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

Ing. Petr Mikeš

Vedoucí práce: doc. Ing. Rudolf Dvořák, CSc.

Abstrakt

Článek se zabývá problematikou měření na souřadnicových měřicích strojích. Pro potřeby výuky měření byl vytvořen model testovacího artefaktu, který obsahuje základní tvarové plochy, se kterými se můžeme setkat ve strojírenské praxi. Model byl následně využit pro výrobu reálné součásti.

Klíčová slova

Testovací artefakt, model, obrábění, měření.

1 Úvod

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).

2 Modelování součásti

Součást byla navrhnuta 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

Při modelování součásti se vycházelo z rozměrů polotovarů, což byl kvádr o rozměrech 116x116x54 a válec Ø35x45. 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.

3 Výroba

3.1 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 vyrovnání kusu při upnutí byl použit číselníkový úchylkoměr a magnetický stojánek. K obrábění byla použita válcová čelní fréza Ø80 mm. Řezné 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 otřepů a srazit ostré hrany pomocí pilníku.

3.2 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 kuželem a druhá končí v místě jejich vzájemného průniku. Při výrobě byl polotovar upnut do čtyřčelisťového univerzálního sklíčidla. Vyrovnán byl na střed pomocí opěrného hrotu v koníku. Následovalo navrtání středicího 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.

3.3 Výroba tvarových ploch na konveční 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 6x45° (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)

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°- 60° 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 116x116 mm rysku (úhlopříčku) a obrobek upnout pomocí úhelníku tak, aby ryska byla kolmá na čelisti svěráku a poté svěrák naklopit o 45°. Vyrovnání 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 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.

3.4 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 potrhaná a hrubá. Bylo potřeba obrábění provést znovu s minimálním úběrem materiálu, aby se povrch zahladil. 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 Ø10 mm Ø5 mm, kulová fréza Ø8 mm, vrták Ø6 mm, vrták pro středicí důlky Ø2,5 mm.

3.5 Tvorba jednotlivých drah obrábění

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 hrubovaní - 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 čárou). 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. 3 Dráhy obrábění

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



Obr. 4 Simulace v Powermillu

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

3.6 Obrábění na CNC frézce

Obrábění probíhalo na CNC frézce FCM 16 CNC. Obrobek byl upnutý do strojního svěráku.



Obr. 5 CNC frézka FCM 16 CNC

Byl nastaven výchozí bod a před spuštěním obráběcího programu ještě provedena simulace v řídicím softwaru obráběcího stroje.



Obr. 6 Simulace v řídicím softwaru Mikroprog na stroji



Obr. 7 Obrábění na CNC frézce

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 nárustku. Bylo dosaženo znatelně lepší jakosti finální plochy.

3.7 Tvorba NC programu pro obrábění - soustružení

Soustružením se vyráběla druhá rotační součást. Bylo nutné obrobit 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. 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.

3.8 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, zápich udělán na Ø6 mm a součást upíchnuta. Práce upichovacím nožem a obrábění dosedací plochy probíhaly ručním posuvem. Vznikla součást s válcovou plochou o Ø6 mm délky 8 mm na dosedací ploše. Na této válcové ploše byl závitořezným očkem vyříznut závit M6, který slouží ke spojení obou součástí.



Obr. 8 Obrábění kuželové součásti

3.9 Konečná úprava součásti

Po obrábění zůstaly na součásti na některých místech stopy od nástroje a ostré hrany s otřepy. 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. 10 Po eloxování

4 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. *Wspolrzednosciowa 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