000/Sbornik/papers/fornusek.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
F	[N]	celková řezná síla (výslednice)
F_x	[N]	axiální složka řezné síly
F_y	[N]	radiální složka řezné síly
F_z	[N]	tangenciální složka řezné síly
R_a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
d	[mm]	průměr frézy
f_z	[mm]	posuv na zub
n	[min^{-1}]	otáčky
t	[s]	čas
v_c	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
v_f	[$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	posuvová rychlost
z	[-]	počet zubů
FV		frézka vertikální
CNC		počítačově číslicové řízení (<i>Computer Numerical Control</i>)
NC		číslicové řízení (<i>Numerical Kontrol</i>)
TNC		číslicové řízení firmy Heidenhain (<i>T. Numerical Control</i>)
iTNC		číslicové řízení firmy Heidenhain (s procesorem Intel)
LBL		návěští (<i>label</i>)
IF		když (<i>if</i>)
EQU		rovno (<i>equal</i>)
NE		nerovno (<i>not equal</i>)
GT		větší než (<i>greater</i>)
LT		menší než (<i>less than</i>)
GOTO		přejdi na (<i>go to</i>)
V		vrchol
F		ohnisko
p		parametr

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Seznam funkčních kláves na ovládacím panelu
- Příloha 2 Výrobní výkres součásti 1
- Příloha 3 Výrobní výkres součásti 2
- Příloha 4 NC program součásti 1
- Příloha 5 NC program součásti 2, varianta 1
- Příloha 6 NC program součásti 2, varianta 2
- Příloha 7 Zvolené řezné nástroje

