



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

KOM

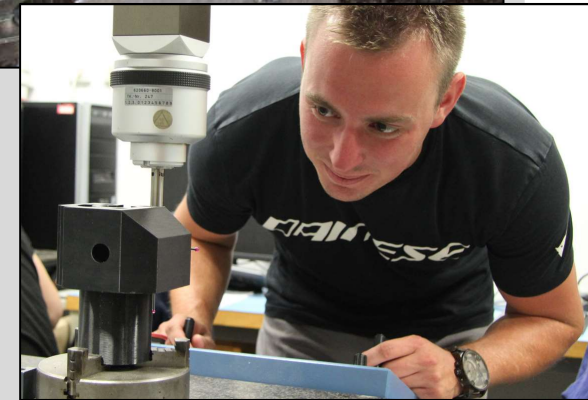




PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

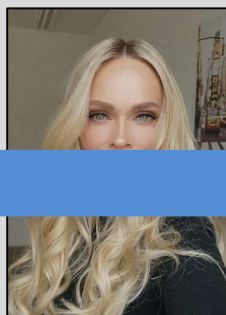
- Historie 66 let od roku 1957
- 4 zaměření:
 - Obrábění
 - Montáž
 - Projektování a řízení výroby
 - Metrologie
- Aktivní řešení projektů OP PIK, TAČR, aj.
- Podávání projektů OP JAK, OP TAK, TAČR, aj.
- Aktivní doplňková činnost (zakázky)



PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

VEDOUCÍ KATEDRY



ZÁSTUPCE VEDOUCÍ KATEDRY

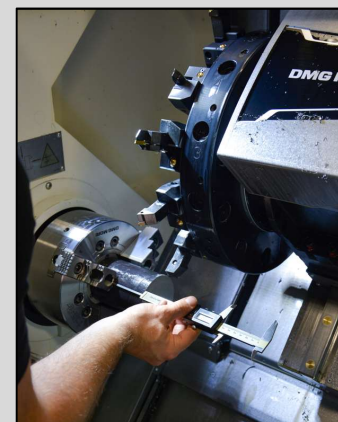
ASISTENTI



ODBORNÍ ASISTENTI



VEDOUCÍ LABORATOŘE TŘÍSKOVÝCH
TECHNOLOGIÍ A PROCESŮ



... a EXTERNISTÉ





PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

- **Obrábění**

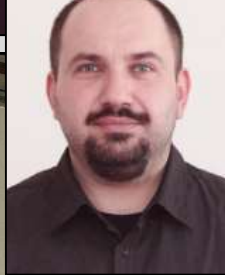
M. Váňa



T. Knápek



M. Ledvina



KOVOVÉ MATERIÁLY

KOMPOZITNÍ MATERIÁLY



- **Třískové mikro-obrábění**





PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

▪ Obrábění

KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

M. Váňa



T. Knápek



M. Ledvina



- OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE
- GEOMETRIE NÁSTROJE
- TVORBA A DESTRUKCE TŘÍSKY
- ŘEZNÉ PODMÍNKY

- DISERTAČNÍ PRÁCE
- DIPLOMOVÉ PRÁCE
- PROJEKT SGS – T. Knápek
- PROJEKTY – TA ČR, OP JAK



TA ČR: TJ02000175: Výzkum koncových měrek z hlediska teplotní roztažnosti a nestandardního složení materiálu



PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

▪ Třískové mikro-oblábění

KOVOVÉ MATERIÁLY

M. Váňa

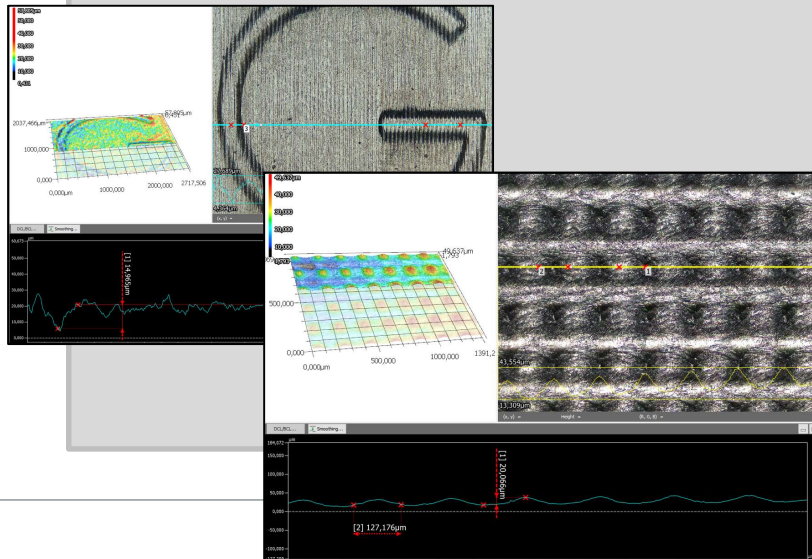


A. Knap



- GEOMETRIE NÁSTROJE A MATERIÁL
- ŘEZNÉ PODMÍNKY
- VÝROBA POVRCHOVÝCH STRUKTUR A JEJICH OPTIMALIZACE

- DISERTAČNÍ PRÁCE
- DIPLOMOVÉ PRÁCE
- PROJEKT SGS – A. KNAP
- PROJEKTY – OP JAK, TAČR





PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

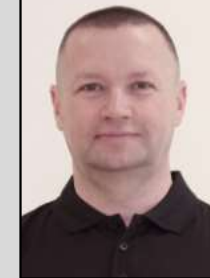
- **Montáž**

M. Ledvina



Projektování a řízení výroby

P. Kůsa

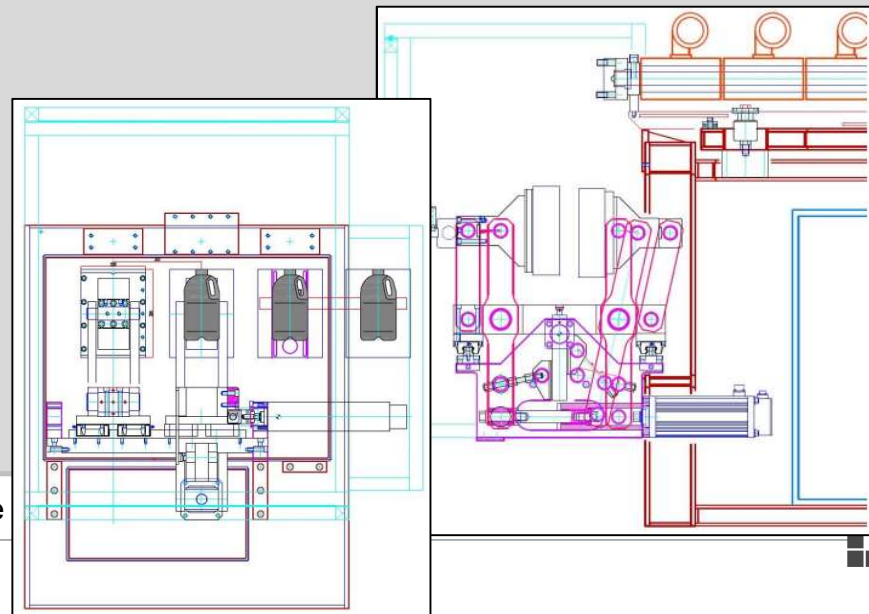


- BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE
- PROJEKTY – OP PIK

OP PIK: CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024941:
Vývoj nového typu vyfukovacího stroje pro extruzní vyfukování

OP PIK: CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024033:
Vývoj nové generace robotického odjehlovacího stroje bez nutnosti kartáčování

Koncepce prototypu nového vyfukovacího stroje

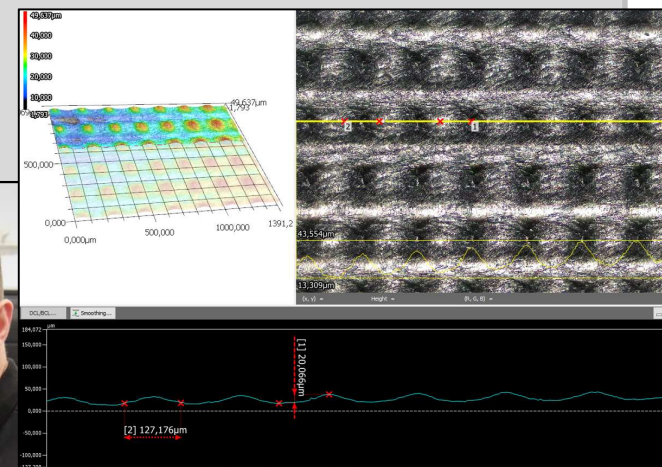
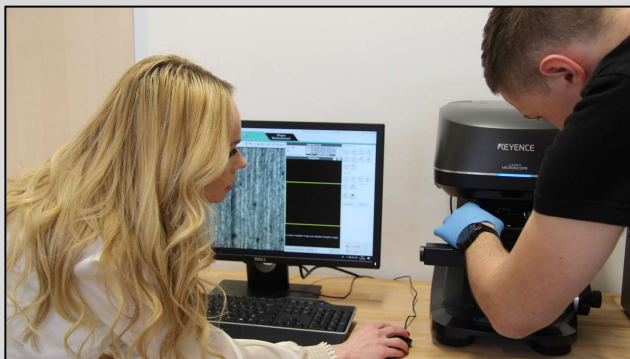


PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

■ Metrologie

2D, 3D MĚŘENÍ



TA ČR: TJ02000175: Výzkum koncových měrek z hlediska teplotní roztažnosti a nestandardního složení materiálů

TA ČR: TA03010663: Nové systémy pro kontrolu délky koncových měrek a vyhodnocení kvality jejich povrchů



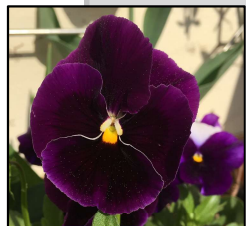
PŘEDSTAVENÍ

Katedra obrábění a montáže

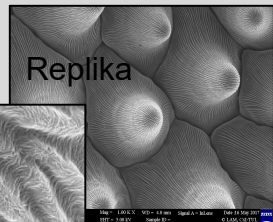
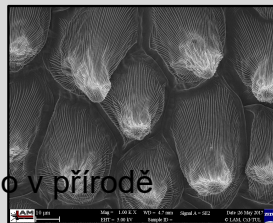
▪ Analogie přírodních povrchových struktur

Tým:
Š. Dvořáčková
A. Knap

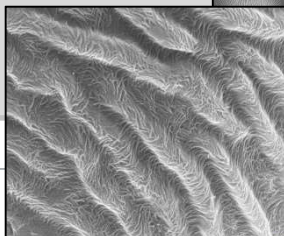
- REPLIKACE PŘÍRODNÍCH POVRCHOVÝCH STRUKTUR
- TRANSFER ANALOGIÍ PŘÍRODNÍCH POVRCHOVÝCH STRUKTUR DO TECHNICKÉ PRAXE



Vytvořeno v přírodě



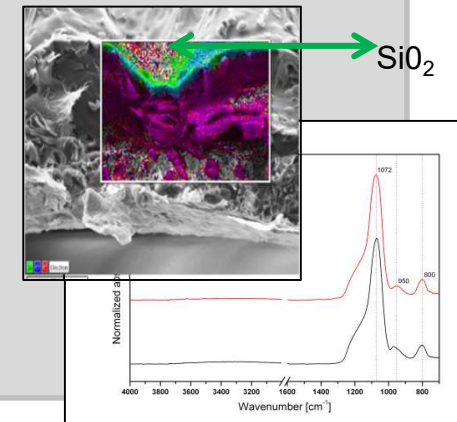
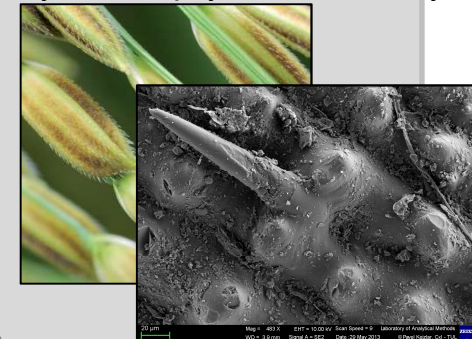
Replika



Kroisová, D. Method of obtaining a nanostructured hierarchical surfaces of a positive imprint of a copied natural surface.
Czech patent 308 915, r. 2021

Kroisová, D. Method of Obtaining Nanoparticles of Biomorphic Silica from Plants Sections Characterized of High Content Thereof
Czech patent P305968, r. 2018
Japan patent JP6375324

Rýžové slupky - oxid křemičitý





TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Děkuji za pozornost – a ... „ŠPONĚ ZDAR“

KOM



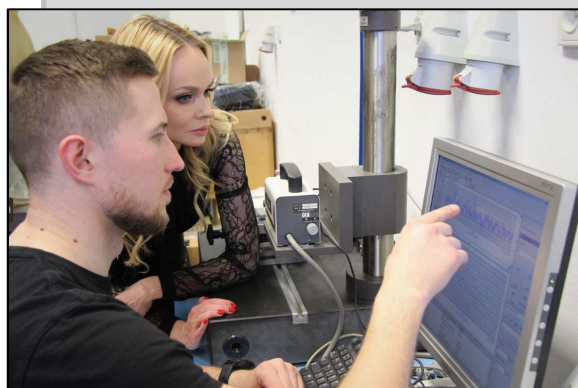
Katedra obrábění a montáže

Výuka:

Bakalářský studijní program Strojírenství (B0715A270008)



Zadání BP na KOM →

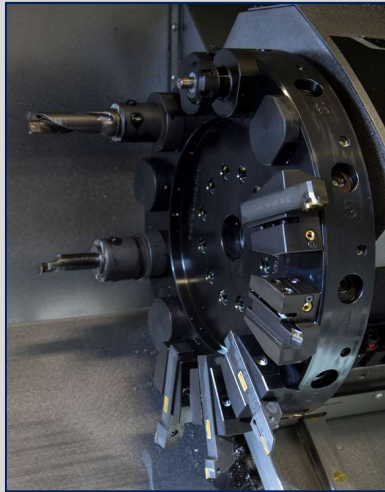


3. ROČNÍK

NÁZEV	ZKRATKA	SEMESTR
Technologie 3	TOB-B	Zimní
Bakalářský seminář	BCPS	Zimní
Montáž a metrologie	MOM-B	Letní
Bakalářská práce I.	BCP1	Letní
Bakalářská práce II.	BCP2	Letní

Katedra obrábění a montáže

Výuka: Technologie 3 (TOB-B)



Technologie 3 patří mezi **základní předměty** bakalářského studia na Fakultě strojní.

Zabývá se rozšířenými základy technologie obrábění (11 přednášek) a základy aditivních technologií (3 přednášky).

Za oblast **obrábění**, např.:

- základní technologie,
- řezné nástroje, podmínky,
- síly a teploty, opotřebení nástroje,
- nekonvenční metody obrábění, obrábění kompozitních materiálů, aj.



Katedra obrábění a montáže

Výuka: Montáž a metrologie (MOM-B)



Montáž a metrologie patří mezi **základní předměty** bakalářského studia na Fakultě strojní.

Zabývá se **základy montáže**, např.:

- organizací montážních pracovišť,
- ergonomií,
- automatizací montáže,
- nástroji řízení jakosti, aj.

Za oblast **metrologie**, např.:

- měřidla, návaznost, zákony,
- ověřování a kalibrace měřidel,
- chyby a nejistoty měření,
- podniková metrologie, aj.



Katedra obrábění a montáže

Výuka: Bakalářský seminář (KOM/BCPS)

1. **Vybrat téma BP na naší katedře** (zapsat se k danému tématu).
2. Sepsat, po konzultaci s vedoucím vaší BP (uvedena u tématu BP), literární rešerši k dané problematice práce, a v tištěné podobě ji odevzdat vedoucímu BP.
3. Po odsouhlasení odevzdané literární rešerše (k dané problematice BP) vedoucími BP získáte zápočet z daného předmětu.



Výuka BCPS probíhá v prvních 7mi týdnech společně se všemi zaměřenými pod vedením proděkana pro vzdělávací činnost.

Katedra obrábění a montáže

Výuka: Bakalářská práce I, II

Čím se zabýváme a co nabízíme v rámci témat BP:

Obrábění klasických
kovových materiálů

Metrologie
(2D a 3D měření)

Obrábění
kompozitních
materiálů

- uhlíkovými, skelnými vlákny, aj.
- přírodními vlákny (len, juta, aj.)

Mikro-obrábění

Montáž
Projektování a řízení
výroby

Katedra obrábění a montáže

Ukázka témat BP

Problematika vrtání kompozitních systémů, na bázi epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken, s ohledem na tvorbu třísky

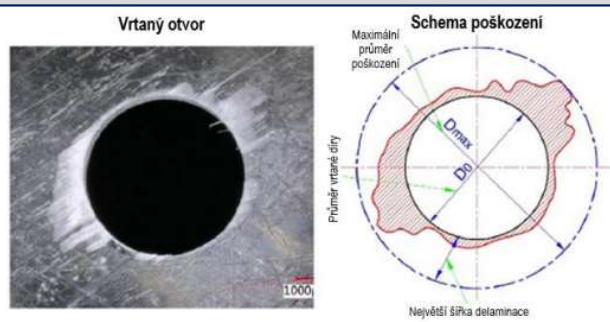
Cíl bakalářské práce

Studium problematiky vrtání do kompozitních systémů vyztužených uhlíkovými vlákny
→ vliv opotřebení nástroje na:

- Velikost řezných sil v ose Z (osa nástroje)
- Rozsah delaminace
- Tvorba třísky

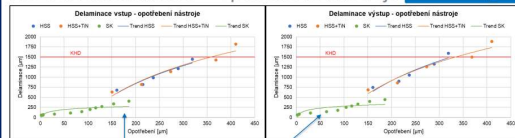


FAKULTA STROJNÍ TUL



Problematika vrtání kompozitních systémů, na bázi epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken, s ohledem na tvorbu třísky

Rozsah delaminace – opotřebení nástroje



Nejméně rozsah delaminace - SK
Vstup - 408 ± 6 μm při opotřebení 185,6 ± 1,5 μm
Výstup - 445 ± 4 μm při opotřebení 185,6 ± 1,5 μm

Rozsah delaminace roste s opotřebením nástroje

FAKULTA STROJNÍ TUL

Problematika vrtání kompozitních systémů, na bázi epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken, s ohledem na tvorbu třísky

Typy delaminace

- Během experimentu – delaminace typu I, II i III



Nejméně rozsah delaminace - SK

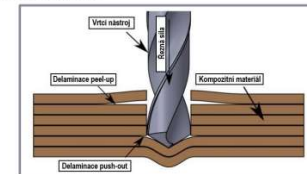
FAKULTA STROJNÍ TUL

Problematika vrtání kompozitních systémů, na bázi epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken, s ohledem na tvorbu třísky

Experimentální část bakalářské práce

K dosažení cíle bakalářské práce bylo potřeba zvolit:

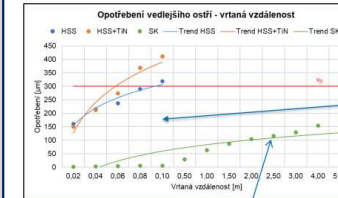
- Zkušební vzorky – obrobky z uhlíkového kompozitu
- Nástroje – 3 různé nástrojové materiály a odlišné geometrie
- Řezné podmínky
- Stroje a měřicí zařízení
- Metodika
- Způsob vyhodnocení sledovaných veličin



FAKULTA STROJNÍ TUL

Problematika vrtání kompozitních systémů, na bázi epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken, s ohledem na tvorbu třísky

Opotřebení nástroje – vrtaná vzdálenost



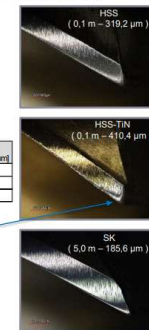
Opotřebení roste s vrtanou vzdáleností

Nástroj	Vrtaná vzdálenost [m]	Opotřebení [μm] ± Nejistota měření [μm]
HSS	0,1	310,2 ± 1,9
HSS+TiN	0,1	410,4 ± 1,5
SK	0,1	6,2 ± 0,2

Opotřebení otěrem

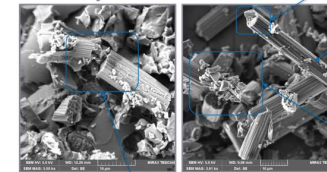
Nejnižší opotřebení nástroje – SK
185,6 ± 1,5 μm při vrtané vzdálenosti 5 m

FAKULTA STROJNÍ TUL



Problematika vrtání kompozitních systémů, na bázi epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken, s ohledem na tvorbu třísky

Tvorba třísky



Ostrý lom – větší pravděpodobnost vniknutí do lidské tkáně

Uhlíkové vlákno

Rozdrčená matrice – riziko vdechnutí
Velikost částic < 5 μm

Kolmý lom

Nástroj SK - VHODNĚJŠÍ

FAKULTA STROJNÍ TUL

Katedra obrábění a montáže

Ukázka témat BP

Studium integrity povrchu při frézování kompozitních desek vyztužených uhlíkovými vlákny

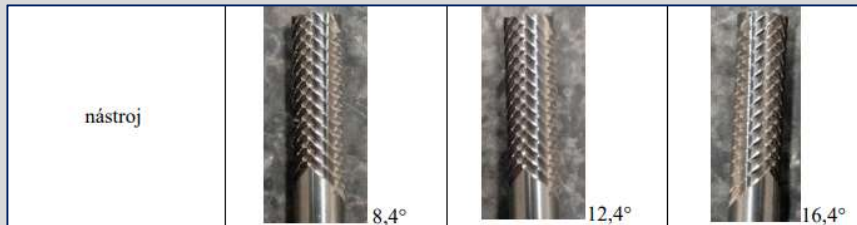
Cíl BP

Bakalářská práce byla zaměřena na studiu integrity povrchu při frézování kompozitních desek vyztužených uhlíkovými vlákny.



Cíl studie byl zaměřen na výzkumu vlivu úhlu hřbetu u frézovacího nástroje na opotřebení, řezné síly, drsnost obrobené plochy a delaminaci při nesousledném frézování kompozitních desek, vyztužených uhlíkovými vlákny, s tkaninou keprové vazby a s orientací vláken 90°.

FAKULTA STROJNÍ TUL

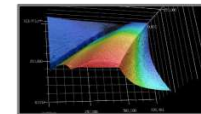
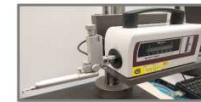


Studium integrity povrchu při frézování kompozitních desek vyztužených uhlíkovými vlákny

K dosažení cíle studie bylo nutné nejprve navrhnout:

- vhodné nástroje s různorodostí úhlu hřbetu (8,4°, 12,4° a 16,4°),
- strojní a měřicí zařízení pro realizovaný výzkum,
- vytvořit metody měření a vyhodnocení pro:
 - opotřebení řezného nástroje,
 - řezné síly,
 - drsnost obrobené plochy,
 - delaminaci.

V neposlední řadě shrnout a zhodnotit dosažené výsledky v rámci výzkumu.

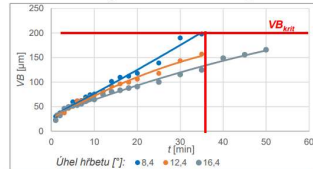


FAKULTA STROJNÍ TUL

Studium integrity povrchu při frézování kompozitních desek vyztužených uhlíkovými vlákny

Hodnocení opotřebení nástroje

Závislost opotřebení nástroje na čase



Opotřebení nástrojů se ZVYŠOVALO s rostoucím časem frézování.
Opotřebení nástrojů se ZVYŠOVALO s MENŠÍM ÚHLEM HRĚBTU (8,4°) nástroje.

Opotřebení OTĚREM. Toto opotřebení otěrem bylo způsobeno silnou abrazivností uhlíkových vláken.

Nástroj	8,4°	12,4°	16,4°
Čas t [min]	opotřebení VB [μm] ± nejistota měření U [μm]		
10	75,77 ± 0,89	73,43 ± 0,88	64,57 ± 0,99
20	118,09 ± 0,88	106,01 ± 0,87	90,91 ± 0,95
35	197,83 ± 0,95	157,09 ± 0,89	124,8 ± 0,98
50	-	-	165,88 ± 0,99

FAKULTA STROJNÍ TUL

Studium integrity povrchu při frézování kompozitních desek vyztužených uhlíkovými vlákny

Hodnocení delaminace

Závislost delaminace na opotřebení



Delaminace se ZVYŠOVALA s rostoucím opotřebením nástroje.

Delaminace s opotřebením se ZVYŠOVALA s MENŠÍM ÚHLEM HRĚBTU (8,4°) nástroje.

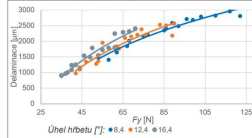
nástroj	8,4°	12,4°	16,4°
čas t [min]	velikost delaminace horní hrany [μm] velikost delaminace spodní hrany [μm] opotřebení VB [μm] ± nejistota měření U [μm]		
1	1478 ± 0,81 1164 ± 0,95 1901 ± 0,94	970 ± 0,96 497 ± 1,03 2103 ± 0,96	504 ± 0,99 603 ± 0,94 1460 ± 0,96
10	2027 ± 0,91 1901 ± 0,94 2072 ± 0,99	2284 ± 0,91 2103 ± 0,96 2024 ± 0,95	72,44 ± 0,98 1687 ± 0,95 1804 ± 0,94
20	2345 ± 0,93 118,09 ± 0,88 2008 ± 1,11	2019 ± 1,15 108,01 ± 0,97 1568 ± 0,99	1807 ± 0,91 90,91 ± 0,95 1312 ± 0,91
35	2343 ± 0,96 197,83 ± 0,95	2015 ± 0,94 107,99 ± 0,99	1878 ± 1,11 2481 ± 0,93
50	-	-	2278 ± 0,94 165,88 ± 0,99

FAKULTA STROJNÍ TUL

Studium integrity povrchu při frézování kompozitních desek vyztužených uhlíkovými vlákny

Hodnocení delaminace

Závislost delaminace na řezné síle



Delaminace se ZVYŠOVALA s rostoucí řeznou silou.

Delaminace s řeznou silou se ZVYŠOVALA s MENŠÍM ÚHLEM HRĚBTU (8,4°) nástroje.

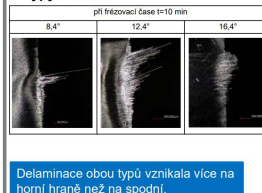
nástroj	8,4°	12,4°	16,4°
čas t [min]	velikost delaminace horní hrany [μm] velikost delaminace spodní hrany [μm] řezná síla Fz [N] nejistota měření U [μm]		
1	1478 ± 0,81 1164 ± 0,95 1901 ± 0,94	970 ± 0,96 497 ± 1,03 2103 ± 0,96	504 ± 0,99 603 ± 0,94 1460 ± 0,96
10	2027 ± 0,91 1901 ± 0,94 2072 ± 0,99	2284 ± 0,91 2103 ± 0,96 2024 ± 0,95	72,44 ± 0,98 1687 ± 0,95 1804 ± 0,94
20	2345 ± 0,93 118,09 ± 0,88 2008 ± 1,11	2019 ± 1,15 108,01 ± 0,97 1568 ± 0,99	1807 ± 0,91 90,91 ± 0,95 1312 ± 0,91
35	2343 ± 0,96 197,83 ± 0,95	2015 ± 0,94 107,99 ± 0,99	1878 ± 1,11 2481 ± 0,93
50	-	-	2278 ± 0,94 165,88 ± 0,99

FAKULTA STROJNÍ TUL

Studium integrity povrchu při frézování kompozitních desek vyztužených uhlíkovými vlákny

Hodnocení delaminace

Typy delaminace



Vzniká delaminace na hranách obrobené desky byla typu I/II a III.

Delaminace obou typů vznikala více na horní hraně než na spodní.

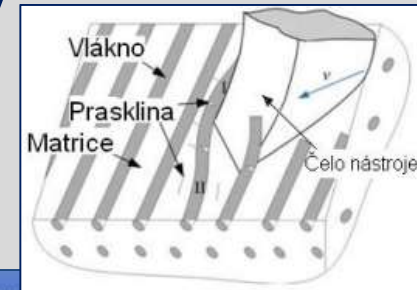
FAKULTA STROJNÍ TUL

Katedra obrábění a montáže

Obrábění kompozitů vyztužených vlákny

Problematika :

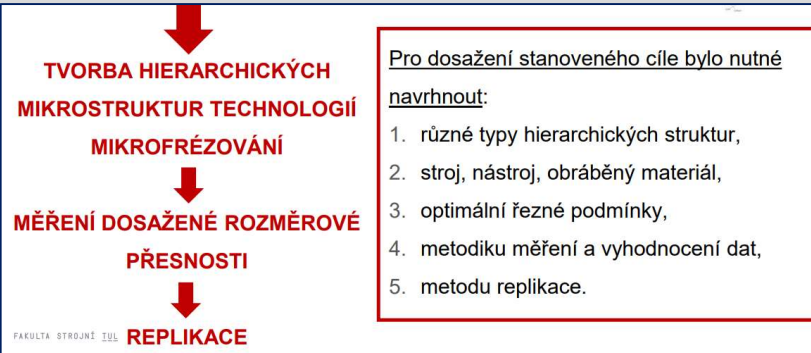
- opotřebením nástroje – vzhledem k vysoké tvrdosti vlákna a nízké tepelné vodivosti polymerů vyztuženými vlákny je **opotřebením nástroje rychlé**, geometrií nástroje,
- kompozity jsou drahé a výrobní náklady vysoké - v leteckém průmyslu bylo odmítnutí dílů vyrobených z kompozitních laminátů kvůli **poškození delaminací** způsobeným vrtáním během konečné montáže až **60 %**,



- prach vznikající při obrábění kompozitních materiálů je škodlivý pro zdraví pracovníků i pro zařízení,
- vysoké řezné síly způsobují poškození kompozitů, aj.

Katedra obrábění a montáže

Ukázka témat BP



Vzorek č. 1 – reliéf typu vln

Inspirováno mechem

Vzorek č. 2 – reliéf typu kuželů

Inspirováno Ibiškem trojdílným

Vzorek č. 3 – reliéf typu kom. jehlanů

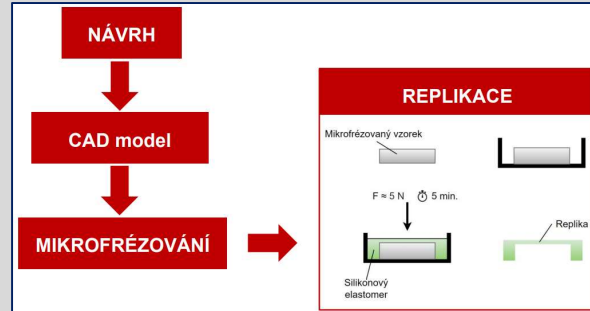
Inspirováno květem macešky

Vzorek č. 4 – reliéf typu podl. válců

Inspirováno lotosovým listem

Obráběcí nástroj

- Dvoubřitá kulová fréza
- Průměr nástroje: 0,1 mm
- SK s povlakem TiSiN



Obraběný vzorek č. 2 – reliéf typu kuželů

	Hloubka profilu [μm]	Rozteč profilu [μm]	Čas [min]
CAD	150	200	30
Obrobek	100,54 ± 1,66	199,93 ± 1,35	240
Replika	76,23 ± 1,06	200,58 ± 0,86	15

Dosažená přesnost obrobku vůči CAD modelu

Hloubka profilu [%]	Rozteč prvků profilu [%]
67,03	99,97

INOVOVANÉ ŘEZNÉ PODMÍNKY – vzorek č. 3, č. 4

n [ot/min]	f _z [mm]	v _c [mm/min]	a _p [mm]	a _e [mm]
60 000	0,0007	80	0,001	0,005

MIKROFRÉZOVÁNÍ X LASEROVÉ OBRÁBĚNÍ (ČVUT PRAHA)

- Identické mikrostruktury
- Stejná metodika měření

Typ reliéfu	Hloubka profilu [%]		Rozteč profilu [%]	
	TUL	ČVUT	TUL	ČVUT
Reliéf typu vln	61	101	100	100
Reliéf typu kuželů	67	98	100	100
Reliéf typu komolých kuželů	104	100	101	100
Reliéf typu podlouhlých válců	100	92	100	nezměřeno

Závěr

Je ověřeno, že mikrofrézováním lze vyrobit hierarchické mikrostruktury s hloubkou profilu 200 μm.

1. Mikrostruktury vytvořené mikrofrézováním dosahovaly rozměrovou přesnost téměř 99 % v porovnání s CAD předlohou.
2. Vyrobené hierarchické mikrostruktury lze pomocí procesu replikace kopírovat. Replika pak odpovídá povrchu obrobku mikrostruktury z 91 %. Zbýlých 9 % je způsobené uzavřenou mikrostrukturou.
3. Bylo prokázáno, že metodou mikrofrézování a laserovým obráběním bylo dosaženo relativně stejné přesnosti.

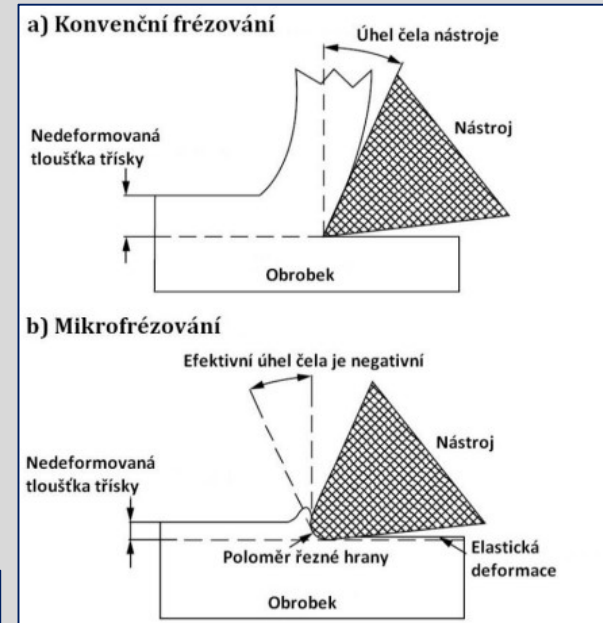
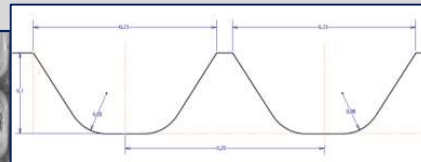
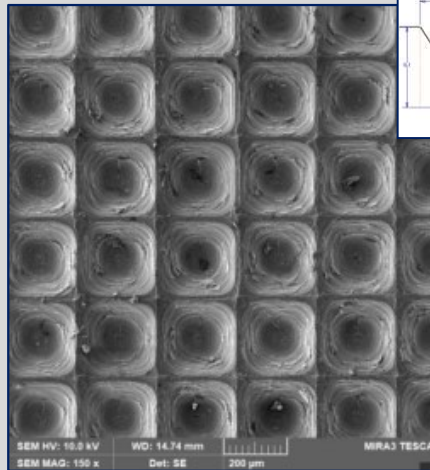
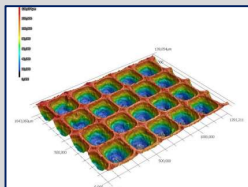


Katedra obrábění a montáže

Třískové mikro-obrábění MIKRO-FRÉZOVÁNÍ

Mikro-frézování je vhodné pro výrobu jemných tvarů a struktur pro součásti z oceli.

Při zmenšování průměru nástroje je nutné uvažovat vliv zaoblení ostří, tloušťku odebírané třísky a zejména snižující se tuhost nástroje.



Výsledek obrábění je ovlivněn:

- použitým strojem,
- geometrií nástroje,
- materiálu obrobku,
- reznými podmínkami, tj. reznou rychlostí, posuvem a hloubkou řezu.



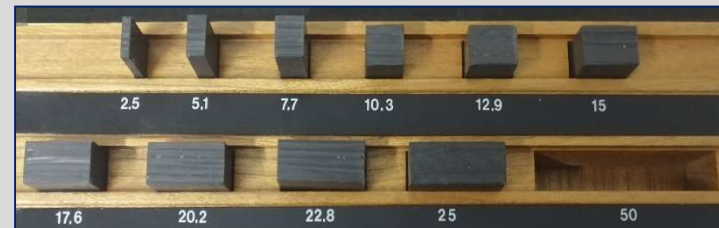
Katedra obrábění a montáže

Metrologie

KOMPOZITNÍ KONCOVÉ MĚRKY

Kalibrovaná kompozitní sada koncových měrek vyniká:

- nízkou teplotní roztažností ($3,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$),
- odolností proti nárazu a působení agresivních chemických prostředí, recyklovatelností,
- cenovou dostupností.



Ocelové koncové měrky

Využití **Českým metrologickým institutem**, který je národní metrologickou institucí.

ČMI využívá unikátní sadu v rámci kalibrací, jako sekundární etalon délky, nejen kompozitních měřidel, ale i v rámci kalibrací klasických kovových měřidel.

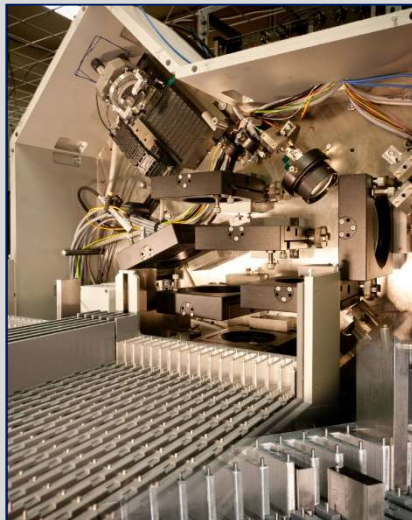
Katedra obrábění a montáže

Metrologie

BEZKONTAKTNÍ SYSTÉM PRO MĚŘENÍ DÉLKY (KALIBRACE) KONCOVÝCH MĚREK

Podíl na vývoji a optimalizace systému se zaměřením na:

- stanovení nejistoty měření systému,
- kalibrační postup/metodika měření délky koncových měrek,
- mezisystémové porovnání.



BEZKONTAKTNÍ SYSTÉM

- + Přímá návaznost na státní etalon délky.
- + Celá sada KM (122 ks) – 1 až 4 dny.
- + **BEZ POŠKOZENÍ.**

- Nejistota měření U .

$$U = \sqrt{51^2 + (0,5 \times I_n)^2} \text{ nm}$$

Mezisystémové porovnání stávajících systémů k měření délky KM s bezkontaktním systémem

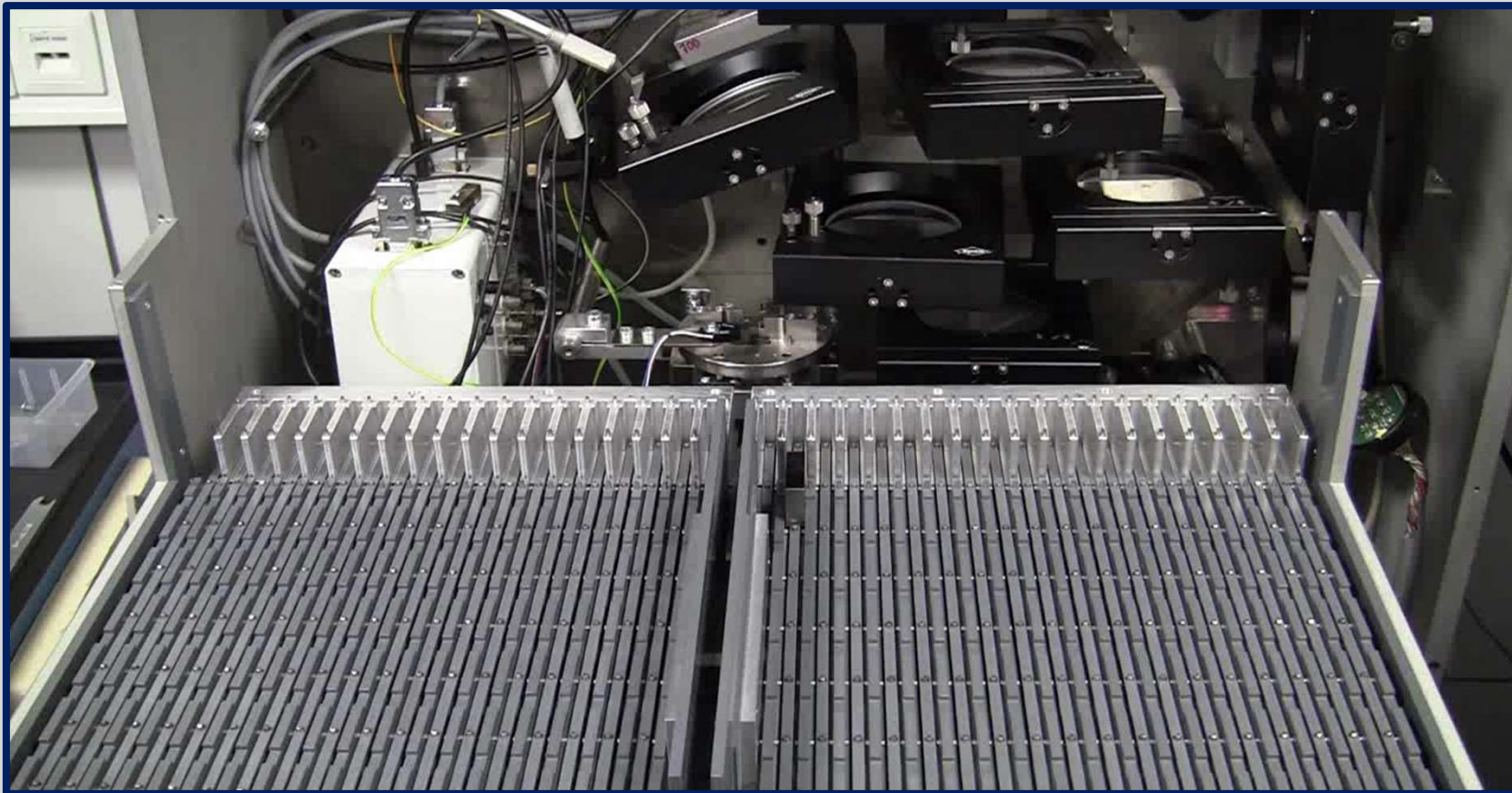
TESA NPL A.G.I. 300	TESA-UPC	BEZKONTAKTNÍ SYSTÉM
<ul style="list-style-type: none"> 1 ks KM: 1890 Kč Sada KM (122 ks): 230 580 Kč Kalibrace/měření délky 1 ks KM: 2h (120 min.) Za 3 měsíce: 230 580 Kč (změněna 1 sada KM) 	<ul style="list-style-type: none"> 1 ks KM: 345 Kč Sada KM (122 ks): 42 090 Kč Kalibrace/měření délky 1 ks KM: 0,5h (30 min.) Za 3 měsíce: 210 450 Kč (změněno 5 sad KM) 	<ul style="list-style-type: none"> 1 ks KM: 250 Kč Sada KM (122 ks): 30 500 Kč Kalibrace/měření délky 1 ks KM: 0,1h (6 min.) Za 3 měsíce: 305 000 Kč (změněno 10 sad KM)
		Cena
		Čas

Využití Českým metrologickým institutem v rámci kalibrací koncových měrek

Katedra obrábění a montáže

Metrologie

BEZKONTAKTNÍ SYSTÉM PRO MĚŘENÍ DÉLKY (KALIBRACE)
KONCOVÝCH MĚREK



Katedra obrábění a montáže

Metrologie MĚŘENÍ

Vybavení:

- profilometr Mitutoyo SurfTest SV-2000N2,
- konfokální mikroskop a 3D laserový bezkontaktní,
- profiloměr KEYENCE VK-X1100,
- digitální analyzátor Barkhausenova šumu MicroScan 600-1,



Mikroskop KEYENCE VK-X1000

Termomechanický analyzátor
TMA PT-1000LT



Souřadnicový měřicí stroj Zeiss Prismo 5

- souřadnicový měřicí stroj Zeiss Prismo 5,
- termomechanický analyzátor TMA PT-1000LT. aj

Katedra obrábění a montáže

Katedra sídlí v **budově E, 4. patro** – po levé straně.

Vedoucí katedry: doc. Ing. Š. DVOŘÁČKOVÁ, Ph.D.

