

## 9.3 ZKOUŠENÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

**Zkoušení vlastností strojů – porovnání parametrů a vlastností navrhovaných a očekávaných vůči dosaženým – se podrobuje každý obráběcí stroj vytvořený výrobcem, ať už jde o nově vyvinutý stroj, stroj z běžné produkce, anebo stroj po generální opravě. Zkoušky se vykonávají podle předepsaných norem a postupů.**

Zkoušení obráběcích strojů je specifickou oblastí metrologických měření a v širším pojetí zejména postupy, hospodaření s měřidly a hlídání jejich přesnosti a další podléhají legislativě platné v dané zemi. V České republice jsou nadřazenými institucemi jak z hlediska metrologie, tak legislativy Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Český metrologický institut, autorizovaná metrologická střediska, střediska kalibrační služby, Český institut pro akreditaci a Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Zkoušení obráběcích strojů je důležitou součástí životního cyklu výrobku – obráběcího stroje [Borský 1991]. Tvůrce stroje má k dispozici normy, které v mnoha případech slouží k tomu, aby výrobce stroje a jeho odběratel hovořili „stejnou řečí“. Normy obvykle říkají, co se má měřit a kontrolovat, proto je doplňují postupy, metodiky, do kterých jsou buď přímo, nebo nepřímo zapracovány návody na užití měřicí techniky a znalosti a zkušenosti pracovníků.

Zkoušky obráběcích strojů lze rozdělit do tří skupin (obr. 9.3.1). První skupina zkoušek a testů je spojena se smluvním závazkem mezi prodejcem a kupujícím stroje. Jsou tedy součástí kontraktu. Přejímací zkoušky se obvykle konají ve dvou krocích – nejprve přímo u producenta stroje a následně po sestavení stroje u zákazníka. Zkoušky mají za cíl prověřit výrobcem deklarované vlastnosti stroje. Z pohledu kupujícího je prověřováno, zda stroj má vlastnosti (výkon, přesnost), které si kupující koupil. Obsah a rozsah přejímacích zkoušek jsou obvykle sjednány v kontraktu. Smluvené zkoušky vycházejí z mezinárodně uznávaných standardů (norem), které stanovují pro daný typ stroje dané typy měření.

Prototypové zkoušky (obr. 9.3.1) slouží k ověření vlastností nově navržených a vyrobených strojů. Prototypové zkoušky rozšiřují přejímací zkoušky o řadu měření, která mají poskytnout důležité informace zejména tvůrci stroje. Prověřují se navrhované a očekávané vlastnosti nového výrobku a zároveň se odhalují vlastnosti neznámé, které se při vzniku výrobku nedají předpokládat. Cílem prototypových zkoušek je nalézt (odha-

lit) mezní stavy chování zařízení nebo takové provozní stavy, při kterých se stroj chová neočekávaným způsobem. Statistická přejímka (zkouška způsobilosti procesu) se používá pro náročné zákazníky, kdy je nutné dlouhodobě udržet kvalitu obrobku.

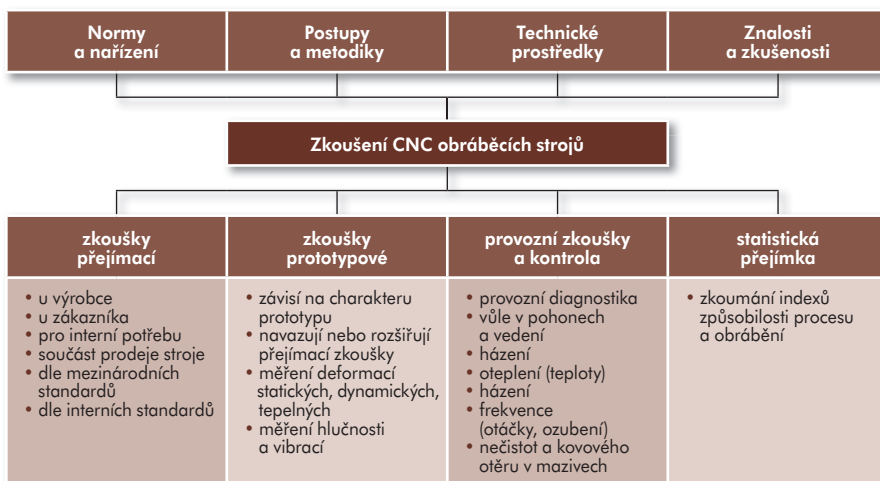
Normy, se kterými se v oblasti měření a kontroly nejčastěji setkáváme, jsou z řady ČSN ISO 230, ČSN ISO 10791 a například VDI/DGI 3441. Další zahraniční ekvivalenty jsou ANSI B5:54 a JIS B 6330–1980. Standardy (normy) jsou velmi obtížně zaměnitelné, proto je v kontraktu ke stroji důležité stanovit, které normy a standardy budou sloužit pro posouzení vlastností obráběcího stroje.

### Přejímací zkoušky

Kontrola technických údajů – jsou kontrolovány základní stavební rozměry strojů a zdvi-

hy v jednotlivých souřadnicích, dále pak velikosti posuvů a otáček, kontrola instalovaných výkonů motorů vlastního stroje a periférií (např. tlak chladicí kapaliny), zastavěná plocha a další (obr. 9.3.2).

Geometrická přesnost strojů a její měření jsou upraveny normami ČSN ISO 230 (dříve ČSN 20 0300-1 až ČSN 20 0300-30). První sada norem (230-1 až 230-7) se vztahuje na zkoušky přesnosti a nezabývá se funkčními zkouškami stroje (typicky vibrace obrábění, trhavé pohyby částí atd.). Normy se nezabývají ani zjišťováním charakteristických parametrů (otáčky, posuvy), neboť tyto zkoušky mají být obvykle provedeny před zkouškami přesnosti [ČSN ISO 230]. V praxi se lze například setkat s požadavkem na rovnoměrnost otáček vřetena (otáčky mohou kolísat ve stanoveném/dohodnutém rozsahu). Tato měření se provádějí i kontrolují mimo tyto normy a jsou obvykle sjednána smluvně. ČSN ISO 230 – jedná se o rozsáhlý soubor dokumentů (obr. 9.3.3), zabývajících se jak ryze vnitřními mechanickými



Obr. 9.3.1: Zkoušení CNC obráběcích strojů



Obr. 9.3.2: Přejímací zkoušky obráběcích strojů

vlastnostmi strojů, tak vlivy teplot na provoz stroje i vlivy stroje na okolí (hluk). Normy ISO 230-8 a další jsou ještě v přípravě, proto dosud nemohly být harmonizovány.

Zkoušky geometrické přesnosti upravuje konkrétně norma ČSN ISO 230-1 (geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za dokončovacích podmínek obrábění). Vedle úvodu a poznámek obsahuje kapitoly o přípravě měření (přípravné činnosti), obráběcích zkouškách, geometrických zkouškách. Závěr normy je věnován speciálním měřením. Další normy věnující se přesnosti jsou ČSN ISO 10791-6 (podmínky zkoušek pro obráběcí centra, přesnost posuvů, frekvence otáčení a interpolací), ČSN ISO 6155 (zkoušky přesnosti a podmínky zkoušek pro revolverové a jednovřetenové automatické soustruhy s vodorovnou osou vřeten), ČSN ISO 10791-7 (podmínky zkoušek pro obráběcí centra, přesnost dokončovaného zkušebního obrobku).

ČSN ISO 230 připouští využití i jiných metod, které v ní nejsou obsaženy, pokud přinášejí srovnatelné nebo lepší získané informace

### Měření geometrické přesnosti strojů – technické prostředky

mechanické	optické	elektronické
<ul style="list-style-type: none"> <li>• úhlykoměr</li> <li>• vodováhy</li> <li>• pravítka</li> <li>• úhelníky</li> <li>• měřicí trny (válcové)</li> <li>• měřicí hranoly</li> <li>• pomůcky a přípravky</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• laserové interferometry</li> <li>• laser tacery a trackery</li> <li>• laserové tomografy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• laserové interferometry</li> <li>• laser tacery a trackery</li> <li>• laserové tomografy</li> <li>• elektronické vodováhy</li> </ul>

Obr. 9.3.4: Přehled technických prostředků pro měření geometrické přesnosti strojů

o stroji. Norma tedy není pro výrobce svazuující. Světově významní (velcí) výrobci strojů si stanovují své standardy, které jsou mnohdy přísnější než standardy normalizované.

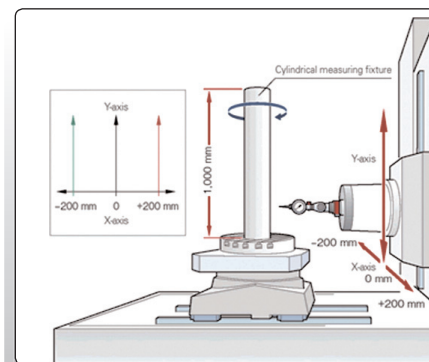
Účelem zkoušky geometrické přesnosti je zjistit geometrickou strukturu obráběcích strojů, tj. přesnost tvarů, vzájemných poloh a pohybů těch funkčních částí (obr. 9.3.5, 9.3.6 a 9.3.7), které mohou ovlivnit pracovní přesnost. Tento typ měření zavedl Dr. Schlesinger

v první třetině dvacátého století. Jeho jméno se často objevuje v neformálním pojmenování těchto zkoušek. Před začátkem zkoušek geometrické přesnosti mohou být odstraněny kryty stroje a další příslušenství, které by překážely při měření. Obráběcí stroj musí být ustaven na nepoddajném základu do vodorovné polohy (vyrovnaní vodováhou), tj. jako by byl v provozním stavu (zkoušky se mohou provádět na jiném místě, typicky

### Normy ČSN ISO 230 Přejímací zkoušky obráběcích strojů

ČSN ISO 230-1 – měření geometrické přesnosti
ČSN ISO 230-2 – stanovení přesnosti nastavení polohy v číslíkové řízených osách
ČSN ISO 230-3 – měření tepelného chování a teplot
ČSN ISO 230-4 – stanovení přesnosti kruhové interpolace
ČSN ISO 230-5 – měření akustického tlaku a výkonu
ČSN ISO 230-6 – stanovení přesnosti nastavení na diagonálách prac. prostoru
ČSN ISO 230-7 – stanovení přesnosti chodu vřeten za rotace
ISO 230-8 – vibrace (mezi nástrojem, strojem, obrobkem, vliv na jakost povrchu)
ISO 230-9 – zabývá se nepřesnostmi měření
ISO 230-10 – měření (obrobků) na samotných obráběcích strojích

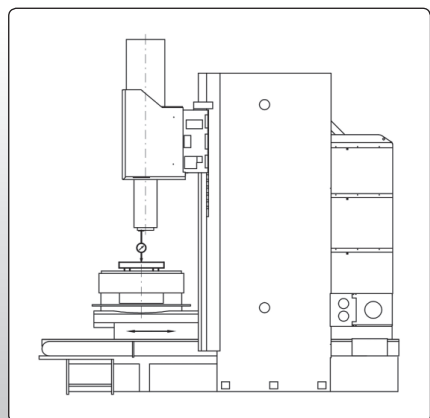
Obr. 9.3.3: Normy řady ČSN ISO 230



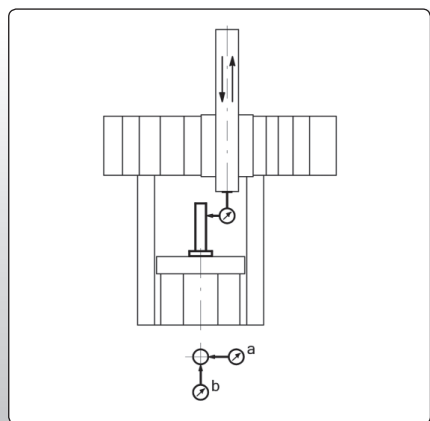
Obr. 9.3.5: Měření přesnosti (přímosti) osy Y [Dixi Machines]

u výrobce, tedy jinde, než je finální umístění stroje). Během zkoušek se tato poloha nesmí měnit nebo upravovat. Stroj má být rovněž uveden do ustáleného tepelného stavu. Jakým způsobem je toho dosaženo, to může být součástí dohody mezi výrobcem a odběratelem. Kolísání teploty podle stupně přesnosti obráběcího stroje musí být v rozmezí nejvýše 10 % až 2 %. Totéž platí i pro použité zkušební přístroje a měřicí pomůcky. Měření stroje se provádí ve stavu bez provozního zatížení nebo při chodu naprázdno [Prokop 1985]. Měření přímosti (obr. 9.3.5 a 9.3.23), rovinnosti, rovnoběžnosti, sousostí a kolmosti a házení jsou hlavní typy měření.

## 9.3 ZKOUŠENÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

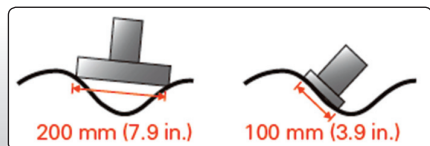


Obr. 9.3.6: Příklad měření přímočarosti pohybu saní s technologickou paletou v ose Y ve vodorovné rovině [Toshulin]



Obr. 9.3.7: Příklad měření obvodového házení kuželové dutiny přímé hlavy [Toshulin]

Zkouška přímosti se provádí především u vodících ploch, a to vodováhou, autokolimátorem, popř. zaměřovacím dalekohledem i laserovým interferometrem (obr. 9.3.4). Vodováha má mít citlivost minimálně 0,04/1000 mm (pozn.: vodováhy s vyšší citlivostí vyžadují delší čas k ustálení bubliny). Vodováha se při měření posouvá po loži tak, aby docházelo k překrytí měřených poloh. Vliv má délka vodováhy (velikost základny odrážecí, viz níže), jak je ukázáno níže. Základna měřidla větších rozměrů uměle zakrývá nepřesnosti (obr. 9.3.8).



Obr. 9.3.8: Vliv velikosti základny měřidla na přesnost měření [Dixi Machines]

Zkouška přímočarosti pohybu (např. suportu soustruhu nebo stolu hoblovky po loži) se stále častěji provádí pomocí laserových měřidel. Vyhodnocování je realizováno pomocí citlivých snímačů a elektroniky (není možné kvůli riziku poškození zraku laserová měřidla koncipovat jako optický autokolimátor). U kratších nebo středně dlouhých loží je laserové měření velmi efektivní, protože laserový paprsek není příliš ovlivněn prostředím, kterým prochází. U měření na velké vzdálenosti má prostředí nezanedbatelný vliv na měření (platí i pro měření stavení polohy).

Rovinnost se zkouší např. u upínacích ploch stolů hoblovek, frézek, u upínacích desek svislých soustruhů, základových desek otočných vrtaček atd. Používá se k tomu průměrných desek, popř. pravítek a vodovah (kladných do směrů navzájem kolmých, popř. úhlopříčných). Pro náročnější proměření rovinnosti se používají můstky a desky s citlivými úchylkoměry nebo optické přístroje.

Rovnoběžnost vodících ploch (tj. dvou rovin) se zkouší např. příčně kladenými vodováhami, mikrometrickými odpichy (jde-li o paralelní roviny) s číselníkovými úchylkoměry. Rovnoběžnost ploch s osami nebo os navzájem (třeba pracovních vřeten) se kontroluje měřicími trny v prodloužení os vřeten pomocí číselníkových úchylkoměrů aj.

Kolmost dvou ploch (např. upínací plochy stolu k vedení na stojanu) nebo osy pracovního vřetena k upínací ploše stolu se obvykle kontroluje měřicími válci s číselníkovými úchylkoměry nebo měřicími hranoly. Optickou cestou lze měřit kolmost např. laserovým interferometrem, zaručí-li pětiboký hranol kolmost lomené vztažné přímky.

Souosost se kontroluje dvěma měřicími trny s číselníkovým úchylkoměrem nebo obtáčecím jednoho trnu číselníkovým úchylkoměrem upevněným na sousedním trnu, popř. opticky.

Obvodové házení se provádí číselníkovým úchylkoměrem na obvodu pootáčeného pracovního vřetena. Zahrnuje úchylku souososti, kruhovitosti i nepřesnosti uložení.

Axiální házení se kontroluje např. na doseďacích plochách pro upínadla na pracovních vřetenech. Zpravidla postačí měření číselníkovým úchylkoměrem nastaveným kolmo ke kontrolované ploše na předepsaném průměru. Při měření je nutno vyloučit osovou vůli v uložení vřetena přiměřeným axiálním tlakem. Naměřená úchylna je výslednicí osového pohybu kontrolované plochy, úchylny její rovinnosti a kolmosti k ose otáčení.

Osový pohyb lze zjišťovat klasickým způsobem, použitím kontrolního trnu, popř. hrotu a číselníkového úchylkoměru při vyloučení osové vůle v uložení vřetena. Vliv úchylek rovinnosti a kolmosti lze kompenzovat současným měřením několika číselníkovými úchylkoměry na vhodné čelní ploše většího průměru.

Na základě měření dle ČSN ISO 230-2 (laserovým interferometrem) lze vytvářet nebo nastavovat kompenzace chyb polohování (viz dále obr. 9.3.24), přímočarosti pohybu či chyb vzniklých deformací rámu vlivem gravitačního zatížení. Protože geometrická přesnost stroje je měřena na stroji nezátíženém obrobkem, nelze považovat tyto kompenzace za univerzální tam, kde jak obrobek, tak řezné síly stroj za provozu deformují. Elektronické kompenzace však významně zvyšují přesnost stroje (viz dále obr. 9.3.16) a jsou jedním ze zásadních nástrojů, jak vyrábět obrobky přesnější, neboť například mechanické vlastnosti (klasických) materiálů, ze kterých jsou nosné struktury, nelze významně zvyšovat.

Příklady interferometrem měřitelných chyb geometrie jsou na obrázku 9.3.9. Princip laserového interferometru a uspořádání měřicí aparatury jsou zachyceny na obr. 9.3.10 a 9.3.11. Zdroj (vysílač) je umístěn mimo stroj, hranol je umístěn na pohyblivé části stroje (nemusí se však pohybovat, závisí na typu měření) a odrážec se umístí na pohyblivou plochu. Interferometr měří rozdíly délek ve směru paprsku na základě změny počtu interferenčních proužků a známé vlnové délky laserového světla. Standardně dosahovaná přesnost měření (na menší vzdálenosti, jak jsme si řekli) je 0,5 μm. Dvoupaprskový interferometr dokáže zachytit malé odchylky změny polohy měřené pohybové osy způsobem, jak je zachyceno na obrázku 9.3.11. Díky přesně známé vzdálenosti paprsků je možné zachytit měřenou odchylku a z ní spočítat například sklon pohybu pohybové osy vůči části referenční.

Měření tepelného chování strojů zjišťuje tepelné deformace, hledají se zdroje tepla pomocí měření teplotních polí (obr. 9.3.13). Norma ČSN ISO 230-3 obsahuje tři zkoušky. Jedná se o zjišťování chyb (stroje) v důsledku kolísání teploty, měření tepelných deformací způsobených otáčením vřetena a měření tepelných deformací způsobených pohybem v lineárních osách. Než měření začne, musí být splněny některé podmínky. Musí se zajistit stabilní teplota prostředí, výchozí stabilní teplotní stav stroje a funkčnost stroje, stroj se osadí přípravky a měřidla, které umožňují měřit dél-