

Vliv technologických podmínek na přesnost frézování dílů forem

Bc. Pavla Běhalová

Diplomová práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta Technologická

Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení, cenné připomínky a rady, které mi poskytoval v průběhu celé diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 24. 05. 2005

.....

Pavla Běhalová

Abstrakt

Předložená diplomová práce se zabývá přesností frézky FC 16 CNC pro frézování dílů forem. Frézoval se hliník, několik termoplastů a reaktoplastů. Používala se dvoubřitá a čtyřbřitá fréza o $\varnothing$ 8 mm. Měnily se řezné rychlosti, posuvy a hloubky. U obrobených destiček se vyhodnocovala drsnost povrchu. Z těchto hodnot se pak určovaly nejvhodnější podmínky pro frézování obrobených materiálů. Při vyšších otáčkách se u termoplastů snižovala drsnost. U reaktoplastů a PMMA se drsnost zvyšovala. V případě PMMA to bylo způsobeno natavováním materiálu pod nástrojem. Při malých posuvech je drsnost termoplastů nižší, u reaktoplastů je to naopak. Se zvyšující se hloubkou se drsnost rovněž zvyšuje.

Abstrakt

Submitted diploma thesis with an accuracy of milling machine FC 16 CNC used for milling elements of moulds. There were milled many different materials as aluminum, some thermoplastics and reinforced plastics etc. Two and four edge milling heads with the same 8 mm diameter were used for cutting. During that action cutting speed, feeds and depths were changed to get the best result of it. Than surface roughness was interpreted with finished plates. From this values the best condition were evaluated for milling machined materials. While at thermoplastics with rising revolutions their roughness went down, at reinforced plastics and PMMA on the contrary went up. In the case of PMMA it was caused with smelting material under the cutting tool. The roughness evaluated at slow feeds at thermoplastics lower values, while at reinforced plastics are values higher. The roughness goes up with a rising depth.

OBSAH

I. TEORETICKÁ ČÁST	7
ÚVOD	8
1 FRÉZOVÁNÍ	10
1.1 PODSTATA FRÉZOVÁNÍ.....	10
1.2 TEORIE FRÉZOVÁNÍ	11
1.2.1 Sousledné frézování.....	12
1.2.2 Nesousledné frézování.....	13
1.3 PŘEDNOSTI FRÉZOVÁNÍ.....	14
1.4 VADY FRÉZOVÁNÍ	14
2 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE	15
2.1 ROZDĚLENÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	15
2.2 CHARAKTERISTIKA ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	16
2.3 PROGRAMOVÁNÍ NC STROJŮ	17
2.3.1 Struktura programu.....	17
2.3.2 Nositelé informací	23
2.3.3 Kódování informací.....	24
2.4 PRINCIP ČÍSLICOVÉHO ŘÍZENÍ	24
2.4.1 Základní celky numericky řízeného stroje.....	25
2.5 STRUKTURA NC STROJŮ	27
2.5.1 Vstupní část	27
2.5.2 Část pro zpracování informací.....	28
2.5.3 Výstupní část	31
3 PŘESNOST VÝROBNÍCH STROJŮ	32
3.1 DRSNOST POVRCHU	32
3.1.1 Měření drsnosti povrchu.....	36
3.1.2 Kvalitativní metody	36
3.1.3 Kvantitativní metody	37
II. PRAKTICKÁ ČÁST	40
4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	41
5 PRAKTICKÉ SEZNÁMENÍ S FRÉZOVAČÍM STROJEM FC 16 CNC	42
6 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ.....	44
6.1 POLYMETHYLMETAKRYLÁT (PMMA).....	44
6.2 POLYVINYLOCHLORID (PVC)	44
6.3 POLYPROPYLEN (PP)	44
6.4 REAKTOPLASTY	45
6.5 HLINÍK	45
7 ŘEZNÉ PODMÍNKY OVLIVŇUJÍCÍ JAKOST POVRCHU	46
7.1 VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA JAKOST	46
7.2 VLIV POSUVU NA JAKOST	58
7.3 VLIV HLOUBKY ŘEZU NA JAKOST	69
7.4 MĚŘENÍ DRSNOSTI	74
8 DISKUZE VÝSLEDKŮ	75
ZÁVĚR.....	78
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
SEZNAM OBRÁZKŮ	80

SEZNAM TABULEK	82
----------------------	----

I. Teoretická část

ÚVOD

Obrábění je dynamickou technologií, jíž se zabývá několik vědních oborů. Technologie obrábění se mění jak s vývojem obráběného materiálu, tak i s vývojem v oblasti řezných materiálů. Konkurenceschopnost podniků je ve velké míře založena na možnosti neustálého zlepšování výroby pomocí nových technologií. Tato skutečnost zrychluje soutěžení výrobců nástrojů směrem k lepším řezným materiálům, geometrii nástrojů a v současné době i k novým metodám upínání nástrojů. Ve vývoji strojů pro třískové obrábění je patrná snaha výrobců po zvýšení produktivity práce a dosažení nové vyšší kvality opracovaného povrchu.

Modernizací obráběcích strojů lze dosáhnout:

- získání konkurenceschopnosti
- snadnější přizpůsobení se přáním a potřebám zákazníka
- nižších časů pro zpracování zakázek
- možnost vyrábět složitější díly s novým designem
- vyšší přesnost výroby
- možnost použít nové materiály
- nižší výrobní náklady
- zvýšení kvality výrobků
- zjednodušení programování

Současný stav třískového obrábění a perspektivní směry rozvoje ukazují, že obrábění zůstává a zůstane ve strojírenské výrobě základní technologickou profesí. Několik tisíciletí byla zaměřena výroba kovových součástí a nástrojů pouze na odlévání a teprve v 19. a 20. století došlo k rozvoji třískových metod, které zajišťuje podstatně vyšší přesnost, a tím i vyšší spolehlivost jednotlivých elementů výrobků a jejich celků.

Po soustružení je nejrozšířenějším druhem obrábění frézování. Většího rozšíření dosáhlo až koncem 19. století, kdy se zdokonalilo broušení nástrojů. Snahou bylo nahradit hoblování při němž je zpětný pohyb nástroje konán naprázdno. S pokračujícím rozvojem

sériové a hromadné výroby se objevovaly stále více snahy o částečné nebo úplné automatizování frézování.

V první polovině našeho století došlo v oblasti technologie obrábění k prudkému rozvoji sériové, velkosériové a hromadné výroby. V letech 1950 – 1960 se vlivem vysokých požadavků leteckého průmyslu a rozvíjející se kosmonautiky na spolehlivost a přesnost obráběných součástí kvalitativně změnila podstata obrábění a došlo k vývoji a nasazení obráběcích strojů, u kterých byla postoupnost obrábění řízena číslicově zadanými informacemi. Ukázalo se, že číslicový řídicí systém a později počítač je schopen podstatně rychleji dodávat v reálném čase informace o výrobním procesu, než pomalu reagující lidský činitel.

Výroba rychloběžných strojů a další faktory strojírenské výroby si vynutily výzkum jakosti povrchu obrobené plochy, jenž má význam pro lícování součástí, vliv na odolnost proti korozi a opotřebení, na součinitel tření a na únavovou pevnost.

1 FRÉZOVÁNÍ

1.1 Podstata frézování

Frézování je obrábění kovů, které se provádí dvěma na sebe vázanými pohyby: rotačním pohybem nástroje a posuvným pohybem obrobku. Dříve byl posuvný pohyb realizován jen jako posloupnost přímočarých pohybů. V současnosti je naproti tomu díky moderním obráběcím strojům možné realizovat posuvné pohyby plynule měnitelné ve všech směrech. Fréza má obvykle větší počet zubů a každý zub odebírá určité množství materiálu. Výhody současného frézování se projevují ve vysokém výkonu obrábění, vynikající jakosti obrobeného povrchu, velké přesnosti rozměrů a flexibilitě při obrábění tvarově složitých obrobků. Frézováním se obrábí rovné plochy, drážky a plochy tvarové.

Frézování se vyvíjí ve stále univerzálnější metodu obrábění, což je důsledkem rostoucí mnohostrannosti použití obráběcích strojů, řídicích systémů a řezných nástrojů. I v dnešní době moderních technologií úběru materiálu, jako obrábění laserem, vodním paprskem hraje třískové obrábění stále větší úlohu a nic nenasvědčuje tomu, že by se od něho mělo ustupovat. Většina všech frézovacích operací se v dnešní době provádí na obráběcích centrech. V podstatě se pro frézování používají stroje, jejichž rozmanitost už nemůže být větší: počínaje staršími klasickými jednoúčelovými frézky, až po současné moderní, dokonale vyvinuté víceosé CNC stroje.

Způsob obrábění a typ nástroje jsou určovány výkresem obrobku a danými požadavky. Tradiční metody obrábění by měly být vždy kriticky zhodnoceny, protože neustále pokračuje vývoj v oblasti strojů a nástrojů a mění se také podmínky frézování, které s tímto vývojem souvisejí.

Proto je vhodné vždy předem přesně prošetřit, jak má obrábění probíhat a s ohledem na zjištěné skutečnosti se rozhodnout pro cestu moderního obrábění; s největší pravděpodobností by pak mohlo a mělo být obrábění realizováno v podstatně kratší době a se značně lepšími výsledky. Rovněž je nutné zohlednit, má-li být obrábění provedeno při jednom záběru nebo je-li nutné použít záběrů více.

Má-li obrobek podle výrobního postupu frézován, směřuje nejbližší další krok k volbě vhodného stroje. Volit můžeme mezi vodorovnou, svislou, nebo univerzální frézku, portálovou frézku, NC-strojem, nebo obráběcím centrem. Samozřejmě musí být zvolený stroj k dispozici a musí být rovněž pro uvažované obrábění vhodný. Souhlasí-li parametry,

důležité pro uvažované obrábění, a také výkonové parametry stroje, musí být ještě zhodnoceny další faktory, jako stabilita, přesnost stroje a jeho všeobecný stav.

Největším problémem při obrábění řeznými nástroji je jejich nedostatečná stabilita – nejenom vzhledem ke kvalitě obrobeného povrchu, ale rovněž s ohledem na trvanlivost břitu. Výsledek obrábění rovněž závisí na výkonnosti stroje a nástroje.

1.2 Teorie frézování

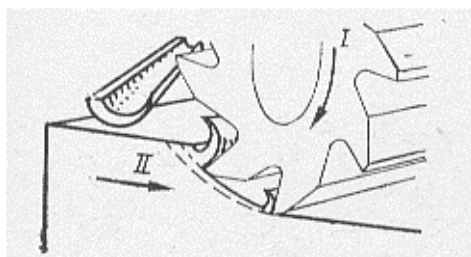
Při frézování se otáčí nástroj – fréza, který má na svém obvodu břity – zuby.

Rotační pohyb nástroje (řezná rychlost) a posuvný pohyb obrobku (posuv) jsou na sobě nezávislé, ale mají k sobě určitý vztah. Správná volba obou těchto pohybů nám zaručuje hospodárné obrábění.

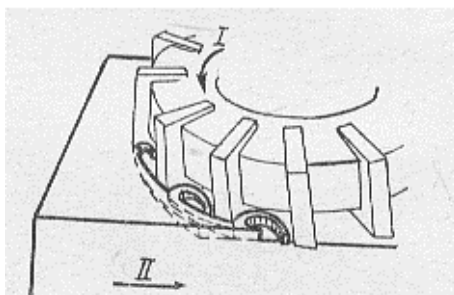
Čas potřebný k frézování určité plochy je závislý na rychlosti posuvu, hladkost a přesnost frézované plochy závisí nejen na rychlosti posuvu, ale i na rychlosti řezné.

Rovinné plochy se mohou frézovat dvojím způsobem:

- a) frézou, která má břity na válcové ploše – válcová fréza
- b) frézou, která má břity na čelní ploše – čelní válcová fréza



Obr. 1. Válcová fréza s břity na válcové ploše



Obr. 2. Čelní fréza s břity na čelní ploše (3)

Relativní posuvný pohyb je buď tangenciální při obvodovém frézování (válcové frézování, frézování válcovou frézou), nebo radiální při čelním frézování. Při obojím frézování je hlavním břitem ten břit, jehož ostří leží na obvodové ploše nástroje.

1.2.1 Sousedné frézování

Pohybuje-li se v okamžiku záběru posunová složka hlavního pohybu v témže smyslu jako posuv, jedná se o frézování sousledné.

Sledujeme-li ostří nástroje v jeho relativním pohybu vzhledem k obrobku, je to při sousledném frézování zkrácená cykloida.

Sousedné frézování je proti nesousednému výhodné jen při obrábění houževnatých a měkkých materiálů.

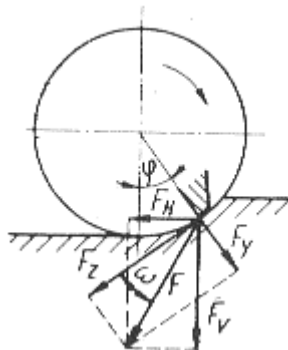
U sousledného frézování má fréza snahu vtahovat obrobek pod sebe, čímž vznikají rázy, které mohou způsobit vážnou poruchu v ústrojí frézky. Tento jev je způsoben tím, že složka řezné síly, která je rovnoběžná s posuvem stolu, ale opačného smyslu, může v některých okamžicích svůj smysl změnit. V těchto okamžicích sebou stůl trhá a posouvá se ve smyslu posuvu o délku, která se rovná součtu vůle v posunovém ústrojí a pružných deformací, vzniklých při rázu. Proto se u sousledného frézování používají speciální zařízení, které umožňují vymezit vůli mezi posunovým šroubem stolu a jeho maticí. Toto zařízení zaručuje klidný posuv pracovního stolu a dobrou jakost obrobené plochy. (2)

Pokusy konané v Rusku ukázaly, že výkon při sousledném frézování je asi o 50% větší než při frézování nesousedném, za stejné trvanlivosti frézy. Kromě toho se při sousledném frézování dosáhne mnohem hladší obrobené plochy. (3)

Charakteristické rysy:

- tříska mění svůj průřez z maxima do minima
- výsledná řezná síla působí převážně směrem do obrobku
- obrobená plocha je vytvářena při vyjíždění zubu ze záběru
- menší sklon ke chvění
- nižší řezný příkon
- nižší nároky na upínací mechanismy
- nižší sklon k tvorbě nárůstků
- lepší kvalita obrobeného povrchu
- příznivější zbytkové pnutí

- nutnost vymezení vůlí v pohybových mechanismech
- vyšší náchylnost na vtahován třísek zpět do řezu



Obr. 3. Působení sil při sousledném frézování

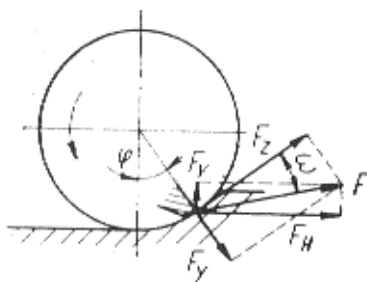
1.2.2 Nesousledné frézování

Pohybuje-li se v okamžiku záběru břit proti směru posuvu, jedná se o nesousledné frézování. Sledujeme-li ostří nástroje v jeho relativním pohybu vzhledem k obrobku, je při nesousledném frézování dráha výsledného pohybu prodloužená cykloida.

Při obrábění odlitků, výkovků a vylisků, které mají nečistý a tvrdý povrch, je výhodnější frézování nesousledné, které stále zůstává tím nejpoužívanějším způsobem, také proto, že nevyžaduje zvláštního zařízení k vymezení vůle v posuvovém ústrojí frézky. (2)

Charakteristické rysy:

- tříska mění svůj průřez z minima do maxima
- výsledná řezná síla působí převážně směrem ven z obrobku
- nižší opotřebení břitu
- není nutno vymezovat vůli v posuvových mechanismech, menší opotřebení posuvových šroubů a matic
- lepší odvod třísek
- vyšší potřebný příkon
- horší drsnost obrobeneho povrchu
- nutnost používat pevnějších upínacích přípravků a vyšších upínacích sil ()



Obr. 4. Působení sil při nesousledném frézování

1.3 Přednosti frézování

Frézování má velkou výkonnost, která je způsobena tím, že frézou obrábíme celý povrch obrobku najednou a fréza pracuje nepřetržitě a to velkou řeznou rychlostí. Další předností je, že můžeme snadno obrábět i tvarové (profilové) plochy, použijeme-li tvarové frézy k obrábění takové plochy. Frézováním můžeme obrábět současně několik součástí, čímž se značně zkrátí výrobní čas. To je velmi důležité, zejména při sériové výrobě.

1.4 Vady frézování

Vadou frézování jsou velké náklady na výrobu a udržování fréz. Frézované plochy jsou sice hladší než hoblované, mají však nepravidelné nerovnosti a obtížně se zaškrabávají. Tam, kde je třeba dosáhnout lepší jakosti frézované plochy, rozdělí se obrábění na dvě operace. Nejprve se plocha hrubuje a pak se obrábí na čisto.

Velikost a druh frézky pro určitou práci je třeba určit podle rozměrů součásti a druhu operace, podle výkonu, kterého na tuto operaci bude zapotřebí a podle přesnosti a jakosti povrchu, které jsou po ní předepsány.

Pro hospodárné využití každého obráběcího stroje platí zásada, aby byl při práci pokud možno plně zatížen.(3)

2 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

2.1 Rozdělení číslicově řízených obráběcích strojů

- a) Podle tvaru obráběných obrobků dělíme NC obráběcí stroje do dvou skupin:
- stroje pro obrábění obrobků rotačního tvaru (soustruhy, soustružnická centra)
 - stroje pro obrábění obrobků skříňového nebo plochého tvaru (frézky, vrtáčky, vyvrtávačky)
- b) Podle počtu operací, které je stroj schopen na obrobku provést při jednom upnutí:
- stroje pro jeden druh operací (jednoprofesní) mohou při jednom upnutí obrobku vykonat operace pouze jednoho druhu (soustružnické, frézovací, vrtací apod.)
 - stroje pro více druhů operací (víceprofesní) nebo-li obráběcí centra.
- c) Podle úrovně konstrukce (podle stupně vývoje) dělíme NC stroje do čtyř skupin:

Stroje 1. generace: Byly odvozeny od běžných konvenčních strojů při malém přizpůsobení pro zapojení řídicího systému. Dnes již nevyhovují. Důvodem málo přesné práce je nedostatečné přizpůsobení konstrukce původně ručně řízeného stroje podmínkám automatického řízení. U ručně řízených strojů rozhoduje o kvalitě a přesnosti kvalifikovaný pracovník. Přesnost práce NC stroje je dána kvalitou programu.

Stroje 2. generace: Tyto stroje jsou již konstruovány pro číslicové řízení. Některé stroje jsou již vybaveny AVN (automatická výměna nástroje). Výměna nástrojů u revolverových hlav je ruční stejně jako výměna obrobků. Některé stroje mají dopravníky třísek. Jsou to poloautomatické stroje. Tyto stroje nesplňují zcela podmínky pro zařazení do plně automatizovaných výrobních systémů.

Stroje 3. generace: Tato skupina strojů se vyznačuje jejich uzpůsobením pro využití ve strojních systémech s vyšším stupněm automatizace, tj. v takových systémech v nichž je automatizována mezioperační doprava obrobků AVO (automatická výměna obrobků). Výměna nástrojů v zásobníku je ruční. Automatická manipulace s třískami je řešena částečně nebo úplně s možností napojení na transport třísek v systému. Významným rysem těchto strojů je stavebnicovost konstrukce, která umožňuje zlevnit jejich výrobu. Systémy AVO v takovém případě umožní současně

zvýšit využití stroje pro odebírání třísek a při použití zásobníku palet s obrobky automatický chod stroje ve velkých časových úsecích.

Stroje 4. generace: Napojení systému AVN je již na manipulaci s nástroji, a proto je možné je charakterizovat jako automaty s automatickou operační manipulací s nástroji, obrobky a třískami. Jsou to tedy plně automatizovaná technologická pracoviště. V takovýchto systémech se však požaduje až třísměnný provoz bez obsluhy, proto mají být vybaveny aktivní kontrolou. Důraz je kladen na víceprofesnost a jejich řešení bývá rovněž stavebnicové.

2.2 Charakteristika číslicově řízených obráběcích strojů

Číslicové řízení obráběcího stroje (často se setkáváme s výrazem numerické řízení) je druh programového řízení, u kterého jsou veškeré informace o požadovaném pracovním cyklu zapsány ve formě alfanumerických znaků. Vlastní program je ohraničená posloupnost oddělených skupin znaků, kterým říkáme bloky nebo věty. Každá věta obsahuje dva druhy informací:

- geometrické informace, výsledkem jejichž zpracování jsou dráhy nosičů nástrojů,
- technologické informace, na jejichž základě jsou vyvolány ovládací funkce, tzn. činnosti jednotlivých mechanismů stroje (řazení otáček, natáčení nástrojové hlavy, spuštění a zastavení vřetena apod.)

Program musí být zaznamenán na takové médium, ze kterého je možné informace snadno „přečíst“ a dále zpracovat. Nejstarším záznamovým prostředkem je dálnopisná děrná páska. I když dnes se samozřejmě používají magnetická média (diskety, externí harddisky apod.), je děrná páska stále používána jako archivní médium. Další možnost zadávání programu má obsluha prostřednictvím tlačítkové klávesnice.

Takové řízení má řadu velice důležitých přínosů:

- odpadají všechny orýsovací práce, odpadá používání přípravků, modelů a šablon, čímž odpadá také jejich vývoj, výroba a skladování,
- číslicový program se dá podstatně snadněji měnit než program realizovaný vačkami, narážkami a dorazy, což vede ke značnému zkrácení seřizovacích časů. Odpadají

úpravy a rekonstrukce přípravků. Tím je položen základ pro automatizaci malosériových výrob.

- nasazení číslicově řízených strojů přináší podstatné zjednodušení agendy náhradních dílů. Většinou postačí archivovat programy místo hotových součástí,
- maximální omezení seřizovacích činností a automatický průběh obrábění odstraňuje chyby, které do výrobního procesu vnáší obsluha svou nepozorností a únavou. Snižují se nároky na soustředění obsluhy, která se může více věnovat sledování průběhu obrábění, resp. může sledovat více strojů,
- velmi složité součásti, které se dají matematicky popsat (např. prostorově tvarované lopatky turbin, součásti letadel) lze obrábět, aniž by bylo nutno kreslit výkres. Řízení, které zpracovává číslicové informace, je možno přímo propojit s počítačem, kde se pomocí nějakého graficko-matematického systému tvar součásti popíše,
- možnost komunikace s počítačem je vlastně základním předpokladem pro výstavbu počítačem řízených výrobních systémů. (4)

2.3 Programování NC strojů

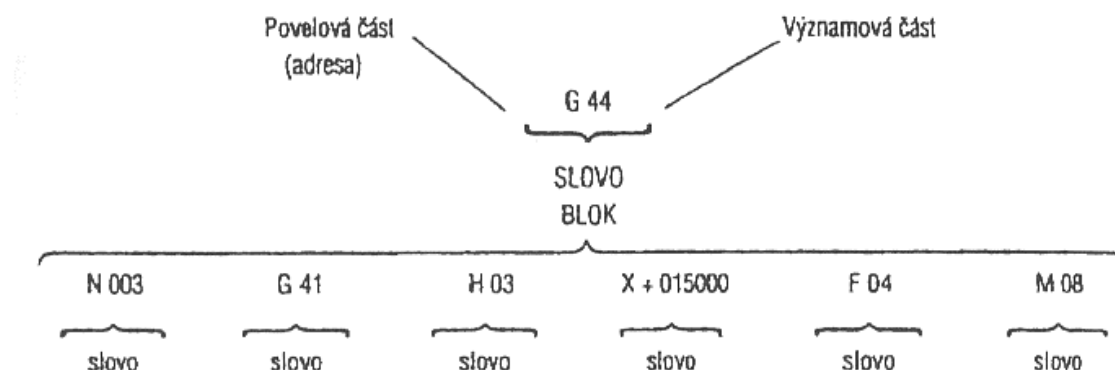
Programování NC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost, která je zařazována do oblasti technické přípravy výroby. Kvalita řídicích programů je ovlivňována stupněm znalostí programátora, funkce jím programovaných NC strojů a jejich řídicích systémů. Se zvyšující se technickou úrovní a složitostí techniky se zvyšují adekvátně i nároky na kvalifikaci a úroveň znalostí programátora.

Vysoká náročnost a složitost řídicích programů pro souvislé řídicí systémy, kde je u NC strojů nutné předpokládat i více současně řízených souřadných os, stále více vyžaduje soustředěnost programátora a tím možnost rizika výskytu chyb. Proto je pozornost zaměřována na možnost tvorby a generování řídicích programů pomocí počítačové podpory.

2.3.1 Struktura programu

Řídicí program NC stroje je soubor číselně vyjádřených informací o činnosti NC stroje, uložených na nositeli informací, ze kterého jsou tyto informace postupně předávány stroji v průběhu operace.

K zápisu programu se volí znaky, které jsou srozumitelné člověku a tyto se řadí do jednotlivých slov.



Obr. 5. Schéma struktury programového slova

Informační slova jsou zpravidla uváděna v následující posloupnosti:

- přípravná funkce
- rozměrová funkce, tj. rozměr udávající hodnotu přemístění v jednotlivých pohybových osách,
- posunová funkce,
- funkce ovládající rychlost otáčení vřetena,
- funkce nástroje,
- pomocné funkce. (10)

Adresová část slova je tvořena písmenem a vyjadřuje „druh povelu“, tj. funkci, kterou má stroj na tento povel vykonat (pohyb v určité ose, otáčky, činnost mechanismu atd.)

Významová část slova je tvořena číslem, které udává hodnotu funkce (velikost posunutí, velikost otáček či posuvů nebo kód, konkretizující činnost mechanismu stroje apod.). Dnešní řídicí systém používají zásadně **proměnnou délku bloku**, tzn., že blok obsahuje jen ty funkce, které se v tomto kroku programu nově vyskytují nebo mění. Všechny možné adresy slov, možné rozsahu, neboli formáty významových částí slov tvoří tzv. **programový klíč** řídicího systému. Přiřazení významu k jednotlivým adresovým znakům je normalizováno (např. DIN 66025) a je výrobcí řídicích systémů dodržováno. Podle charakteru významové části je možno slova rozdělit do dvou skupin.

2.3.1.1 Rozměrová slova

Rozměrová slova mají významovou část tvořenou nějakou fyzikální veličinou a mají tudíž fyzikální rozměr. Jsou to geometrické informace popisující pohyb v jednotlivých řízených osách – souřadnice, interpolační parametry, poloměry. Mezi souřadnice patří i natočení kolem souřadných os. Mezi rozměrová slova dále patří funkce posuvu a funkce vřeten, jejichž významová část je rovněž fyzikální veličinou – velikost posuvu, řezná rychlost, otáčky vřeten.

Formát rozměrového slova pro posunutí v souřadné ose: $\pm 0,001 - \pm 9999,999$ [mm]

Adresy:

X, Y, Z - lineární osy

U, V, W - další souřadné osy, rovnoběžné s X, Y, Z

Q - pomocná souřadná osa (např. pro manipulátor)

I, J, K - interpolační parametry v osách X, Y, Z

R - poloměr kruhového oblouku

Formát rozměrového slova pro natočení kolem souřadné osy: $\pm 0,001^\circ - \pm 359,999^\circ$

Adresy:

A, B, C - natočení kolem os X, Y, Z

Formát rozměrového slova pro funkce vřeten:

1 – 20 000 [ot/min] ve spojení s funkcí G97 – konstantní otáčky

1 – 1 000 [m/min] ve spojení s funkcí G96 – konstantní řezná rychlost

Adresa:

S (Speed)

Formát rozměrového slova pro funkci posuvu:

0,01 – 45 000 [mm/min] „minutový“ posuv, ve spojení s funkcí G94

0,001 – 50,000 [ot/min] „otáčkový“ posuv, ve spojení s funkcí G95

Adresa:

F (Feed)

2.3.1.2 Bezrozměrová slova

Bezrozměrová slova mají významovou část tvořenou většinou dvouciferným číslem, které určuje konkrétní funkci ze skupiny funkcí dané adresou.

Adresa G (Go) uvozuje velký soubor tzv. **přípravných funkcí**. Tyto funkce, z nichž některé jsme již poznali při výkladu principů interpolace, připravují řídicí systém na určitý režim práce – odtud jejich název. Celý soubor G – funkcí je možno rozdělit do několika skupin. Z nichž nejpoužívanější jsou:

Skupina 1 – volba druhu interpolace

- G00 rychloposuv po přímce
- G01* lineární interpolace pracovním posuvem
- G02 kruhová interpolace pracovním posuvem ve směru hodin
- G03 kruhová interpolace pracovním posuvem proti směru hodin

Skupina 2

- G04 časová prodleva – velikost prodlevy se programuje adresou X, nebo F v sec

Skupina 3 – volba roviny interpolace

- G17 interpolace v rovině XY
- G18 interpolace v rovině XZ
- G19 interpolace v rovině YZ

Skupina 4 – volba korekce na poloměr nástroje (zaoblení špičky)

- G40* zrušení korekce
- G41 korekce pro nástroj vlevo od obrobku
- G42 korekce pro nástroj vpravo od obrobku

Skupina 5 – volba posunutí počátku

- G53# zrušení posunutí počátku
- G54* posunutí počátku č. 1
- G55 atd. další možná posunutí počátku (většinou alespoň 3)
- G58# programovatelné (aditivní) posunutí počátku

Skupina 6 – volba programovacích jednotek

G70 zadávání dráhy v palcích

G71* zadávání dráhy v mm

Skupina 7 – volba způsobu programování

G90* absolutní programování (od nulového bodu obrobku W)

G91 přírůstkové programování

Skupina 8 – předvolba zadávání posuvu

G94 minutový posuv

G95 otáčkový posuv

Skupina 9 – předvolba funkcí vřetena

G92 omezení otáček vřetena při soustružení konstantní řeznou rychlostí (omezující otáčky se programují adresou S)

G 96 konstantní řezná rychlost při soustružení

G 97 konstantní otáčky vřetena

Funkce označené # platí pouze v jednom bloku, ostatní přípravné funkce jsou trvalé, tzn. od svého vyvolání platí v každém následujícím bloku, pokud nejsou zrušeny nebo změněny jinou funkcí téže skupiny. Při spuštění systému je třeba nastavit určitý základní stav (z hlediska přípravných funkcí), proto jsou některé přípravné funkce aktivovány automaticky při spuštění. V našem přehledu jsou tyto funkce označeny *. V jedné větě pak může být programováno současně několik přípravných funkcí, každá však musí být z jiné skupiny.

Uvedená čísla odpovídají normě DIN 66025 a označují základní funkce, které musí mít každý systém. Většina výrobců řídicích systémů tato označení dodržuje. Ostatní čísla využívají výrobci pro speciální funkce, specifické pro ten který systém (např. pro označení vícebodových prvků, obráběcích cyklů apod.)

Adresa M (Machine) uvozuje tzv. **pomocné** neboli **strojní** funkce. Jak jejich název ukazuje, těmito funkcemi se vyvolávají činnosti mechanismů stroje. Protože se některé funkce z tohoto souboru týkají i řídicího systému, říká se těmto funkcím také někdy **smíšené**.

I tyto funkce se dělí do několika skupin a platí o nich totéž co o funkcích přípravných:

Skupina 1 – přerušení automatického cyklu

- M00# nepodmíněné přerušení programu (technologický STOP)
- M01# podmíněné přerušení programu – funkce se vyvolá pouze tehdy, je-li předvolena tlačítkem na panelu systému

Skupina 2 – ukončení programu

- M02 konec programu a skok na začátek programu následujícího
- M17 konec podprogramu s návratem do hlavního programu
- M30 konec hlavního programu s návratem na začátek

Skupina 3 – ovládání vřetena

- M03 start vřetena ve směru hodinových ručiček
- M04 start vřetena proti směru hodinových ručiček
- M05* zastavení vřetena
- M19 orientované zastavení vřetena – úhel od nulové rysky odměřování se programuje adresou S

Skupina 4 - funkce různých mechanismů stroje – přiřazení definuje výrobce systému, event. stroje – např.:

- M7 spuštění druhého chlazení (např. středem nástroje)
- M8 spuštění hlavního chlazení
- M9 stop chlazení
- M13 start vřetena vpravo s chlazením
- M14 start vřetena vlevo s chlazením
- M28 vysunutí pinoly koníku
- M29 zasunutí pinoly koníku
- M51 otevření krytu pracovního prostoru
- M52 zavření krytu pracovního prostoru, atd.

Adresa H (Help) uvozuje tzv. **přídavné** funkce. Je to v podstatě rozšíření pomocných funkcí m definovaných výrobcem stroje. Pod touto adresou se často programují funkce různých přídavných zařízení, zejména manipulačních.

Adresa T (Tool) uvozuje funkci nástroje. Významovou část tohoto slova tvoří číslo o čtyřech dekádách. Toto zdánlivě nesmyslně vysoké číslo umožňuje místo pořadového čísla

nástroje programovat nástrojový kód z knihovny nástrojů. Některé řídicí systémy používají toto velké číslo k současnému programování nástrojové korekce – první dvojčíslí pak znamená číslo nástroje, druhé dvojčíslí pak znamená číslo příslušné nástrojové korekce z tabulky korekcí.

Adresa D udává číslo korekce nástroje, pokud se programuje zvláštním slovem. Významová část slova přestavuje číslo o dvou dekadách. Pozn.: Slovo D0 znamená zrušení předvolené korekce.

Adresy L (Load) a P označují volání podprogramu a počet jeho opakování.

Adresa R označuje tzv. parametr, což je symbolické vyjádření významové části slova. Např. výraz $X=R1$ znamená posunutí v ose X o hodnotu parametru R1. Nejčastěji se parametry používají pro modifikaci podprogramů. Dnešní řídicí systémy dovolují používat řádově stovky parametrů.

Věta, kromě slov, může obsahovat tzv. komentář, který se umísťuje za všechna slova před znakem pro konec věty do závorek, event. uvozovek. Systém komentář nezpracovává, pouze jej zobrazuje, při výpisu programu na tiskárnu se komentář tiskne. Komentáře slouží k lepší orientaci v programu. Používají se zejména u hlavních vět jako sdělení o tom, co stroj od tohoto okamžiku bude provádět. Slova ve větě mají ustálené pořadí, které je pro přehlednost vhodné zachovávat:

N... R... G... X... Y... Z... A... B... C... I... J... K... F... S...T... D...M... H... L... P...
(komentář)LF

Rozšířená adresa se používá u velmi složitých strojů, které mají velký počet souřadných os, několik vřeten apod. V těchto případech se musí adresy indexovat např.:

$Q2 = 100$ – posuv 100 mm ve druhé pomocné ose. (4)

2.3.2 Nositelé informací

Informace nutné k řízení NC obráběcího stroje jsou zaznamenány na nositeli informací, ze kterého lze tyto informace snímat. Prakticky přicházejí v úvahu: osmistopá děrná páska, magnetofonová páska, magnetická disková paměť.

Děrné pásky jsou stále používaným řídicím médiem, dodávaným z různých materiálů, barev a rozměrů. K archivování programů nebo pro výrobu menších dávek jsou k použití děrné pásky ze speciálního papíru, které patří k nejlevnějším. Nejdražší pásky jsou z plastických hmot, někdy pokryté tenkou vrstvou hliníku. Jsou tužší a vhodné pro dílenské použití. Jejich

nevýhodou je, že jsou choulostivé na teplo. Předností je pak jejich tuhost, možnost přímého čtení a určitá odolnost vůči nečistotám a prachu.

Počet znaků se udává 15 na 1 cm².

Magnetofonová páska umožňuje nahrání informace a její předání elektronickému zařízení přes magnetofon. Toto řízení se jeví jako technicky nejlepší, je zde možnost rychlého předávání značného počtu údajů, přenos z pásky je spolehlivý, principiálně dobře vyřešený a snímací zařízení je relativně jednoduché a levné. Nevýhodou je, že čtecí zařízení pro magnetické pásky musí být umístěno mimo technologický provoz, v čistém a neprašném prostředí, není zde možnost přímého čtení a pásky musí být pečlivě chráněny před nečistotami.

Počet znaků na 1 cm² se udává 1250.

Magnetická disková paměť má své opodstatnění tehdy, kdy je nutné snímat velký počet dat v relativně krátkém čase. Snímací zařízení musí být umístěno mimo výrobní dílnu ve zvláštní místnosti. Požadavky na čistotu a stálost teploty jsou zde vysoké.

2.3.3 Kódování informací

Informace potřebné k řízení řídicích systémů NC strojů jsou zadávány na nositele informací různě kódované. V průběhu vývoje řídicích systémů NC strojů byla využita celá řada kódů – dekadické, binární, binárně-dekadické (BCD kódy).

Z důvodů jednotnosti a s ohledem na skutečnost, že byly sjednoceny formáty a druhy nositelů informací a sjednocena zařízení pro zápis, děrování a snímání programů, byly vytvořeny standardní kódy, a to EIA RS-244 a ISO R840. Oba kódy jsou osmistopé, kde na prvních čtyřech stopách se vyjadřují čísla v kódu 8421, další tři stopy odlišují čísla od ostatních adres a znaků a jedna stopa je paritní. Kód EIA má kontrolu lichou paritou na páté stopě a kód ISO sudou paritou na osmé stopě. (10)

2.4 Princip číslicového řízení

Při číslicovém řízení obráběcích strojů jde konkrétně o řízení procesu obrábění na základě číselných údajů a číslicový řídicí počítač používaný pro tento účel, se nazývá číslicový řídicí systém (CNC-systém). Všechny údaje, potřebné k opracování obrobku na požadovaný tvar a

s přesností jsou při číslicovém řízení předem připraveny ve formě řady čísel v určitém kódu, srozumitelném pro řídicí systém. Tyto údaje jsou pak zaznamenány na nosič programu.

Informace potřebné k řízení obráběcího stroje:

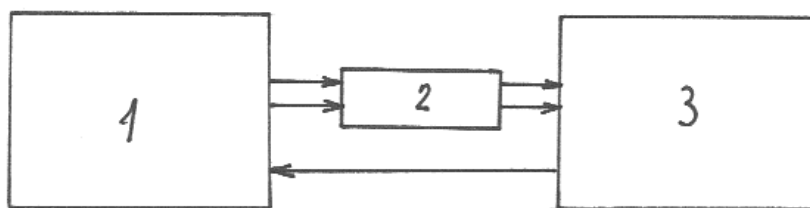
- 1) Informace o geometrii obrábění určují rozměry součásti nebo vzdálenosti otvorů a popisují dráhu nástroje k obrobku.
- 2) Informace o technologii obrábění charakterizují řídicí funkce, které obráběcí stroj musí vykonávat v jednotlivých fázích obrábění, jako např. velikost posuvu, otáčky, číslo nástroje apod. Tyto informace představují řezné podmínky, které mají být použity při obrábění obrobku.
- 3) Pomocné informace představují vykonávání některých pomocných funkcí jako je zapínání chladicí kapaliny, zpevňování a uvolňování suportu apod.

2.4.1 Základní celky numericky řízeného stroje

Každý numericky řízený stroj je tvořen dvěma základními samostatnými celky:

- 1) Řízeným strojem vybaven zařízením, které mu umožňují realizovat požadovaný průběh technologického procesu. Na základě řídicích signálů určené struktury přijímaných jednotlivými částmi stroje v souladu se sekvenčním prováděním jednotlivých činností stroje.
- 2) Řídicím systémem, který na základě údajů zakódovaných ve formě programu a uložených buď na vhodném vnějším mediu nebo po částech předávaných do vyrovnávací paměti, či zapsaných ve vnitřní paměti systému a s využitím údajů zpětnovazebního charakteru přicházejících od řízeného stroje generuje na výstupu signály pro řízený stroj.

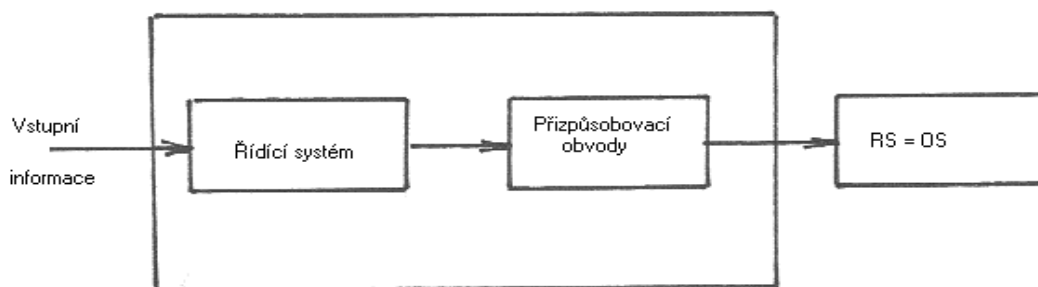
Ke dvěma uvedeným celkům přistupuje ještě další, který je tvořen přizpůsobovacími obvody, umožňující vzájemné spojení řízeného stroje s řídicím systémem.



Obr. 6. Schéma základních celků numericky řízeného stroje
 1 řídicí systém, 2 přizpůsobovací obvody, 3 jednotlivé akční členy stroje

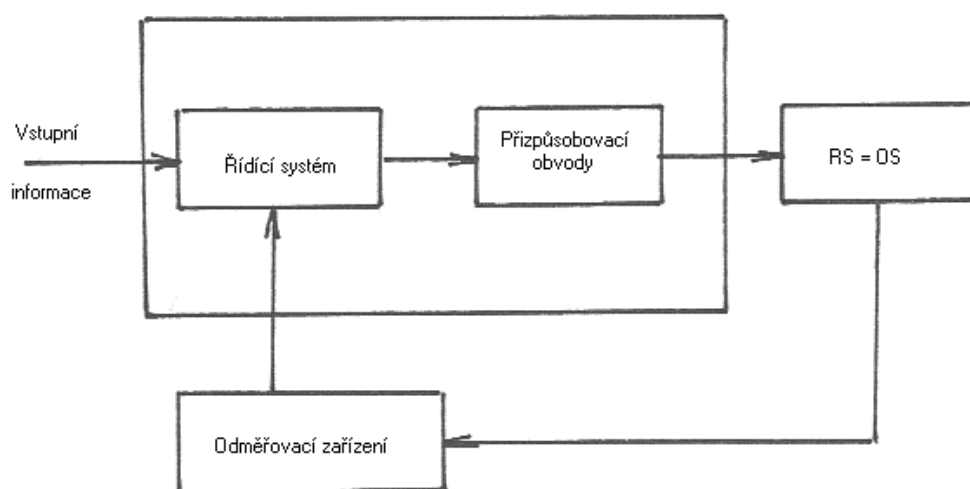
2.4.1.1 Způsoby spojení numerického řídicího systému s řízeným strojem

1) V otevřené smyčce (řízení bez zpětné vazby), kde řídicí systém nemá žádné informace o skutečné poloze řízené části stroje. Signály generované řídicím systémem musí být před použitím upraveny z hodnot na výstupu řídicího systému na hodnoty požadované na vstupu vedlejších pohonů. Využívá se zde aplikace krokových motorů.



Obr. 7. Schéma spojení řídicího systému s řízeným strojem v otevřené smyčce

2) V uzavřené smyčce (řízení se zpětnou vazbou), kde systém je průběžně pomocí odměřovacího zařízení informován o skutečné poloze řízené části stroje. Zpětnovazební signál udávající skutečnou polohu stroje je využit k porovnávání s hodnotou určenou. Tento systém využívá principu rychlostní a polohové zpětné vazby. Zpětná vazba může být záporná nebo kladná, podle toho odečítá-li se zpětnovazební signál (-) nebo přičítá-li se (+). Regulační odchylky mají u servomechanismů význam pouze záporná zpětná vazba.



Obr. 8. Schéma spojení řídicího systému s řízeným strojem v uzavřené smyčce

2.5 Struktura NC strojů

Každý NC stroj obsahuje tři hlavní části:

- vstupní část
- část pro zpracování informací
- výstupní část

2.5.1 Vstupní část

Vstupní část obsahuje všechny prostředky, které zajišťují vstup informací do NC systému, kontrolu jejich správnosti a úplnosti, dekodování a ukládání do paměti. Část vstupní se skládá ze čtečky, prvků pro ruční vkládání informací, vstupních dekodérů, kontrolních obvodů, řadiče a paměti.

- a) Čtečka může být sériová nebo paralelní, kontaktní nebo fotoelektrická. Provedení závisí na typu nosiče informací a na požadované rychlosti čtení. Nejběžnější je fotoelektrická čtečka s rychlostí 50 až 300 znaků za sekundu.
- b) Prvky pro ruční vkládání informací (volba korekcí, volba počátku a zpomalovacího bodu) umožňuje vložení všech potřebných informací do paměti systému např. jako tlačítkové soupravy.
- c) Vstupní dekodéry provádějí výběr platných znaků a jejich třídění.

- d) Kontrolní obvody zajišťují kontrolu správnosti a úplnosti ukládaných informací např. kontrola sudého nebo lichého počtu děr v každém řádku. Pokud se při čtení objeví chyba, čtení se zastaví.
- e) Řadič přivádí sériově čtené znaky podle jejich významů a hodnot do příslušných paměťových míst.

Paměti uchovávají všechny čtečkou snímané informace po dobu potřebnou pro řízení příslušných funkcí stroje.

2.5.2 Část pro zpracování informací

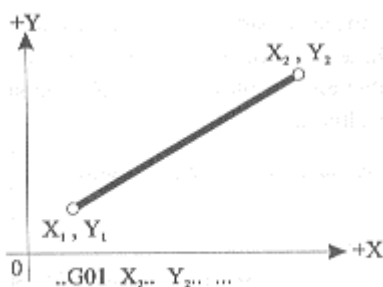
Část pro zpracování informací, tj. výpočetní jednotka, která obsahuje zpravidla aritmetické a porovnávací obvody, umožňující zpracování všech vstupních informací na povely pro řízení stroje. Struktura zde závisí hlavně na typu systému (stavění souřadnic, pravoúhlé či souvislé řízení) dále na typu odměřovacího zařízení, způsobu programování, pohonu posuvů a druhu stroje. Tato část musí obsahovat porovnávací obvody, které zajišťují souhlas skutečné polohy (z odměřovacího zařízení) a žádané polohy (z programu). Vyšlou přitom souhlasný signál k zastavení pohybu a pokyn ke čtení dalšího bloku z programu. K porovnávacím obvodům patří převodníky, které převádí číslíkově vyjádřené veličiny na analogové nebo naopak. Řídící systémy s aritmetickou jednotkou se používají pro pravoúhlé řízení a stavění souřadnic.

U souvislých systémů přistupuje k výše uvedeným obvodům ještě tzv. interpolátor.

Informace na děrné pásce obsahuje v jednotlivých blocích řídicího programu geometrické údaje o souřadnicích tzv. „opěrných“ bodů a druhu spojnice. Dále velikost posunové rychlosti při obrábění. Interpolátor vyrábí počet elektrických impulsů odpovídající naprogramovaným drahám v jednotlivých směrech. Každý impuls představuje dráhu např. 0,01 mm, 0,001mm. Podle frekvence impulsů zjistíme rychlost pohybu v jednotlivých řízených osách. Poměr frekvencí ve dvou řízených osách udává směrnici přímka, po které probíhá v daný okamžik pohyb mezi nástrojem a obrobkem.

Druhy interpolace jsou lineární, kruhová, parabolická, eliptická a křivky vyššího řádu. Např. kruhové oblouky jsou při lineární interpolaci nahrazeny přímkovými úseky.

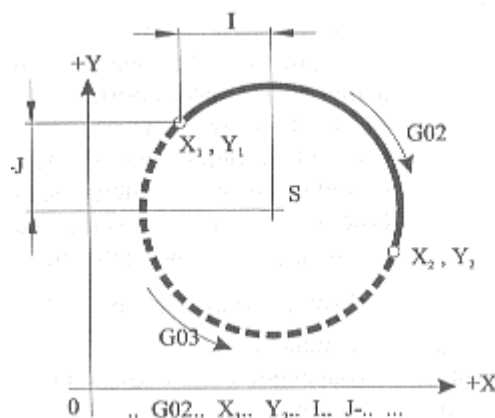
- a) **Lineární interpolátory** dovolují modelovat všechny typy rovinných a prostorových křivek, ale nemají do budoucna velké uplatnění. Na obr.9 je znázorněna úsečka v rovině interpolace XY. Úsečka je dána dvěma body – počátečním bodem o souřadnicích X_1, Y_1 a koncovým bodem o souřadnicích X_2, Y_2 . Pod obrázkem je část programové věty, která obsahuje geometrickou informaci pro pohyb po zadané úsečce: za číslem věty následuje tzv. **přípravná funkce G01**, která „připraví“ řídicí systém na to, že půjde o lineární interpolaci a po této funkci jsou zadány souřadnice koncového bodu. Více není třeba, neboť mezilehlé body vygeneruje interpolátor. Počáteční bod se ve větě neprogramuje, neboť je vlastně koncovým bodem předcházejícího segmentu dráhy a řídicí systém si ho pamatuje.



Obr. 9. Lineární interpolace

- b) **Kruhové interpolátory** jsou složitější než interpolátory lineární. Z geometrie víme, že kružnice je dána dvěma body a středem. Z toho vychází i struktura geometrické informace, kterou je programován kruhový oblouk. Na obr.10 je znázorněn kruhový oblouk s **počátečním** bodem X_1, Y_1 a koncovým bodem X_2, Y_2 . Rovina interpolace je tedy opět XY. Střed oblouku je zadán vzdálenostmi od počátečního bodu. Ve směru osy X je to hodnota I, ve směru osy Y je to hodnota J. Těmito hodnotám se říká interpolační parametry (pokud by interpolace probíhala v rovině XZ nebo YZ, měl by interpolační parametr ve směru osy Z označení K). V úvodu bylo řečeno, že dvěma body a středem je dána kružnice. V naprosté většině případů potřebujeme zadat jen její část, tj. kruhový oblouk z nějakého počátečního bodu do známého koncového bodu. Z obrázku je patrné, že při dané poloze středu se z počátečního do koncového bodu můžeme dostat dvěma oblouky – buď obloukem opisovaným ve směru hodinových ručiček, nebo obloukem opisovaným proti směru hodinových ručiček (na

obrázku je tento oblouk čárkovaně). Abychom mohli tyto možnosti při programování rozlišit, potřebujeme dvě funkce, které připravují systém na kruhovou interpolaci – G02 pro oblouky opisované ve směru hodinových ručiček a G03 pro oblouky opisované proti směru hodinových ručiček.



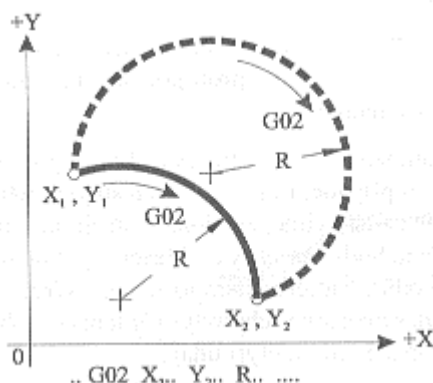
Obr. 10. Kruhová interpolace – kruhový oblouk určený středem

Geometrické informace, které popisuje kruhový oblouk, obsahuje pět údajů:

- kód přípravné funkce,
- souřadnice koncového bodu v rovině interpolace,
- interpolační parametry, tj. vzdálenosti středu oblouku od počátečního bodu v jednotlivých osách.

Některé řídicí systémy umožňují zadat kruhový oblouk pomocí poloměru (místo souřadnic středu). Příklad je znázorněn na obr.11. Geometrická informace má v tomto případě jenom čtyři údaje:

- přípravnou funkci,
- souřadnice koncového bodu oblouku,
- poloměr oblouku



Obr. 11. Kruhová interpolace – kruhový oblouk určený poloměrem

- c) **Kruhové interpolátory s lineárními** jsou nejčastěji používány u souvislých řídicích systémů. Zvýšení operační rychlosti se využívá u interpolátorů na krytí požadavků technologie a na zvýšení posunové rychlosti až o desetinásobek a zvýšení rychlosti tj. na základní jednotku programování 0,001 mm.
- d) **Parabolické interpolátory** se používají málo a uvádí se jako „univerzální“, použití např. při výrobě křídel letadel, lisovacích forem apod. Nevýhodou je obtížné řešení korekce průměru nástroje.

U řídicích systémů CNC je část pro zpracování informací tvořena vestavěným malým počítačem a zpravidla interpolátorem, ale skoro odpovídá číslicovému řízení. Rozdíl je v tom, že všechny důležité funkce NC systému, které jsou u klasického číslicového řízení pevně zapojeny jsou u CNC vytvořeny programovými bloky uloženými v paměti počítače. Výhodou CNC systémů je řízení různých druhů strojů s různým počtem os a řídit další funkce stroje. Do CNC systému se program zadá ručně nebo děrnou páskou. Program je přečten, dekódován a data jsou uložena do paměti. Počítač potom zpracovává data pomocí programu. CNC řídicí systém umožňuje např. automatické rozlišení kódu bez ohledu na použitý kód, dovoluují provádět vyšší typy interpolací apod.

2.5.3 Výstupní část

Výstupní část slouží k přizpůsobení a zesílení signálu na úroveň a strukturu potřebnou pro řízení stroje. Výstupní část slouží k navázání obvodů řídicího systému. Jejich logická struktura je poměrně jednoduchá a závisí hlavně na množství funkcí, které systém umožňuje řídit.(4)

3 PŘESNOST VÝROBNÍCH STROJŮ

Kvalita obrobeného povrchu sehrává velmi důležitou úlohu, protože vyšší kvalita povrchu významně zlepšuje únavovou pevnost, korozní odolnost, snížení tření, odolnost vůči opotřebení a jiné exploatační vlastnosti povrchu. Z tohoto důvodu je potřebné volit také parametry obrábění a způsoby obrábění, které vedou k dosažení požadované kvality obráběného povrchu. Drsnost je jeden z mnoha parametrů hodnocení kvality obrobeného povrchu. (7)

V průmyslové praxi a zejména v technologii obrábění se setkáváme s jevem, že i přes snahu o zachování naprosto stejných řezných podmínek žádný rozměr na výkrese není vyrobitelný ve jmenovité velikosti a žádné výrobní zařízení neumožňuje trvale vyrábět danou veličinu absolutně stejných rozměrů. S touto nepřesností je nutné ve výrobní praxi počítat předem a předepisovat přípustné meze formou tolerancí tak, aby vyrobený dílec splňoval kvalitativní požadavky určené jeho funkcí v sestavě.

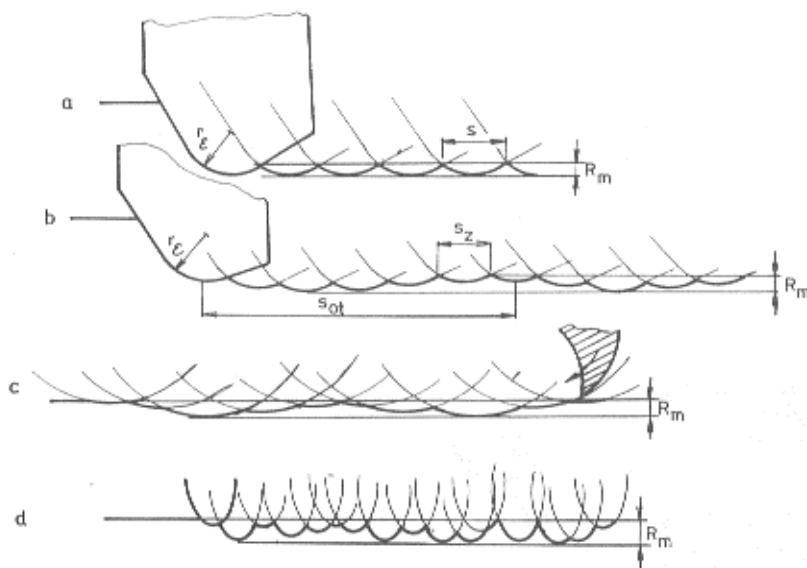
Nepřesnost obrábění je způsobována řadou vlivů a vzniklé odchylky jsou v podstatě výrobní chyby, které s ohledem na jejich původ se dělí na výrobní chyby **systematické** a výrobní chyby **náhodné**. U výrobních chyb systematických je možné odvodit původ jejich vzniku, protože se řídí přesnými pravidly. U výrobních chyb náhodných je důležité znát zákon, kterému tyto chyby podléhají a kterými se řídí. Znalost tohoto zákona je možné využít k odlišení systematických a náhodných výrobních chyb a u náhodných chyb vymezit jejich předpokládaný interval při zvolené hladině pravděpodobnosti jejich vzniku. (1)

3.1 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je jedna z hodnot hodnocení kvality obrobených povrchů. Tato hodnota významně ovlivňuje uživatelské vlastnosti těchto ploch a má velký význam při exploataci výrobku. Proto je potřebné hledat techniky pro předpověď drsnosti obrobeného povrchu ještě před obráběním, kvůli volbě parametrů obrábění, tak abychom dodrželi požadovanou drsnost obrobeného povrchu a zabezpečili tím kvalitu výrobku. (7)

Drsnost povrchu definovanou na výkrese, můžeme považovat za limitní hodnotu, která se má v technologickém procesu obrábění dosáhnout. Jednoduchý geometrický přístup k identifikaci makrogeometrie obrobeného povrchu vychází z kopírování tvaru řezného klínu na obrobený povrch.

Při obrábění nástroji, které mají více řezných klínů, je výsledná drsnost povrchu určená dalšími vlivy jako je házení frézy a přesazení jednotlivých zubů při frézování, velikost a poloha jednotlivých zrn na brousícím kotouči. U některých druhů obrábění např. při zapichovacím soustružení tvarovými noži, je výsledná drsnost daná kopírováním nerovností řezné hrany nástroje.



Obr. 12. Profil obrobeného povrchu při různých metodách obrábění
a-soustružení, b-čelní frézování, c-válcové frézování, d-broušení

Obrobený povrch se vždy odchyluje od ideální drsnosti a ideálního geometrického tvaru. Při posuzování jakosti povrchu součásti rozlišujeme:

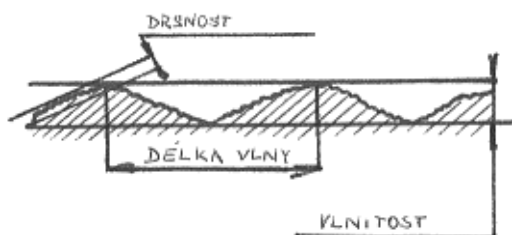
- druh povrchu
- vlnitost (rovinnost) povrchu
- drsnost povrchu

Druh povrchu může být neopracovaný (odlity, kovaný, lisovaný, válcovaný apod.), opracovaný (soustružený, frézovaný, broušený aj.), popř. jinak upravený.

Vlnitost povrchu je nepravidelnost povrchu, která není způsobena jen obráběcím nástrojem nebo strojem, ale společným působením soustavy stroj-nástroj-obrobek. Posuzujeme ji podle toho, jak byl dodržen předepsaný geometrický tvar plochy v celém jejím rozsahu. Neobrobený povrch nebo jen ručně obrobený povrch je vlnitý. Běžným obráběním se

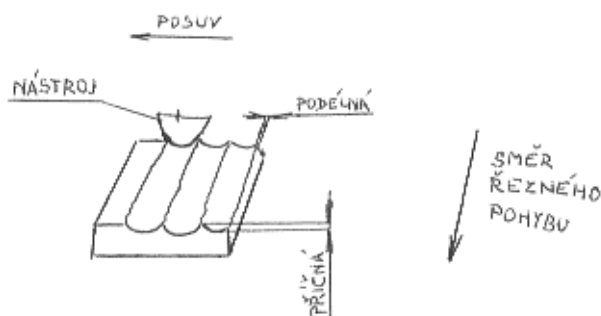
dosáhne povrchu s malou vlnitostí. Dokonalý rovnoměrný povrch se získá jen velmi přesnou strojovou výrobou, případně dodatečným ručním přelícováním.

Drsností povrchu se nazývají rozměrově nepatrné nepravidelnosti povrchu (vyvýšeniny, prohlubně, důlky, rýhy apod.). Drsnost povrchu posuzujeme podle druhu, vzhledu a hloubky stop, které zůstanou na povrchu součásti po nástroji při obrábění.



Obr. 13. Nerovnosti povrchu

Při praktickém hodnocení drsnosti povrchu je nutno rozlišovat drsnost podélnou (ve směru řezu) a drsnost příčnou (kolmou na směr řezu).



Obr. 14. Příčná a podélná drsnost

Při sledování skutečného procesu vytváření obrobeného povrchu můžeme zjistit, že nejde o jednoduché kopírování tvaru řezného klínu. Při sledování stop po nástroji vznikají důsledkem jeho posuvu vlivem plastické deformace třísky výrobku, které jsou orientované podél obou řezných hran. Toto vytlačení materiálu souvisí se specifickou formou opotřebení nože, při které se na vedlejší řezné hraně a hrotě vytváří jeden nebo více žlábků.

Existuje několik teorií, které vysvětlují vznik těchto žlábků:

- a) zvýšení tvrdosti materiálu na obrobené ploše v důsledku zpevnění, čímž se zvětšuje abrazivní účinek na nůž při další otáčce obrotu
- b) přetrhnutí žlábků opotřebení na čele směrem k vedlejší řezné hraně
- c) oxidace povrchu v zóně dotyku ohřátého výrobku a nástroje s atmosférou
- d) zvětšení výšky stop po hrotě v důsledku vytlačení kovu v procesu tvoření třísky.

Při vytváření žlábků na vedlejší hraně nože jeho hloubka roste na určitou hodnotu a potom se stabilizuje. Žlábků jsou navzájem vzdálené o posuv. Při vytvoření prvního žlábků na noži drsnost obrobené plochy prudce poklesne a stabilizuje se v okamžiku, kdy žlábek dosáhne maxima. Zvětšování počtu žlábků se na drsnosti povrchu projevuje málo.(5)

Charakteristiky drsnosti povrchu a tvaru profilu

Charakteristiky drsnosti povrchu se volí z následujících veličin:

- Rz – největší výška profilu
- Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
- RSm – průměrná šířka prvků profilu
- Rmr - materiálový poměr profilu (nosný podíl)(6)

Výrobní metoda	Drsnost povrchu Ra
HOBLOVÁNÍ	
hrubování	25 - 100
načisto	3,2 - 12,5
jemné	0,8 - 1,6
FRÉZOVÁNÍ	
válcovou frézou	
hrubování	12,5 - 50
načisto	1,6 - 6,3
frézovací hlavou	
hrubování	12,5 - 50
načisto	0,8 - 6,3
jemné frézování	
nástroj SK	0,4 - 1,6

BROUŠENÍ	
nahrubo	1,6 - 3,2
načisto	0,4 - 1,6
jemné	0,025 - 0,4
LAPOVÁNÍ	
načisto	0,1 - 0,4
jemné	0,012 - 0,05
LEŠTĚNÍ	0,012 - 0,2
ZAŠKRABÁVÁNÍ	0,2 - 0,8
PROTAHOVÁNÍ	
hrubování	0,8 - 3,2
načisto	0,1 - 0,8

Tab. 1. Drsnost povrchů obrobených rovinných ploch

3.1.1 Měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu se určuje přímým nebo nepřímým měřením profilu přístroji různé konstrukce i různé přesnosti. Metody měření jsou:

- kvalitativní a subjektivní porovnávání drsnosti povrchu se vzorky povrchů nebo etalony vzorkovnic
- kvantitativní, tj. určení číselných hodnot drsnosti v parametrech podle norem (R_a , R_z)
- souhrnná kontrola povrchu, kdy hodnoty drsnosti se určují z profilové křivky

3.1.2 Kvalitativní metody

Vzorkovnice drsnosti povrchu jsou kolekce vzorových povrchů, opracovaných jednotlivými výrobními metodami (např. soustružením, frézováním, vrtáním, broušením apod.), při kterých hodnoty drsnosti R_a vzorku odpovídají s tolerancí hodnotám stupně přesnosti.



Obr. 15. Vzorkovnice drsnosti povrchu

3.1.3 Kvantitativní metody

Na kvantitativní určení číselných hodnot jakosti povrchu se používají celé řady rozličných přístrojů speciálních konstrukcí. Jde o přístroje založené na mechanickém převodu, optické přístroje, mechanicko-optické, pneumatické a elektrické.

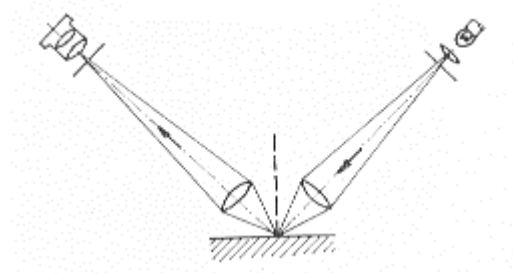
Používané přístroje pracují způsobem:

- bezdotykový (optické bezdotykové přístroje)
- dotykový (elektronické dotykové přístroje)

3.1.3.1 Bezdotykový způsob

Bezdotykovým způsobem měří zejména přístroje:

- a) založené na metodě světelného (šikmého) řezu**



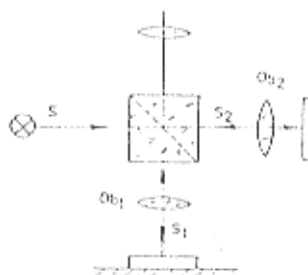
Obr. 16. Schéma mikroskopu



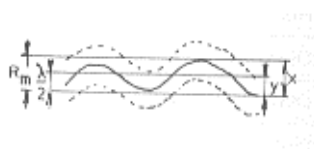
Obr. 17. Profil rýh na povrchu

b) využívající interference světla

Pro velmi jemně obrobené povrchy se používá metoda interferenční a přístroje se nazývají **interferenční mikroskopy**. Paprsek jde ze zdroje světla na poloprůhledné zrcadlo vytvořené ve skleněném hranolu, kdy se rozděluje ve dva dílčí paprsky. Jeden paprsek jde na povrch měřené součásti a zpět, druhý dílčí paprsek jde na odrazné zrcadlo, kde se odráží zpět. Oba dílčí paprsky se spojují v dělicí ploše a jdou do okuláru mikroskopu, kde se sleduje soustava interferenčních pásků, které jsou deformované tvarem zkoumaného povrchu.(8)



Obr. 18. Interferenční mikroskop



Obr. 19. Soustava interferenčních pásků

3.1.3.2 Dotykový způsob – dotykové profilometry

Skládají se z mechanické a elektronické části. Mechanickou část tvoří stolek pro uložení měřené součásti a stojan se zařízením, v němž je uchyceno rameno se snímačem. Základním prvkem přístroje je snímač s diamantovým hrotem, který se motoricky posunuje

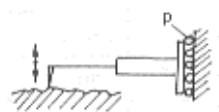
po kontrolovaném povrchu a snímá jeho nepravidelnosti. Pohyby hrotu se přeměňují na elektrický signál, který se zapisuje a vyhodnocuje:

- v integračním a zesilovacím přístroji, který ukazuje posunutí diamantového hrotu na určité délce,
- v zapisovacím zařízení, které provádí grafický záznam profilu povrchu v určitém měřítku.

Používají se dva typy snímačů.

- absolutní
- relativní

Při absolutním měření se do měřené hodnoty promítají drsnost i vlnitost povrchu, popř. i úchylky přímosti.(5)



Obr. 20. Elektroindukční snímač



Obr. 21. Piezoelektrický snímač

II. praktická část

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Úkol:

1. Proved'te studium teorie frézování
2. Hodnot'te přesnost výrobních strojů
3. Uved'te základy programování NC strojů
4. Vyhodnot'te přesnost obrábění na NC strojích

Z těchto uvedených bodů vyplývá, že cílem této diplomové práce bude vypracovat:

- Literární studii – teoretická část této práce zahrnuje základní znalosti o frézování, hodnocení přesnosti výrobních strojů a seznámení se základy programování NC strojů
- Práci na frézovacím stroji FC 16 CNC, kde se budu prakticky seznamovat s frézovacím strojem FC 16 CNC, na němž budu ručně programovat programy pro obrábění destiček z hliníku, termoplastů a reaktoplastů.
- Měření přesnosti povrchu destiček pomocí přístroje na měření drsnosti SJ-301, při různých otáčkách, posuvech a hloubkách.
- Vyhodnocení naměřených drsností

5 PRAKTICKÉ SEZNÁMENÍ S FRÉZOVACÍM STROJEM FC 16 CNC

Na začátku praktické části jsem se seznámila s prací na CNC frézovacím stroji FC 16 CNC, kde jsem poté obráběla destičky

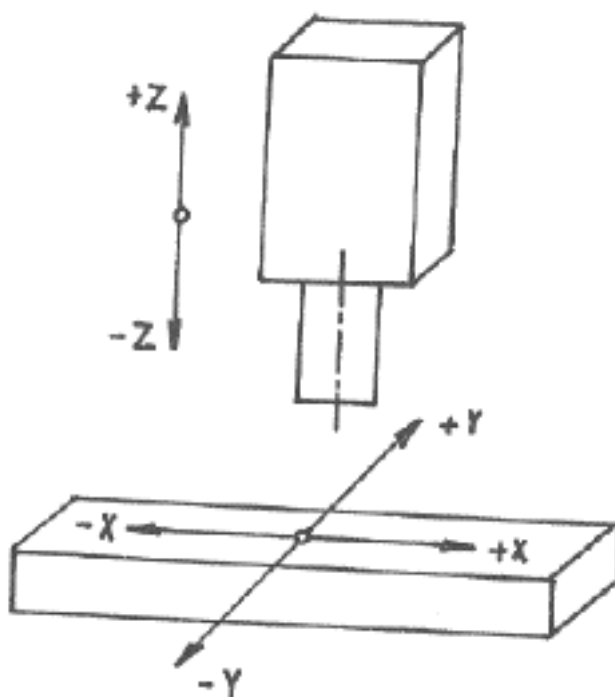
Základní informace o obráběcím stroji FC 16 CNC:

- Frézka řady FC na obr. 22 je stolová frézka s vertikální a horizontální polohou pracovního vřetene s mikropočítačem ve funkci CNC systému.
- Je určena k výrobě tvarově složitých součástí menších rozměrů. Typické použití frézky je při výrobě modelů, vstřikovacích forem, hloubících elektrod z mědi, či grafitu. Koncepčním znakem frézky je neměnná výška pracovního stolu, který se pohybuje v podélném směru pro příčných saních a společně v příčném směru po pevném loži. Vřeteník se pohybuje ve svislém vedení stojanu, přišroubovaném na loži. Je otočně uložen na svislých saních a umožňuje nastavení vřetene do svislé a vodorovné pracovní polohy.
- Při frézování je možno užít nástroje s válcovou upínací stopkou do $\varnothing 10$ mm a nástrčné s upínacím $\varnothing 16$ mm. Pro předvrtání se používají ploché navrtáky, pro vrtání vrtáky s válcovou upínací stopkou do $\varnothing 10$ mm. Je zde možno použít nástroje jak z rychlořezné oceli, tak i ze slinutých karbidů, kvalitně a pečlivě naostřených.



Obr. 22. Fréza FC 16 CNC

- Obráběným materiálem mohou být hliníkové slitiny a plasty vhodné pro třískové obrábění. Při užití šedé litiny (42 2425) je nutno uvažovat pouze o dokončovacím obrábění s malými úběry materiálu.
- Rozsah velikosti otáček je 0 – 3000 ot/min.
- Rozsah velikosti posuvu je 0 – 1000mm/min.



Obr. 23. Souřadná soustava nástroje

- Řídicím systémem je schopen frézovat pomocí lineární i kruhové interpolace ve třech osách. Programovat lze také vrtací cyklus, je možné vyrábět otvory s přesnými roztečemi. K identifikaci a výpočtům je definován pravotočivý kartézský souřadný systém uvedený na obr.23.
- Rozměry mohou být zadávány buď absolutně nebo přírůstkově. Pracuje-li se s absolutními rozměry, vztahují se pak tyto rozměry k jednomu bodu, od kterého jsou stanoveny výchozí rozměry. U přírůstkového programování se rozměry vztahují vždy k bodu, ve kterém se v určitém časovém okamžiku nachází nástroj.

6 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

6.1 Polymetylmetakrylát (PMMA)

Výroba se provádí polymerací v bloku a to buď do forem nebo mezi ocelovými pásy. Postup se skládá ze dvou fází. Napřed se připraví prepolymer, což je viskózní roztok polymeru v monomeru. Tento prepolymer se plní do mezer mezi skla a v těchto formách pak probíhá další polymerace. Zvláště v případě tlustých skel je nutno vést tuto reakci velmi pomalu, aby nedošlo k varu monomeru a vzniku bublin. Dále je polymerace suspenzní a emulzní. Suspenzní polymerací metylmetakrylátu se vyrábějí polymery, které se zpracovávají vytlačováním nebo vstřikováním na estetické výrobky. Při vstřikování se používá rozmezí teplot 170 – 220°C, je trvale použitelný do 80°C, dobře se obrábí.

6.2 Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid má mírně větvenou amorfnní strukturu s malým podílem krystalinity. Monomerem je vinylchlorid. PVC se vyrábí emulsní, suspenzní a blokovou polymerací.

Tvrký PVC se používá jako konstrukční materiál, jeho aplikace se rozšířily především ve stavebnictví. Při tavení snadno uvolňuje část chlorovodíku, proto se musí stabilizovat bazickými stabilizátory. Zpracovává se vytlačováním na trubky, profily. Jeho předností je vynikající fotooxidační stabilita, po odštěpení malého množství HCl vzniká na povrchu polyenová struktura, která působí jako fotostabilizátor – zhášec excitovaných stavů.

Při válcování se používá teplot 160 – 175°C, při vytlačování jsou teploty vyšší 180 – 200°C. Nevýhodou je nízká teplota T_g, která znemožňuje použití tvrdého PVC nad 60°C.

Měkčený PVC vzniká přísadou tzv. změkčovadel, což jsou především ftaláty. Vedle snášenlivosti musí mít změkčovadla malou těkavost. Pro spojení PVC a změkčovadla je potřeba směs zahřát na vyšší teplotu, tzv. želatinace.

6.3 Polypropylen (PP)

Přípravu vysokomolekulárního (stereoregulárního) polypropyleny objevil Natta r. 1953. Radikálově propylen nepolymeruje. Moderní procesy pracují buď v kapalném propyleny

nebo ve fluidním loži, podobně jako v případě polyetyleny. Problémem je ataktický polymer, který zhoršuje vlastnosti polypropylenu.

Vysoká teplota skelného přechodu způsobuje, že při nízkých teplotách je křehký, proto se používá čistý homopolymer jen pro určité aplikace (především orientované výrobky). Jeho T_m je 170°C, při vstřikování, vytlačování a lisování se používají teploty do 280°C.

Za nejvýznamnější aplikace polypropylenu lze považovat vstřikované výrobky pro členité strojírenské výrobky, vytlačovaná potrubí (i pro horkou vodu) a vlákna pro technické aplikace a textilie.

6.4 Reaktoplasty

Použité reaktoplasty byly na bázi fenolformaldehdydových pryskyřic. Fenol se získává střední frakcí při destilaci z dehtu nebo z benzenu. Formaldehyd se získává dehydrogenací metanolu. Tyto pryskyřice jsou termoplastické, rozpustné v alkoholech, ketonech, esterech a alkáliích. Síťují se hexametylen tetraminem, vytvrzování se provádí při 150°C. Použité reaktoplasty byly plněny papírem a textilem. Tvrzené tkaniny mají ve srovnání s tvrzeným papírem horší elektroizolační vlastnosti, předčí je však svými mechanickými vlastnostmi a nižší nasákavostí.

6.5 Hliník

Hliník je nepolymorfni kov, který krystalizuje v krychlově plošně středěné mřížce. Jeho tavní teplota je 660°C, bod varu je 2060°C, má vysokou tepelnou a elektrickou vodivost. Je poměrně měkký, dobře tvárný a málo pevný. Mechanické hodnoty jsou závislé na chemické čistotě a způsobu zpracování (zastudena, zatepla apod.). Má dobrou stálost na vzduchu, je dobře tvárný zastudena i zatepla a proto se používá k tažení složitých profilů pro stavební účely. Většinou se používá pro slitiny lehkých kovů. Hlavní výhodou slitin hliníku je jejich malá měrná hmotnost, dobrá tepelná i elektrická vodivost a pomalý pokles houževnatosti při záporných teplotách.

7 ŘEZNÉ PODMÍNKY OVLIVŇUJÍCÍ JAKOST POVRCHU

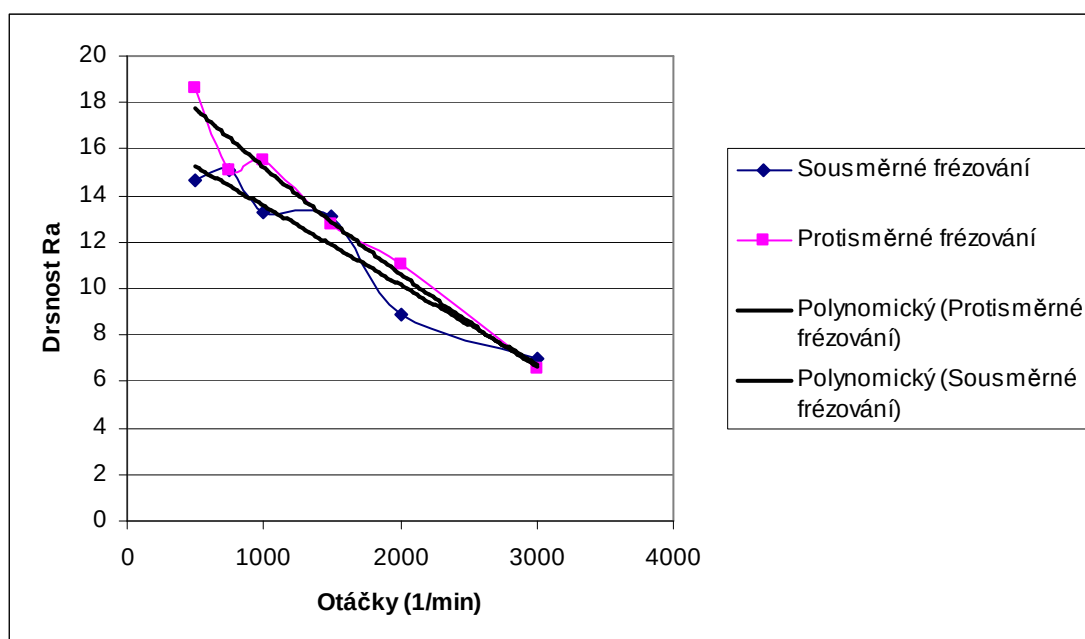
Na frézovacím stroji FC 16 CNC se obráběly destičky o rozměru 150 x 100 mm pomocí frézy o $\varnothing$ 8 mm, nejdříve se provádělo obrábění čtyřbřitým nástrojem a poté dvoubřitým nástrojem. Měřila se drsnost Ra v μm .

7.1 Vliv řezné rychlosti na jakost

Při frézování byl konstantní posuv 30 mm/min a hloubka 1 mm. Otáčky byly 500, 750, 1000, 1500, 2000 a 3000 ot/min. Provádělo se frézování sousměrné a protisměrné. Při frézování hliníku se vynechaly otáčky 500 a 750 ot/min a používal se pouze čtyřbřitý nástroj.

Měření	Otáčky (1/min)											
	500		750		1000		1500		2000		3000	
1	18,70	32,63	16,42	9,24	19,03	15,82	15,02	10,67	9,54	12,18	4,58	4,01
2	7,58	18,90	15,15	13,40	10,93	14,03	13,90	9,97	6,50	13,30	9,07	5,90
3	18,96	13,49	14,10	23,85	10,30	19,99	11,31	23,74	8,76	9,78	9,00	6,83
4	11,44	10,83	21,26	20,01	13,35	23,03	13,35	13,83	9,06	9,44	6,48	6,13
5	22,03	19,99	11,77	14,80	14,66	13,39	13,16	10,94	7,55	11,48	9,37	8,92
6	14,48	18,60	14,28	10,92	15,21	11,63	9,37	9,98	11,70	11,06	4,99	6,34
7	9,36	16,13	12,59	13,11	9,55	10,87	15,37	10,05	8,99	10,09	5,68	7,45
Průměr	14,65	18,65	15,08	15,05	13,29	15,54	13,07	12,74	8,87	11,05	7,02	6,51

Tab. 2 Naměřené drsnosti pro PVC pomocí dvoubřitého nástroje



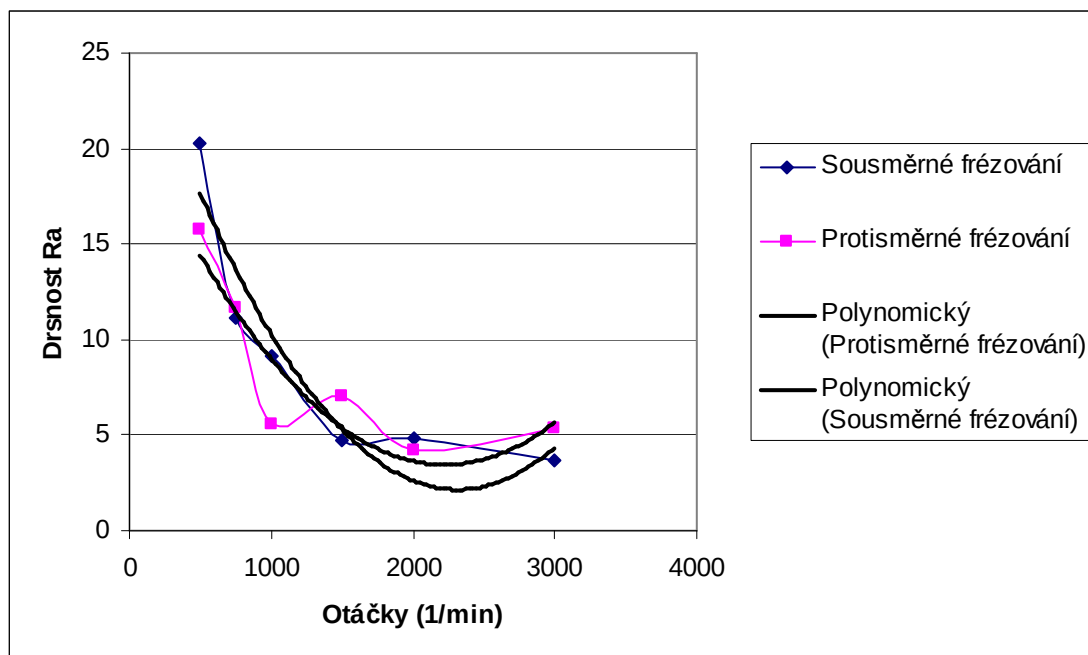
Obr. 24. Drsnosti PVC – obrábění dvoubřitým nástrojem



Obr. 25. Destička z PVC frézovaná dvoubřítým nástrojem

Měření	Otáčky (1/min)											
	500		750		1000		1500		2000		3000	
1	17,86	11,41	8,96	10,69	10,50	6,31	4,53	9,72	4,29	4,74	4,05	4,60
2	23,79	19,00	12,58	9,35	8,12	5,74	4,56	6,41	4,07	4,57	3,67	4,68
3	7,63	16,18	10,89	7,23	10,03	4,81	3,57	6,76	4,24	3,86	3,90	6,58
4	28,43	16,24	9,35	13,43	5,33	4,72	4,91	6,42	4,91	3,20	4,06	5,62
5	31,45	11,70	8,69	12,91	6,89	5,76	5,28	6,40	5,25	4,11	4,27	4,47
6	17,10	17,72	12,40	17,49	10,19	5,81	5,36	7,23	5,32	4,28	3,00	6,32
7	15,33	18,26	15,23	10,41	13,20	6,03	5,18	6,34	5,43	4,50	3,10	5,21
Průměr	20,23	15,79	11,16	11,64	9,18	5,60	4,77	7,04	4,79	4,18	3,72	5,35

Tab. 3 Naměřené drsnosti pro PVC pomocí čtyřbřitého nástroje



Obr. 26. Drsnosti PVC – obrábění čtyřbřítým nástrojem

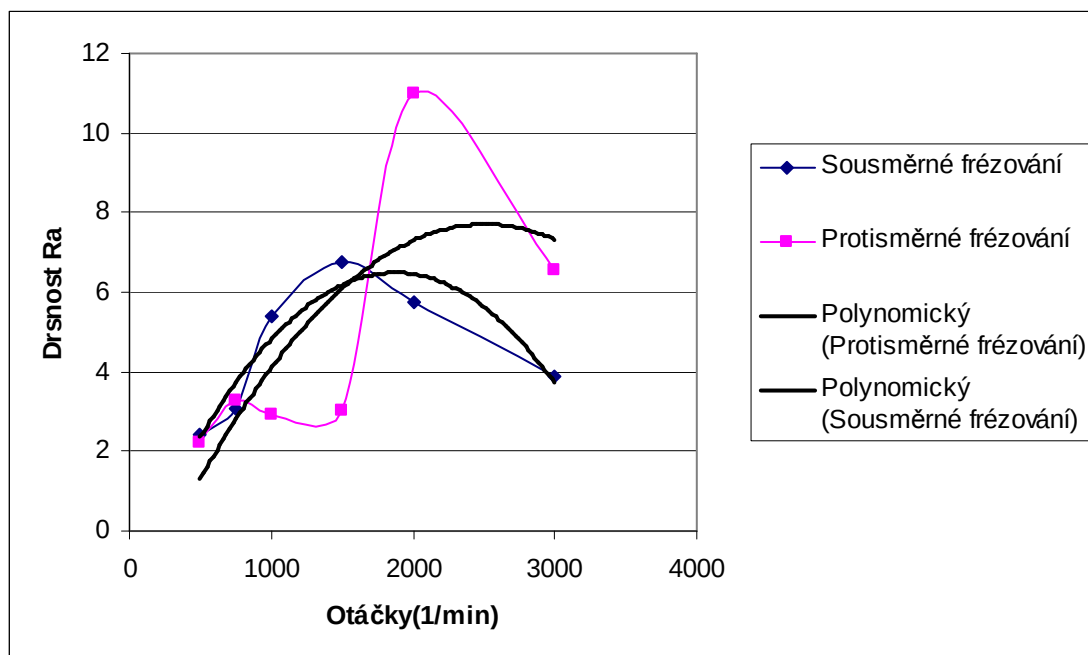


Obr. 27. Destička z PVC frézovaná čtyřbřítým nástrojem

Měření	Otáčky (1/min)											
	500		750		1000		1500		2000		3000	
1	2,23	2,10	2,05	3,30	4,23	4,41	3,88	2,63	1,98	11,01	3,07	6,01
2	2,78	2,32	2,69	2,42	2,18	3,11	9,09	2,65	5,93	3,16	3,58	4,07
3	1,82	2,15	1,76	6,20	6,60	2,23	4,02	4,72	5,12	13,94	2,86	3,67
4	1,91	2,13	4,82	2,47	7,47	2,90	11,13	3,15	5,08	17,18	4,57	12,32

5	3,25	1,89	4,12	2,72	4,09	3,16	6,27	2,57	4,18	9,61	5,08	4,26
6	3,14	2,74	3,17	2,83	5,32	1,81	7,18	2,60	10,43	9,50	3,71	6,26
7	1,74	2,21	2,85	2,86	8,03	2,73	5,65	2,84	7,40	12,53	4,16	9,15
Průměr	2,41	2,22	3,07	3,26	5,42	2,91	6,75	3,02	5,73	10,99	3,86	6,53

Tab. 4 Naměřené drsnosti pro PMMA pomocí dvoubřitého nástroje



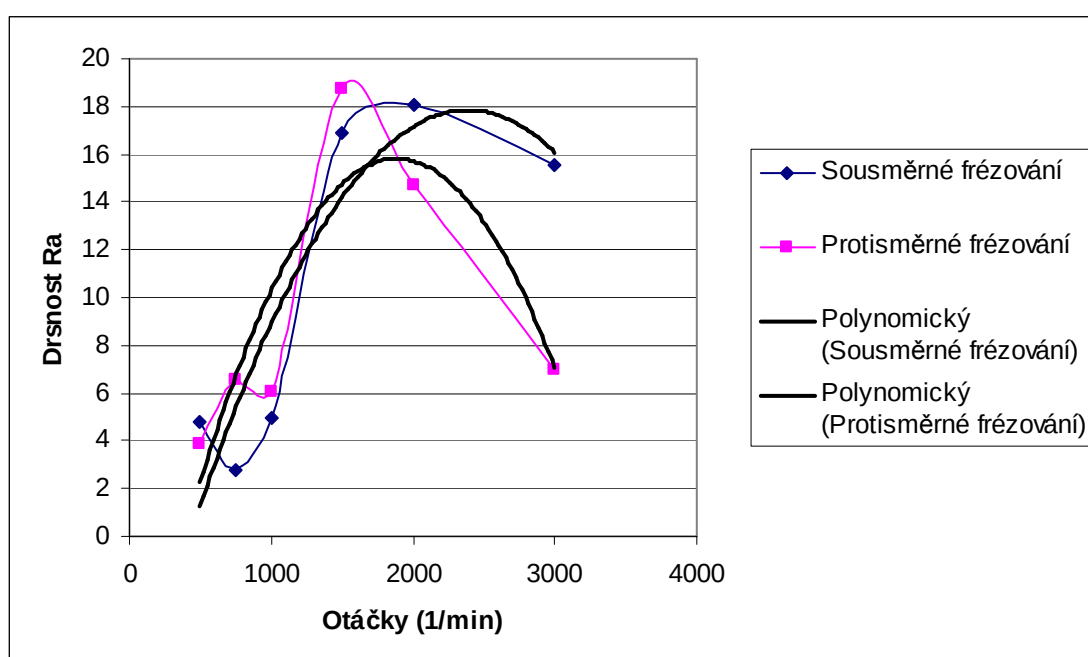
Obr. 28. Drsnosti PMMA – obrábění dvoubřitým nástrojem



Obr. 29. Destička z PMMA frézovaná dvoubřitým nástrojem

Měření	Otáčky (1/min)											
	500		750		1000		1500		2000		3000	
1	4,04	5,15	3,61	10,72	4,26	4,94	14,34	15,49	11,35	17,66	16,04	8,38
2	3,72	3,60	2,34	11,45	4,85	6,17	16,27	26,08	25,81	16,17	14,18	5,71
3	5,67	3,43	2,30	3,66	5,86	3,78	17,57	19,08	13,89	17,27	14,32	6,98
4	4,04	4,97	2,88	5,42	4,83	4,13	15,26	11,62	18,55	8,66	14,45	12,42
5	2,81	2,00	3,03	3,17	4,77	5,40	17,68	20,08	15,03	14,24	17,65	5,79
6	7,59	4,83	2,27	5,66	6,18	6,46	13,88	23,97	16,20	16,73	15,97	5,31
7	5,78	3,27	2,77	5,71	4,22	11,24	23,43	14,69	25,46	12,03	16,05	4,13
Průměr	4,81	3,89	2,74	6,54	5,00	6,02	16,92	18,72	18,04	14,68	15,52	6,96

Tab. 5 Naměřené drsnosti pro PMMA pomocí čtyřbitového nástroje



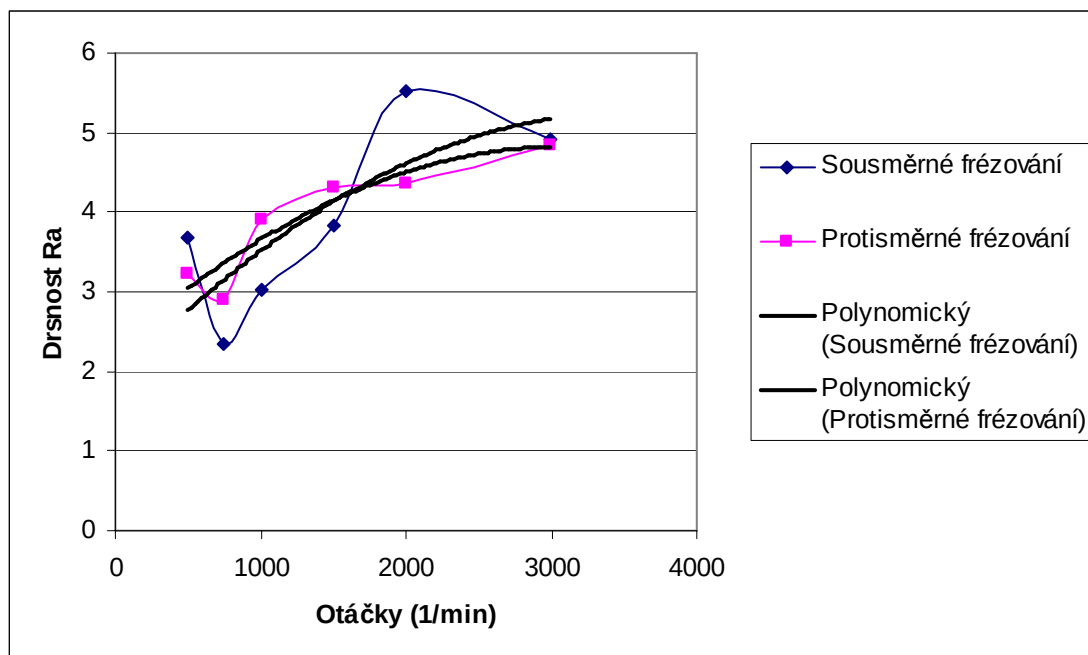
Obr. 30. Drsnosti PMMA – obrábění čtyřbřitým nástrojem



Obr. 31. Destička z PMMA frézovaná čtyřbřítým nástrojem

Měření	Otáčky (1/min)											
	500		750		1000		1500		2000		3000	
1	4,27	2,06	1,97	2,19	1,95	2,85	2,31	4,46	5,67	3,30	3,91	6,18
2	4,09	3,45	3,66	0,98	2,90	3,99	4,43	3,78	5,33	4,60	3,70	3,49
3	3,32	4,43	2,83	3,23	3,45	3,69	4,05	3,73	4,01	4,46	5,17	3,59
4	4,51	3,42	3,11	5,03	4,01	2,92	3,79	3,41	4,76	3,74	4,04	5,66
5	5,14	2,60	1,29	1,79	2,88	4,09	3,29	5,48	4,16	5,70	4,72	5,24
6	1,94	3,45	1,96	3,35	3,09	4,45	3,11	4,00	8,10	4,15	6,04	4,55
7	2,58	3,10	1,53	3,81	2,90	5,29	3,37	5,28	6,67	4,52	6,84	5,23
Průměr	3,69	3,22	2,34	2,91	3,03	3,90	3,48	4,31	5,53	4,35	4,92	4,85

Tab. 6 Naměřené drsnosti u reaktoplastu plněného papírem, dvoubřítý nástroj



Obr. 32. Drsnost reaktoplastu plněného papírem – dvoubřitý nástroj

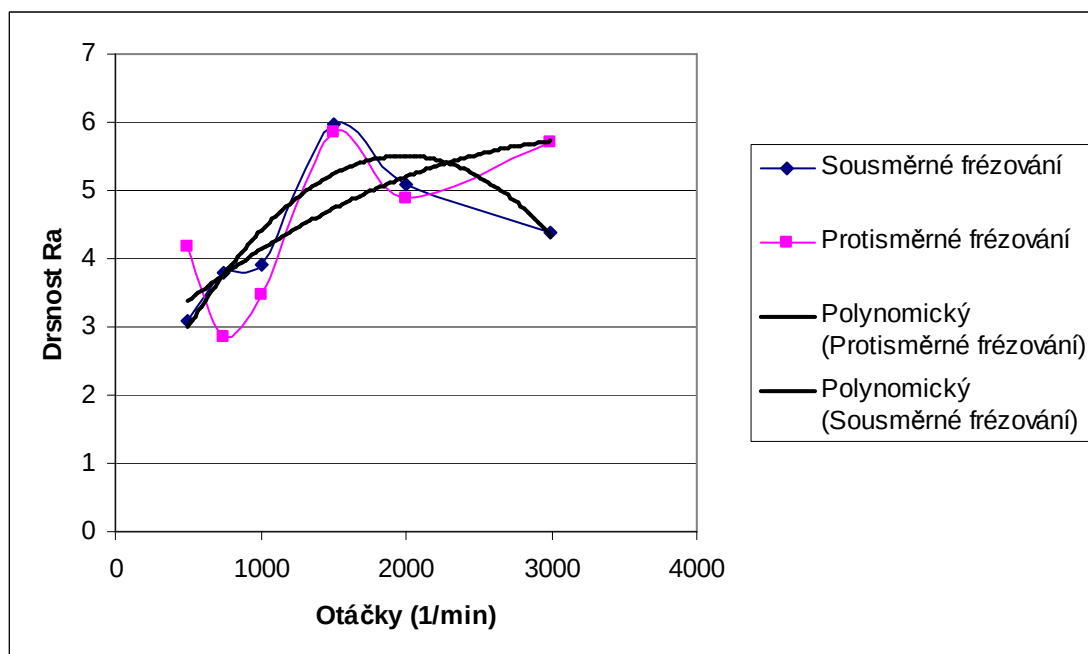


Obr. 33. Destička reaktoplastu plněného papírem, dvoubřitý nástroj

Měření	Otáčky (1/min)											
	500		750		1000		1500		2000		3000	
1	2,57	7,02	4,47	2,95	4,36	3,42	5,27	5,54	4,28	5,47	4,25	11,44
2	2,37	3,32	3,11	2,38	2,95	3,20	4,99	13,68	9,18	4,14	4,36	3,29
3	3,05	3,59	4,14	2,80	4,01	3,66	5,56	3,22	3,75	7,95	4,70	4,38
4	4,32	3,16	3,63	4,03	3,39	3,65	8,14	4,12	4,16	4,39	3,83	5,29
5	2,89	4,41	3,61	1,92	5,40	4,11	4,36	4,49	4,38	4,01	4,20	3,47

6	2,47	4,82	4,40	2,64	3,15	3,61	10,23	4,28	5,83	4,22	4,41	7,36
7	3,98	3,01	3,26	3,28	4,21	2,69	3,28	5,52	3,97	3,88	5,00	4,65
Průměr	3,09	4,19	3,80	2,86	3,92	3,48	5,98	5,84	5,08	4,87	4,39	5,70

Tab. 7 Naměřené drsnosti pro reaktoplast plněný papírem, čtyřbřítý nástroj



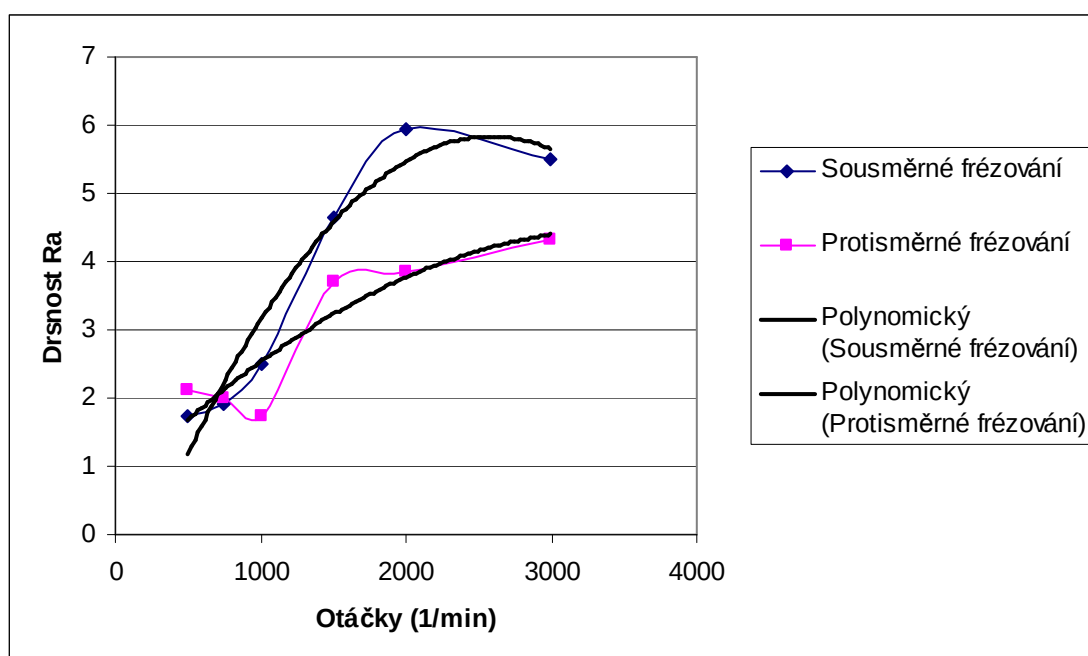
Obr. 34. Drsnost reaktoplastu plněného papírem – čtyřbřítý nástroj



Obr. 35. Destička reaktoplastu plněného papírem, čtyřbřítý nástroj

Měření	Otáčky (1/min)											
	500		750		1000		1500		2000		3000	
1	1,97	1,15	1,91	1,36	2,78	1,44	3,74	4,10	7,81	2,64	5,91	3,74
2	1,64	3,68	2,77	3,14	2,85	2,10	6,43	3,80	4,50	2,50	4,11	2,18
3	1,87	2,84	1,15	1,70	2,44	1,40	4,69	3,79	4,87	2,47	4,65	2,70
4	2,21	1,36	1,87	1,76	1,44	1,53	3,25	4,03	5,06	3,81	6,27	2,59
5	1,63	1,64	1,88	3,28	3,11	1,97	4,67	4,55	5,01	6,86	6,81	7,64
6	1,59	1,37	1,19	1,31	1,44	1,79	5,43	2,02	6,71	4,30	4,92	6,71
7	1,34	2,70	2,60	1,48	3,52	1,91	4,43	3,72	7,54	4,46	5,84	4,66
Průměr	1,75	2,11	1,91	2,00	2,51	1,73	4,66	3,72	5,93	3,86	5,50	4,32

Tab. 8 Naměřené drsnosti u reaktoplastu plněného textilem, čtyřbřítý nástroj



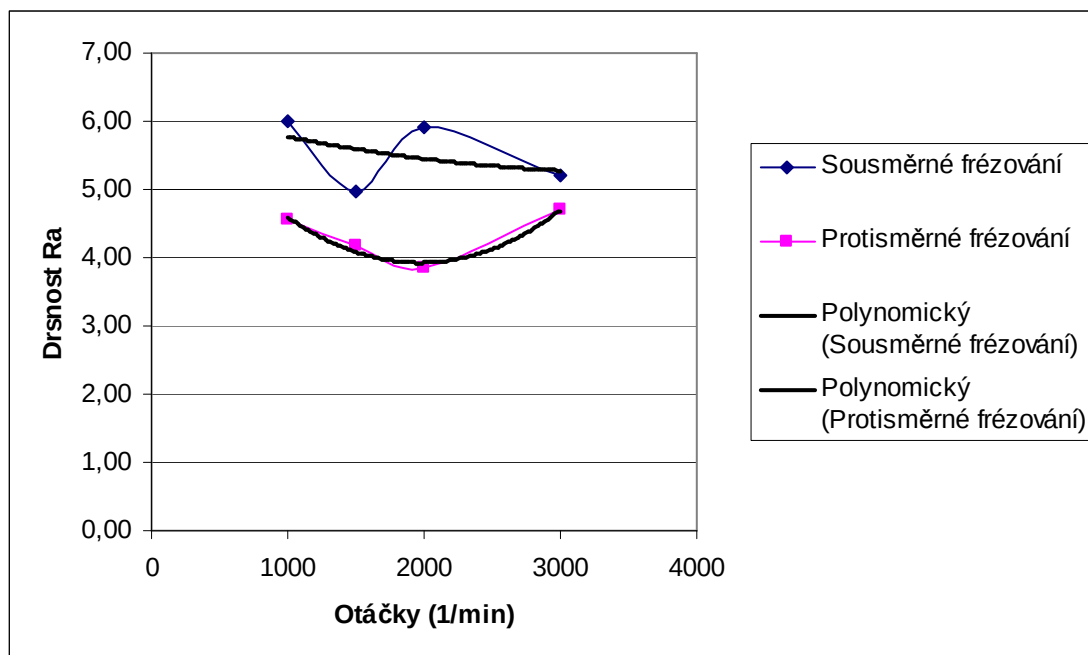
Obr. 36. Drsnosti reaktoplastu plněného textilem – čtyřbřítý nástroj



Obr. 37. Destička reaktoplastu plněná textilem, čtyřbřítý nástroj

Měření	Otáčky (1/min)							
	1000		1500		2000		3000	
1	5,38	5,03	4,41	3,80	7,42	2,82	5,71	3,47
2	5,19	2,89	5,26	4,86	6,35	5,08	4,68	4,62
3	4,68	5,34	3,69	2,45	5,26	2,99	5,02	6,01
4	5,79	3,53	4,88	4,75	6,67	3,93	4,33	3,64
5	8,61	6,53	6,28	3,47	6,51	3,31	6,05	4,31
6	5,22	4,95	6,31	5,36	4,80	4,46	5,16	5,61
7	7,16	3,62	4,04	4,52	4,33	4,40	5,45	5,24
Průměr	6,00	4,56	4,98	4,17	5,91	3,86	5,20	4,70

Tab. 9 Naměřené drsnosti pro hliník



Obr. 38. Drsnosti hliníku



Obr. 39. Destička z hliníku

Program pro frézování se změnou otáček:

N5 M03 S500

N10 G01 X7 Y-1 Z-1 F30

N15 G01 X7 Y155 Z-1

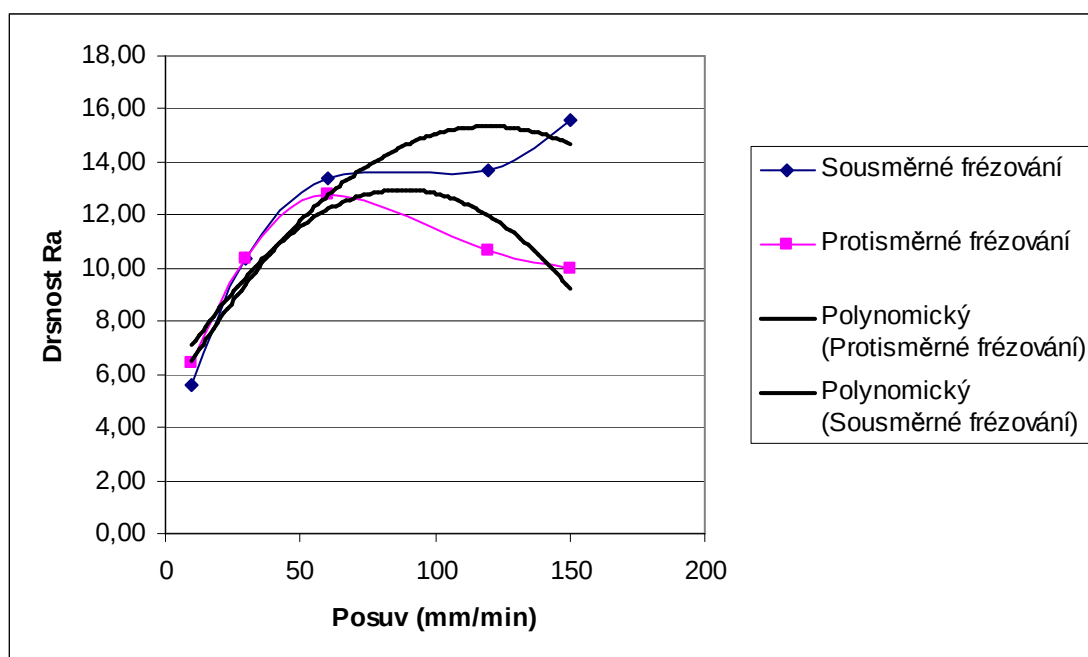
N20	G01	X14	Y155	Z-1
N25	G01	X14	Y-1	Z-1
N30	M03	S750		
N35	G01	X21	Y-1	Z-1
N40	G01	X21	Y155	Z-1
N45	G01	X28	Y155	Z-1
N50	G01	X28	Y-1	Z-1
N55	M03	S1000		
N60	G01	X35	Y-1	Z-1
N65	G01	X35	Y155	Z-1
N70	G01	X42	Y155	Z-1
N75	G01	X42	Y-1	Z-1
N80	M03	S1500		
N85	G01	X49	Y-1	Z-1
N90	G01	X49	Y155	Z-1
N95	G01	X56	Y155	Z-1
N100	G01	X56	Y-1	Z-1
N105	M03	S2000		
N110	G01	X63	Y-1	Z-1
N115	G01	X63	Y155	Z-1
N120	G01	X70	Y155	Z-1
N125	G01	X70	Y-1	Z-1
N130	M03	S3000		
N135	G01	X77	Y-1	Z-1
N140	G01	X77	Y155	Z-1
N145	G01	X84	Y155	Z-1
N150	G01	X84	Y-1	Z-1
N155	G01	X91	Y-1	Z-1
N160	G01	X91	Y155	Z-1
N165	G01	X98	Y155	Z-1
N170	G00	X98	Y155	Z0
N175	G00	X0	Y0	Z0
N180	M30			

7.2 Vliv posuvu na jakost

Při tomto frézování se měnil posuv: 10, 30, 60, 120 a 150 mm/min. Frézování se provádělo sousměrně a protisměrné. Konstantní hodnotou byly otáčky 2000 ot/min a hloubka byla 1mm. Při frézování hliníku se vynechala nejvyšší rychlost posuvu 150mm/min a frézovalo se pouze čtyřbřitým nástrojem a rychlostí 2500ot/min.

Měření	Posuv (mm/min)									
	10		30		60		120		150	
1	4,32	3,99	8,81	12,13	11,79	13,12	13,91	7,94	12,87	6,87
2	8,26	7,12	7,99	8,92	12,85	9,83	6,08	9,74	12,82	10,11
3	4,52	5,47	11,96	7,00	15,36	15,83	12,75	20,20	26,83	10,58
4	5,34	7,26	13,66	13,32	10,01	15,70	13,66	11,86	8,09	19,43
5	5,58	5,62	10,12	8,17	15,34	10,42	20,52	8,14	9,06	10,24
6	4,98	8,00	10,32	11,66	14,80	14,77	14,52	6,67	15,39	6,04
7	6,31	7,31	9,58	11,27	13,79	9,98	14,59	10,01	23,95	6,48
Průměr	5,62	6,40	10,35	10,35	13,42	12,81	13,72	10,65	15,57	9,96

Tab. 10 Naměřené drsnosti pro PVC dvoubřitým nástrojem



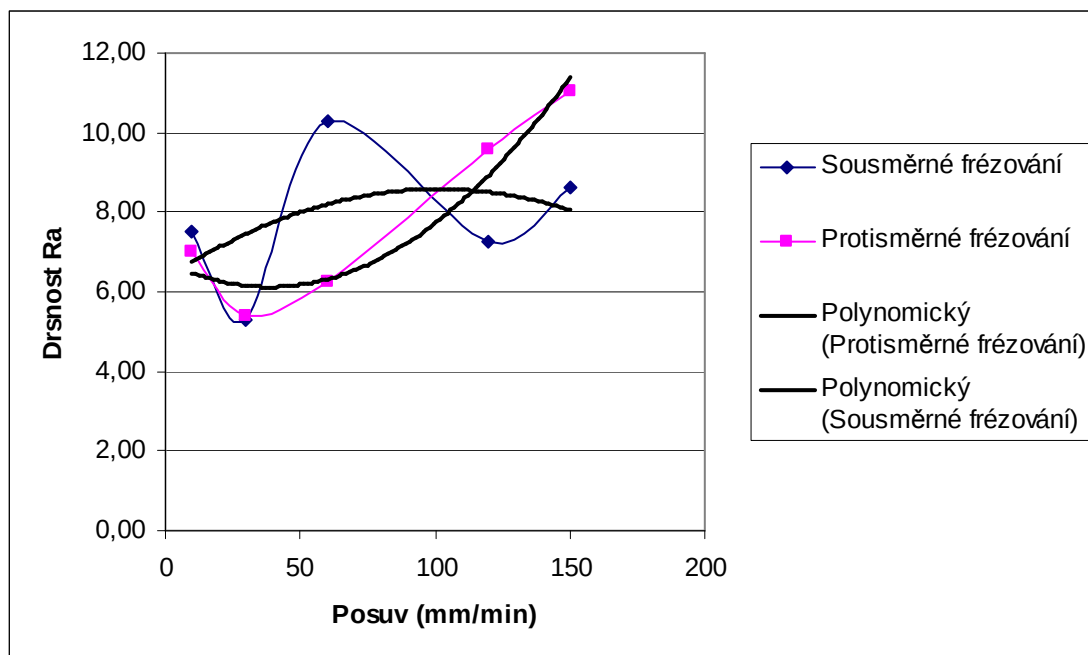
Obr. 40. Drsnosti PVC – obrábění dvoubřitým nástrojem



Obr. 41. Destička z PVC frézovaná dvoubřítým nástrojem

Měření	Posuv (mm/min)									
	10		30		60		120		150	
1	3,72	5,80	5,56	5,41	12,33	6,43	6,27	9,90	8,55	8,98
2	10,35	6,24	4,03	5,02	11,54	7,05	5,42	8,11	11,24	7,44
3	9,44	8,37	3,91	3,91	7,90	5,79	7,70	8,97	12,19	8,98
4	7,52	6,95	6,67	5,33	6,51	4,13	7,80	13,70	5,60	14,01
5	7,25	7,68	6,67	6,02	16,43	8,72	8,18	9,05	5,56	14,18
6	6,12	7,74	4,58	6,30	7,84	5,30	7,71	8,54	7,64	12,54
7	8,32	6,35	5,73	5,78	9,32	6,36	7,65	8,72	9,51	11,00
Průměr	7,53	7,02	5,31	5,40	10,27	6,25	7,25	9,57	8,61	11,02

Tab. 11 Naměřené drsnosti PVC čtyřbřítým nástrojem



Obr. 42. Drsnosti PVC – obrábění čtyřbřítým nástrojem

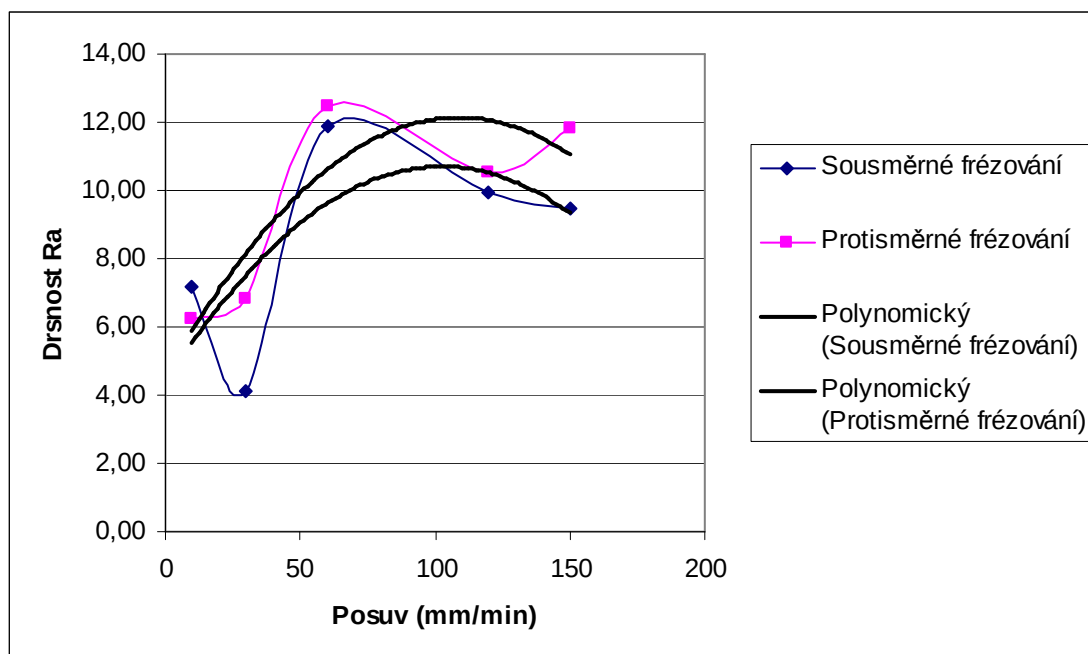


Obr. 43. Destička z PVC frézovaná čtyřbřítým nástrojem

Měření	Posuv (mm/min)									
	10		30		60		120		150	
1	8,01	10,55	3,23	4,44	12,94	8,60	7,53	8,13	9,72	15,93
2	9,52	10,51	3,59	9,47	13,33	11,74	8,77	12,49	9,77	11,00
3	4,71	4,38	6,33	13,07	11,49	7,32	7,86	13,99	8,29	13,58
4	4,29	1,29	4,24	4,12	9,71	14,22	15,49	13,94	9,68	11,33
5	5,48	2,23	4,61	7,76	11,13	11,84	10,47	7,97	8,22	7,51

6	10,26	7,93	3,47	3,29	11,85	13,01	10,32	9,15	11,75	12,05
7	7,91	6,59	3,36	5,68	12,55	20,42	9,23	8,12	8,79	11,21
Průměr	7,17	6,21	4,12	6,83	11,86	12,45	9,95	10,54	9,46	11,80

Tab. 12 Naměřené drsnosti pro PMMA dvoubřítým nástrojem



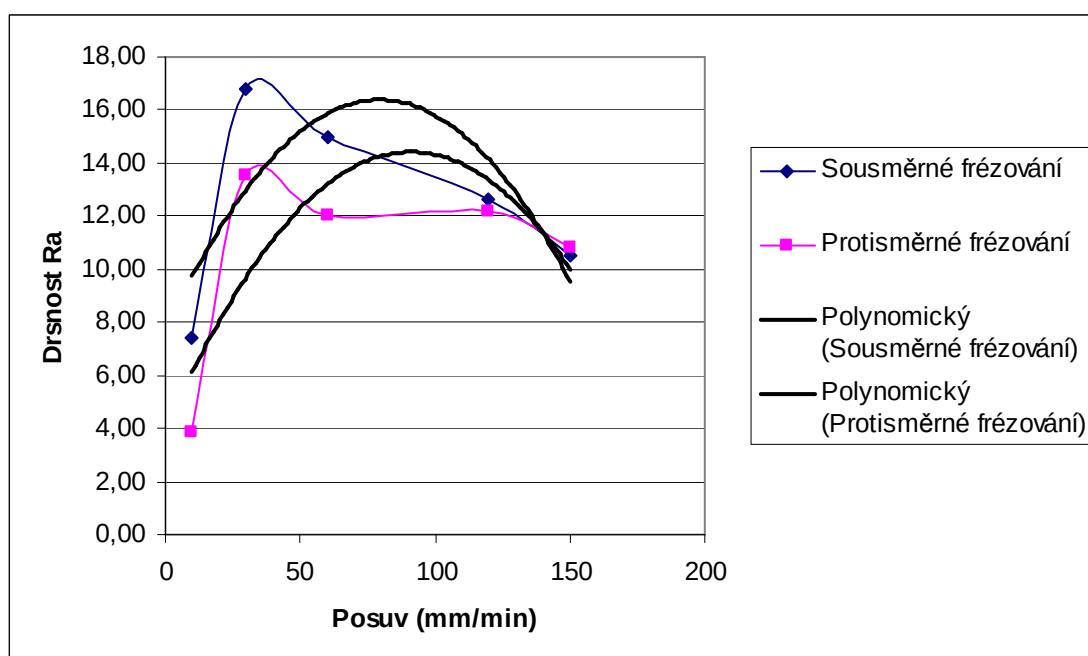
Obr. 44. Drsnosti PMMA – obrábění dvoubřítým nástrojem



Obr. 45. Destička z PMMA frézovaná dvoubřítým nástrojem

Měření	Posuv (mm/min)									
	10		30		60		120		150	
1	5,07	3,50	22,06	16,75	15,42	13,29	10,05	13,03	7,27	11,61
2	7,29	5,59	15,09	12,86	13,36	9,74	10,30	11,97	8,31	8,76
3	7,88	1,05	14,04	7,66	16,87	14,08	16,08	13,37	15,54	11,78
4	12,55	1,49	20,20	15,93	10,09	9,08	15,68	8,71	9,18	9,99
5	7,70	3,35	18,48	12,22	13,39	12,15	13,25	10,83	9,12	9,26
6	5,01	4,31	12,47	13,01	22,36	14,09	10,49	16,11	9,39	12,90
7	6,32	7,81	15,04	16,24	13,14	11,75	12,58	11,29	14,68	11,38
Průměr	7,40	3,87	16,77	13,52	14,95	12,03	12,63	12,19	10,50	10,81

Tab. 13 Naměřené drsnosti pro PMMA čtyřbřitým nástrojem



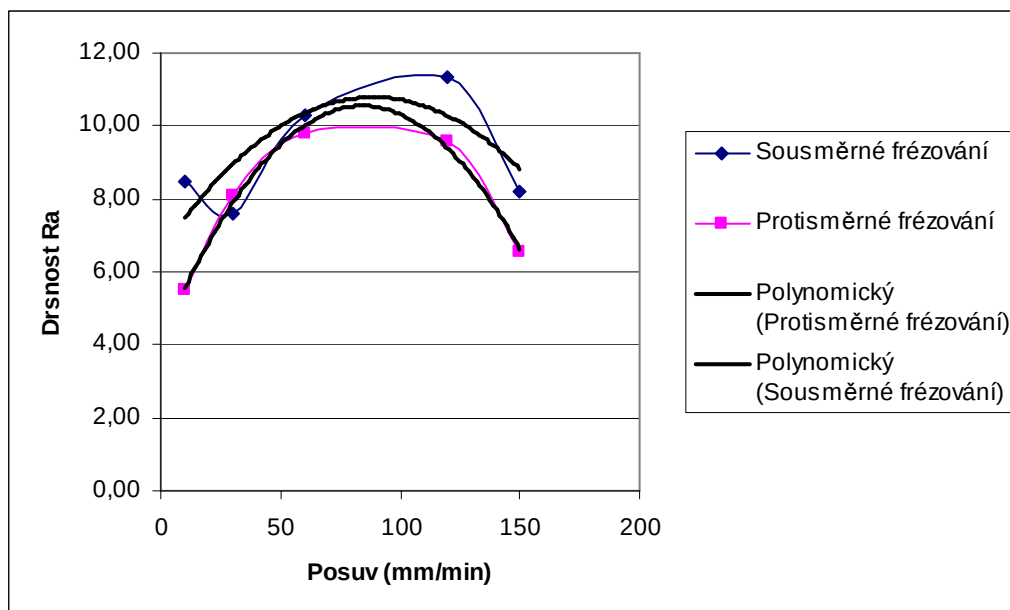
Obr. 46 Drsnosti PMMA – obrábění čtyřbřitým nástrojem



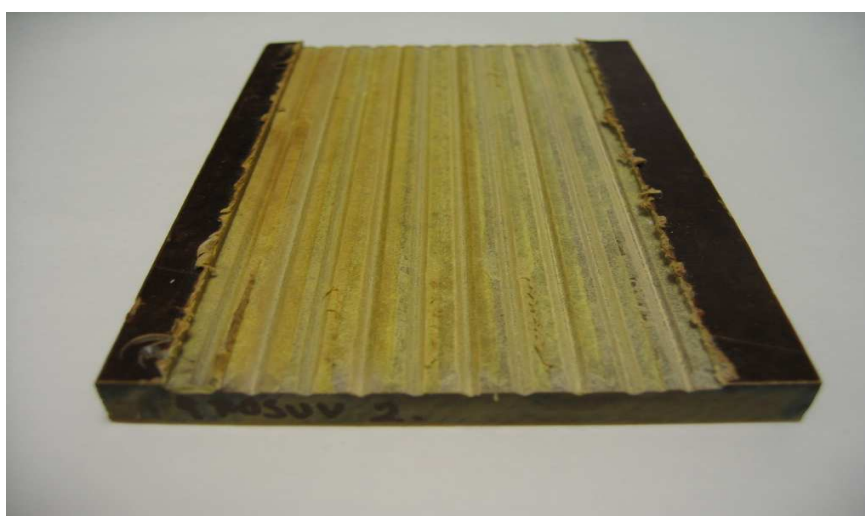
Obr. 47. Destička z PMMA frézovaná čtyřbřitým nástrojem

Měření	Posuv (mm/min)									
	10		30		60		120		150	
1	5,17	6,58	8,88	5,43	13,28	6,61	15,25	11,95	11,24	4,79
2	10,45	5,34	7,62	7,74	15,51	11,68	12,63	12,05	6,71	9,29
3	12,40	5,92	9,59	6,33	10,86	9,25	9,63	7,56	5,97	7,90
4	7,23	3,47	8,04	10,89	6,84	9,44	16,37	8,26	8,11	3,50
5	7,14	10,52	4,83	6,38	9,77	9,06	5,83	6,03	6,28	4,76
6	8,35	2,61	7,52	10,75	7,09	11,01	6,55	5,84	6,35	10,03
7	8,56	4,05	6,71	9,06	8,54	11,41	13,24	15,28	12,62	5,41
Průměr	8,47	5,50	7,60	8,08	10,27	9,78	11,36	9,57	8,18	6,53

Tab. 14 Naměřené drsnosti reaktoplastu plněného papírem, dvoubřitý nástroj



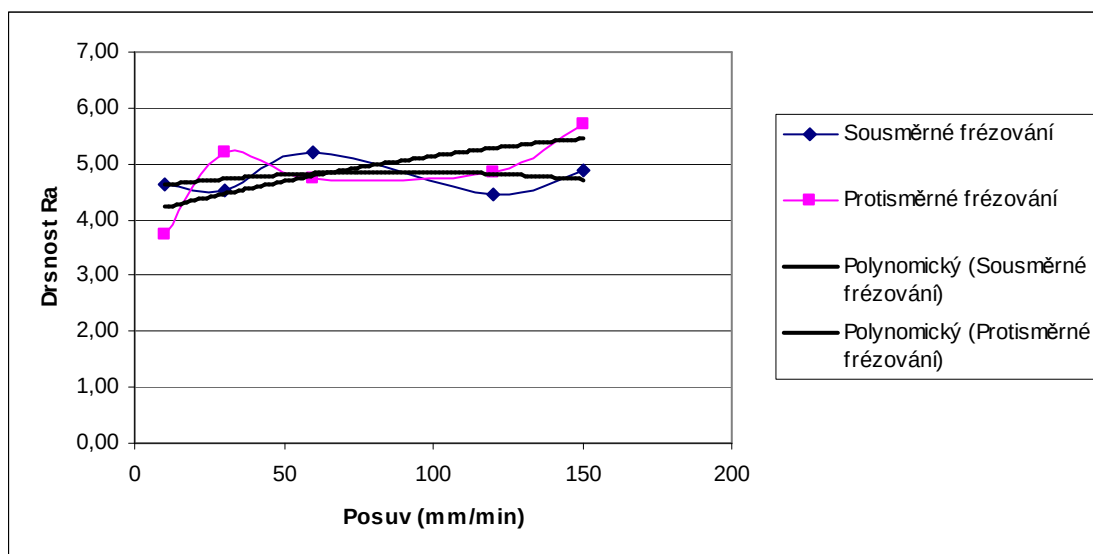
Obr. 48. Drsnosti reaktoplastu plněného papírem – dvoubřítý nástroj



Obr. 49. Destička reaktoplastu plněného papírem, dvoubřítý nástroj

Měření	Posuv (mm/min)									
	10		30		60		120		150	
1	3,70	4,58	4,19	5,54	5,43	5,77	4,08	5,09	4,90	5,67
2	3,92	3,92	3,89	3,37	5,77	4,17	4,38	4,88	4,40	4,76
3	4,01	4,26	3,92	6,08	4,84	7,01	5,61	4,88	5,92	6,24
4	4,27	3,03	4,57	5,71	5,93	3,71	5,86	5,21	5,89	5,20
5	5,31	2,92	6,81	4,37	4,10	4,84	4,19	5,36	5,00	4,92
6	4,97	3,36	4,41	5,08	6,43	4,12	3,62	3,70	5,00	6,62
7	6,24	4,06	3,83	6,17	3,99	3,47	3,41	4,71	3,21	6,61
Průměr	4,63	3,73	4,52	5,19	5,21	4,73	4,45	4,83	4,90	5,72

Tab. 15 Naměřené drsnosti reaktoplastu plněného papírem, čtyřbřítý nástroj



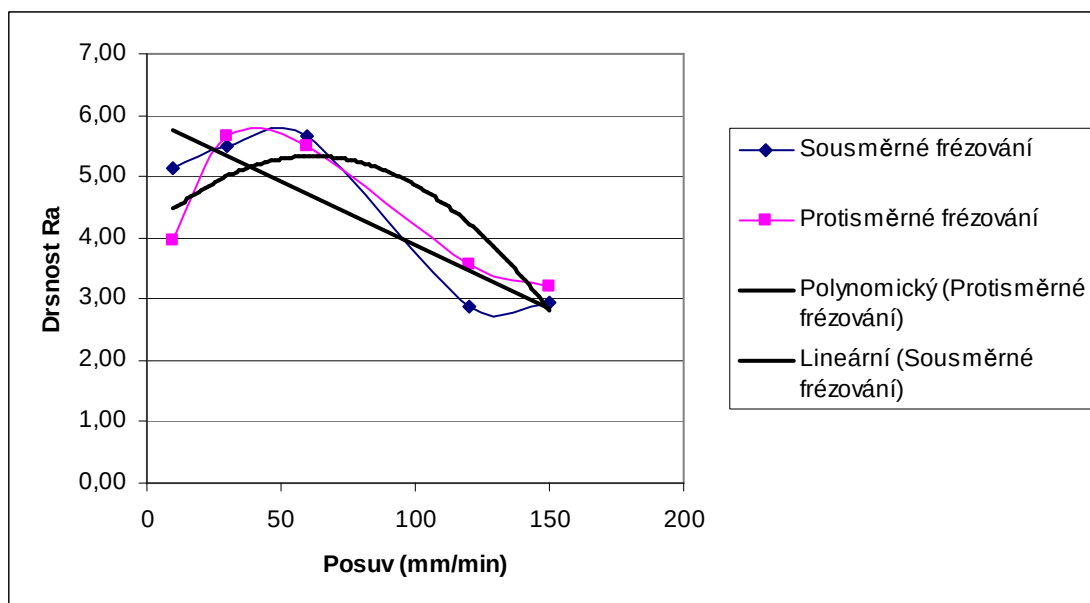
Obr. 50. Drsnosti reaktoplastu plněného papírem – čtyřbřítý nástroj



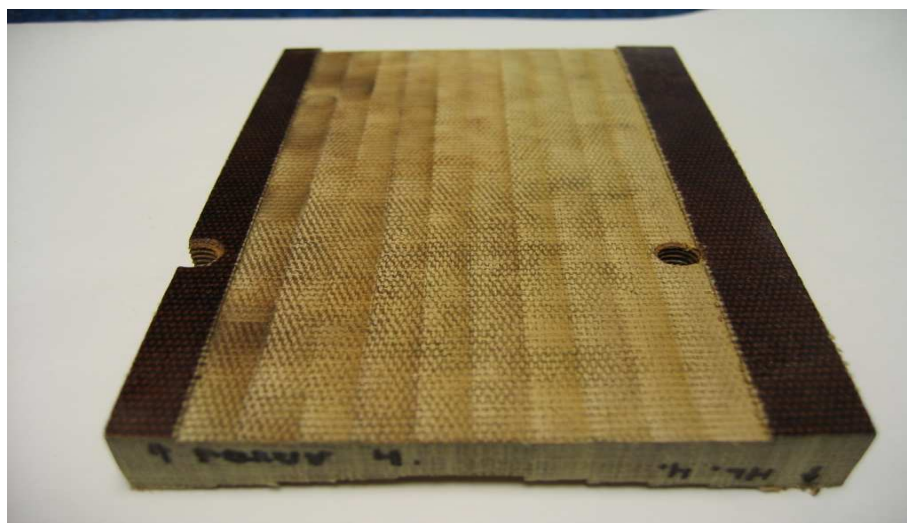
Obr. 51. Destička reaktoplastu plněná papírem, čtyřbřítý nástroj

Měření	Posuv (mm/min)									
	10		30		60		120		150	
1	6,18	3,18	4,45	4,32	6,74	5,20	3,13	3,23	3,28	2,47
2	3,79	4,99	4,18	7,40	4,78	5,19	3,20	3,69	5,34	1,76
3	6,12	4,58	4,47	7,13	6,58	8,47	2,30	3,10	2,33	4,72
4	4,56	3,82	6,18	6,80	5,51	4,61	2,54	2,87	2,77	4,14
5	5,32	3,54	6,24	2,14	6,42	4,80	3,42	4,49	2,79	4,16
6	4,95	4,14	5,25	5,30	5,17	4,63	2,89	3,72	1,89	2,26
7	5,11	3,47	7,62	6,46	4,48	5,53	2,75	3,75	2,35	2,88
Průměr	5,15	3,96	5,48	5,65	5,67	5,49	2,89	3,55	2,96	3,20

Tab. 16 Naměřené drsnosti reaktoplastu plněného textilem, čtyřbřítý nástroj



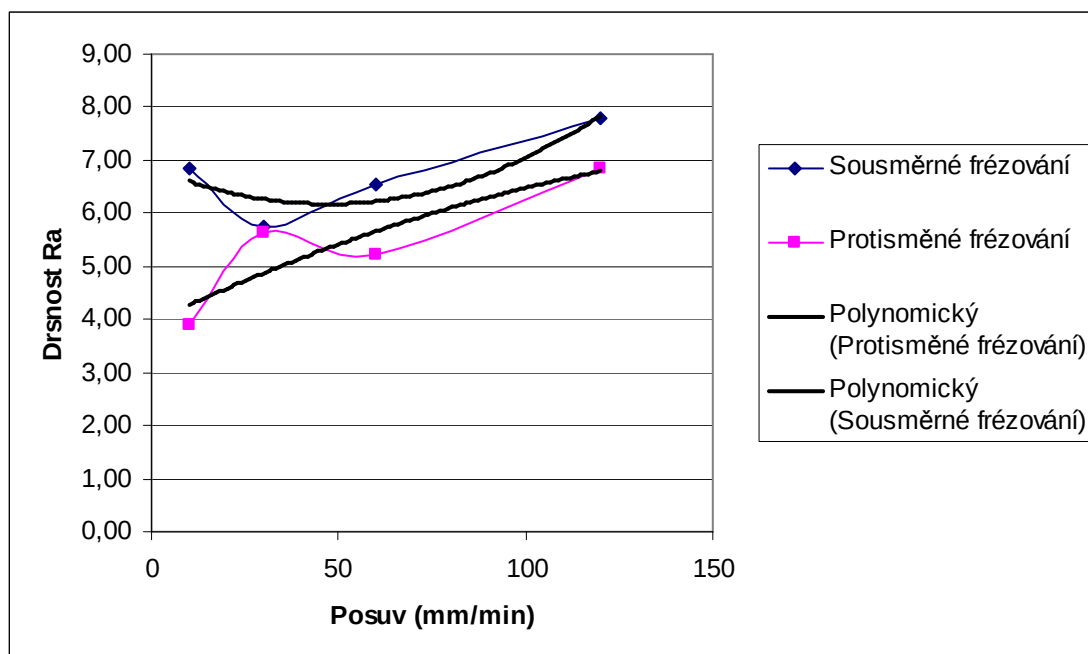
Obr. 52. Drsnosti reaktoplastu plněného papírem, čtyřbřítý nástroj



Obr. 53. Destička z reaktoplastu plněného textílem, čtyřbřítý nástroj

Měření	Posuv (mm/min)							
	10		30		60		120	
1	7,94	4,37	4,26	6,91	5,24	4,80	6,19	4,54
2	7,50	5,21	8,07	2,78	6,57	6,45	7,12	7,64
3	7,43	3,47	5,56	2,17	5,78	5,18	6,82	7,16
4	8,27	3,84	8,48	9,00	9,54	5,15	7,49	8,35
5	5,04	5,06	3,60	6,78	6,10	3,70	12,03	6,90
6	7,13	2,75	6,02	3,36	5,33	6,41	9,18	8,01
7	4,61	2,55	4,35	8,45	7,12	4,72	5,63	5,42
Průměr	6,85	3,89	5,76	5,64	6,53	5,20	7,78	6,86

Tab. 17 Naměřené drsnosti pro hliník



Obr. 54. Drsnosti hliníku



Obr. 55. Destička z hliníku



Obr. 56. Destička PP frézovaná dvoubřítým nástrojem

Program pro frézování se změnou posuvů:

N5	M03	S2000			
N10	G01	X17	Y-1	Z-1	F10
N15	G01	X17	Y155	Z-1	
N20	G01	X24	Y155	Z-1	
N25	G01	X24	Y-1	Z-1	
N30	G01	X31	Y-1	Z-1	F30
N35	G01	X31	Y155	Z-1	
N40	G01	X38	Y155	Z-1	
N45	G01	X38	Y-1	Z-1	
N50	G01	X45	Y-1	Z-1	F60
N55	G01	X45	Y155	Z-1	
N60	G01	X52	Y155	Z-1	
N65	G01	X52	Y-1	Z-1	
N70	G01	X59	Y-1	Z-1	F120
N75	G01	X59	Y155	Z-1	
N80	G01	X66	Y155	Z-1	

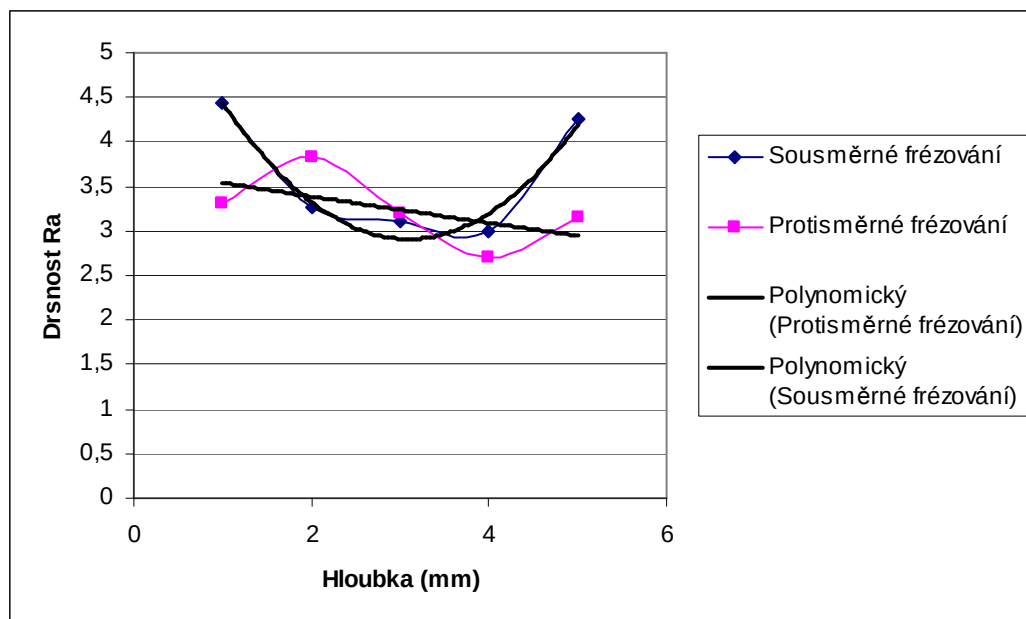
N85	G01	X66	Y-1	Z-1	
N90	G01	X73	Y-1	Z-1	F150
N95	G01	X73	Y155	Z-1	
N100	G01	X80	Y155	Z-1	
N105	G01	X80	Y-1	Z-1	
N110	G00	X80	Y-1	Z0	
N115	G00	X0	Y0	Z0	
N120	M30				

7.3 Vliv hloubky řezu na jakost

Hloubka se při frézování měnila po 1mm do hloubky 5-ti mm. Frézovalo se vždy sousměrně a protisměrně. Konstantními hodnotami byly otáčky 2000 ot/min a posuv 30 mm/min. Hloubky se frézovaly pouze čtyřbřitým nástrojem.

Měření	Hloubka (mm)									
	1		2		3		4		5	
1	4,70	3,79	3,41	4,12	3,03	3,32	2,80	2,69	4,53	2,09
2	4,55	2,27	2,65	3,29	3,37	3,10	2,74	3,14	6,78	2,74
3	6,92	3,33	4,31	3,96	3,07	2,74	3,20	2,51	2,50	2,64
4	4,60	3,44	3,57	2,87	3,37	3,46	3,59	2,47	3,43	3,16
5	3,53	3,85	2,80	3,37	3,12	2,75	2,72	2,59	1,93	5,09
6	3,83	3,31	3,27	6,11	2,86	3,47	2,69	2,62	2,13	3,07
7	2,86	3,25	2,91	3,18	2,98	3,48	3,19	2,87	8,49	3,27
Průměr	4,43	3,32	3,27	3,84	3,11	3,19	2,99	2,70	4,26	3,15

Tab. 18 Naměřené drsnosti pro PVC



Obr. 57. Drsnosti PVC

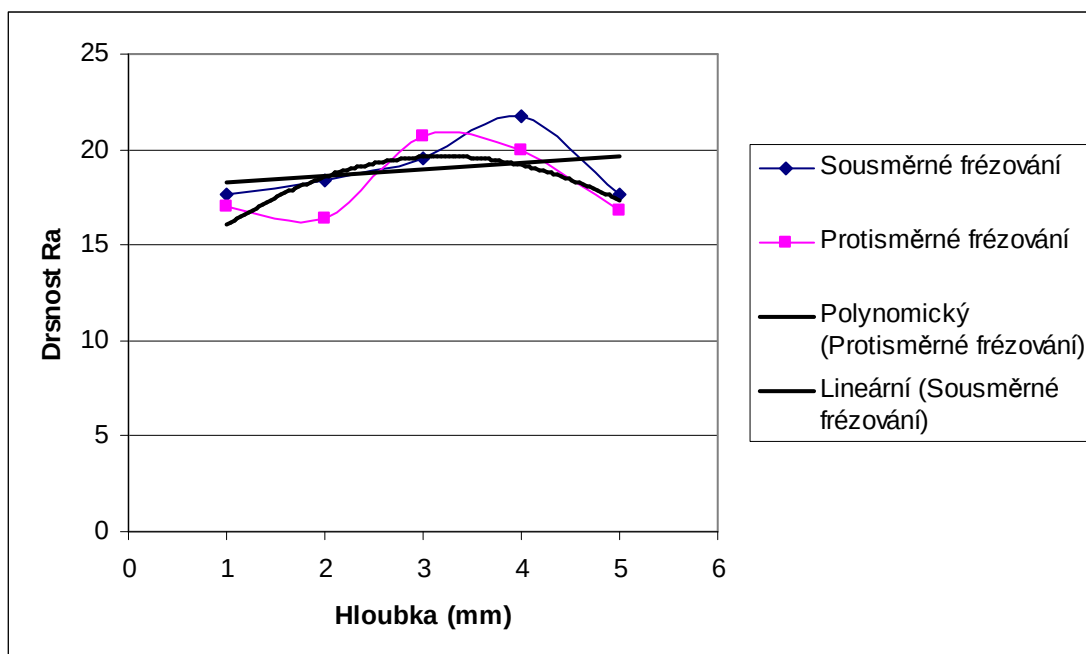


Obr. 58. Destička z PVC

Měření	Hloubka (mm)									
	1		2		3		4		5	
1	13,35	24,12	11,04	13,57	13,05	16,02	19,10	17,26	14,61	20,03
2	18,65	16,54	17,01	21,68	15,30	17,39	15,05	18,49	15,08	13,42
3	18,14	14,76	19,00	15,17	21,18	16,23	11,58	18,72	13,11	16,06
4	16,63	17,67	22,26	13,23	28,51	23,99	21,49	25,64	16,80	13,00
5	18,96	13,61	17,78	18,87	11,37	30,75	25,81	22,27	29,53	17,61

6	14,65	14,15	18,22	15,32	24,15	19,29	34,31	18,25	17,00	17,15
7	23,45	18,01	23,11	16,88	23,12	21,14	24,60	18,83	17,69	20,13
Průměr	17,69	16,98	18,35	16,39	19,53	20,69	21,71	19,92	17,69	16,77

Tab. 19 Naměřené drsnosti pro PMMA



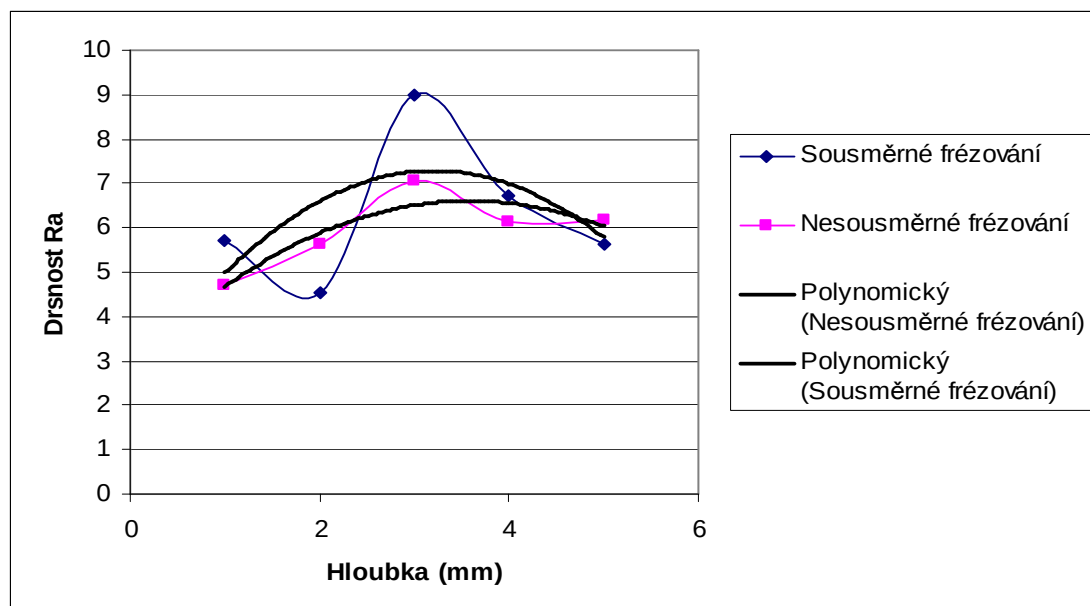
Obr. 59. Drsnosti PMMA



Obr. 60. Destička z PMMA

Měření	Hloubka (mm)									
	1		2		3		4		5	
1	6,18	4,47	6,71	5,06	8,24	6,19	7,52	5,45	6,02	5,49
2	3,85	5,03	3,57	6,17	7,59	5,90	6,39	5,10	5,52	6,35
3	4,81	4,96	4,12	6,57	7,31	7,47	6,87	5,66	5,41	6,07
4	4,56	3,36	3,49	6,08	7,16	7,76	5,34	6,36	3,14	6,80
5	4,66	4,23	5,58	4,54	12,94	5,76	6,90	7,16	6,04	5,74
6	6,91	5,18	3,60	5,25	11,08	6,41	6,77	7,50	7,06	5,82
7	9,05	5,82	4,77	5,61	8,58	9,81	7,36	5,59	6,18	6,84
Průměr	5,72	4,72	4,55	5,61	8,99	7,04	6,74	6,12	5,62	6,16

Tab. 20 Naměřené drsnosti pro reaktoplast plněný textilem



Obr. 61. Drsnosti reaktoplastu plněného textilem



Obr. 62. Destička z reaktoplastu plněná textílem

Program pro frézování se změnou hloubky řezu:

N5	M03	S2000			
N10	G01	X18	Y-1	Z-1	F30
N15	G01	X18	Y155	Z-1	
N20	G01	X90	Y155	Z-1	
N25	G01	X90	Y-1	Z-1	
N30	G01	X26	Y-1	Z-2	
N35	G01	X26	Y155	Z-2	
N40	G01	X82	Y155	Z-2	
N45	G01	X82	Y-1	Z-2	
N50	G01	X34	Y-1	Z-3	
N55	G01	X34	Y155	Z-3	
N60	G01	X74	Y155	Z-3	
N65	G01	X74	Y-1	Z-3	
N70	G01	X42	Y-1	Z-4	
N75	G01	X42	Y155	Z-4	
N80	G01	X66	Y155	Z-4	

N85	G01	X66	Y-1	Z-4
N90	G01	X50	Y-1	Z-5
N95	G01	X50	Y155	Z-5
N100	G01	X58	Y155	Z-5
N105	G01	X58	Y-1	Z-5
N110	G00	X58	Y-1	Z0
N115	G00	X0	Y0	Z0
N120	M30			

7.4 Měření drsnosti

Měření se provádělo na přístroji Surftest SJ-301, který je určen na měření drsnosti povrchu pro použití v dílenském prostředí. SJ-301 dokáže svým snímacím hrotem měřit strukturu povrchu a charakterizovat ji za pomoci řady parametrů podle různých národních a mezinárodních norem. Výsledky měření se zobrazí digitálně a graficky na speciální na dotek citlivé ovládací obrazovce (Touchscreen) a pomocí vestavěné tiskárny se vytisknou.

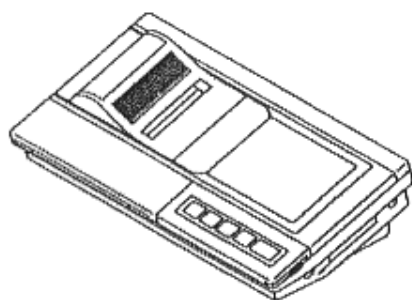
Snímací hrot přístroje SJ-301 zaznamenává i nejjemnější nepravidelnosti povrchu vzorku. Drsnost povrchu se vypočítá z vertikálního posuvu snímacího hrotu, ke kterému dochází, když snímací hrot přejíždí přes nepravidelnosti povrchu. Naměřené hodnoty se digitálně/graficky znázorňují na obrazovce.

Maximální měřicí rozsah je $300\mu\text{m}$ ($\pm 150\mu\text{m}$) nebo $12000\mu\text{ in}$ ($\pm 6000\mu\text{ in}$) a dokáže charakterizovat strukturu povrchu pomocí výpočtu různých parametrů drsnosti.

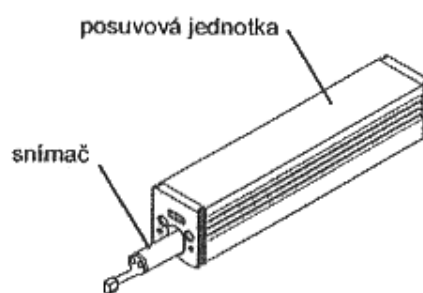
Vestavěná tiskárna může manuálně nebo automaticky tisknout podmínky měření, výsledky měření a profily drsnosti.

SJ-301 poskytuje výsledky měření v souladu s četnými normami drsnosti, včetně norem ISO, DIN, JIS-B-0601-1994, JIS-B-0601-1982, a ANSI.

Zobrazovací jednotka



Posuvová jednotka/snímač



Obr. 63. Přístroj na měření drsnosti povrchu SJ-301

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Hliník

U hliníku jsem používala pouze čtyřbřítý nástroj a měnily se pouze otáčky a posuvy. Se změnou otáček a posuvů nedocházelo k velkým změnám. Nižších hodnot drsnosti povrchu se dosáhlo při protisměrném frézování a to u otáček i posuvů. Povrch je hrubší a nástroj po sobě zanechává stopu podle množství odebraného materiálu.

PVC

Při otáčkách 500 a 750 ot./min se s použitím dvoubřitého nástroje vytvářel povrch, který byl opticky drsnější s třískovou strukturou. U čtyřbřitého nástroje to platilo jen u 500 ot./min, proto byl povrch u 750 ot./min výrazně lepší než u dvoubřitého nástroje. Od těchto otáček se začínal materiál natavovat a vytvářel uprostřed frézované drážky menší občasné rýhy. Při 1500 ot./min a více nastávalo natavování materiálu po celé délce frézované drážky. Nejlepšího povrchu se dosahovalo při nejvyšších otáčkách za použití čtyřbřitého nástroje.

Kvalita obráběných ploch s rychlejším posuvem klesala. U čtyřbřitého nástroje se při posuvu 30, 60 a 120 mm/min materiál opět natavoval a tvořil rýhy. Volba nástroje neměla na kvalitu povrchu vliv a při zvyšování posuvu se zvyšovala také drsnost. Výjimkou byl pouze čtyřbřítý nástroj a posuv 30 mm/min, kdy drsnost povrchu byla asi o 50 % lepší než u dvoubřitého nástroje.

S hloubkou se hodnoty drsnosti příliš nelišily. Materiál se natavoval při frézování všech hloubek.

PMMA

Již při 1500 ot./min se materiál pod nástrojem natavoval a vytvářel drsnější povrch nezávisle na použitém nástroji. Při použití nižších otáček je materiál hladký, vznikaly jen stopy po nástroji a to hlavně u čtyřbřitého nástroje. Nejlepšího povrchu se dosáhlo použitím dvoubřitého nástroje a 500 ot./min.

V závislosti na zvolených otáčkách se materiál natavoval po celé ploše frézované destičky. Při posuvu 10 mm/min zanechával ještě stopu po nástroji. S vyšším posuvem se zvýšila i

drsnost povrchu. Drsnější povrch vypadá opticky jemněji. Nejlepší drsnosti se dosáhlo u dvoubřitého nástroje a posuvu 30 mm/min.

Hodnoty u hloubek jsou značně vysoké, což je způsobeno špatně zvolenými otáčkami, při kterých se materiál natavoval pod nástrojem. Dále to je také čtyřbřitým nástrojem, u kterého byly hodnoty vždy vyšší než u dvoubřitého nástroje.

Reaktoplast plněný papírem

Změna nástroje neměla na drsnost povrchu žádný vliv. Drsnost se zvětšovala s otáčkami jen minimálně a nejlepší drsnosti se dosáhlo dvoubřitým nástrojem pro 750 ot./min. Od 1500 ot./min se změnila barva z temně hnědé po výrazně žlutou.

Při posuvu se ukázalo, že lepších drsností se dosáhlo čtyřbřitým nástrojem a to hlavně při sousměrném pohybu a menších posuvech. U dvoubřitého nástroje byly lepší hodnoty u protisměrného pohybu nástroje.

Reaktoplast plněný textílem

U tohoto materiálu bylo použito pouze čtyřbřitý nástroj. Nejlepší drsnosti se dosáhlo při nejmenších otáčkách. Povrch je zde hladký a lesklý, od 1500 ot./min je povrch tmavší a matný.

Stejně jako u otáček se ani se změnou posuvu hodnoty příliš neliší, nejlepší drsnosti povrchu jsou při posuvu 150 mm/min.

Hodnoty drsnosti se z hloubkou nepatrně zvyšují, ale u protisměrného frézování jsou lepší.

PP

Tento materiál se obráběl pouze dvoubřitým nástrojem a to jen se změnou posuvu. Při posuvu 10 mm/min se na povrchu vytvářel „nový povrch“, který se tvořil při tavení třísek, které se ihned přilepovaly k sobě. Takto natavené třísky se daly odstranit pouze hrubou silou. Při vyšších posuvech se materiál rovněž natavoval, ale třísky se už nepřítavovaly. Obrobená destička byla tak drsná, že se nedala změřit používaným přístrojem na měření drsnosti SJ-301. Jiný přístroj nebyl k dispozici, takže nemohu uvést žádné konkrétní hodnoty. Zkoušelo

se použít i čtyřbřitý nástroj, ale materiál se pod nástrojem začal ihned natavovat až pálit, proto se ve frézování nedalo pokračovat.

U většiny vzorků docházelo k vytlačování materiálu do okrajů, kde zůstával i po obrobení. U PMMA k tomuto jevu nedocházelo v takové míře jako u PVC a materiál šel poměrně snadno odstranit. U PVC se tento materiál dal odstranit o něco obtížněji. U reaktoplastu plněného papírem nebyl tento jev tak častý a u ostatních materiálů se nevyskytoval vůbec.

Při frézování mohlo docházet ke změně drsnosti také otupením nástroje. Otupení nástroje se v této práci zanedbávalo.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá přesností frézky FC 16 CNC pro frézování dílů forem. Frézovalo se několik druhů materiálu u nichž se pomocí drsnosti povrchu zjišťovaly nejvhodnější podmínky pro frézování. Měnily se řezné rychlosti, posuvy a hloubky a používal se dvoubřitý a čtyřbřitý nástroj o $\varnothing 8$ mm.

U hliníku se frézovalo pouze se změnou otáček a posuvů. Drsnost povrchu se příliš nelišila a pohybovala se kolem Ra 6. Se zvyšováním otáček a snižováním posuvu by se měla drsnost snižovat. Nejvýhodnější frézování PVC je podle zjištěných drsností povrchu použitím čtyřbřitého nástroje s 3000 ot./min a posuvem 30 mm/min, kdy se dosáhlo Ra 3,72. Hloubka by podle měření neměla drsnost povrchu ovlivnit. Pro PMMA je lepší použití dvoubřitého nástroje, jelikož nedochází k natavování materiálu pod nástrojem. Natavování způsobují také otáčky nad 1500 ot./min, proto je lepší volit otáčky nižší. Nejvhodnější posuv byl 30 mm/min. U reaktoplastů se hodnoty drsnosti povrchu nelišily tak jako u termoplastů. Výhodnější je použití nižších otáček. U posuvu se hodnoty reaktoplastů liší. Pro reaktoplast plněný papírem vychází lepší drsnosti u nižších posuvů a u reaktoplastu plněného textilem jsou to posuvy nejvyšší. Nižších drsností pak dosahoval reaktoplast plněný textilem. U polypropylenu se zjistilo, že je na frézování nevhodný.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) KOCMAN, Karel. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Rest, 1998
- (2) ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. Praha: SNTL, 1959
- (3) TOMEČEK, E. a kolektiv. *Mechanická technologie III*. Praha: SNTL, 1961
- (4) OPLATEK, František. *Číslicové řízení obráběcích strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998
- (5) BUDA, Ján a kolektiv. *Teória obrábania*. Praha: SNTL, 1968
- (6) LEINVEBER, Jan a kolektiv. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, s.r.o., 1999
- (7) PETERKA, Jozef. *Strojírenská technologie – časopis pro vědu, výzkum a výrobu – Nový přístup výpočtu střední aritmetické odchylky drsnosti obrobeného povrchu při kopírovacím frézování*. Roč. IX, červen 2004, č.2.
- (8) VYSLOUŽIL, Zdeněk a kolektiv. *Meranie v strojárstve*. Bratislava: Vydavateľstvo technickém a ekonomickém literatúry, 1962
- (9) PŘIKRYL, Zdeněk a kolektiv. *Teorie obrábění*. Praha: SNTL, 1982
- (10) KOCMAN, Karel. *Speciální technologie*. Brno: CERM, 2004
- (11) RYBNÍK, Pavel a kolektiv. *Obsluha a programování CNC strojů*. Praha: ČVUT, 1995
- (12) HLÁSEK, Pavel. *Technologická cvičení, výrobní postupy pro NC stroje*. Praha: SNTL, 1990
- (13) JANDEČKA, Karel. *Programování NC strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000
- (14) LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. Brno: ES VUT, 1986
- (15) BENO, J. *Teoria obrábania*. Košice: Viena, 2002
- (16) ERAZIM, K. *Hodnocení přesnosti výrobních strojů*. Praha: SNTL, 1886
- (17) Firemní literatura. *Návod k obsluze frézky FC 16 CNC*. TOS Jasová, 1994
- (18) *CNC frézky HWT*. Dostupný z WWW. [http:// www.azk.cz](http://www.azk.cz).
- (19) VESELÝ, Karel. *Polymery – struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování*. Brno: Česká společnost průmyslové chemie, 1992
- (20) BOUBLÍK, V. *Plastické hmoty v amatérské praxi*. Praha: SNTL, 1963
- (21) *Uživatelská příručka radiaceho systému FC 16 CNC*. Microstep, s.r.o., 1993
- (22) *SJ-301 přístroj na měření drsnosti – návod k použití*. Mitutoyo

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Válcová fréza s břity na válcové ploše	11
Obr. 2. Čelní fréza s břity na čelní ploše (3)	11
Obr. 3. Působení sil při sousledném frézování	13
Obr. 4. Působení sil při nesousledném frézování.....	14
Obr. 5. Schéma struktury programového slova	18
Obr. 6. Schéma základních celků numericky řízeného stroje	26
Obr. 7. Schéma spojení řídicího systému s řízeným strojem v otevřené smyčce	26
Obr. 8. Schéma spojení řídicího systému s řízeným strojem v uzavřené smyčce.....	27
Obr. 9. Lineární interpolace	29
Obr. 10. Kruhová interpolace – kruhový oblouk určený středem	30
Obr. 11. Kruhová interpolace – kruhový oblouk určený poloměrem	31
Obr. 12. Profil obrobeného povrchu při různých metodách obrábění	33
Obr. 13. Nerovnosti povrchu	34
Obr. 14. Příčná a podélná drsnost	34
Obr. 15. Vzorkovnice drsnosti povrchu	37
Obr. 16. Schéma mikroskopu	37
Obr. 17. Profil rýh na povrchu	38
Obr. 18. Interferenční mikroskop	38
Obr. 19. Soustava interferenčních pásků.....	38
Obr. 20. Elektroindukční snímač	39
Obr. 21. Piezoelektrický snímač	39
Obr. 22. Fréza FC 16 CNC.....	42
Obr. 23. Souřadná soustava nástroje	43
Obr. 24. Drsnosti PVC – obrábění dvoubřítým nástrojem	46
Obr. 25. Destička z PVC frézovaná dvoubřítým nástrojem.....	47
Obr. 26. Drsnosti PVC – obrábění čtyřbřítým nástrojem.....	48
Obr. 27. Destička z PVC frézovaná čtyřbřítým nástrojem	48
Obr. 28. Drsnosti PMMA – obrábění dvoubřítým nástrojem	49
Obr. 29. Destička z PMMA frézovaná dvoubřítým nástrojem.....	49
Obr. 30. Drsnosti PMMA – obrábění čtyřbřítým nástrojem.....	50
Obr. 31. Destička z PMMA frézovaná čtyřbřítým nástrojem	51
Obr. 32. Drsnost reaktoplastu plněného papírem – dvoubřítý nástroj.....	52
Obr. 33. Destička reaktoplastu plněného papírem, dvoubřítý nástroj	52
Obr. 34. Drsnost reaktoplastu plněného papírem – čtyřbřítý nástroj	53
Obr. 35. Destička reaktoplastu plněného papírem, čtyřbřítý nástroj	53
Obr. 36. Drsnosti reaktoplastu plněného textilem – čtyřbřítý nástroj.....	54
Obr. 37. Destička reaktoplastu plněná textilem, čtyřbřítý nástroj	55
Obr. 38. Drsnosti hliníku	56
Obr. 39. Destička z hliníku	56
Obr. 40. Drsnosti PVC – obrábění dvoubřítým nástrojem	58
Obr. 41. Destička z PVC frézovaná dvoubřítým nástrojem.....	59
Obr. 42. Drsnosti PVC – obrábění čtyřbřítým nástrojem.....	60
Obr. 43. Destička z PVC frézovaná čtyřbřítým nástrojem	60
Obr. 44. Drsnosti PMMA – obrábění dvoubřítým nástrojem	61
Obr. 45. Destička z PMMA frézovaná dvoubřítým nástrojem.....	61
Obr. 46. Drsnosti PMMA – obrábění čtyřbřítým nástrojem.....	62
Obr. 47. Destička z PMMA frézovaná čtyřbřítým nástrojem.....	63
Obr. 48. Drsnosti reaktoplastu plněného papírem – dvoubřítý nástroj.....	64

Obr. 49. Destička reaktoplastu plněného papírem, dvoubřítý nástroj	64
Obr. 50. Drsnosti reaktoplastu plněného papírem – čtyřbřítý nástroj	65
Obr. 51. Destička reaktoplastu plněného papírem, čtyřbřítý nástroj.....	65
Obr. 52. Drsnosti reaktoplastu plněného papírem, čtyřbřítý nástroj	66
Obr. 53. Destička z reaktoplastu plněného textilem, čtyřbřítý nástroj	66
Obr. 54. Drsnosti hliníku	67
Obr. 55. Destička z hliníku	67
Obr. 56. Destička PP frézovaná dvoubřítým nástrojem	68
Obr. 57. Drsnosti PVC.....	70
Obr. 58. Destička z PVC	70
Obr. 59. Drsnosti PMMA.....	71
Obr. 60. Destička z PMMA.....	71
Obr. 61. Drsnosti reaktoplastu plněného textilem.....	72
Obr. 62. Destička z reaktoplastu plněného textilem.....	73
Obr. 63. Přístroj na měření drsnosti povrchu SJ-301	74

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Drsnost povrchů obrobených rovinných ploch.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 2 Naměřené drsnosti pro PVC pomocí dvoubřitého nástroje.....</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 3 Naměřené drsnosti pro PVC pomocí čtyřbřitého nástroje.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 4 Naměřené drsnosti pro PMMA pomocí dvoubřitého nástroje.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 5 Naměřené drsnosti pro PMMA pomocí čtyřbitového nástroje.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 6 Naměřené drsnosti u reaktoplastu plněného papírem, dvoubřitý nástroj</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 7 Naměřené drsnosti pro reaktoplast plněný papírem, čtyřbřitý nástroj</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 8 Naměřené drsnosti u reaktoplastu plněného textilem, čtyřbřitý nástroj</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 9 Naměřené drsnosti pro hliník</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 10 Naměřené drsnosti pro PVC dvoubřitým nástrojem.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 11 Naměřené drsnosti PVC čtyřbřitým nástrojem.....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 12 Naměřené drsnosti pro PMMA dvoubřitým nástrojem.....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 13 Naměřené drsnosti pro PMMA čtyřbřitým nástrojem</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 14 Naměřené drsnosti reaktoplastu plněného papírem, dvoubřitý nástroj</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 15 Naměřené drsnosti reaktoplastu plněného papírem, čtyřbřitý nástroj.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 16 Naměřené drsnosti reaktoplastu plněného textilem, čtyřbřitý nástroj</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 17 Naměřené drsnosti pro hliník</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 18 Naměřené drsnosti pro PVC.....</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 19 Naměřené drsnosti pro PMMA.....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 20 Naměřené drsnosti pro reaktoplast plněný textilem</i>	<i>72</i>

