

Kontrola opotřebení řezného nástroje v pracovním prostoru obráběcího stroje

Bc. Lukáš Lang

Vedoucí práce: Ing. Jan Koubek,

Abstrakt

Práce obsahuje návrh a ověření metodiky kontroly opotřebení břitu řezného nástroje laserovou sondou. Součástí řešení je také návrh konstrukce měřicího zařízení pro kontrolu opotřebení řezných nástrojů v prostoru obráběcího stroje.

Klíčová slova

Laserová měření, kontrola nástrojů, opotřebení

1. Úvod

Měření nástrojů prostřednictvím laserové sondy má za úkol zvýšit efektivitu nasazení řezných nástrojů v obráběcím procesu. Prostřednictvím monitoringu pomáhá prodloužit standardně udávanou teoretickou životnost nástroje. Nástroj je možné vyřadit až případně, kdy jsou na něm patrné takové geometrické změny, které se neslučují s jeho dalším technologickým nasazením. Na rozdíl od standardního postupu, kdy je nástroj vyřazen po určité době v řezu bez ohledu na to, zda už je zcela opotřeбенý.

Navrhovaná konstrukce měřicího zařízení v sobě zahrnuje uvedenou metodiku měření. Měřicí zařízení je umístěno v pracovním prostoru obráběcího stroje, tak aby bylo možné kontrolovat opotřebení nástrojů v průběhu obráběcího procesu. Důležitým kritériem při takovém mezioperačním měření je prodloužení technologických časů. V tomto směru je výhodné volit takovou koncepci zařízení, kdy stroj může současně měřit i obrábět. Jedná se pak o mezioperační proces výměny nástrojů.

2. Cíl a metodika práce

Míra opotřebení břitu nástroje je jednou z jeho charakteristických vlastností. Intenzita opotřebení břitu je hodnocena tzv. trvanlivostí břitu řezného nástroje, tedy počtem obroběných kusů (případně minut v řezu, objemu odebraného materiálu, vyvrtaných děr apod.) do dosažení kritické velikosti opotřebení břitu. Velikost trvanlivosti břitu má přitom u obráběcích operací výrazný vliv na velikost výrobních nákladů a tedy v konečném důsledku na ekonomické ukazatele výrobního podniku.

Trvanlivosti břitu je nejčastěji stanovována experimentálním měřením. Míra opotřebení závisí na geometrii řezného nástroje, materiálu nástroje a obrobku, řezných podmínkách a době, po kterou je nástroj v řezu. Pokud se měření opotřebení provádí (především u speciálních nástrojů), pak se ve většině případů provádí mimo pracovní prostor stroje. Takové mezioperační měření může značně prodloužit mezioperační časy, což v dnešní době znamená neúměrný nárůst ceny výrobků.

Cílem této práce je navrhnout metodu kontroly opotřebení při procesu obrábění, tedy v prostoru obráběcího stroje. Tím by bylo dosaženo využití maximální životnosti nástroje, z čehož by plynula ekonomická úspora. Zároveň by bylo možné dosáhnout i zvýšení přesnosti obrobků a snížení zmetkovitosti díky včasnému vyřazování poškozených nástrojů.

3. Návrh a ověření metody měření opotřebení laserem

Cílem tohoto měření bylo ověření možnosti kontroly opotřebení břitu řezného nástroje laserem, především rozpoznání nástroje opotřebovaného od neopotřebovaného. Pro toto měření byly využity břitové destičky s břitem neopotřebovaným, částečně opotřebovaným a zcela opotřebovaným. Výsledky měření pak byly porovnány. Měření bylo provedeno v laboratoři Českého metrologického institutu na multisenzorovém měřicím stroji WERTH (Obr. 1), parametry tohoto stroje jsou uvedeny v Tab. 1.



Obr. 1 - WERTH video check HA

Měřicí rozsah	X= 800 mm
	Y= 400 mm
	Z= 200 mm
Nejistota měření	$E1 = 0,5+L/900 \mu\text{m}$
Rychlost	300 mm/sec
Akcelerace	1 000 mm/sec ²
Zatížení stolu	150 kg

Tab. 1 – Parametry měřicího stroje

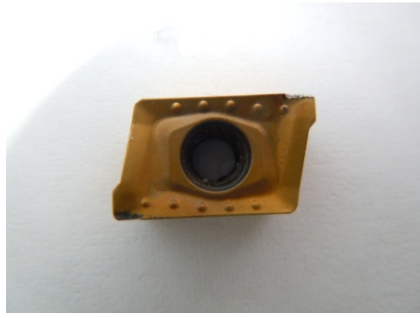
Výše uvedený stroj byl vybaven laserovým snímačem WERTH laser probe (Obr. 2), který pracuje na principu hledání ostrého obrazu dělením obrazové informace s vyhodnocením diferenciální diodou (tzv. Focault edge).

Pro účely měření byla vybrána břitová destička firmy Pramet APKX 1103 PDER-M 8040 (Obr. 3) určená pro obrábění austenitických, feriticko-austenitických, korozivzdorných žárovevých a žáruvzdorných, nemagnetických, otěruvzdorných ocelí. Uplatnění nachází i

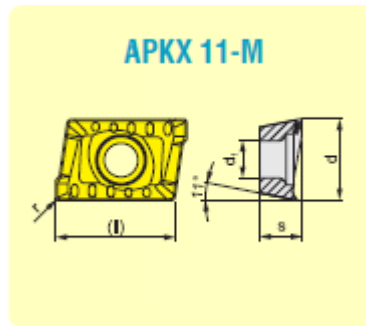
při obrábění dalších materiálů v extrémních záběrových podmínkách. I když má tento materiál vysoký obsah Co má poměrně velmi dobrou otěruvzdornost a to zejména za nižších a středních řezných rychlostí. Destička je povlakována mikrostrukturou PVD-gold, která je určena pro mechanické namáhání břitu do cca 900 MPa. Její základní rozměry jsou uvedeny v Tab. 2.



Obr. 2 - WERTH laser probe



Obr. 3 - Měřené břitové destičky

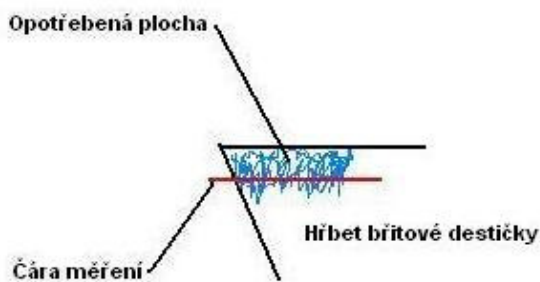


l	9,7 mm
d	6,35 mm
s	3,5 mm
d ₁	2,8 mm
r	0,6 mm

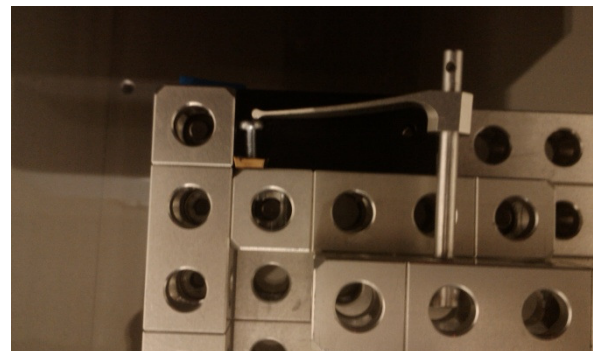
Tab. 2 - Parametry břitové destičky

3.1 Postup měření

Do přípravku umístěného na měřicím stroji (Obr. 5) byla nejdříve upnuta nová břitová destička. Naskenování plochy hřbetu a hrany břitu byl definován nový souřadný systém pro další měření destiček. Následně byly rovnoběžně s hranou břitu naskenovány povrchy ve vzdálenostech 0,1 mm, 0,3 mm a 0,5 mm od hrany břitu (Obr. 4). Opakované měření postupně proběhlo na destičce nové, částečně a více opotřebované, celkem tedy na třech stádiích opotřebování původně totožné geometrie.



Obr. 4 - Schéma měření

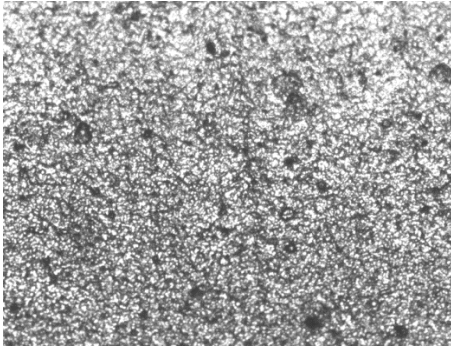


Obr. 5 - Použitý přípravek

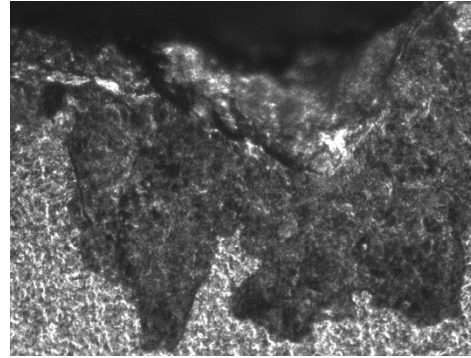
3.2 Zpracování naměřených dat

Aby bylo možné naměřená data odpovídajícím způsobem porovnávat a vyhodnotit stav opotřebování, bylo nutné naměřené hodnoty správně roztřídit. Měřicí stroj totiž při skenování povrchu mění frekvenci vzorkování podle složitosti daného povrchu. Pro stejnou naskenovanou vzdálenost se mění počet naskenovaných bodů. Zpracování dat bylo provedeno pomocí programu Matlab. Pro všechna měření byl nastaven krok 0,05 mm. Naměřená data byla odpovídajícím způsobem průměrována.

Detail povrchu neopotřebované destičky je vidět na Obr. 6 a opotřebované na Obr. 7. Z grafu pro vzdálenost 0,1 mm od břitu je také jasně vidět výrazné opotřebování špičky nástroje. To bylo možné změřit pouze pro málo opotřebovaný břit, pro břit zcela opotřebovaný už byl rozdíl příliš velký. Opotřebování je zde totiž výrazně větší než na zbytku nástroje.



Obr. 6 - Povrch břitové destičky
- neopotřeбенý (zvětšení 500:1)

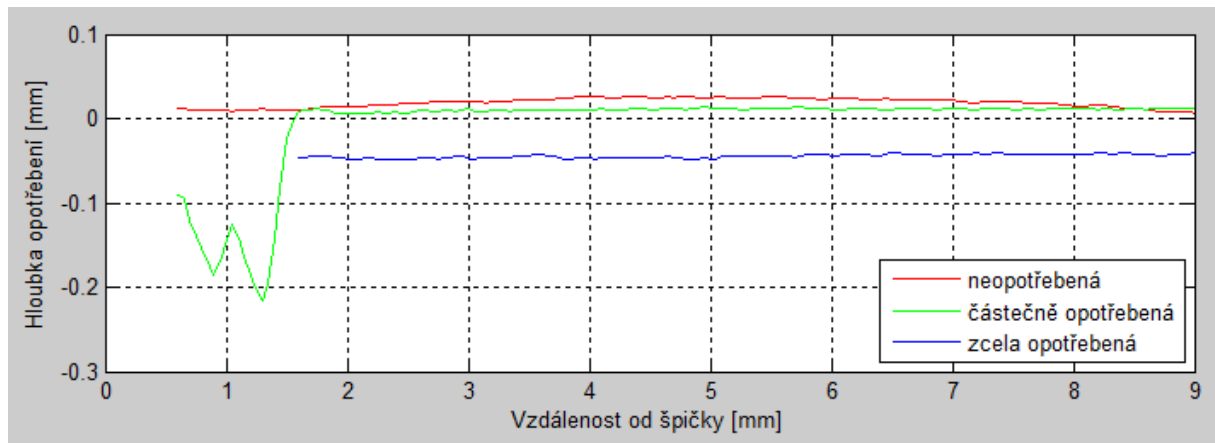


Obr. 7 - Povrch břitové destičky
- opotřeбенý (zvětšení 500:1)

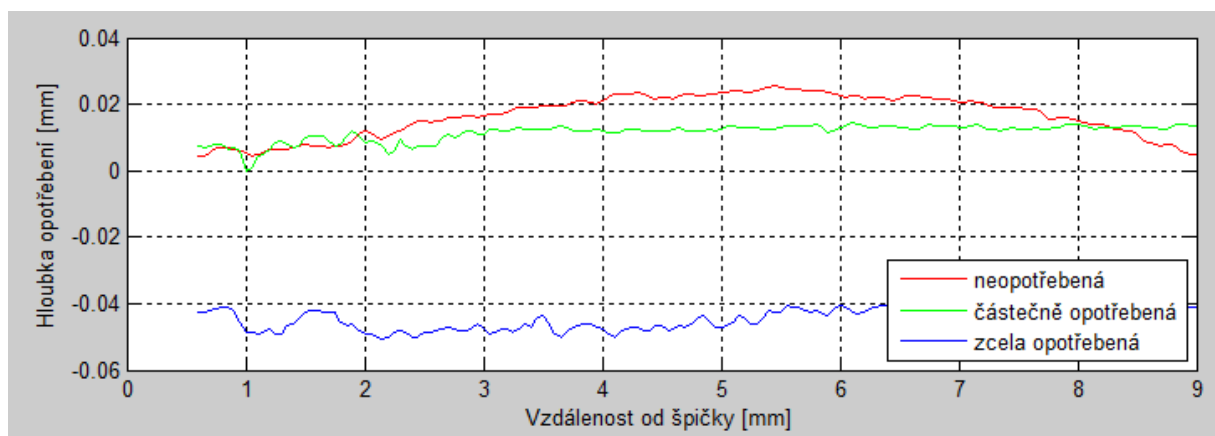
3.3 Vyhodnocení

V grafech 1,2,3 jsou vidět naměřené hodnoty ve vzdálenostech 0,1 mm, 0,3 mm a 0,5 mm od hrany břitu. Vyhodnocení měření proběhlo komparační metodou. Nová destička je považována za referenční geometrii.

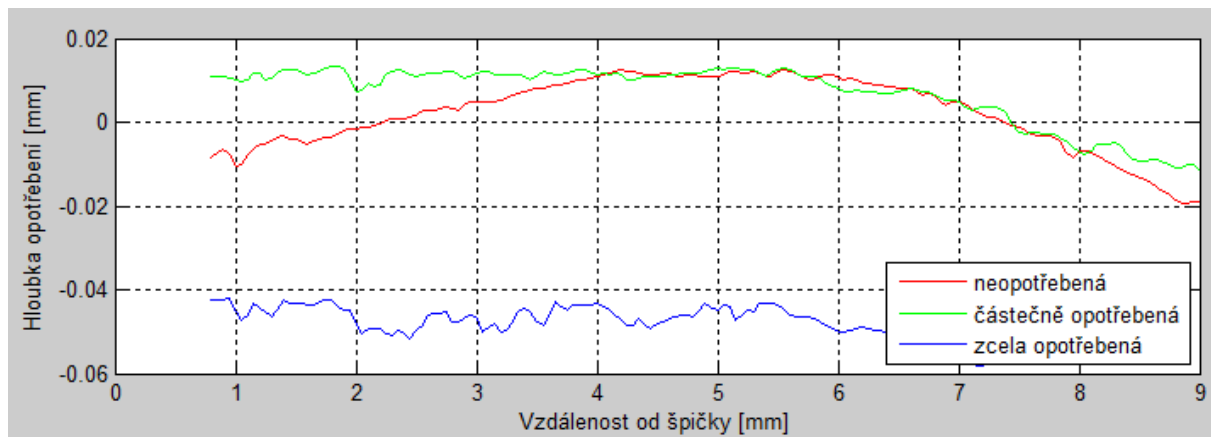
V grafech 4,5,6 je vynesena úbytek materiálu na hřbetě břitové destičky ve vzdálenostech 0,1 mm, 0,3 mm a 0,5 mm od čela. Z grafů je patrné, že kromě výrazného opotřeбенí špičky jsou destičky v nejvyšší míře opotřeбенy ve vzdálenosti 2÷7 mm od špičky. Tato skutečnost je určena technologickými parametry obrábění, především hloubkou třísky a_p a typem obráběcího procesu ve kterém byly břitové destičky použity.



Graf 1 - Naměřené hodnoty ve vzdálenosti 0,1 mm od čela

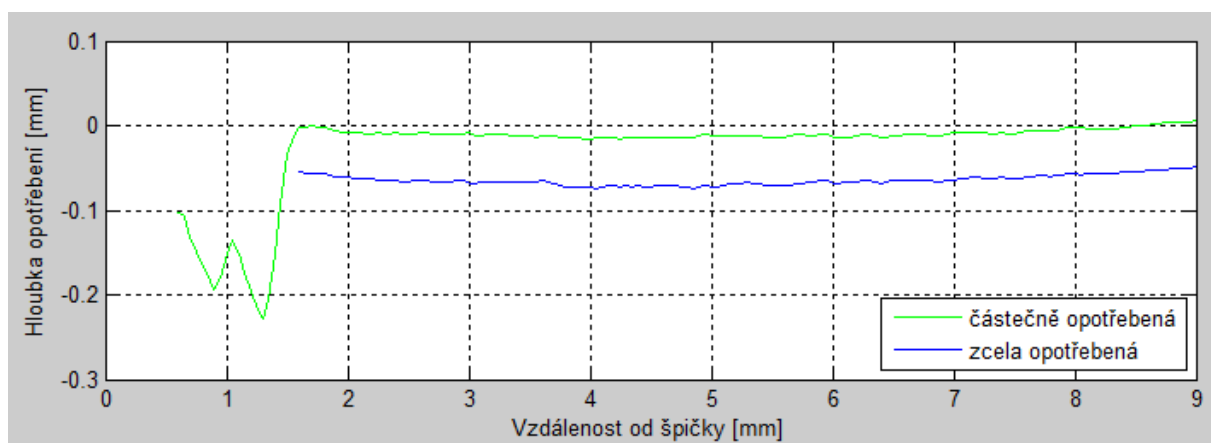


Graf 2 - Naměřené hodnoty ve vzdálenosti 0,3 mm od čela

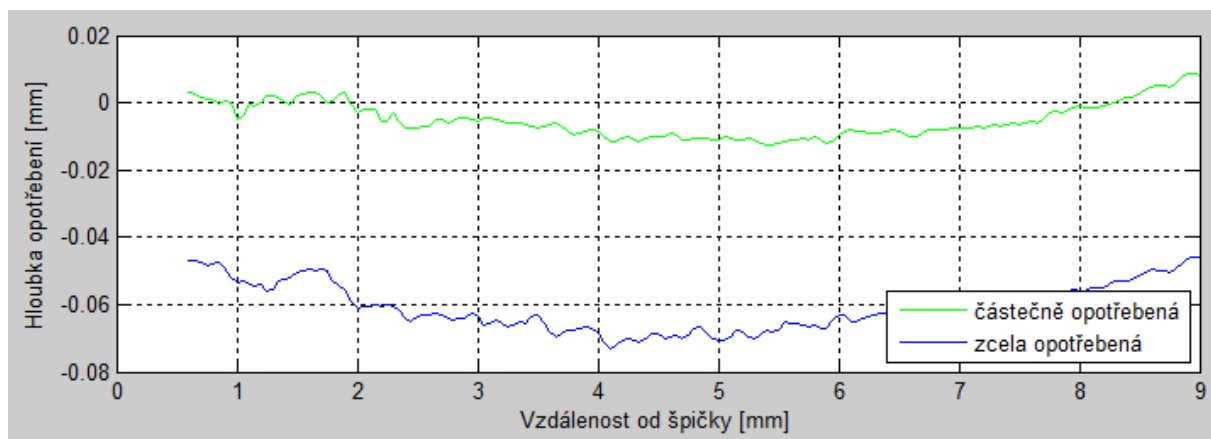


Graf 3 - Naměřené hodnoty ve vzdálenosti 0,3 mm od čela

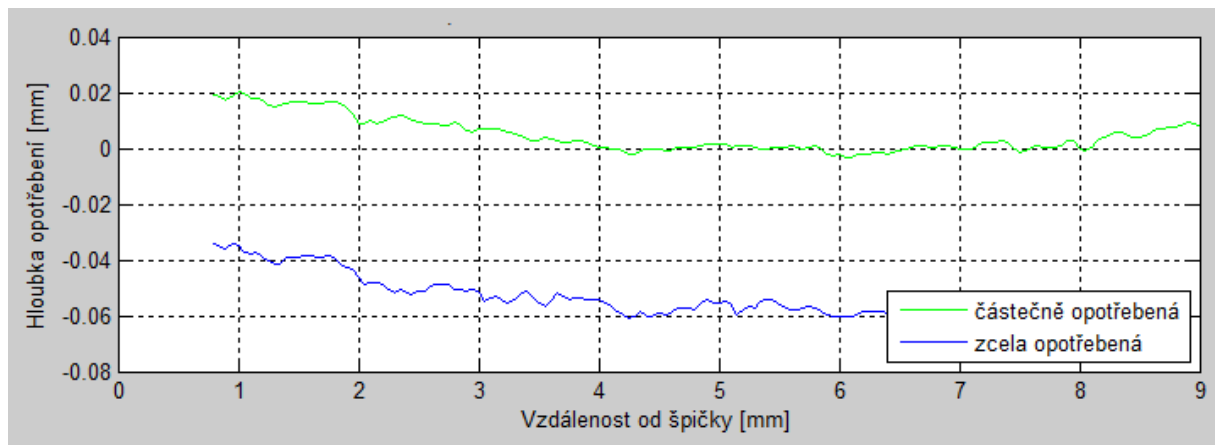
Aby bylo možné vyhodnotit, zda je destička opotřeбенá či ne, je nutné využít vztahu pro stanovení opotřeбенí, stačí v této oblasti naměřené hodnoty zprůměrovat a určit mezní přípustnou hodnotu. Pokud bychom například určili mezní přípustnou hodnotu opotřeбенí - 0,02 mm a vyhodnocovali opotřeбенí ve vzdálenosti 0,5 mm od břitu, je pak zřejmé, že destička, jejíž opotřeбенí je v grafu 6 vyneseno zeleně podmínce vyhoví a destička vynesena modrou barvou mezní hodnotu překračuje.



Graf 4 - Úbytek materiálu na hřbetě břitové destičky ve vzdálenosti 0,1 mm od čela



Graf 5 - Úbytek materiálu na hřbetě břitové destičky ve vzdálenosti 0,3 mm od čela



Graf 6 - Úbytek materiálu na hřbetě břitové destičky ve vzdálenosti 0,5 mm od čela

Z provedeného měření vyplývá, že prostřednictvím použitého typu laseru můžeme proměřovat profil břitu a s dostatečnou rozlišovací schopností stanovit geometrické změny na tomto povrchu vzniklé. Proces takového měření je možné automatizovat a nasadit v individuálním měření. Je ale nutné při této kontrole zohledňovat použitou technologii obrábění, především hloubku třísky, která ovlivňuje rozsah opotřebenění na břitové destičce.

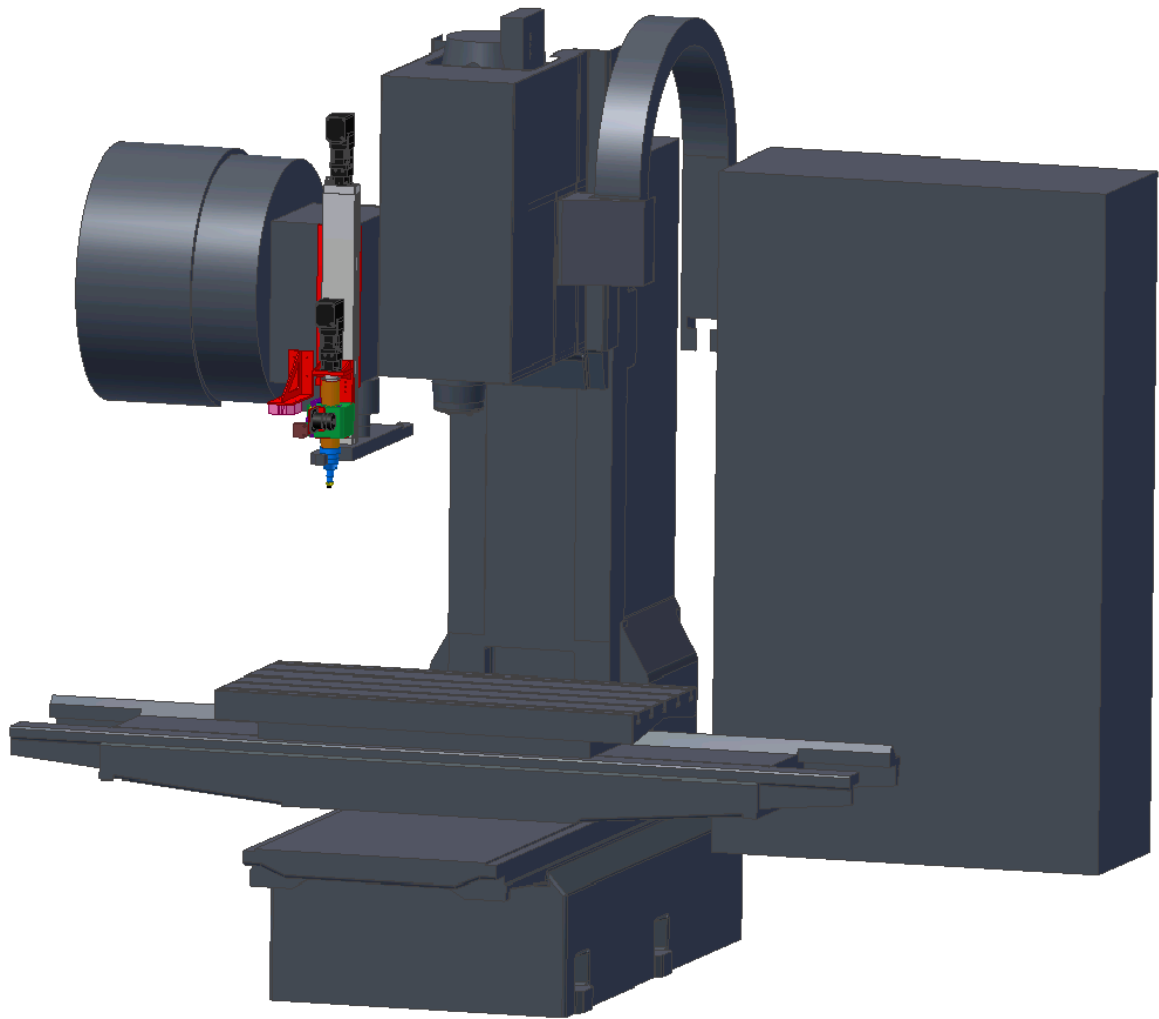
Určením v_{Bmax} , tedy maximálního opotřebenění břitu nástroje, se určí vzdálenost od břitu destičky, ve které bude měření prováděno. V této vzdálenosti je rovnoběžně s hranou břitu naskenována povrchová hřbetu řezného nástroje. Pak se stanoví mezní přípustná hodnota, kterou nesmí naměřená data v průměru překročit a meze, v kterých má být břitová destička naskenována. Přípustná hodnota opotřebenění je dána požadovanou přesností při obrábění a meze pro měření jsou určeny z hloubky třísky, kterou nástroj odebíral.

Naměřená data by byla porovnána s daty z neopotřebené břitové destičky, a pokud by byl nástroj vyhodnocen jako opotřebený, stroj by s ním nadále neobráběl. Takovou kontrolu by bylo možné provádět například při každé výměně nástrojů.

4. Konstrukční řešení měřicího zařízení

Navržená konstrukce měřicího zařízení je znázorněna na Obr. 8. Toto zařízení se skládá z lineární a rotační osy vybavené vřetenem. Rotační osa je v tomto konstrukčním uspořádání umístěna na ose lineární. Lineární osa umožňuje vertikální polohování a vyjímání nástrojů z ramena pro výměnu nástrojů. Rotační osa otáčí nástrojem při měření. Nástroje jsou měřeny prostřednictvím laserové triangulační sondy. Oproti původnímu návrhu ve výsledné konstrukci nebyla nasazena další polohovací jednotka pro pohyb laseru. Důvodem bylo předpokládané negativní ovlivnění měření způsobené polohovou odchylkou pohybové osy. Při využití laserového snímače s větším měřicím rozsahem jím není nutné polohovat.

Při realizování měřicího zařízení je dále nutné zaměřit se na krytování s ohledem na to, aby nemohlo v žádném případě dojít k poškození měřicího zařízení. Bylo by také vhodné nástroj před měřením očistit a to nejprve mechanicky a následně ofukem stlačeným vzduchem.

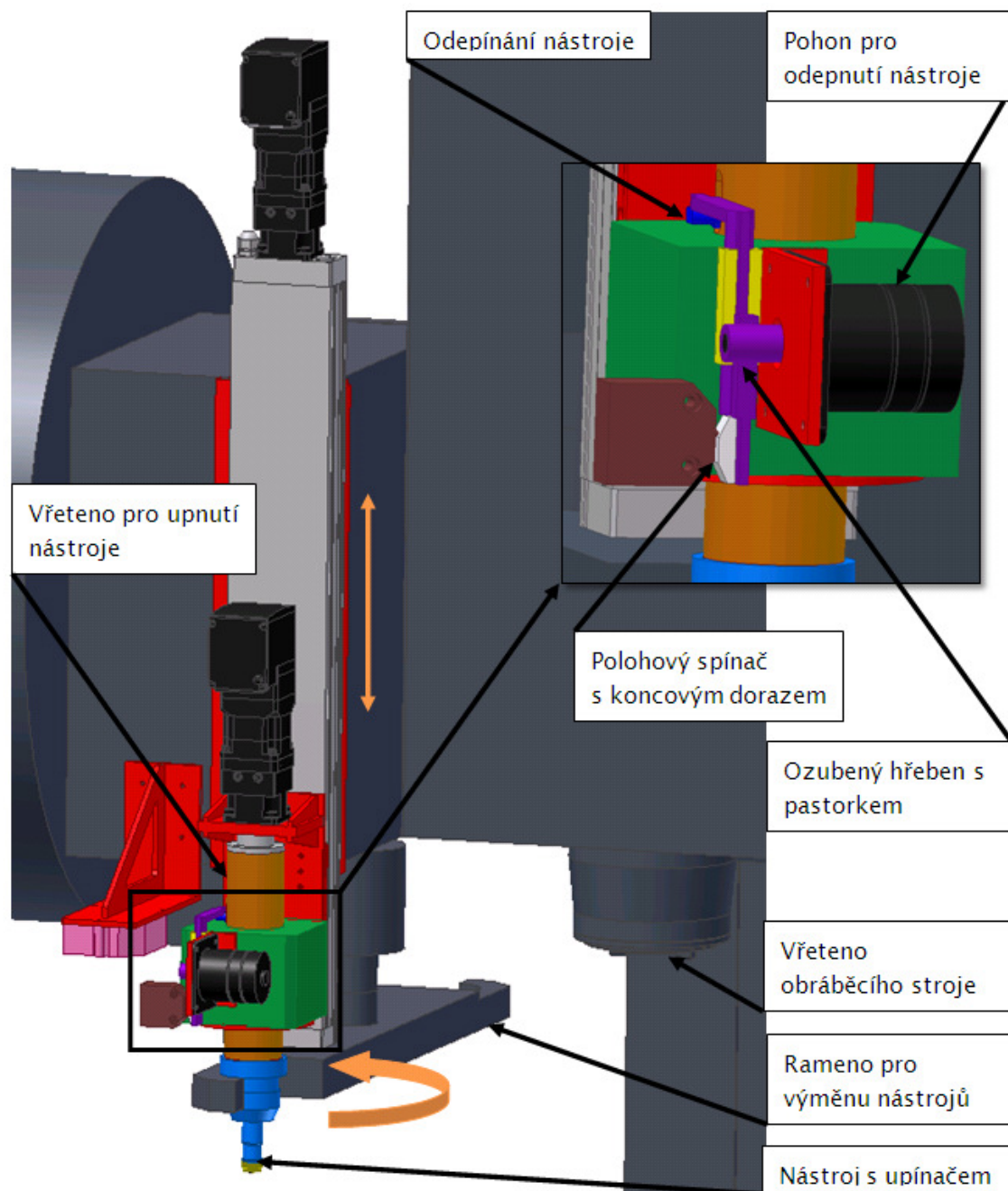


Obr. 8 - Umístění měřicího zařízení na stroji

4.1 Průběh měření

Rameno pro výměnu nástrojů vyjme nástroj ze zásobníku a zároveň z vřetene obráběcího stroje, pootočí se o 90° kde je nástroj vyjmutý z vřetene obráběcího stroje upnut do vřetene měřicí stanice. Následně se rameno pootočí o dalších 90° a upne nový nástroj do vřetene obráběcího stroje. Rameno pro výměnu nástrojů se vrací do výchozí pozice, obráběcí stroj provádí další operace na obrobku a mezi tím měřicí zařízení provádí kontrolu nástroje.

Upínání nástroje do měřicího zařízení je vidět na Obr. 9. Ve chvíli kdy se rameno pro výměnu nástrojů pootočí o 90° a nástroj je tak připraven pro upnutí do měřicí stanice sjede lineární osa s měřicím vřetenem nad nástroj. V tu samou chvíli je aktivován i systém upínání nástroje, složený z pohonu, který přes pastorek ovládá ozubený hřeben, a ovládání vyhazovače ve vřetenu, který rozevře kleštinu ve vřetenu. Ovládání vyhazovače je stlačeno, kleština rozevřena a nástroj je tak možné zasunout do vřetena. Následně je kleština uzavřena, nástroj je upnut a napolohován na měřicí pozici.



Obr. 9 - Upínání nástroje do měřicího zařízení

Pro kontrolu opotřebení lineární osa měřicího zařízení napolohuje měřený nástroj proti laserovému snímači a následně je rotací nástroje zjištěna poloha prvního břitu. Nástroj se pak pootočí o žádanou hodnotu v_B a plynulým pohybem lineární osy je pak změřen profil hřbetu nástroje ve vzdálenosti v_B od břitu. Tento profil je pak porovnán s profilem nástroje neopotřebeného a podle toho je rozhodnuto, zda je břit nástroje opotřebený, nebo je možné s ním dále obrábět. Toto měření je provedeno u všech břitových destiček po obvodu nástroje.

Při další výměně nástrojů je nejprve odepnut nástroj z měřicího vřetena, který je pak umístěn do zásobníku nástrojů. Následná výměna nástrojů probíhá, jak bylo popsáno výše. Kontrola nástrojů je prováděna triangulační laserovou sondou optoNCDT 2220 (Obr. 10), její parametry jsou uvedeny v Tab. 3.

Výrobce	MICRO-EPSILON
Model	opto NCDT 2220
Měřicí rozsah	50 mm
Začátek měřicího rozsahu	45 mm
Linearita	15 μm
Rozlišení	0,8 μm
Měřicí frekvence	20 kHz
Rozměr měřicího bodu	80 – 215 μm



Tab. 3 – Specifikace použité laserové sondy

Obr. 10 - Laserový snímač optoNCDT 2220

5. Závěr

Kontrola opotřebenění břitu řezného nástroje laserem je perspektivní metodou pro využití maximální životnosti břitových destiček. Bylo by možné stanovit míru opotřebenění nástroje, respektive její charakteristický vývoj v průběhu celkové životnosti. Navržená konstrukce měřicího zařízení umožňuje provádět měření v prostoru obráběcího stroje a dosáhnout tak využití maximální životnosti řezných nástrojů.

Při správné synchronizaci lineárního a rotačního posuvu nástroje s měřenými daty z laserové triangulační sondy by bylo možné na navrženém měřicím zařízení snímat celý povrch nástroje. Následným vytvořením 3D sítě a virtuálního modelu měřeného nástroje by pak mohla být vyhodnocena celá jeho geometrie, ze které by vyplývalo nastavení korekcí přímo v řídicím systému obráběcího stroje. Tímto směrem se bude ubírat další postup ve vývoji tohoto zařízení.

Seznam symbolů

X	Měřicí rozsah stroje v ose x	[mm]
Y	Měřicí rozsah stroje v ose y	[mm]
Z	Měřicí rozsah stroje v ose z	[mm]
E1	Nejistota při oboustranném měření	[μm]
L	Délka měření	[mm]
l	Délka břitové destičky	[mm]
d	Šířka břitové destičky	[mm]
s	Tloušťka břitové destičky	[mm]
d ₁	Průměr díry pro upevnění břitové destičky	[mm]
r	Rádus špičky břitové destičky	[mm]
a _p	Hloubka třísky	[mm]
v _{Bmax}	Maximální opotřebenění břitu řezného nástroje	[mm]
v _B	Průměrné opotřebenění břitu řezného nástroje	[mm]

Seznam použité literatury

- [1] LANG, Lukáš. *Výzkum využití laserových technologií v obráběcích strojích*. Praha, 2010. 57 s. Výzkumná zpráva. VÝZKUMNÉ CENTRUM PRO STROJÍRENSKOU VÝROBNÍ TECHNIKU A TECHNOLOGII.
- [2] SCHMID, Dietmar, et al. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechaniku*. Praha : EUROPA-Sobotálesv cz, 2005. 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- [3] PRAMET [online]. 2012/01 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.pramet.com>
- [4] MICRO-EPSILON [online]. 2012 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.com>
- [5] Český metrologický institut [online]. 10.05.2007 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.cmi.cz>
- [6] ABRAHAM, Martin. *Technologické aspekty opotřebení rezného nástroje*. Brno, 2008. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5250.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc