

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Porovnání možností souřadnicových měřicích strojů

Bakalářská práce

Vypracovala: Starková Rebeka

Vedoucí práce: Ing. BcA. Podaný Jan, Ph. D.

Rok: 2017

Anotační záznam

Jméno autora: Rebeka Starková

Název bakalářské práce: Porovnání možností souřadnicových měřicích strojů

Název bakalářské práce v anglickém jazyce: Comparing the capabilities of CMMs

Rozsah práce:

22 stran

1 tabulka

22 obrázků

Akademický rok 2016/2017

Ústav: 12134 ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Studijní program: TZSI

Vedoucí práce: Ing. BcA. Podaný Jan, Ph. D.

Klíčová slova: souřadnicové měřicí stroje, měřicí rameno, manuální měřicí stroj, stroj s řízeným pojezdem

Key words: coordination measuring machines, measuring arm, manual coordinate measuring machine, computer controlled coordinate measuring machine

Abstrakt

V této bakalářské práci budu porovnávat souřadnicové měřicí stroje s manuálním pohonem se stroji s číslicovým řízením pohonu. Nejprve se zaměřím na popis souřadnicového stroje obecně, princip, na kterém pracuje a různé způsoby využití, poté popíši rozdíly strojů, které porovnávám a závěrem by mělo být zhodnocení, který stroj je na co vhodný a proč.

Abstract

This thesis will compare manually controlled and computer controlled coordinate measuring machines. This study will first concentrate on a general description of coordinate measuring machines, the principle according to which they work and their different industrial applications, before describing and comparing different machines and finally evaluating which type of machine is suitable for what purpose and why.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářkou práci vypracovala sama, a všechny použité zdroje řádně citovala na konci práce v seznamu citací.

V Praze dne.....

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Ing. BcA. Podanému Janu, Ph. D., za vedení mé práce.

Obsah

Úvod.....	10
Souřadnicové měřicí stroje	11
Využití.....	11
Princip	11
Konstrukce	12
Kontrola výrobku	12
Typy konstrukcí SMS	14
Konstrukce mostová	14
Konstrukce výložníková	14
Konstrukce portálová.....	15
Konstrukce sloupová/stojanová	15
Řídicí systémy.....	16
Pohon pomocí ozubeného kola a pastorku	16
Řemenový pohon.....	16
Třecí pohon	17
Vodící šroub	17
Lineární řízení motoru	17
Senzory pro souřadnicové měřicí stroje	18
Vizuální senzory	18
Dotykové senzory.....	19
Odměrovací systém	21
Princip optické lineární mřížky.....	21
Souřadnicové měřicí přístroje s ručním pojezdem	24
Stroj konzolového typu s ručním pohonem.....	24
Využití.....	24
Přenosná měřicí ramena.....	25
Využití.....	25
Souřadnicové měřicí stroje s poháněným pojezdem	26
Využití.....	26

Měření a porovnání výsledků	27
Doba potřebná pro kontrolu shodných geometrických veličin.....	28
Přesnost	28
Opakovatelnost.....	28
Závěr	30
Zdroje	31
Seznam obrázků.....	32
Seznam tabulek.....	32
Seznam příloh	32

Úvod

Metrologie je čím dál více využívaným oborem. Téměř každá vyrobená část podléhá přísné kontrole, požadovaná přesnost součástí je stále přísnější. Vyžadováno je měření v tisícinách i desetitisícinách milimetrů.

Vysoké nároky nejsou pouze na přesnost, ale také na rychlost měření. Doba měření by nikdy neměla přesáhnout dobu výroby součásti. Je tedy zřejmé, že souřadnicové měřicí stroje jsou velmi využívanými. V každé automatické výrobní lince se nachází alespoň jeden takovýto stroj.

Jeden souřadnicový měřicí stroj nám může nahradit i několik měřidel. Některé prvky, jako například souosost, rovinnost, rovnoběžnost, jsou na jiných měřicích strojích velmi špatně měřitelné.

Souřadnicové měřicí stroje

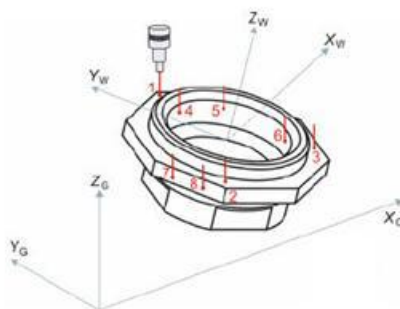
Využití

Souřadnicové měřicí stroje slouží k měření geometrických prvků jako je délka, průměr, úhel, sklon a rovnoběžnost. K SMS lze připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které automaticky registruje naměřené hodnoty, výsledky můžeme mít buď znázorněny graficky, nebo v tabulce. [2]

Souřadnicové měřicí stroje jsou nedílnou součástí automatizovaných linek. Rozlišujeme stroje s ručním režimem, kde si operátor přivolá kontrolovanou součást, poté buď stroj řídí ručně, nebo zapne měřicí program. Výsledky se zpracují automaticky, ale hlášení o chybě musí odeslat operátor. Dále stroje s poloautomatickým režimem, obrobek se dostane sám do prostoru měření a operátor pouze spustí měřicí program, případně odešle hlášení o chybě, a stroje s automatickým režimem, kde probíhá vše automaticky a není potřeba obsluhy operátora.[3]

Princip

Stanovíme stroji bod v prostoru jako počátek a poté polohu měřených bodů měříme pomocí os X, Y, Z. Máme tedy více souřadnicových systémů, souřadnicový systém stroje a souřadnicový systém součástky, na jedné součástce můžeme mít i více souřadnicových systémů. Měřený bod zjišťujeme buď dotykovým senzorem, nebo bezdotykovým (optickým) senzorem.[3][5]



Obrázek 1 Souřadnicový systém stroje a součástky [5]

Konstrukce

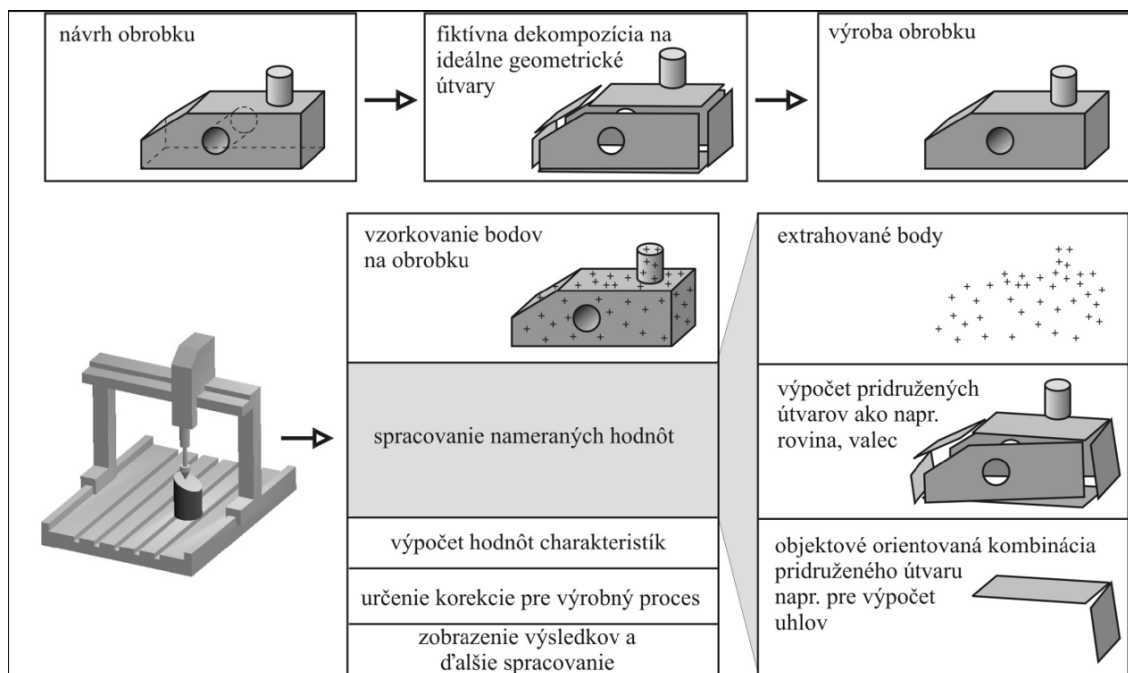
Při konstrukci dbáme o co největší pevnost a stálost stroje, také na rovinnost a kolmost, aby byl co nejpřesnější. Uložení posuvných součástí je řešeno, tak aby se posuvné součásti mohly pohybovat lehce a plynule i při malých rychlostech. Nejčastěji se používá vedení aerostatické s plynným třením nebo valivá vedení s malým třením.[3]

Základní požadavky kladené na části ovlivňující přesnost měření, nesoucí nějaký senzor jsou rozměrová stálost, velká pevnost, nízká hmotnost, vysoká míra tlumení, nízký koeficient tepelné roztažnosti, dobré vedení tepla.[4]

Kontrola výroby

Před samotným měřením musíme nejdříve připravit měřicí program a zvolit vhodné upnutí obrobku poté lze provést vlastní měření, které následně vyhodnotíme. Měřicí program lze připravit mimo měřicí stroj, šetříme tím pracovní čas stroje. [1]

Příklad postupu měření viz obr.2 [5]




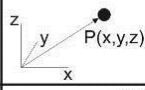
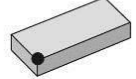

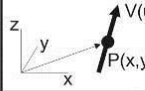


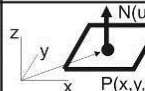


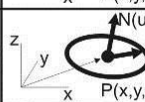


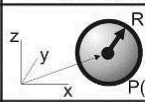


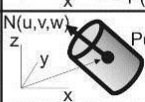


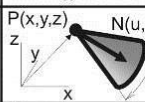

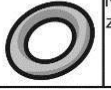
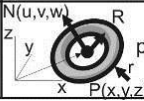

Obrázek 2 princip souřadnicového měření [5]

Geometrické prvky můžeme skenovat nebo načíst několik bodů.[5]

Načítání jednotlivých bodů je prováděno měřicí hlavou s dotykovým senzorem, která se pohybuje směrem k součásti, když dojde k vychýlení senzoru, zařízení vyše elektrický signál pro zapsání souřadnic.[3]

Pro spojitá měření se používají složitější měřicí hlavy, které mají zabudovaný vlastní měřicí systém a jejich úkolem je, aby po celou dobu měření byli v kontaktu s měřeným objektem. Také se na skenování často používají optické měřicí snímače.[3]

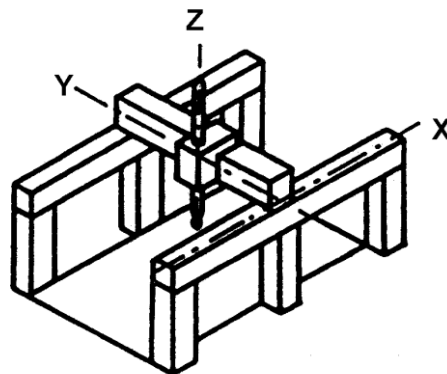
Tabulka 1 Základní geometrické útvary [5]

Útvary	Príklady a popisujúce parametre	Minimálny počet bodov pre definovanie	Príklady v praxi
Bod 	 pozičný vektor $P(x,y,z)$	1	 roh hranola (priesečník troch pravouhlých rovín)
Priamka 	 bod smer $V(u,v,w)$ $P(x,y,z)$	2	 hrana hranola (priesečník dvoch pravouhlých rovín)
Rovina 	 bod kolmica $N(u,v,w)$ $P(x,y,z)$	3	 rovina hranola
Kružnica 	 bod kolmica polomer $N(u,v,w)$ R $P(x,y,z)$	3	 vzťažná kružnica dier
Guľa 	 bod polomer R $P(x,y,z)$	4	 upínanie prívesného vozíka
Válec 	 bod smer polomer $N(u,v,w)$ R $P(x,y,z)$	5	 hriadeľ
Kužeľ 	 bod smer uhol kužeľa $N(u,v,w)$ R $P(x,y,z)$ α	6	 upínací kužeľ vrtáčky
Anuloid 	 bod, smer polomer prstenca polomer vodiča R r $P(x,y,z)$	7	 zaoblenie na válci

Typy konstrukcí SMS

Konstrukce mostová

Vhodná pro největší rozsahy měření. Vyznačuje se dobrou přístupností k měřenému objektu, ale horší přesností. Své uplatnění nalezne hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu.[1]

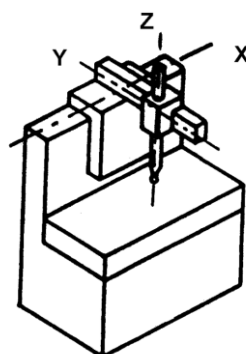


mostový

Obrázek 3 Mostová konstrukce [1]

Konstrukce výložníková

Má menší prostorovou kapacitu než mostová, ale je zde lepší přístup k měřené součásti. Abychom docílili potřebnou tuhost, je osa Y poměrně krátká, tento stroj se nejlépe hodí na dlouhé součásti. [1]

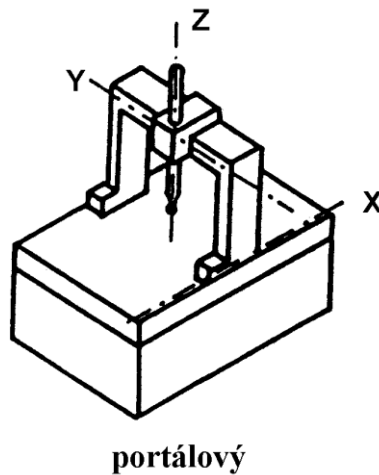


výložníkový

Obrázek 4 Výložníková konstrukce [1]

Konstrukce portálová

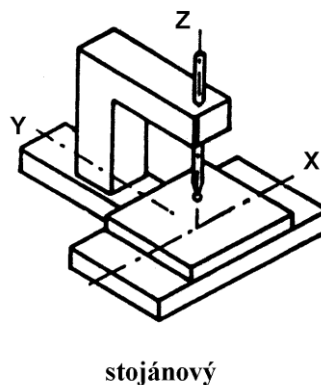
Je vhodný především pro stření až velké rozsahy. Vyznačuje se velkou tuhostí, díky které docílíme vysoké přesnosti. Nevýhodou je omezená dostupnost k měřené součásti. Rozlišujeme dva druhy s pevným portálem a s pohyblivým portálem. [1]



Obrázek 5 Portálová konstrukce [1]

Konstrukce sloupová/stojanová

Vyznačují se relativně malým rozsahem měření, při dobré přístupnosti k měřenému objektu dosahujeme největší přesnosti. Díky dělicím stolům, kterými bývají vybaveny, můžeme měřit v polárních souřadnicích. [1]



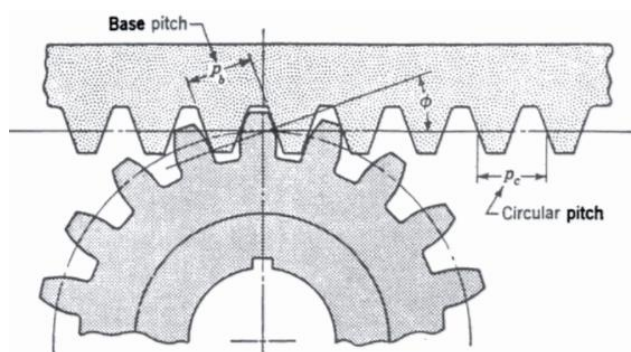
Obrázek 6 Stojanová konstrukce [1]

Řídicí systémy

Souřadnicový měřicí stoj vyžaduje rychlý řídicí systém a tuhé vodící linky. Účel řídicího systému je pouze vykonávat pohyb sondy, nikoli odečítání souřadnic. [4]

Pohon pomocí ozubeného kola a pastorku

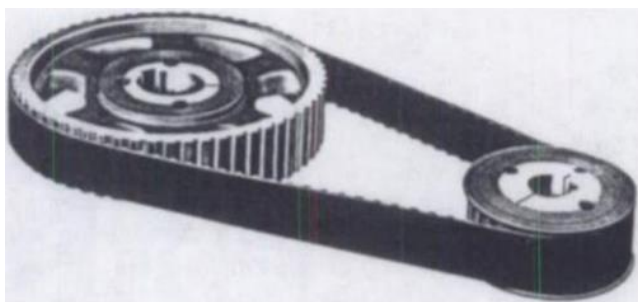
Většinou pastorek je řídicí kolo a ozubené kolo, kolo řízené. Nejčastěji nacházejí uplatnění tam, kde jsou dlouhé vzdálenosti na přejezd, například u portálových konstrukcí. Vůle a nepřesnosti ozubení ovlivňují přesnost souřadnicového měřicího stroje. Tento typ řízení je většinou v levnějších variantách stroje. [4]



Obrázek 7 Systém kola a pastorku [4]

Řemenový pohon

Skládá se z řemene, vícestupňové rychlostní převodovky a servomotoru. U manuálně řízených stroj je odpojovací zařízení, které umožňuje operátorovi odpojit nebo připojit pohyblivé osy od řídicího systému, aby bylo možno manuálně posouvat měřicí sondu. Díky řemenu docílíme tichého chodu. Je možno rychlého rozjezdu a rychlého pohybu, ale nevýhodou řemenu je omezení dané jeho elasticitou.[4]

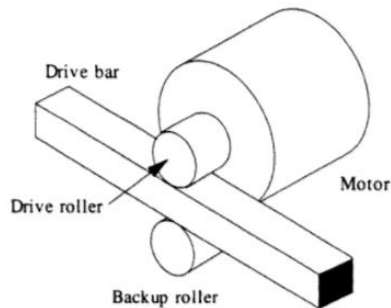


Obrázek 8 Řemenové řízení [4]

Třecí pohon

Skládá se z řídicího kola, ploché nebo kulaté tyče a podpěrného válečku. Výhodou tohoto systému je jednoduchý design, nízké třecí síly a minimální ztráty a nepřesnosti. Za podmínky dobrého servo systému a zpětné reakce má měřicí stroj s tímto systémem relativně dobrou přesnost.[4]

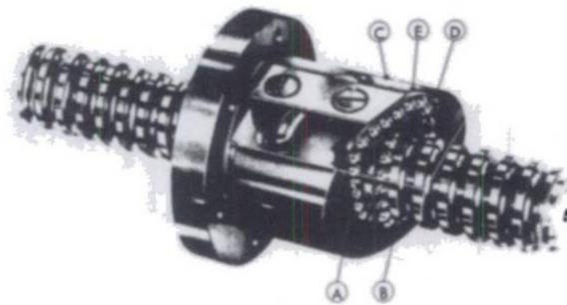
Nevýhodou je relativně malá účinnost hnací síly a nízká tuhost a tlumení. [4]



Obrázek 9 Třecí pohon [4]

Vodící šroub

Převádí rotační pohyb z motoru na lineární pohyb vedení. Má velmi dobrou dynamickou tuhost. Jeho nevýhodou je neschopnost přepnout do manuálního režimu.[4]



Obrázek 10 Vodící šroub [4]

Lineární řízení motoru

Je málo používané, používá se primárně pro osový pohyb. Proti ostatním pohonům je drahé.[4]

Senzory pro souřadnicové měřicí stroje

Slouží k zachycení primárního signálu měřeného objektu. Výběr senzoru závisí na podmínkách měření, citlivosti objektu na dotyk, velikost měřených geometrických prvků a počtu měřených bodů.

Rozlišujeme spínací a měřicí senzory viz dále.

Další rozdělení je na optické a dotykové senzory. Optické senzory získávají informace o poloze bodu pomocí světla. Dotykové senzory jsou vybaveny snímacími prvky většinou ve tvaru koule, který se musí dané součástky dotknout.[2]

Vizuální senzory

Senzory, které dokáží alespoň dvourozměrné zobrazování měřeného objektu. V minulost nejčastějším vizuálním senzorem bylo lidské oko, to ale vnášelo do měření nepřesnosti.[2]

Hranový senzor

Pomocí tenkého skleněného vlákna zachycuje světelný signál, který dále vede do fotomultiplikátoru. U každého předmětu pohybujícího se přes dráhu paprsků vytvoří každá jeho hrana přechod světlá – tmavá popřípadě naopak, to vyše elektrický signál a zaznamenají se souřadnice.[2]

Senzor zpracování obrazu

Měřený objekt zobrazuje přes objektiv na matricové kameře. Poté elektronika kamery dokáže převést optické signály na digitální obraz. Tento obraz se použije ve vyhodnocovacím počítači k výpočtu měřených bodů.[2]

Senzory měřící vzdálenost

Jelikož výše popsanými optickými senzory lze provádět pouze měření v rovinách potřebujeme pro 3D měření další doplňkovou metodu k měření ve třetí souřadnici.

Senzor, s jehož pomocí měříme třetí souřadnici, zjišťuje vzdálenost mezi senzorem a povrchem dílce. Označujeme ho jako senzor měřící vzdálenost.[2]

Autofokus

Hardwarové části jsou stejné jako u senzoru zpracování obrazu. Při pohybu senzoru ve směru optické osy se vytvoří ostrý obraz jen v jednom místě. Ostrého obrazu dosáhne senzor jen tehdy, pohybuje-li se v oblasti, v níž leží rovina měřeného předmětu. Z této polohy lze určit polohu bodu.[2]

Laserové bodové senzory

Na měřený objekt promítáme světelný paprsek, vytvořený většinou laserovou diodou. Odrazí se světelná skvrna, která se zobrazí na optoelektrickém senzoru.[2]

Vícerozměrné senzory měření vzdálenosti

jeden ze způsobů je podobný jako u laserové triangulační metody, laserový paprsek se uvede do pohybu pomocí pohyblivého zrcadla.[2]

Dotykové senzory

Princip funkce spočívá v mechanickém dotyku dotykového senzoru s měřeným objektem. Ve výsledném měření musíme počítat s geometrií snímacího tvarového prvku, aby nedošlo k chybě. Velký průměr snímací koule může způsobit větší chybu a potlačit malé odchylky povrchu.

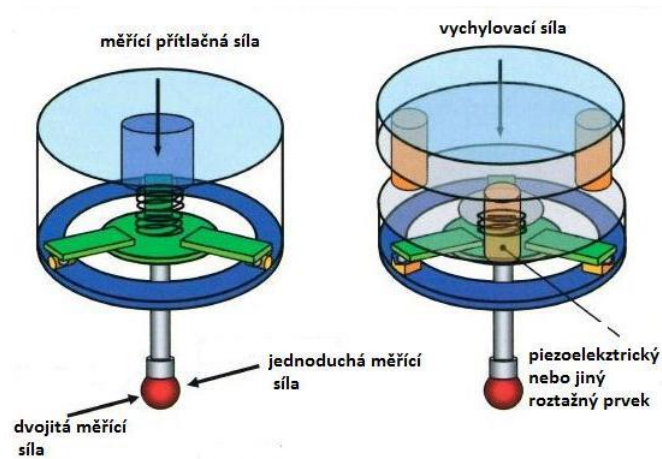
Na měřeném geometrickém prvku je potřeba zachytit více bodů. U prvků s geometrickými odchylkami je potřeba bodů co nejvíce.[2]

Spínací dotykové senzory

Obvykle pracuje na principu odměřování tří bodů. Dotkne-li se senzor měřeného objektu, vyšle signál k přečtení souřadnic odměřovacím systémem souřadnicového měřicího stroje. Měřený bod vyčteme ze souřadnic měřicího stroje a je vztažen ke středu snímací koule. Koule je přes tuhý dřík upevněna na trojbodovém uložení, každý ze tří bodů zde má funkci snímače. Nevýhodou tohoto systému je, že je závislý na směru.

U vysoce kvalitních snímacích systémů používáme, k převodu mechanického signálu na elektrický, převodníky, jako například piezoelektrické prvky nebo roztažné pásy. Díky kterým je systém nezávislý na směru.[2]

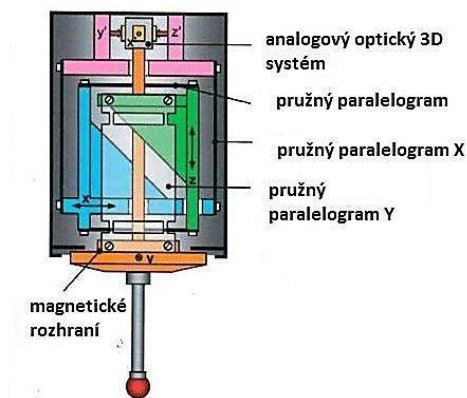
Nevýhodou spínacích senzorů je, že po každém sepnutí musí odjet od měřené součásti, což stojí čas.[2]



Obrázek 11 Spínací dotkový snímač [2]

Měřicí dotkové senzory

Senzor je vybaven systémem měřicím dráhu. Můžeme zjistit velikost vychýlení měřicí koule při dotyku. Měřicí bod získáme překrytím měřicího senzoru a souřadnicového systému měřicího stroje. Pro měření víc bodů tedy nemusíme snímač odsunout od měřeného povrchu[2]

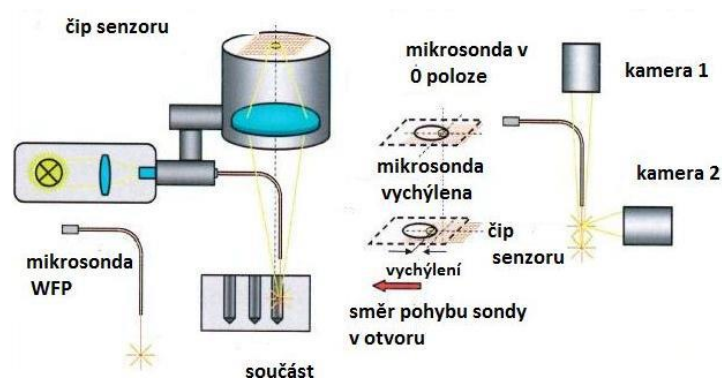


Obrázek 12 Měřicí dotkový snímač [2]

Měřicí dotykově optické senzory

U klasických dotykových senzorů se přenášejí signály přes tuhý dřík, ten musí být co nejpevnější, jelikož každé prohnutí dříku vnáší do měření nepřesnosti. To vede k poměrně velkým rozměrům snímacích senzorů a velkým silám, což pro měření malých geometrických útvarů není úplně vhodné.

U dotykově optického senzoru využíváme dřík snímače pouze k umístění snímací koule do požadované polohy a vlastní měření polohy probíhá pouze pomocí senzoru.



Obrázek 13 Měřicí dotykově optický senzor [2]

Odměrovací systém

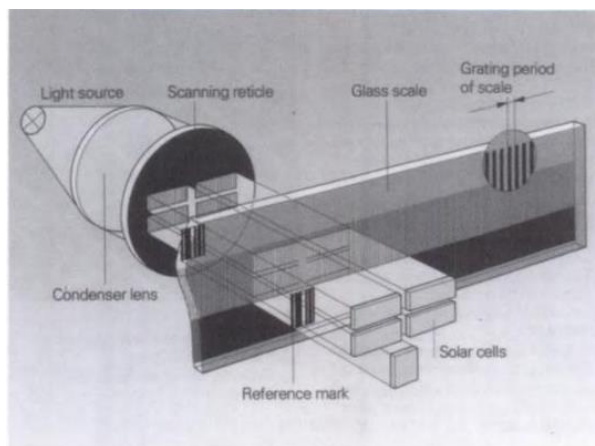
Princip optické lineární mřížky

System se skládá z měřítka a elektricko-optické snímací hlavy. Jedna z těchto částí je umístěna na pohyblivé části stroje. Díky relativnímu pohybu mezi těmito dvěma částmi jsme schopni získat polohu.[5]

Známe tři základní typy měřítka

Skleněné měřítko opatřené mřížkou

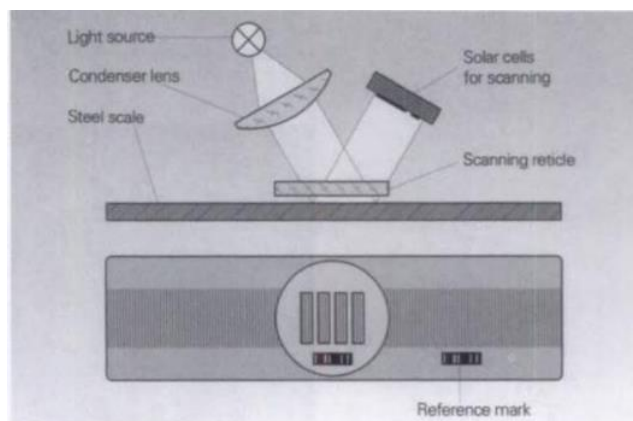
Mřížka se sestává z rysek propouštějící světlo a s rysek nepropouštějící světlo. Tmavých pruhů je 50-100 v 1 milimetru. Snímací hlava je vybavená zdrojem světla, čočkou pro nasměrování světelných paprsků a fotočlánky. Pokud se snímací hlava pohybuje, překrývají se střídavě mezery a rysky mřížky měřítka a snímací masky, fotočlánku po zaznamenání změny světla a tmy vysílají elektrické signály. Výchozí signály z fotočlánku jsou dvě sinusoidy vůči sobě o 90°fázově posunuty.[5],[3]



Obrázek 14 Měření pomocí skleněného měřítka [4]

Měřítka na ocelovém pásku

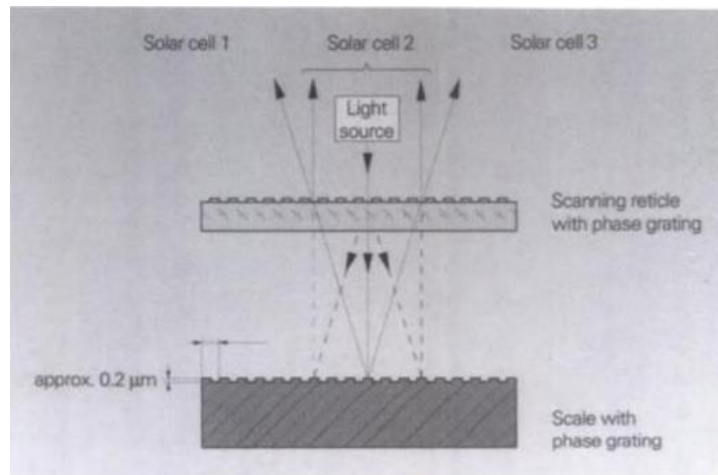
Na ocelovém měřítku jsou reflexní proužky, které světlo odrážejí a mezery, které světlo pohlcují. Když se hlava pohybuje, fotobuňky vysílají sinusový signál podobný jako u skleněné mřížky.[4],[5],[3]



Obrázek 15 Měření pomocí ocelového měřítka [4]

Interferenční systém odměřování

Používá mřížkové měřítko s roztečí jednotlivých linií 100 a více v jednom milimetru a skleněné měřítko s fázovým měřítkem o výšce stupňů cca $2\mu\text{m}$ fotoelektrická hlava čte spojení odrazu ze skleněného měřítka a referenční mřížky na měřicí hlavě. Elektrickým výstupem jsou opět sinusové vlny. [4],[5],[3]



Obrázek 16 Měření pomocí interferenčního měřítka [4]

Souřadnicové měřicí přístroje s ručním pojezdem

Jsou přístroje, u kterých musí operátor dojet do místa měření pomocí ručního ovládání.

V této kapitole se zaměřím na dva druhy SMS s ručním pojezdem, a to na stroje konzolového typu a na přenosná měřicí ramena.

Stroj konzolového typu s ručním pohonem

Je stroj běžné konstrukce, viz výše. Pohyb jednotlivých součástí není řízen motorem, ale operátor musí pomocí klíček si najet na místo, kde počítač odečte souřadnice.

U strojů je požadováno, aby část, která se pohybuje, byla co nejlehčí. Operátor by neměl k ovládání, rozjezdu a brždění nikdy využít velkou sílu, aby nedošlo ke zničení snímače nebo celého měřicího systému. Aby bylo zajištěno lehké ovládání, je nejčastěji využívaným uložením posuvných částí na vzduchových ložiskách.[10]



Obrázek 17 Manuální provedení SMS[9]

Využití

Stroje manuálně řízené se hodí do jednodušších aplikací s malou pravděpodobností opakování měření. Jednou z podmínek měření je viditelnost a snadná přístupnost měřených ploch. [3]

Své využití nacházejí i v malosériové výrobě menších firem, nebo v laboratorním prostředí.

Není vhodný pro měření vnitřních prostor, ani pro měření hran, které nejsou rovnoběžné s osou souřadného systému stroje.[3]

Přesnost je v setinách až tisícinách milimetrů, závisí na šikovnosti operátora a citlivosti snímací sondy.

Přenosná měřicí ramena

Jsou to stroje pro ruční měření s šesti rotačními snímači, souřadnice z těchto snímačů jsou pak převáděny na klasické souřadnice x, y, z., pracovní prostor má díky tomu tvar koule o průměru daném délkou ruky stroje. [6]

Snímací hlava je vybavena pevným kontaktem, i při skenování se kontakt nehýbe, souřadnice jsou zjišťovány ze snímacích kontaktů umístěných na kloubech ramene. [8]

Využití

Nejčastěji nacházejí využití tam, kde měřenou součást nelze přemístit do stacionárního typu souřadnicových měřidel. Dále mohou být využity například ve výrobě, rameno je lehce přenosné a rychle ustavitelné, můžeme měřit přímo na obráběcím stroji bez nutnosti vyjmutí součástky. [6]

Přesnost ramen dosahuje řádově setin milimetrů. Je tedy méně přesný než stacionární stroj. [8]



Obrázek 18 Měřicí rameno [7]

Souřadnicové měřicí stroje s poháněným pojezdem

Jsou to stroje, které k pohybu jednotlivých součástí využívají motoru. Dráha pohybu je určena předem připraveným programem. Program, který máme pro motorizovaný stroj je možnou použít i pro stroj manuálně řízený, v opačném případě je program nutno doplnit o polohové příkazy. [3]



Obrázek 19 SMS s poháněným pojezdem [9]

Využití

Využití těchto strojů je převážně v průmyslu, kde jsou součástí automatických linek. Jejich výhodou je rychlost měření, nenáročnost na obsluhu, přesnost už zde nezávisí na šikovnosti operátora, dobrá opakovatelnost, rychlost výměny programu pro další jiné měření.

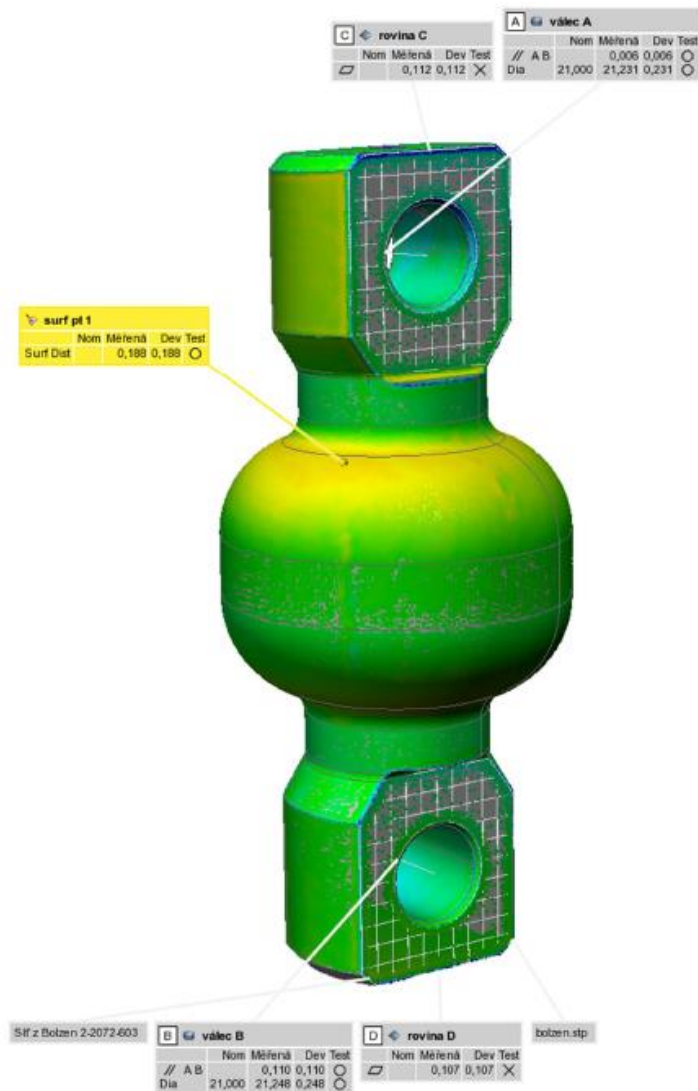
Měřicí systém můžeme mít zabudovaný přímo do obráběcího stroje, zde je výhodou, že můžeme měřit součást, aniž bychom ji vyndali ze stroje, měříme na stejné upnutí, jak obrábíme, je možná kontrola polotovaru před zahájením obrábění.

Program pro měření se vytváří mimo měřicí stroj.

Měření a porovnání výsledků

Pro porovnání výsledků provedu měření jednoho stejného dílu na stroji manuálně řízeném, stroji s poháněným pojezdem a měřicím ramenem. Při porovnávání se zaměřím na přesnost měření, opakovatelnost měření a dobu trvání měření.

Na stacionárních strojích jsem měřila pomocí dotykového senzoru vybaveného rubínovou kuličkou o průměru 1 milimetr, a výstupem je tabulka naměřených hodnot, zatímco na rameni jsem měla optický skener, který mi naskenoval celou součást a výstupem je obrázek. Tento obrázek je možné přímo porovnat s modelem součásti a program nám barevně ukáže nejkritičtější místa.



Obrázek 20 příklad obrázkového výstupu

Doba potřebná pro kontrolu shodných geometrických veličin.

Vzhledem k tomu, že já jsem měřila pouze jeden díl, tudíž se nejednalo o žádné opakování měření, bylo rychlejší měření na manuálním stroji, který mi dovolil rovnou začít podle naplánovaného postupu měřit. Všechny mnou zvolené prvky pro kontrolu jsem měřila 10 minut. Stroj s poháněným řízením, aby byl schopný sám měřit, potřebuje program, jehož napsání zabere relativně dlouhou dobu, nicméně poté samotné měření trvalo 2 minuty a dalo by se ještě zrychlit spuštěním rychlejšího přejezdu a vyladěním programu tak, aby přejezdy byly co nejkratší.

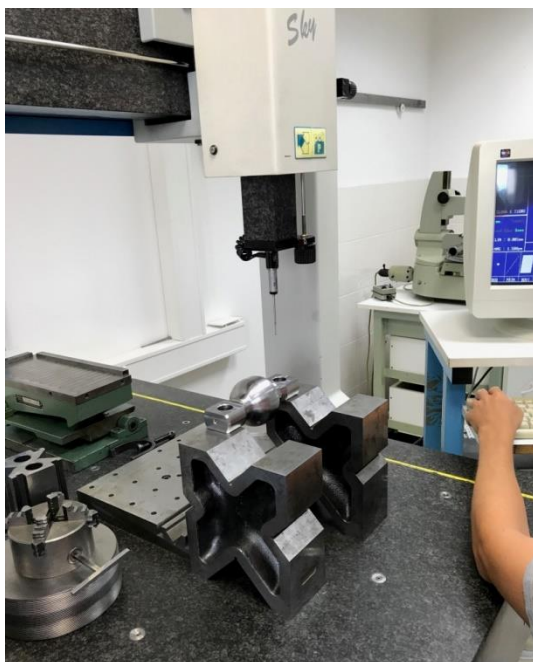
Rameno jsem měla vybavené optickým senzorem, využila jsem tedy možnosti naskenovat součást, což celé trvalo asi 2 minuty. Výsledkem měření je obrázek, z kterého pomocí programu náležícího ke stroji vyčteme rozměry, které potřebujeme. To nám zabere řádově minuty.

Přesnost

Manuální stroj, na kterém jsem měřila, dokázal měřit v tisícinách a poháněný stroj v deseti tisícinách milimetrů. Rameno na tak malé součásti dokáže měřit s přesností v tisícinách milimetrů, jinak výrobce udává, že dovolená odchylka na rozsah ramene, tedy dva metry jsou čtyři setiny milimetrů při použití optického snímače a dvě setiny milimetrů při použití kuličky. Příznivěji mi vycházely výsledky ze stroje s poháněným pojezdem než s manuálním. Největší chybu od výkresových hodnot jsem naměřila na ramenu. Výsledky měření a výkres měřené součástky přikládám v příloze.

Opakovatelnost

Jak již jsem psala výše, stroj s poháněným pojezdem se nejvíce hodí pro měření, která se často opakují, další dva stroje jsou vhodnější pro měření méně kusů. U ramene nás tolik nezajímá opakovatelnost, tam spíše oceníme možnost snadného přemístění a možnost měřit v terénu.



Obrázek 21 Měření na stacionárním stroji



Obrázek 22 Měření měřicím ramenem

Závěr

Souřadnicové stroje mohou být různých konstrukcí, vybaveny různými snímacími systémy, různými pohony, což vše ovlivňuje přesnost a také cenu stroje. Já jsem své měření prováděla na portálových strojích jednou s ručním řízením, jednou s poháněným pojezdem a na měřicím rameni.

Ověřila jsem si, že stroj s poháněným pojezdem je přesnější a také rychlejší. Jeho nevýhodou je ovšem cena, ta je vyšší než u manuálního stroje. Rameno je nejméně přesné, ale ne vždy je potřeba přesnost v tisícinách až deseti tisícinách milimetrů. U ramene využijeme možnosti snadného přemístění, měření velkých součástí bez nutnosti ji přenášet. Velké součásti jako například karoserie automobilů měřit v deseti tisícinách milimetrů není potřeba.

Manuální stroj je pomalejší, ale nepotřebuje pro měření program, také je levnější, sice je méně přesný než stroj s poháněným pojezdem, jsme však stále schopni měřit v tisícinách milimetrů i lépe pokud máme šikovného operátora.

Na rameni jako jediném jsem použila metodu skenování pomocí optického snímače. Nevýhodou strojů, které dokáží opticky skenovat součást je, že k nim potřebujeme velice výkonný počítač, aby dokázal v rozumné době zpracovat tak velké množství dat jako nám ze skenování přijde.

Manuální stroj je vhodný pro měření bez předvídání opakování pro jednoduchá měření a v podnicích, kde se měří malé počty kusů a nevyplatilo by se pořizovat dražší stroj. Stroj s poháněným pojezdem oceníme například na výrobní lince, kde se kontroluje velké množství kusů, a rameno oceníme při kontrole velkých součástí.

Zdroje

- [1] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0672-x.
- [2] CHRISTOPH, Ralf a Hans Joachim NEUMANN. *Multisenzorová souřadnicová měřicí technika: měření rozměrů, tvarů, polohy a drsnosti - opticky, dotykově a rentgenovou tomografií*. 4. přeprac. a rozš. vyd. Uherské Hradiště: PRIMA Bilavčík, 2008
- [3] Technická univerzita v Liberci- katedra výrobních systémů a automatizace. *Souřadnicové měřicí stroje* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z <
<http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522> >
- [4] BOSCH, John A. *Coordinate measuring machines and systems*. New York: M. Dekker, c1995. ISBN 0-8247-9581-4.
- [5] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Metrologie a řízení kvality: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2771-1.
- [6] Měřicí ramena. *Metrotest* [online]. kladno: metrotest, 2016 [cit. 2017-06-21]. Dostupné z: <http://www.metrotest.cz/pristroje-pro-mereni/merici-ramena/>
- [7] Měřicí rameno. In: *ECTCH* [online]. Slavičín: ECTECH, 2016 [cit. 2017-06-21]. Dostupné z: <http://www.ec-tech.cz/politika-jakosti/3d-merici-rameno-cimcore-7525/>
- [8] MACHÁČEK, Ing. Pavel. Nové možnosti měření na souřadnicových měřicích strojích. In: *Fakulta strojní* [online]. Praha: cvut, 2008 [cit. 2017-06-21]. Dostupné z
http://stc.fs.cvut.cz/history/2008/sbornik/Papers/DP/Machacek_Pavel_12134.pdf
- [9] souřadnicový měřicí stroj. In: *Mitutoyo* [online]. Teplice: Mitutoyo, 2016 [cit. 2017-06-21]. Dostupné z:
https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/
- [10] Coordinate measuring device. *Google* [online]. USA: Klaus Herzog, 1995 [cit. 2017-06-21]. Dostupné z: <https://www.google.com/patents/US5396712>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Souřadnicový systém stroje a součástky [5]	11
Obrázek 2 princip souřadnicového měření [5]	12
Obrázek 3 Mostová konstrukce [1].....	14
Obrázek 4 Výložníková konstrukce [1].....	14
Obrázek 5 Portálová konstrukce [1]	15
Obrázek 6 Stojanová konstrukce [1].....	15
Obrázek 7 Systém kola a pastorku [4]	16
Obrázek 8 Řemenové řízení [4].....	16
Obrázek 9 Třecí pohon [4]	17
Obrázek 10 Vodicí šroub [4].....	17
Obrázek 11 Spínací dotykový snímač [2]	20
Obrázek 12 Měřicí dotkový snímač [2]	20
Obrázek 13 Měřicí dotkově optický senzor [2]	21
Obrázek 14 Měření pomocí skleněného měřítka [4]	22
Obrázek 15 Měření pomocí olověného měřítka [4]	22
Obrázek 16 Měření pomocí interferenčního měřítka [4]	23
Obrázek 17 Manuální provedení SMS[9]	24
Obrázek 18 Měřicí rameno [7]	25
Obrázek 19 SMS s poháněným pojezdem [9]	26
Obrázek 20 příklad obrázkového výstupu	27
Obrázek 21 Měření na stacionárním stroji	29
Obrázek 22 Měření měřicím ramenem	29

Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní geometrické útvary [5]	13
---	----

Seznam příloh

- [1] Výkres měřené součásti
- [2] Naměřená data na manuálním stroji
- [3] Naměřená data na stroji s poháněným pojezdem
- [4] Naměřená data na měřicím rameni