

Nové možnosti měření na souřadnicových měřicích strojích

Ing. Pavel Macháček

Souřadnicové měřicí stroje (SMS) jsou dnes poměrně často využívaným prvkem v kontrole kvality výrobků. Zpočátku byly využívány především ke kontrole rozměrů, tvaru a polohy běžných geometrických útvarů (kružnice, válec, kužel apod.) vyskytujících se na výrobcích. S vývojem automobilového průmyslu, CAD/CAM softwarů a CNC obráběcích strojů přibyla významná a dnes často využívaná možnost – kontrola obecných tvarových ploch, jejichž výskyt dnes není na výrobcích ničím neobvyklým.

1. Souřadnicové měřicí stroje na ČVUT

V minulém roce byla zprovozněna laboratoř souřadnicových měřicích strojů spadající pod Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie. Dosud byla vybavena CNC souřadnicovými měřicími stroji, které umožňovaly pouze dotykové měření. V současné době probíhá dovybavování laboratoře pro práci s analogovými sondami a laserovou skenovací hlavou. Laboratoř je využívána při výuce předmětů Technologie II a Strojírenská metrologie pro demonstraci moderních metod měření studentům. Zároveň slouží jako vývojové a testovací pracoviště vývojářům softwaru T-DMIS. Stroje jsou k dispozici také diplomantům, doktorandům a pracovníkům ČVUT při řešení metrologických úloh spojených s jejich výzkumnými pracemi.

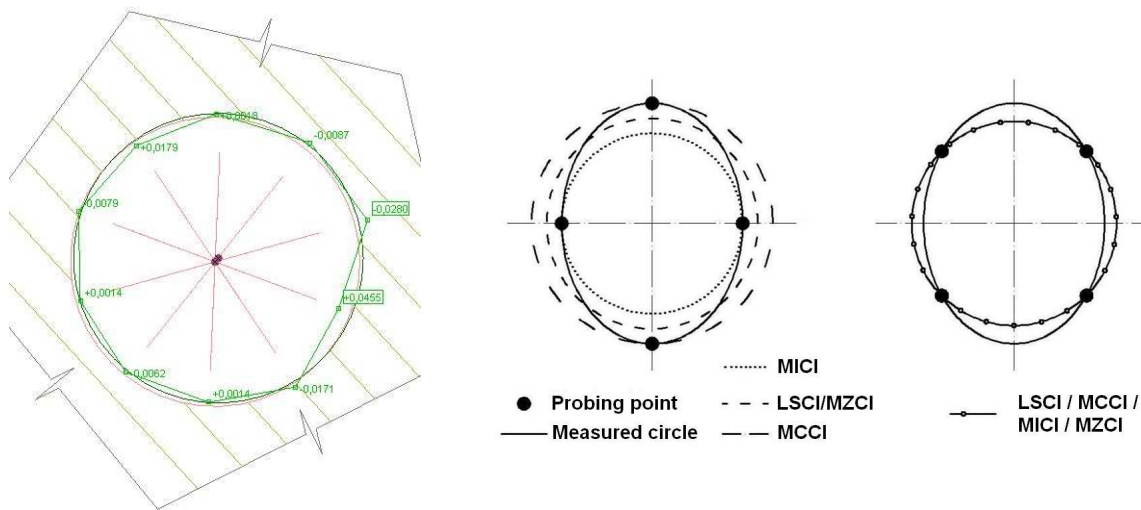


Obr. 1.1 Souřadnicový měřicí stroj LK Integra v laboratoři metrologie

2. Způsoby měření ve třech souřadnicích

2.1 Dotykové měření

Většina měřicích softwarů podporuje kontrolu součásti dotykovou sondou. Využívá při tom CAD-ovského modelu. Metoda spočívá ve snímání jednotlivých bodů na povrchu výrobku. Pokud jsou body nasnímány na některém z běžných geometrických prvků – např. kruhový otvor, proloží měřicí software těmito body ideální geometrický tvar měřeného objektu (v tomto případě kružnici nebo válec) jehož rozměry a polohu porovná s rozměry a polohou jmenovitého útvaru vyskytujícího se na modelu. Z naměřených bodů je software také schopen určit odchylku skutečného tvaru měřeného objektu od ideálního.



Obr. 2.1 Vlevo je ukázka kružnice naměřené dotykovým způsobem
vpravo je ukázka chyby tvaru, kterou dotykové měření nedokáže zachytit [1]

Odchylka zjištěná z dotykového měření (z jednotlivých bodů) však nemá takovou vypovídací schopnost, jako kdybychom geometrický útvar kontrolovali na speciálním jednoúčelovém přístroji (např. kruhoměru). Sonda kruhoměru narozdíl od dotykové sondy SMS sleduje měřený povrch spojitě. Výstup z kruhoměru tak dává informaci o velikosti odchylky v každém bodě útvaru, ne jenom tam, kde jsme se dotkli dotykovou sondou souřadnicového měřicího stroje.

Jestliže body snímané dotykovou sondou leží na obecné tvarové ploše, je způsob vyhodnocení omezen pouze na porovnání polohy sejmutého bodu s polohou odpovídajícího bodu na modelu. Odchylka je pak vyhodnocena jako vzdálenost jmenovitého a skutečného bodu na normále plochy v místě dotyku. Skutečný průběh plochy mezi body dotyku však můžeme při tomto způsobu měření jen předpokládat s ohledem na okolní body dotyku.

2.2 Skenování analogovou sondou

Abychom získali data potřebná pro dokonalý metrologický popis plochy, museli bychom plochu nasnímat z mnoha jednotlivých bodů. Pomocí dotykové sondy to sice možné je, ale snímání by se značně prodloužilo, protože sonda musí po každém sejmutí bodu odjet od měřeného povrchu a znova na něj najet. Proto byly vyvinuty analogové skenovací sondy, které fungují odlišně, než sondy dotykové. Analogové sondy převádějí svoji výchylku na

spojitý signál a umožňují tak sledování tvaru téměř celého povrchu – podobně jako sonda kruhoměru.

V případě, že není k dispozici cadovský model plochy nebo součásti, jsou SMS osazené analogovou sondou významným nástrojem reverzního inženýrství. Pak již nehovoříme o měření, ale spíše o skenování povrchu součástí. Aby jejich využití k tomuto účelu bylo možné, musí být analogový skening podporován v měřicím softwaru, který obvykle také řídí pohyby CNC měřicího stroje.

Velké zahraniční softwarové balíky možnost analogového skenování podporují již dnes. V našich podmínkách brání většímu rozmachu skenování skutečnost, že stroje i softwary jsou nakupovány za relativně vysoké zahraniční ceny, které si mohou dovolit zaplatit jen větší strojírenské podniky nebo podniky se zahraniční účastí.

Díky českému měřicímu softwaru T-DMIS by se mohlo analogové skenování stát dostupným nejen pro naši laboratoř, ale i pro školy a menší podniky.

3. Vývoj softwaru

V rámci doktorského studia se účastním vývoje softwaru T-DMIS. Jeden z cílů mé práce je návrh softwarového modulu, který umožní analogové skenování povrchu součástí. V první fázi to vyžaduje především seznámení s problematikou měření na SMS obecně, dále pak se stavbou a řízením CNC-SMS a ověřováním přesnosti měřicích strojů a metod. Samozřejmostí je důkladné osvojení práce se softwarem T-DMIS a to jak ze strany uživatele, tak částečně i po stránce programátorské.

Po začlenění analogového skeningu do T-DMISu, bych se rád zabýval vytvořením metodiky pro zjišťování dosažitelné přesnosti u CNC souřadnicových měřicích strojů s analogovými sondami.

3.1 Řízení hardwaru

Vývoj softwaru byl dosud zaměřen na vytváření modulu, který dokáže pracovat s cadovskými modely a na rozšíření sortimentu hardwarových zařízení, se kterými je schopen T-DMIS pracovat. Z pohledu aplikace analogového skeningu je důležitá nově zavedená možnost komunikace softwaru T-DMIS s UCC kontrolérem (Universal CMM Controller). UCC kontrolér je zařízení, které lze připojit k libovolnému CNC souřadnicovému měřicímu stroji. Obsahuje řídicí systém, který na jedné straně komunikuje s metrologickým softwarem a na straně druhé řídí všechny pohyby měřicího stroje.

UCC kontrolér, zatím jako jediné z T-DMISem využívaných zařízení, dává možnost ovládat analogovou skenovací sondu a přijímat k dalšímu zpracování data, která jsou sondou snímána. Skenování analogovou sondou se dá rozdělit na dva způsoby, podle toho, kolik os stroje najednou může konat souvislý pohyb. Podle toho budou také rozděleny funkce plánování CNC pohybů v navrhovaném sw. modulu.

3.2 Skenování ve třech osách

– využívá stejný typ měřicí hlavy, jako dotykové měření. Hlava pouze skokově natáčí sondu ve dvou osách s konstantním krokem $7,5^\circ$. Pohyb sondy nutný pro vlastní skenování je

realizován hlavními CNC osami stroje, což přináší komplikace při snaze zachovat plynulý pohyb sondy, bez změny natočení sondy během skenování jednoho povrchu.

3.3 Skenování v pěti osách

– využívá speciální hlavu, která umožňuje sondu natáčet plynule ve dvou osách za současného pohybu hlavních os stroje. Takto je možné digitalizovat prakticky jakýkoliv povrch bez přerušování plynulého pohybu. Narozdíl od tříosého skenování je v pěti osách možné využít pohyb lehkého dotyku sondy ve dvou osách hlavy, zatímco z relativně hmotných hlavních os stroje je v činnosti pouze jedna osa, která doplňuje pohyb dotyku sondy na plnohodnotný 3D pohyb. Takto je minimalizován vliv dynamických účinků pohybu stroje na přesnost skenování.

V brzké době by měly být v laboratoři k dispozici oba typy analogových sond – jak pro tříosý, tak pro pětiosý skenování.



Obr. 3.1 Schéma 5-osého skenování [3]

3.4 Zpracování dat

Při skenování analogovou sondou je neustále vyhodnocována její výchylka. Spojitá výchylka je kontrolérem převedena na diskrétní veličinu. Vzniká tak velké množství dat, která je nutno dále zpracovat. V pojmu zpracování je zahrnuta především filtrace dat. Signál ze sondy obdrženy kontrolérem totiž obsahuje nejen velikost výchylky sondy způsobenou odchylkou geometrického tvaru měřeného profilu, ale obsahuje i výchylku způsobenou mikronerovnostmi (drsnoty) skenovaného povrchu. Filtrovány by měly být ty amplitudy, jejichž vlnová délka odpovídá právě vlnové délce mikronerovností nebo vlnitosti. Díky tomu dostaneme požadovanou informaci o průběhu odchylky geometrického tvaru.

Vzhledem k tomu, že se analogové skenování podobá nejvíce měření kruhovitosti na kruhoměru, bude při návrhu filtračních algoritmů vhodné vyjít právě odtud. Při měření kruhovitosti se používají fázově korigované filtry, které nezpůsobují fázový posuv, vedoucí ke zkreslení profilu [5]. Navržené filtrační algoritmy je nutné otestovat, např. tak, že budou porovnány výsledky měření těže součásti na kruhoměru a na SMS.

4. Skenování pomocí měřicího ramene

Manuální měřicí rameno je zvláštním případem souřadnicového měřicího stroje. Jeho konstrukce je tvořena trubkami z uhlíkových vláken, které jsou spojeny celkem třemi klouby (šest rotačních vazeb). Každá vazba obsahuje rotační snímač polohy. Všechny společně umožňují, sledovat polohu koncového bodu ramene (měřicího dotyku) a následně ji převádět do kartézských souřadnic.

Obr. 4.1 Manuální měřicí rameno[2] ->



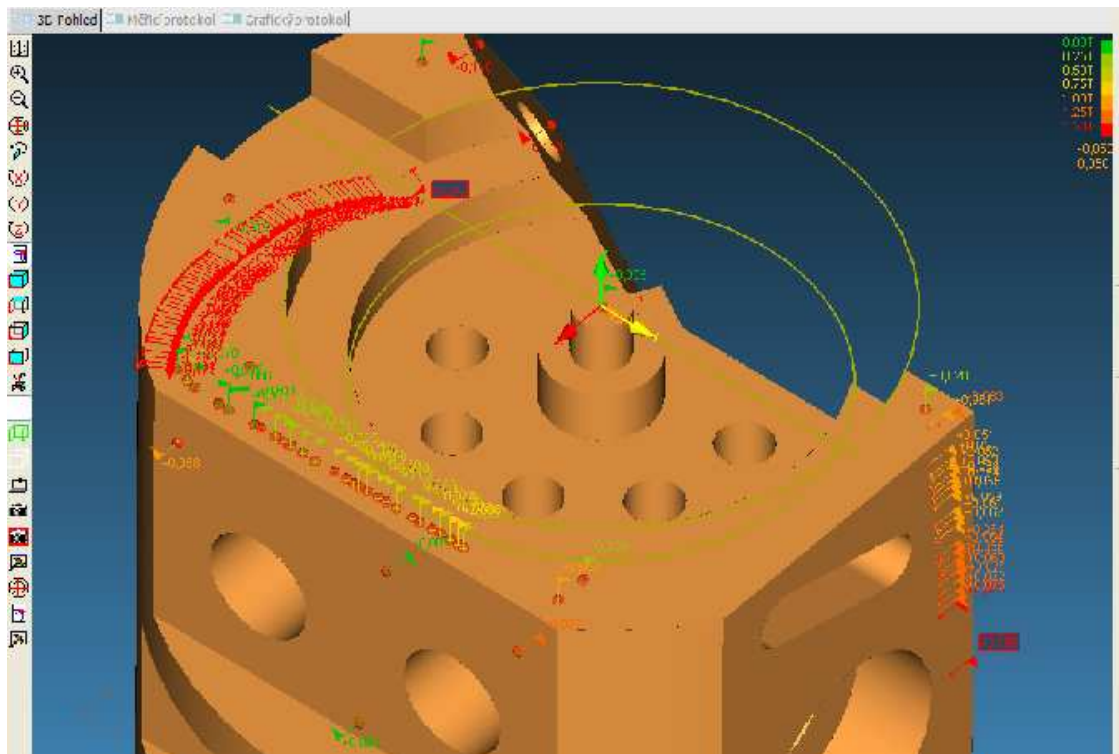
Rameno je vybaveno pevnou dotykovou sondou. Přiložením dotyku pevné sondy k povrchu součásti a stisknutím spínače je možné snímat jak jednotlivé body, tak skenovat celý povrch. Narozdíl od analogového skeningu se zde nevyhodnocuje výchylka sondy (dotyk je pevný). V okamžiku stisknutí spínače se poloha měřicího dotyku převede na kartézské souřadnice – tak získáme souřadnice jednoho změřeného bodu. Budeme-li dotykem ramene posouvat po měřené ploše a souřadnice zaznamenávat v určitých časových intervalech nebo po ujetí určité vzdálenosti, získáme podobnou množinu bodů, jako bychom dostali při skenování analogovou sondou.



Obr. 4.2 Pevný dotyk sondy ramene [4]

Omezením a zároveň výhodou je relativně malá přesnost měřicího ramene, která dosahuje setin milimetru. Oproti CNC souřadnicovým strojům se rameno může jevit jako nepřesné. Díky tomu však není nutné provádět filtraci mikronerovností ze skenovaných dat a sejmuté body lze přímo využít k dalšímu zpracování např. exportu do softwaru CAD.

Do doby, než budou pro vývoj zapůjčeny nebo zakoupeny analogové skenovací sondy, poslouží měřicí rameno k nabírání množin bodů, které budou testovacími daty pro vývoj grafické části navrhovaného softwarového modulu. Grafická část zajistí možnost proložení naměřených bodů křivkou nebo plochou, která se dá dále využít v některém CADu. Předpokládá se, že navržené grafické jádro bude využitelné také pro zpracování bodů naskenovaných analogovou sondou.



Obr. 4.3 Body naskenované ramenem zobrazené na povrchu modelu

5. Přesnost SMS

Nedílnou součástí práce se souřadnicovými měřicími stroji je ověřování a zlepšování jejich přesnosti. Vzhledem k tomu, že běžně měřené odchylky se pohybují v řádu setin milimetru, je nutné mít stroj zkalibrovaný s přesností řádu mikrometrů.

Postup při kalibraci SMS je normalizován a udává ho ČSN EN ISO 10360. Nevyhoví-li stroj při kalibraci, tj. je-li odchylka od hodnoty naměřené na koncové měrce větší než dovoluje vzorec přesnosti daného stroje, je nutné přesnost stroje zlepšit. To je možné pomocí softwarové korekční mapy – tzv. metoda 21 chyb.

Jedná se o systém nelineárních korekcí, kde je pracovní prostor stroje rozdělen na malé úseky a každému úseku přísluší jiná hodnota korekce. Korekční mapa se pořizuje pomocí laserinterferometru a elektronické libely. Vyhodnocuje se rozdíl mezi hodnotou souřadnice, kterou ukáže odměřovací systém stroje a hodnotou změřenou laserinterferometrem. Pomocí laserinterferometru a soustavy odražečů paprsku lze zjistit deformaci mechanických částí stroje. Korekční mapou je možné vyloučit nepřesnost způsobenou touto deformací.

6. Shrnutí

Souřadnicové měřicí stroje poskytují řadu možností měření – dnes běžně rozšířený dotykový způsob, skenování kontaktní analogovou sondou nebo i bezkontaktní skenování laserovou skenovací hlavou. Hlavní náplní mého studia je právě skenování kontaktní analogovou sondou. Nejprve je nezbytné začlenit tuto metodu do metrologického sw. T-DMIS. Poté budou stanoveny vhodné postupy měření, s ohledem na využití maximální přesnosti, kterou lze skenováním dosáhnout. Nakonec by měly být vyřešeny i další úkoly, které metoda nabízí – např. spojení jednotlivých naskenovaných ploch v jeden CAD-ovský model nebo detekce kolize sondy a měřené součásti.

Použité zdroje

- [1] GAPINSKY, Bartosz, RUCKI, Miroslaw. Analysis of roundness measurement with CMM., *Nové poznatky v technologiích a technologické informace 2008*. [s.l.] : [s.n.], 2008. s. 4.
- [2] *Metris - Manual CMM arm - Articulated arm - Portable CM* [online]. [2006] [cit. 2008-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.metris.com/products/articulated_arms/mca_manual_coordinate_measuring_arm/>
- [3] *RenScan 5* [online]. c2008 [cit. 2008-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.renscan5.com/en/6055.aspx>>.
- [4] Interní materiály firmy Topmes v.o.s.
- [5] ČSN EN ISO 11562:1999, Geometrické požadavky na výrobky – Metrologické charakteristiky fázově korigovaných filtrů