

Návrh a výroba testovacího artefaktu pro výuku měření na souřadnicovém měřicím stroji

MIKEŠ Petr, Ing., Měrové a školicí středisko Carl Zeiss,
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

BERÁNEK Libor, Ing., Měrové a školicí středisko Carl Zeiss,
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

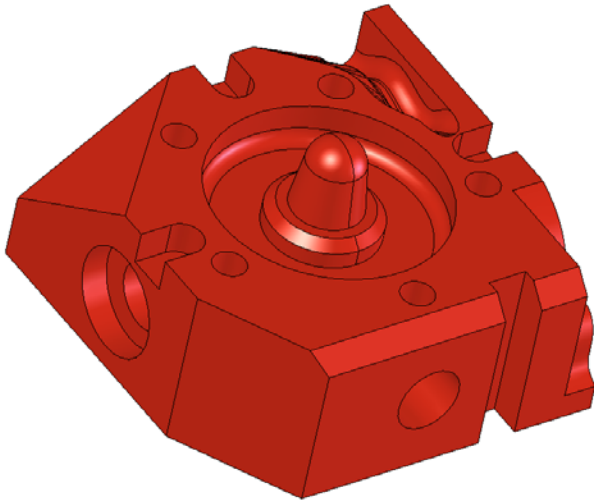
VOLF Luděk, Ing., Centrum průmyslové simulace,
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

V tomto článku je popsán návrh a výroba testovacího artefaktu, který slouží pro výuku měření na souřadnicovém měřicím stroji. Jedná se o součást, která obsahuje tvarové plochy a jejich různé kombinace. V tomto případě jde o duralový kvádr, na kterém byly frézováním, soustružením a vrtáním vyrobeny tvarové plochy jako např. díra, kuželová díra, otvory na roztečné kružnici, pole děr, rádiusy, drážky, šikmé plochy, obecná plocha atd. Kompletní výroba probíhala ve strojních laboratořích Fakulty strojní ČVUT Praha, jejichž možnosti byly limitující. K dispozici byly klasické mechanické stroje (soustruh, frézka, vrtačka) i CNC stroje (3-osá frézka a soustruh).

→ Klíčová slova: testovací artefakt, model, souřadnicový měřicí stroj, frézování, soustružení

1 Modelování součástí

Součást byla navržena jako sestava dvou dílů. První díl je kvádr s tvarovými plochami, ke kterému je pomocí závitu M6 připojen díl druhý, kuželová součást s kulovým koncem. Důvod je 1. technologický - výroba, 2. funkce při měření.



Obr. 1 Kompletní model součásti
Fig. 1 Complete part model

Při modelování součástí se vycházelo z rozměrů polotovarů, což byl kvádr o rozměrech 116x116x54 a válec $\varnothing 35 \times 45$. Jednotlivé plochy (tvar a umístění) byly voleny jak s ohledem na technologii výroby (možnosti výrobních strojů) tak na efektivní využití při měření. Některé navržené plochy nemohly být realizovány, protože výroba by vyžadovala použití 5-osé frézky, která bohužel nebyla k dispozici.

K tvorbě modelu byl použit software SolidWorks 2004. Postupovalo se tak, že se nadefinoval kvádr o rozměrech polotovaru a do něho se pomocí funkcí pro tvorbu prvků vytvářely tvarové plochy. Nejčastěji používané funkce byly odebrání vysunutím, přidání vysunutím zaoblení a zkosení plochy. U kuželové součásti se vycházelo z polotovaru válce. Naskicoval se tvar řezu součásti podle osy a k vytvoření modelu se použila funkce rotace křivky kolem

osy. Ne všechny plochy se podařilo vytvořit v Solidworksu a při úpravách modelu ve školních laboratořích ani nebyl k dispozici. Proto byl využit software Rhinoceros 4.0 Evaluation.

Pro tvorbu CNC programu na obrábění bylo potřeba exportovat model ve formátu IGS a pro měření STEP nebo IGS. Model součásti prošel několika změnami. Některé plochy byly přidány, některé odstraněny.

2 Výroba

2.1 Příprava polotovaru

Výchozí materiál byl dural uříznutý z desky o tloušťce 56 mm a rozměrech 118x118 mm. Drsnost povrchu po řezání nebyla dobrá a stejně tak i rozměrová a tvarová přesnost (vzájemná kolmost jednotlivých ploch). Jako dostatečný byl zvolen úběr materiálu 1 mm ze všech stran. Vznikl polotovar pro výrobu součásti 116x116x54 mm.

Výroba polotovaru byla prováděna na konvenční vertikální frézce F2V. Obráběný kus byl upnut do strojního svěráku. K vyrovnaní kusu při upnutí byl použit číselníkový úchylkoměr a magnetický stojánek. K obrábění byla použita válcová čelní fréza Ø80 mm. Rezné podmínky: otáčky 720 min^{-1} , řezná rychlost 181 m/min, posuv 400 mm/min. Materiál byl odebrán na jednu třísku. Po dokončení obrábění bylo nutné zbavit součást ořepů a srazit ostré hrany pomocí pilníku.

2.2 Výroba tvarových ploch na konvenčním soustruhu

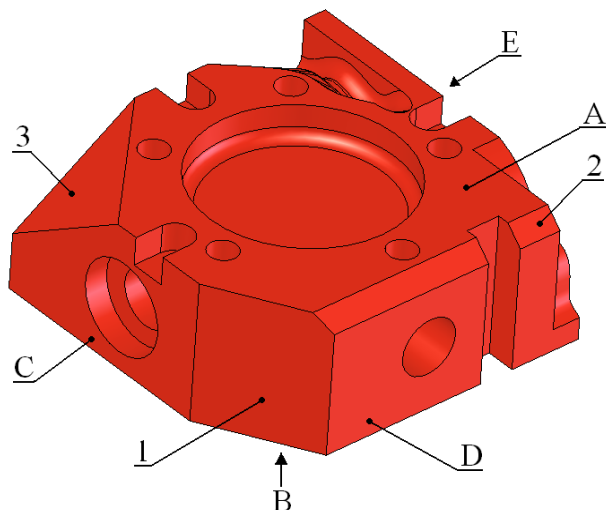
Postup obrábění bylo nutné volit podle možností upínání, aby nedošlo k situaci, že nějaká část bude odebrána a následně bude potřeba za tuto část upnout.

Jako první bylo obrábění dvou na sebe kolmých děr, z nichž jedna je průchozí na konci s kuzelem a druhá končí v místě jejich vzájemného průniku. Při výrobě byl polotovar upnut do čtyřčelistového univerzálního sklíčidla. Vyrovnan byl na střed pomocí opěrného hrotu v koníku. Následovalo navrtání středícího důlku, předvrtání díry vrtákem Ø12 mm, vrtání díry Ø19,5 mm, vyhrubování a nakonec vystružení výstružníkem Ø20 H8. Kužel na konci díry byl vyroben vnitřním ubíracím soustružnickým nožem, úhel 10° . Stejný postup byl i u díry druhé. Obrábělo se na univerzálním hrotovém soustruhu TOS SV 18.

2.3 Výroba tvarových ploch na konvenční frézce

Druhým krokem byla výroba tří šikmých ploch. Jednalo se o sražení hrany pod úhlem 30° v délce 36 mm (obr. 2, poz. 1), sražení hrany $6 \times 45^\circ$ (obr. 2, poz. 2) a sražení rohu (obr. 2, poz. 3). Možnosti byly dvě:

1. Použití frézky s naklápěcím vřetenem, k dispozici byla, ale tato možnost se jevila jako složitá.
2. Použití klasické frézky a naklápěcího svěráku.



Obr. 2 Tři šikmé plochy (poz.1-3) a pracovní roviny (poz. A-E)

Fig. 2 Three inclined surfaces (pos.1-3) and the working planes (pos. A-E)

Byla zvolena méně obtížná druhá možnost. Obrábělo se na CNC frézce FV 25 CNC A. K upnutí obrobku byl použit svěrák, jež umožňuje naklápění v rozsahu $0^\circ - 60^\circ$ se stupnicí dělenou po 1° . V případě plochy 1. a 2. bylo upnutí snadné. Obrobek byl upnut a svěrák naklopen o požadovaný úhel (30° a 45°). U plochy 3. bylo nutné udělat na ploše 116×116 mm rysku (úhlopříčku) a obrobek upnout pomocí úhelníku tak, aby ryska byla kolmá na čelisti svěráku a poté svěrák naklopit o 45° . Vyrovnaní svěráku vůči loži stroje v tomto případě nebylo nutné.

Obrábění probíhalo za podmínek podobných jako při obrábění polotovaru - válcová čelní fréza o průměru 80 mm, otáčky $720-750 \text{ min}^{-1}$, posuv ruční, hloubka třísky 0,5 mm (upnutí nebylo dostatečně tuhé, aby nedošlo k poškození součásti). Po dokončení byly ostré hrany sraženy pilníkem.

2.4 Tvorba NC programu pro obrábění - frézování

Vytvořit programy pro obrábění ručně v textovém editoru by bylo příliš namáhavé a složité a u některých ploch dokonce nemožné (obecná plocha). Případné změny v programu (obráběcí strategie, hloubka řezu, změny rozměrů atd.) by byly velkou komplikací. Proto byl pro tvorbu programů využit software Powermill. Tento CAD/CAM značně ušetřil práci. Po obrobení obecné plochy byla část povrchu potřesaná a hrubá. Bylo potřeba obrábění provést znovu s minimálním úběrem materiálu, aby se povrch zhladil. K tomu bylo nutné změnit směr obrábění sousledný / nesousledný. Stačilo otevřít daný projekt, zvolit dané obrábění, změnit smysl obrábění a znovu vygenerovat NC kód.

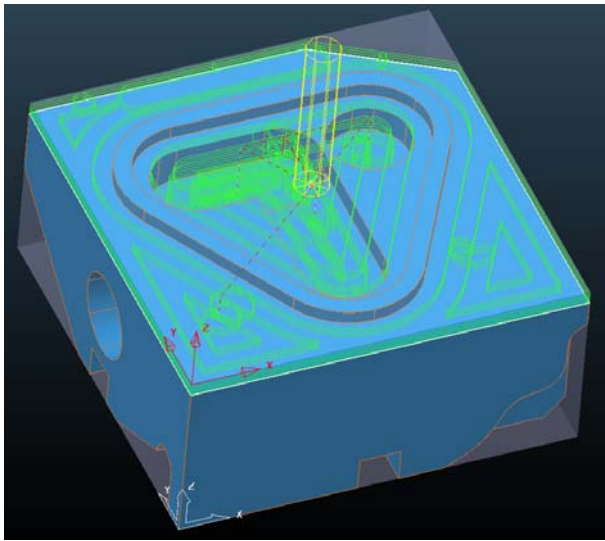
Základem pro tvorbu programu v softwaru je mít k dispozici model obráběné součásti. Nejlépe se osvědčil model vyexportovaný ve formátu IGS. Ten byl naimportován do Powermillu. Dále bylo nutné nastavit základní nastavení:

- Velikost výchozího polotovaru - software si ho sám dopočítal podle modelu, vhodně zvolit počátek (aby celá součást byla v kladných hodnotách souřadného systému), nejlépe už při tvorbě modelu
- Volba a definice nástrojů - typ a rozměry, přiřazení názvu, pod kterým bude uváděn v programu

- Pohyby nástroje - otáčky, pracovní posuv, rychloposuv, sjezdový posuv, chlazení, výchozí bod, výška přejezdu nad materiálem mezi jednotlivými drahami atd.

Na obrábění byly zvoleny tyto nástroje: frézy z rychlořezné oceli - válcová fréza $\varnothing 10$ mm $\varnothing 5$ mm, kulová fréza $\varnothing 8$ mm, vrták $\varnothing 6$ mm, vrták pro středící důlky $\varnothing 2,5$ mm.

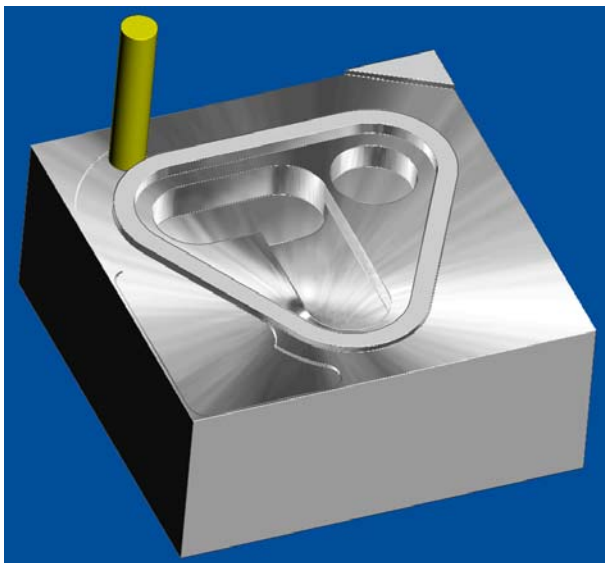
2.5 Tvorba jednotlivých drah obrábění



Obr. 3 Dráhy obrábění
Fig. 3 Toolpaths

Pro každé upnutí bylo nutné zvolit vlastní pracovní rovinu - souřadnicový systém pro část obrábění, která byla prováděna na jedno upnutí. V tomto případě se jednalo o 5 pracovních rovin. Součást byla obráběna z 5-ti stran na 5 upnutí. Aktuální pracovní rovina zobrazena jako červený osový kříž (obr. 3).

Obrábění bylo rozděleno na hrubování - cyklus 3D hrubování a dokončování - dokončování ploch offsetem. Dokončovací dráhy některých ploch byly rozděleny na více částí a to z důvodu odlišného nastavení pohybu nástroje, pro každou dráhu. Každá dráha musí být ohraničena hranicemi (na obr. 3 zobrazeno bílou čarou). Hranice přesně vymezují prostor, ve kterém se nástroj smí pohybovat. Hranice byly vytvořeny přímo v Powermillu a ty, které se nepodařilo vytvořit, byly vloženy jako vyexportované ze softwaru Rhinoceros.



Obr. 4 Simulace v Powermillu
Fig. 4 Simulation in Powermill

Ještě před generováním NC kódu byla provedena simulace obrábění. V té se ověřila správnost průběhu obrábění a minimalizovaly se chyby v programu.

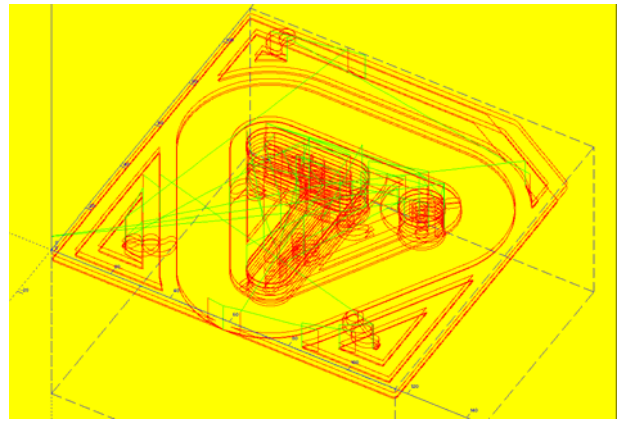
Posledním krokem bylo seřazení jednotlivých drah podle pracovní roviny a použitého nástroje. Následně pak vygenerování NC kódu za použití příslušného postprocesoru. Ten upraví NC kód dle požadavků řídicího systému použitého na obráběcím stroji.

2.6 Obrábění na CNC frézce

Obrábění probíhalo na CNC frézce FCM 16 CNC. Obrobek byl upnutý do strojního svěráku. Byl nastaven výchozí bod a před spuštěním obráběcího programu ještě provedena simulace v řídicím softwaru obráběcího stroje (obr 6).



Obr. 5 CNC frézka FCM 16 CNC
Fig. 5 CNC milling machine FCM 16 CNC



Obr. 6 Simulace v řídicím softwaru Mikroprog na stroji

Obr. 6 Simulation of the control software Mikroprog on the machine



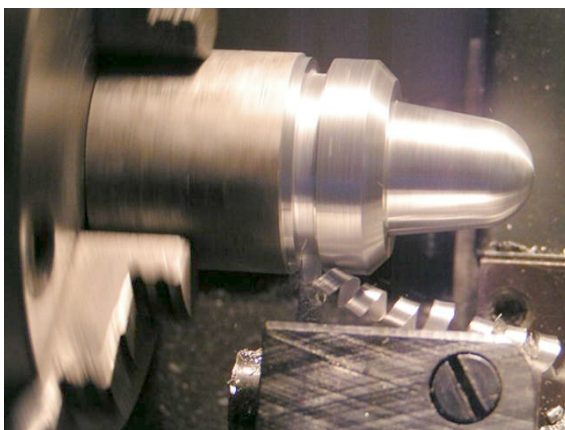
Obr. 7 Obrábění na CNC frézce
Obr. 7 CNC milling machine

V průběhu obrábění byly dle potřeby u některých drah dodatečně upraveny hodnoty otáček a posuvů pomocí procentuální regulace (override) přímo na stroji. Obrábění probíhalo bez chlazení. Při dokončovací třísce byl do místa řezu injekční stříkačkou přidáván technický líh. Líh snižuje nalepování duralu na nástroj, tím omezuje tvorbu nárůstku. Bylo dosaženo znatelně lepší jakosti finální plochy.

2.7 Tvorba NC programu pro obrábění - soustružení

Soustružením se vyráběla druhá rotační součást. Bylo nutné obrobít kulovou plochu, která tečně přechází v plochu kuželovou. Tvořit program ručně v textovém editoru by bylo složité. Jednodušší bylo využít software Kovoprog.

Prvním krokem byla volba postprocesoru. Druhým krokem bylo nastavení velikosti pracovního okna. Následovala tvorba geometrie - tvar obrobku. Dále byl zadán tvar polotovaru a rozložení přídavků na obrábění.



Obr. 8 Obrábění kuželové součásti
Obr. 8 Machining taper part

Poté byla definována technologie - volba nástroje. Tomuto nástroji byla přiřazena rutinní práce (hrubování, na čisto) a zadány řezné podmínky. Byl použit stranový ubírací nůž. V simulaci se ověřila správnost průběh obrábění a vygeneroval NC program.

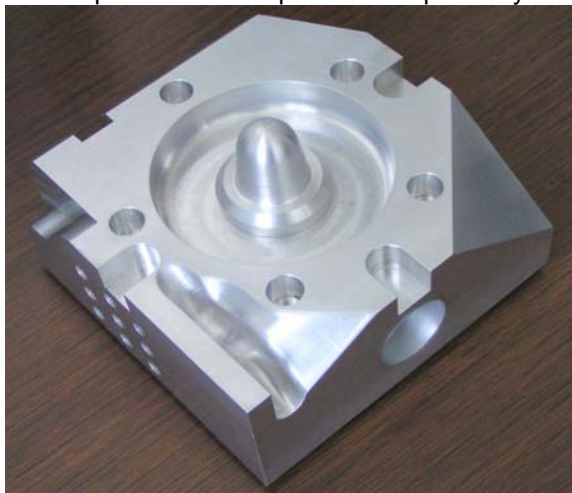
2.8 Obrábění na CNC soustruhu

K dispozici byl CNC soustruh SUV 16 CNC. Polotovar (duralová tyč Ø35 mm) byl upnutý v univerzálním sklíčidle. Aby byla zaručena přesnost součásti, musela být vyrobena na jedno upnutí. Tvarová část součásti byla obrobena pomocí programu. Poté byl upichovacím nožem udělán zápih o šířce 15 mm na Ø10 mm, obrobena dosedací plocha součásti, zápih udělán na Ø6 mm a součást upichnuta. Práce

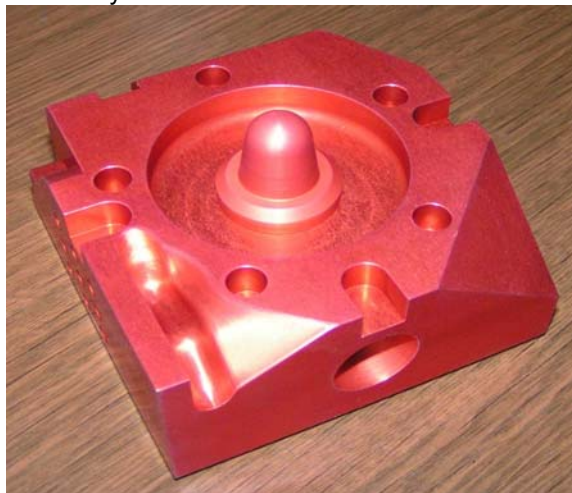
upichovacím nožem a obrábění dosedací plochy probíhalo ručním posuvem. Vznikla součást s válcovou plochou o $\varnothing 6$ mm délky 8 mm na dosedací ploše. Na této válcové ploše byl závitřezným očkem vyříznut závit M6, který slouží ke spojení obou součástí.

2.9 Konečná úprava součásti

Po obrábění zůstaly na součásti na některých místech stopy od nástroje a ostré hrany s otěpy. Stopy po nástroji byly částečně odstraněny speciální brusnou tkaninou a hrany všech ploch nepatrně sraženy pilníkem nebo brusným papírem. Dural je náchylný na oxidaci. Aby si součást zachovala svůj estetický vzhled, což byl jeden z požadavků, bylo nutné její povrch ochránit před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Jako povrchová úprava byl zvolen barevný elox.



Obr. 9 Kompletní součást před eloxováním
Obr. 9 Complete part without anodizing



Obr. 10 Po eloxování
Obr. 10 After anodizing

3 Závěr

Vyrobený testovací artefakt byl použit pro sestavení příručky pro měření, která obsahuje praktické vysvětlení některých pojmů, výhody a nevýhody různých metod měření apod. Příručka je zaměřena hlavně na měření, kde je využíváno CAD modelu měřené součásti a je doplněna praktickými úlohami.

Seznam použité literatury

- [1] RATAJCZYK, E. *Wspolrzednoscowa technika pomiarowa*. Warszawa: Oficyna Wydawnica Politechniki Warszawskiej, 2005. 356 s.
- [2] CHRISTOPH, R., NEUMAN, H.J. *Multisenzorová souřadnicová měřicí technika*. Čtvrté, přepracované a rozšířené vydání. Uherské Hradiště: L.V. Print, 2008. 106 s.
- [3] Interní materiály firmy Topmes v.o.s

Design and manufacturing testing artefakt for education measuring on coordinate measuring machines

Mikeš Petr, Ing., The Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prag

Key words : testing artefact, model, coordinate measuring machine, milling, turning

This article describes the design and manufacture of test artifact, which is used for teaching measurements on coordinate measuring machine. It is a component that has shaped the area and their various combinations. In this case, the block of duralumin, in which the milling, turning and drilling produced shaped surface such as a hole, conical hole, holes in the pitch circle, pole holes, radii, grooves, a slippery slope, general area etc.

Complete production took place in the laboratories of the Faculty of Mechanical Engineering, CTU, Prague, whose options were limiting. There were classic mechanical machines (lathe, milling machine, drilling machine) and CNC machines (3-axis milling machine and lathe).

Made a test artefact was used to build the manual measurement, which includes practical explanations of certain concepts, advantages and disadvantages of different methods of measurement, etc. The handbook is focused mainly on the measurement where the use of CAD model of the measured parts and is complemented by practical tasks.

