

Návrh řídicího modelu pro aktivní kompenzace geometrických chyb skeletu obráběcího stroje

Ing. Jan Koubek

Vedoucí práce: Ing. Richard Černý, CSc.

Abstrakt

Příspěvek se zabývá návrhem modelu a způsobů možných řešení pro aktivní kompenzace geometrických chyb. Kompenzace mají být adaptovatelné na struktury obráběcích strojů, resp. jejich částí. Úkolem modelu je výpočet realtime výstupů ve formě kompenzací určených řídicímu systému, případně regulační smyčce.

Klíčová slova

Kompenzace, geometrické chyby, přídavné odměřování, interferometr, laserové měření

1. Úvod

Obráběcí stroje jako takové můžeme kategorizovat nejen podle charakteru jejich práce, podle technologie, ale také podle požadavků na geometrickou přesnost. Požadavky na geometrickou přesnost stroje jsou určeny technologií a požadovanou jakostí obrobků. Uvedme příkladem, jaké geometrické chyby převážně zatěžují výrobu, respektive výrobky samotné: přímost, rovinnost, kruhovitost, válcovitost, rovnoběžnost, kolmost, umístění, házení a geometrická tolerance tvaru plochy. Dosahovaná šířka tolerančního pásma na obrobku je z větší části obrazem geometrické přesnosti stroje. Ideální geometrická přesnost strojů je motivací. Z tohoto pohledu se otvírá oblast řešení aktivních kompenzací geometrických chyb, kterým se nedá z různých důvodů vyhnout. Aby se dala kompenzace zavést, musíme chybu nejprve změřit. Měřenou hodnotu je následně možno použít pro kontrolu a optimalizaci virtuálního modelu, na jehož základu je možné počítat aktivní kompenzace, které upravují žádanou polohu pohonu.

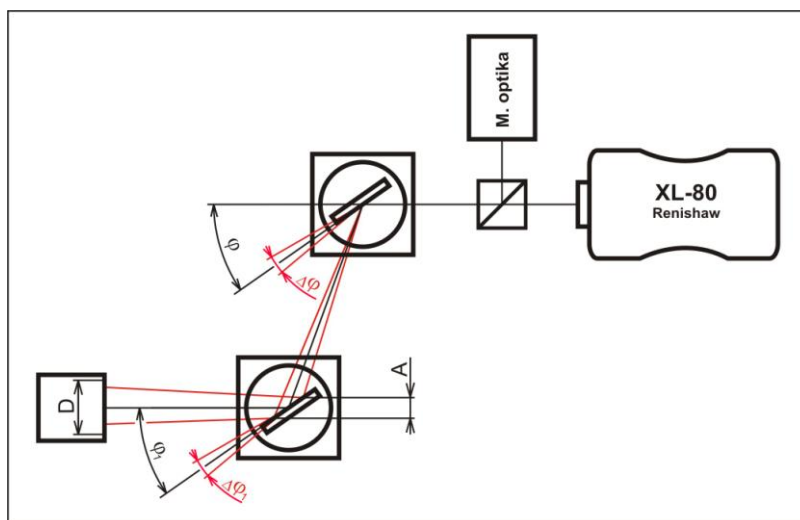
1.1 Měření geometrických chyb a deformací

Pro pasivní (předávací) měření se dnes využívá metod na principu laseru a etalonových měření. Obě tyto metody jsou zdrojem dat určených korekčním tabulkám systému, který využívá kompenzačních křivek k výsledné úpravě polohy v kartézském souřadném systému. Prostřednictvím těchto tabulek je možné korigovat vzájemnou polohu os v závislosti na podmínkách prostředí, které určuje norma nebo interní předpisy. Tyto podmínky jsou často výrazně odlišné od podmínek nastávajících při skutečném obrábění. Z těchto předpokladů lze dále uvažovat o tom, že význam stávajících pasivních měření by bylo vhodné promítnout do procesu výroby a učinit je měřeními aktivními. Předmětem zůstává otázka, jaké měřicí metody do stroje přidat a jakým způsobem použít nebo modifikovat odměřování která jsou již ve stroji instalována. Hledisky pro návrh dalších měřicích metod a systémů jsou především teplotní stabilita a izolace od negativních vlivů vznikajících při obrábění (vibrace, deformace). V případě, že to nelze jinak, je zapotřebí umístit odměřování tak, aby bylo zmíněnými vlivy zasaženo minimálně a definovaně.

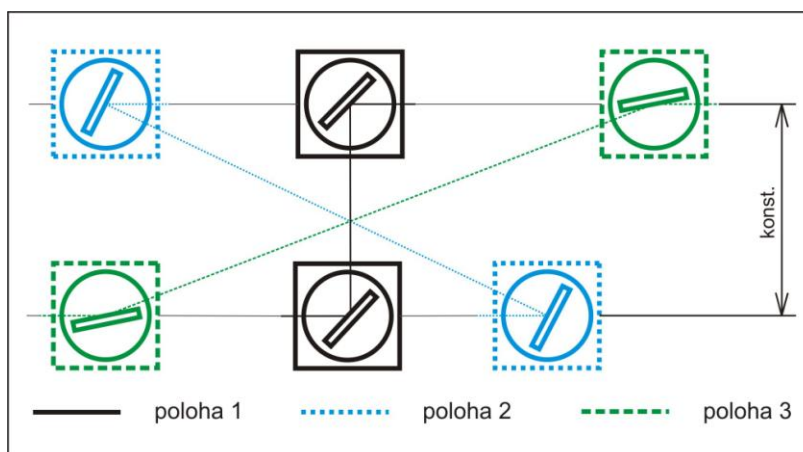
Linearitu je z principu možno odvodit od laserového paprsku prostřednictvím měření za pomoci laserocitlivých diod. Vzdálenost lze vyšetřovat prostřednictvím použití laserové interferometrie nebo použitím opticky vyhodnocovaných pásků umístěných na teplotně stabilizovaných komponentech nejlépe oddělených od základu stroje. Deformaci nejpoddajnějších komponent pak lze sledovat prostřednictvím vhodného umístění bezkontaktních indukčních čidel s vyšší citlivostí. Prakticky poslední z možných metod, která je principiálně laserovou, je možnost „trackování polohy“ (sledování polohy konkrétního bodu).

1.2 Aplikace laser trackru

Laser trackování dává v závislosti na aplikaci 2 až 3D informaci o změně vzdálenosti. Změna směru trackované vzdálenosti, resp. vektoru, je odvozena od polohovacích zařízení. Z tohoto důvodu jsou zde kladeny vysoké nároky na skutečný minimální krok zpravidla rotačních jednotek. V závislosti na požadované dosahované vzdálenosti je třeba volit rotační jednotku s dostatečným rozlišením polohy a schopností se v tomto nízkém inkrementu pohybovat. V oblasti obráběcích strojů se může požadovaná trackovaná vzdálenost pohybovat od stovek milimetrů až po několik metrů. Budeme-li se blíže zabývat takovým 2D trackrem pro určení vzájemné polohy dvou bodů, sestavíme model Obr.1. Na jeho základě jsme schopni stanovit výpočtem z minimálního kroku $\Delta\varphi$ rozptyl polohy paprsku A, dále rozptyl D za použití $\Delta\varphi_1$.



Obr. 1. Schéma laser trackování vzájemné polohy dvou bodů v rovině



Obr. 2. Schéma vzájemných poloh zrcadel laser trackru

Na pozici kóty D se nachází koutový odražeč vracející paprsek k interferometrickému měření za použití polarizační optiky nazvané v Obr.1 „M.optika“. Výpočet v prostředí geometrické optiky závisí na vzájemné poloze zrcadel Obr.2. Za předpokladu konstantní paralelní vzdálenosti v Obr.2 je možno trackovat polohu s rozptylem uvedeným v Tabulce 1. Z výsledků je zřejmá citlivost změny A na $\Delta\varphi$, která se významně projevuje při uspořádání „poloha 3“ Obr.2.

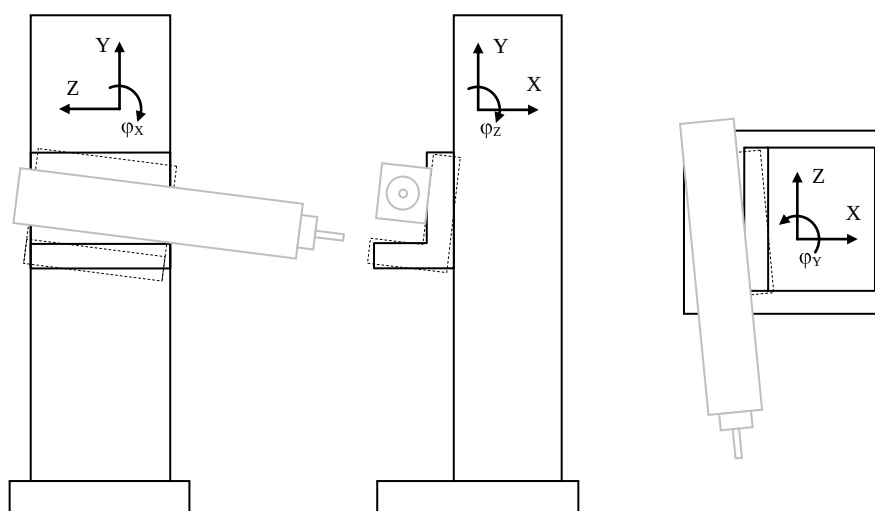
Tabulka 1. – Požadavek na min. inkrement polohy rotační osy $\Delta\varphi$ vych. z Obr.1 a 2

konst.=3600 [mm]		vz. poloha [mm]	vzd. zrcátek [mm]	varianta 1		varianta 2	
				$\Delta\varphi$ [°]	A [mm]	$\Delta\varphi$ [°]	A [mm]
Poloha	1	0	3600,0	0,01	0,628319	0,005	0,314159
	2	5400	6603,0	0,01	0,330726	0,005	0,165363
	3	10000	10697,7	0,01	10,1696	0,005	5,084802

Takové výsledky vedou na použití rotačních jednotek s aerostatickými ložisky a prstencovým motorem. Rotační jednotka musí být dále vybavena rotačním enkodérem s vysokým rozlišením a příslušnou řídicí jednotkou. Takové jednotky dodávají například firmy Newport, Aerotech nebo Micos. Rotační jednotky umožní pohyb s dostatečným rozlišením. Tomu bohužel odpovídají ceny, které z pravidla brání jejich aplikaci v praxi.

1.3 Aplikace laserových diod

Nasazení laseru ve výrobních strojích je náročné především z důvodu ochrany a zachování laserového paprsku. Pokud se však v konstrukci k této skutečnosti vhodně přistoupí, je možné instalovat laserovou síť a vhodně odvodit skutečnou geometrickou polohu částí ze stabilního a geometricky lineárního laserového paprsku. Prostřednictvím optických hranolů je možné paprsek zalamovat a dostat do pro nás vhodných etalonových poloh. Použijeme-li takovou síť například na horizontální frézce za účelem měření polohy pevné desky vřeteníku v kombinaci s instalovaným přídavným lineárním pravítkem osy Y, lze v prostoru popsat skutečný pohyb této desky Obr.3 za pomoci triangulačních vzorců. U laserového paprsku je jedním z hlavních konstrukčních kritérií dodržení teplotní stability prostředí, kterým paprsek prochází.



Obr. 3. Schéma možného pohybu pevné desky vřeteníku

U standardních horizontálních frézek je možné kompenzovat kromě tří posuvů také natočení φ_x , tedy svěšování vřeteníku. V ostatních směrech můžeme výslednou kompenzaci určit



1 ✓ ✓ ✓

1. $\mathcal{A}$ is a $\mathcal{C}^*$ -algebra.

vzájemné interakci s řídicím systémem firmy Siemens. Kompenzace jsou předávány prostřednictvím binární logiky. Jednotlivé kompenzace lze zapínat a uvádět do součinnosti prostřednictvím ovládacího panelu řídicího systému stroje.

3. Závěr

Prostřednictvím výše zmíněných metod lze měřit statické i dynamické deformace částí strojů. Měření statických deformací bylo ověřeno zatížením prostřednictvím siloměru v interakci s pevnou deskou stolu. Dynamické měření bylo ověřeno při testovacím obrábění v nejpoddajnějším směru horizontální frézky (maximální vysunutí smykadla, zatížení boční ve směru osy X od stojanu). Charakter a velikost měřených deformací odpovídaly očekávaným hodnotám. Lze tedy konstatovat, že instalované odměřování funguje. Následným úkolem zůstává aplikace výše zmíněného modelu do kompenzačního výpočtu a ověření výsledků při skutečném obrábění. Pokud bude v tomto ohledu znatelný přínos v oblasti zvýšení geometrické přesnosti stroje, jeho částí a obrobků, budou laserové technologie na základě získaných zkušeností dále rozvíjeny.

Seznam symbolů

φ	úhel natočení zrcadla	[°]
φ_1	úhel natočení zrcadla	[°]
$\Delta\varphi$	pásma necitlivosti	[°]
$\Delta\varphi_1$	pásma necitlivosti	[°]
A, D	rozptyl polohy paprsku	[mm]
$konst.$	vzdálenost zrcadel	[mm]
X, Y, Z	souřadný systém	[1]
$\varphi_X, \varphi_Y, \varphi_Z$	natočení kolem os souřadného systému	[°]
c_0, c_1, c_2	triangulační vzdálenosti	[mm]
b_1, b_2	triangulační vzdálenosti	[mm]
f_{ix}	triangulační úhel	[°]

Seznam použité literatury

1. J. Švéda, I. Diviš, P. Sedláček, J. Koubek, *Návrh mechatronických technologií přídavného měření geometrie stroje*. 2008. 23 s. Výzkumná zpráva VCSVTT V-08-097.