

Snímací technologie a nová sonda OMP400 společnosti Renishaw s tenzometrickou technologií v ultra kompaktním provedení

Stručný úvod

Poté, co Sir David McMurtry vynalezl v roce 1972 spínací dotekovou sondu pro měření obrobků na souřadnicových měřicích strojích, vedl další vývoj k použití těchto sond na obráběcích strojích a snímání se stalo přirozenou součástí automatizovaných výrobních procesů na CNC obráběcích strojích. Jednoduchý mechanismus sondy, využívající kinematický princip polohování spínače zaručuje vysokou opakovatelnost měření a tvoří základ snímacích sond firmy Renishaw více než 30 let. Kinematické spínací sondy Renishaw slouží spolehlivě v mnoha výrobních podnicích. Jsou zdaleka nejprodávanějšími snímacími produkty na trhu a jsou první volbou většiny koncových uživatelů i konstruktérů obráběcích strojů. Měřicí výkon a spolehlivost těchto sond určuje standardy v oboru.

Společnost Renishaw před lety reagovala na zvyšování přesnosti obráběcích strojů i zvýšením přesnosti sond pro obráběcí stroje a vyvinula tenzometrickou obrobkovou sondu MP700. Technologie tenzometrické snímače poskytuje řádově vyšší přesnost měření nezbytnou pro některé nové aplikace. S novou technologií se zvýšilo i množství uživatelů měřicích sond. Technologie tenzometrického měření využívá vysoce citlivé snímače změny síly, resp. tlaku/tahu, tzv.

tenzometry. Aktuální novinkou společnosti Renishaw v této oblasti je miniaturní sonda OMP400, která umožňuje dosahovat vysoké přesnosti měření i na malých a středních obráběcích strojích.

Kinematická sonda

Kontaktní spínací mechanismus Renishaw je založen na kinematickém uspořádání trojice kinematických hnízd složených vždy z jedné válcové a dvou kulových ploch, které jsou k sobě přitlačovány tlakem pružiny. Každé kinematické hnízdo má kontakt ve dvou stykových bodech. Celý kinematický mechanismus je tedy definován celkem šesti body dotyku, které zajišťují, že snímací dotek je po vychýlení vrácen na původní místo s vynikající opakovatelností. Mechanismus umožňuje vychýlení doteku sondy při kolizi s povrchem dílce. Po vymizení působící síly, tedy poté, kdy se sonda oddálí od měřeného povrchu, způsobí tlačná pružina návrat mechanismu do původní kinematicky definované polohy. Tento mechanismus tvořil základ spínacích dotekových sond Renishaw po mnoho let a dlouhá historie je potvrzena skutečností, že i ostatní výrobci nazývají tento mechanismus „tradičními“ sondami. Během let prošla tato technologie rozsáhlým vývojem a její výkon je skvěle postačující i pro většinu dnešních aplikací.

Spínací signál je generován při kontaktu sondy s povrchem měřeného dílce. Signál je použit k zastavení pohybu stroje



Pružina přitlačuje nosič doteku do kinematických hnízd a opakovaně vrací dotek do unikátní polohy po jeho vychýlení

Trojice válečků uložená ve třech párech kuliček tvoří tři kinematická hnízda. Poloha nosiče doteku v prostoru je tak určena celkem šesti stykovými body

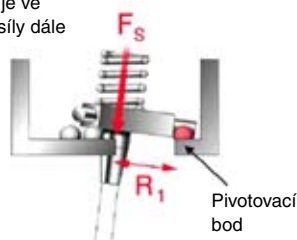
Kulička doteku je jedinečně umístěna v prostoru a opakovaně se vrací do stejné polohy v rozsahu 1 µm

Obrázek 1

Obrázek 2

Směr vysoké síly:

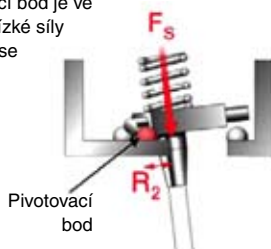
pivotovací bod je ve směru vysoké síly dále od osy dřívku doteku



Obrázek 3

Směr nízké síly:

pivotovací bod je ve směru nízké síly blíže k ose hrotu



Obrázek 4

Směr vysoké a nízké síly



Kontaktní elementy jsou vyrobeny z karbidu wolframu, který je dostatečně odolný proti působení plastických deformací, které by mohla způsobovat síla přitlačné pružiny na velmi malých stykových plochách těchto prvků. Kontakty jsou vzájemně elektricky propojeny a elektronické příslušenství sondy kontroluje velikost elektrického odporu v tomto okruhu. Při dosažení určité úrovně velikosti odporu se výstupní signál ze sondy přestaví na „rozpojeno“, to znamená „sonda je v kontaktu s obrobkem“. Vychýlení doteku nezbytné pro vznik spínacího signálu je tak malé, že kinematická hnízda jsou stále fyzicky v kontaktu. Díky tomu je dotek sondy stále v poloze, která umožňuje opakovatelné a spolehlivé měření.

Měřicí výkon kinematické sondy ovlivňuje řada faktorů. Poté, kdy se rubínová kulička snímacího doteku dotkla povrchu měřeného obrobku, dochází k elastické deformaci dřívku snímacího doteku. Teprve potom dochází ke změně elektrického odporu v mechanismu sondy a vygenerování spínacího signálu. Tento vliv je označován jako „přejezd pozice (pre-travel)“. Přejezd pozice závisí na délce a tuhosti dřívku snímacího doteku a na velikosti síly přitlačné pružiny uvnitř sondy. Odchylka přejezdu pozice (pre-travel variation - PTV), někdy označovaná i jako „lobing“ nebo „kruhová charakteristika sondy“ ovlivňuje měřicí výkon sondy. Jak bylo popsáno výše, kinematický mechanismus sond Renishaw tvoří trojice kinematických hnízd. Hnízda jsou rozložena rovnoměrně po kruhu v trojúhelníkovém uspořádání. PTV vzniká při působení vnější síly vyvolané kontaktem doteku sondy s povrchem měřeného dílce. Podle směru, ve kterém působí kontaktní síla vůči mechanismu sondy se liší vzdálenost mezi osou dřívku doteku a pivotovacím bodem kinematického hnízda. Pivotovací bod je bod, kolem kterého se naklápí snímací mechanismus při kolizi s měřeným dílcem.. Současně se změnou ramene působící síly dochází i ke změně velikosti síly. Důsledkem jsou rozdílné odchylky přejezdu pozice v různých směrech měření. Existuje řada dalších mechanismů sond, které se liší od výše popsaného provedení, které označujeme jako tradiční sondu. Některé z těchto systémů vykazují menší nepřesnost měření v rovině XY než sondy Renishaw.

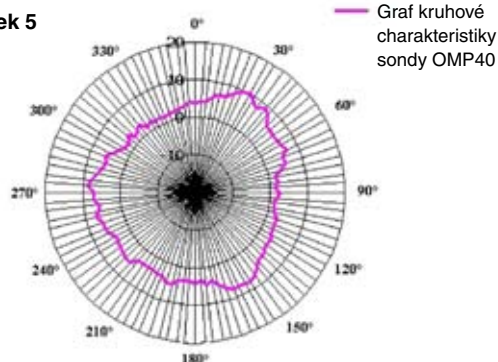
Mechanismus s válečky a kuličkami společnosti Renishaw, který je využit například v sondách v sondách OMP40, OMP60, RMP60 nebo LP2 vykazují standardní odchylku přejezdu pozice v rovině XY v hodnotě 6 μm při měření s dotekem o délce 50 mm.

Na obrázku je zobrazen výsledek měření přesného kalibračního kroužku na obráběcím stroji vybaveném odměřováním polohy s rozlišením 1 μm. Maximální chyba měření zahrnující i chybu stroje je 8,85 μm. Pro měření byl využit keramický dotek o délce 50 mm. Cílem Renishaw je dosažení minimálního přejezdu pozice. Tím se částečně eliminuje vliv trojúhelníkového uspořádání vnitřního mechanismu sondy.

Výhoda řešení, které je zaměřeno na co nejnižší hodnoty přejezdu pozice je zřejmá při snímání ve třech osách. Například při současném měření v rovinách XZ a YZ nebo při měření komplexního 3D povrchu při kontrole tvaru forem.. Při měření totiž dochází ke kombinaci vlivů přejezdu pozice v rovině XY a také v ose Z, proto je třeba uvažovat změnu přejezdu pozice současně ve třech rozměrech. Přejezd pozice v ose Z je u kinematických spínacích sond Renishaw zanedbatelný. Díky minimálnímu přejezdu pozice v rovině XY se tedy výsledná chyba měření ve 3D velmi přibližuje chybě v rovině XY. Navíc sondy s malým přejezdem pozice vykazují lepší přesnost měření na šikmých plochách. Díky malému přejezdu pozice dochází v těchto situacích k sepnutí dřívce, než se překoná tření mezi kuličkou hrotu a povrchem. Jiné typy sond s velkým mechanickým přejezdem pozice mohou před vygenerováním spínacího signálu vytvářet síly, které překonají tření a způsobují smýkání kuličky doteku po povrchu měřeného dílce. Velký rozdíl v přejezdu pozice v rovině XY a v přejezdu pozice v ose Z navíc způsobuje potenciální chybu měření v režimu 3D.

Na obrázku je zobrazen graf měření kruhovitosti přesného kalibračního kroužku pomocí kinematické sondy OMP40.

Obrázek 5



Tři výrazné vrcholky grafu ukazují směry vysoké přitlačné síly mechanismu sondy. Maximální chyba je v tomto případě 8,85 μm

Kalibrace

Samotný přejezd pozice není formou chyby, protože jej lze snadno kompenzovat kalibrací sondy. Ke stanovení průměrného přejezdu pozice sondy je třeba přeměřit kalibrační prvek o známém rozměru a poloze. Po dokončení kalibrace je klíčovým faktorem, který ovlivňuje přesnost měření, opakovatelnost sondy.

Existují však některé výjimky. Některé složité dílce například vyžadují měření v mnoha směrech snímání. Jestliže je velikost odchylky přejezdu pozice sondy dostatečně nízká, její vliv na přesnost měření bude zanedbatelný. Avšak pokud je tato potenciální chyba nepřijatelně vysoká, může být nutné zkalibrovat sondu pro každý směr, ve kterém se bude měřit. Existují však některé výjimky. Některé složité dílce například vyžadují měření v mnoha směrech snímání. Jestliže je velikost odchylky přejezdu pozice sondy dostatečně nízká, její vliv na přesnost měření bude zanedbatelný. Avšak pokud je tato potenciální chyba nepřijatelně vysoká, může být nutné zkalibrovat sondu pro každý směr, ve kterém se bude měřit. Taková kalibrační rutina může být časově velmi náročná.

Tenzometrická technologie

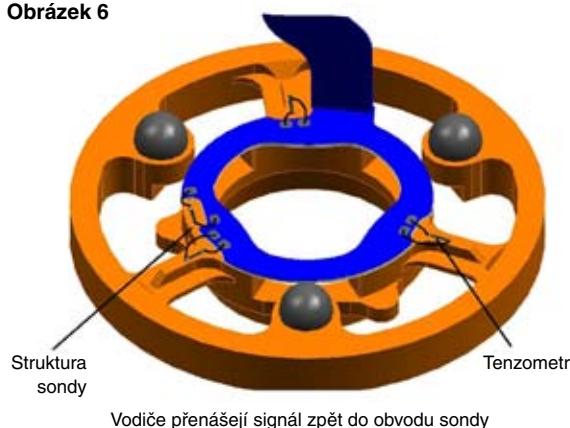
Sonda s vysokou přesností, která by mohla být snadno použita na obráběcím stroji, by měla vykazovat co nejnižší přejezd pozice a tedy i nižší odchylku přejezdu pozice (PTV). Společnost Renishaw vyvinula snímací technologii, která řeší omezení známá z tradičních kinematických sond. Tato technologie využívá silikonové tenzometry. Podmínkou pro úspěšné zavedení takové technologie je přístup k ultra kompaktní elektronice s integrovanými obvody ASIC a k technologii polovodičového snímání.

Tenzometrické sondy využívají částečně kinematický mechanismus. Nejedná se však o prostředek snímání, ale pouze bezpečnostní prvek, který zabraňuje poškození doteku při kolizi doteku s povrchem měřeného dílce. Snímací signál generuje sada tenzometrů (čidel citlivých na mechanickou změnu povrchového napětí) umístěných na pečlivě navržená žebra ve struktuře sondy mimo kinematiku. Tato čidla měří kontaktní sílu vyvinutou na dotek sondy a generují spínací signál v okamžiku, kdy povrchové napětí překročí definovanou hodnotu. Tím je zajištěna nízká spínací síla, nízký přejezd pozice a také nízká odchylka přejezdu pozice.

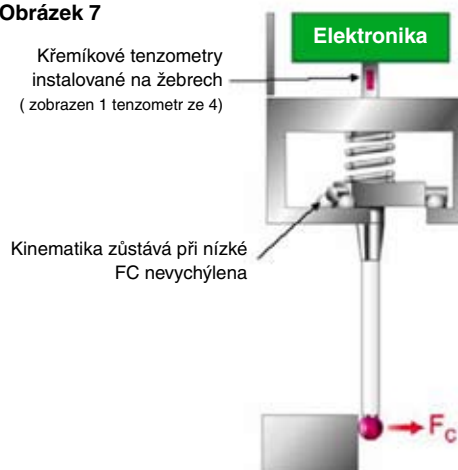
Sonda MP700, uvedená na trh v roce 1995, byla první sondou Renishaw pro obráběcí stroje, která používala tenzometry. Uživatelům přinesla všechny výhody očekávané od této technologie – zlepšenou opakovatelnost, snížený přejezd pozice a prakticky nulovou změnu přejezdu pozice. Tyto výhody se projevují v dramaticky přesnějším měření, zejména 3D povrchů, kde se používá mnoho směrů snímání, nebo a aplikacích, kde nejsou známy nájezdové vektory k povrchu měřeného dílce obrobku.

Na obrázcích je schematicky zobrazeno uspořádání tenzometrické sondy. Při nízkých kontaktních silách zůstane kinematika v klidu a kontaktní síly se přenášejí do struktury sondy. Tenzometrická čidla jsou umístěna na velmi přesně vyrobených žebrech navržených tak, aby maximalizovala citlivost sondy bez zhoršení její odolnosti proti poškození. Snímače detekují síly ve struktuře sondy. Údaje ze snímačů vyhodnocuje elektronický obvod, který generuje spínací signál v okamžiku, kdy je zjištěná velikost působící síly v kterémkoliv směru překročí stanovenou mez. Tato mez je stanovena standardně na několik gramů a je tedy mnohem nižší než spínací síla srovnatelné kinematické sondy.

Obrázek 6



Obrázek 7



Takto vysoká citlivost sondy může vést k náchylnosti k náhodným sepnutím způsobeným vibracemi stroje nebo jiným silným vnějším vlivem. K eliminaci těchto vlivů, které by nevhodně ovlivňovaly přesnost měření a tím způsobovaly ztrátu měřicího výkonu používá společnost Renishaw speciální elektronický filtrační obvod. Tento obvod porovnává změny napětí snímaných tenzometrickými čidly a rozhoduje, zda jsou výsledkem skutečného vychýlení hrotu, nebo přechodového nárazu či vibrace. Spolehlivost tohoto kontrolního procesu zajišťuje krátké zpoždění vkládané do vyhodnocovacího obvodu. Pokud po celou dobu tohoto časového intervalu trvá napětí detekované tenzometry, na konci prodlevy je generován spínací signál.

Sonda OMP400

Sonda OMP400 je kompaktní optickou sondou firmy Renishaw určenou pro malé a střední obráběcí stroje. Využívá novou generaci vysoce přesné tenzometrické technologie použité poprvé u sondy MP700. Sonda OMP400 se přitom vyznačuje stejnými kompaktními rozměry jako kinematická sonda OMP40. Výsledkem je skutečnost, že OMP400 umožňuje využívat tenzometrickou přesnost měření i na malých obráběcích strojích.

Sonda OMP400 nabízí mimořádně nízký přejezd pozice a používá inovovaný a vylepšený algoritmus v elektronice sondy, který zajišťuje nižší změnu přejezdu pozice než u sondy MP700. Výhodou této sondy je jednoduchá kalibrace, která umožňuje měření v jakémkoliv směru ve 3D prostoru. Spolu s mimořádně vysokou úrovní opakovatelnosti je sonda OMP400

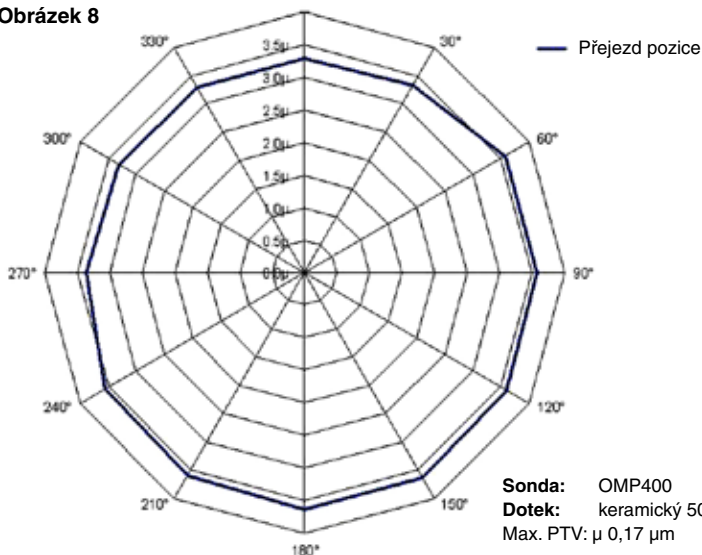


nejlepším řešením pro měření forem, zápusťek a jiných složitých dílců.

Tenzometrická technologie navíc přináší výhodu až desetinásobného prodloužení provozní životnosti oproti tradičním kinematickým sondám. Zlepšená tenzometrická struktura zvyšuje odolnost sondy v nepříznivých pracovních podmínkách uvnitř pracovního prostoru obráběcího stroje.

U kinematických sond se spolu se změnou délky snímacího doteku mění velikost odchylky přejezdu pozice. V praxi to znamená, že měření s velmi dlouhým dotekem mohou být méně přesná. Obráceně, požadavek na velmi přesné měření může omezit maximální délku použitého doteku. Sonda OMP400 díky nižší a více konzistentní spínací síle poskytuje vynikající měřicí výkon a umožňuje použít pro měření mnohem delší snímací doteky. Standardně může být sonda OMP400 osazena snímacími doteky o délce až 200 mm při minimálním snížení měřicího výkonu.

Obrázek 8



Na obrázku je zobrazeno měření kruhu provedené na zkušební stolici s rozlišením 10 nm (nanometrů). Měření probíhá 10x v každém směru. Směry se mění po 30° krocích. Graf ukazuje nízký a téměř zanedbatelný přejezd pozice ve všech směrech. S použitím doteku o délce 50 mm je hodnota PTV v rovině XY pouze 0,34 μ m, což je cca o 90 % lepší hodnota než hodnota PTV tradiční kinematické sondy. Sonda OMP400 standardně dosahuje hodnot PTV v prostoru XYZ lepších než 1 mikron.

Sonda OMP400	Délka doteku			
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Opakovatelnost Max. 2 Sigma v kterémkoli směru z 12	0,25 μ m	0,35 μ m	0,50 μ m	0,70 μ m
2D (XY) chyba Max. odchylka od referenčního kroužku	\pm 0,25 μ m	\pm 0,25 μ m	\pm 0,40 μ m	\pm 0,50 μ m
3D (XYZ) chyba Max. odchylka od známé koule	\pm 1,00 μ m	\pm 1,75 μ m	\pm 2,50 μ m	\pm 3,50 μ m