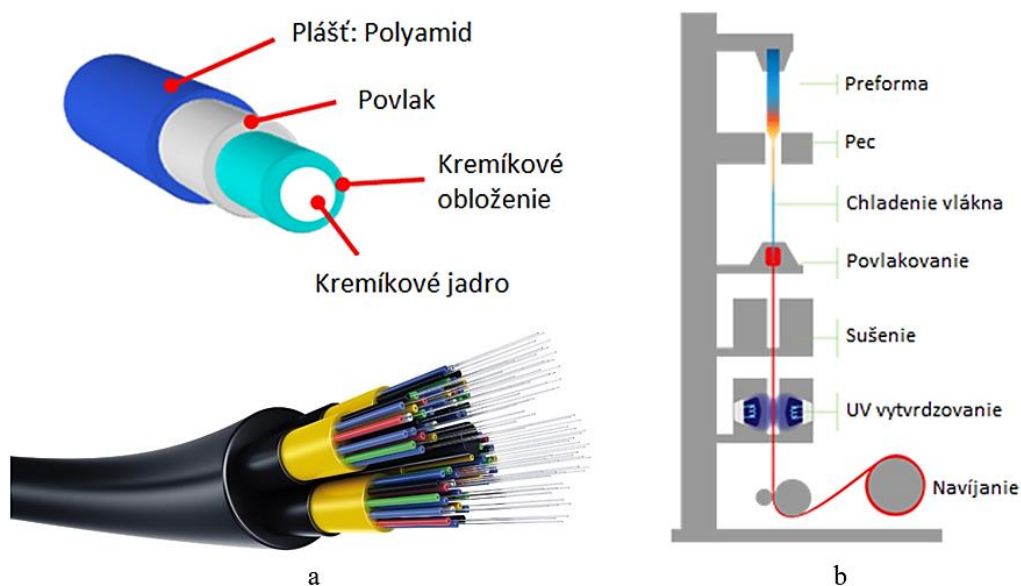


5 ANALÝZA VARIANTNÝCH SPÔSOBOV ULTRAZVUKOVÉHO OBRÁBANIA SiO_2 TYČE S PROFILOM MNOHOUHOLNÍKA

Úvod

Výroba optických vlákien je náročný proces s vysokými požiadavkami na výslednú kvalitu produktu. Optické vlákno musí byť schopné prenášať vysokú energetickú hustotu, mať čo najmenšie straty, dobrú pevnosť a odolnosť voči teplu a UV žiareniu. Na zlepšenie spomínaných vlastností sa využívajú ochranné vrstvy. Jadro optického kábla (Obr. 5.1a) tvorí optické vlákno schopné prenášať optický signál rôznych vlnových dĺžok. Jeho priemer býva 0,2 až 1,5 mm. Na jadro sa nanáša reflexná vrstva, ktorej úlohou je odrážať signál späť do vlákna a tým znížiť prenosové straty. Jej hrúbka je závislá od priemeru jadra a môže sa pohybovať od 0,01 do 0,075 mm. Po nanosení tejto vrstvy sa priemer vlákna zväčší približne o 10 %. Túto reflexnú vrstvu chráni ďalší povlak, ktorého účelom je zlepšiť mechanické vlastnosti optického vlákna a zároveň zabezpečiť lepšiu príľnavosť vonkajšieho plášťa. Vonkajší plášť chráni optické vlákno pred poškodením a pred negatívnym vplyvom prostredia. Jeho materiál a hrúbka sú ovplyvnené najmä prostredím, v ktorom sa má optické vlákno nachádzať (optické vlákna môžu byť vedené v zemi, ale aj pod morom). Zvyčajne sa vyrába z polyamidov (PA) a môže odolávať teplotám od -40 do 300 °C. Samotné jadro sa vyrába z oxidu kremičitého, ale môže byť vyrobené aj z plexiskla (PMMA). Princíp zariadenia na výrobu optických vlákien vidieť na Obr. 5.1b. V jednom optickom kábli môžu byť aj spletené viaceré optické vlákna (Fujikura, 2020; Alicat, 2020; Sikora, 2020; Abrate, 2013).



Obr. 5.1. Prierez optického kábla a schéma ťahania optických vlákien (Fujikura, 2020; Alicat, 2020; Sikora, 2020)

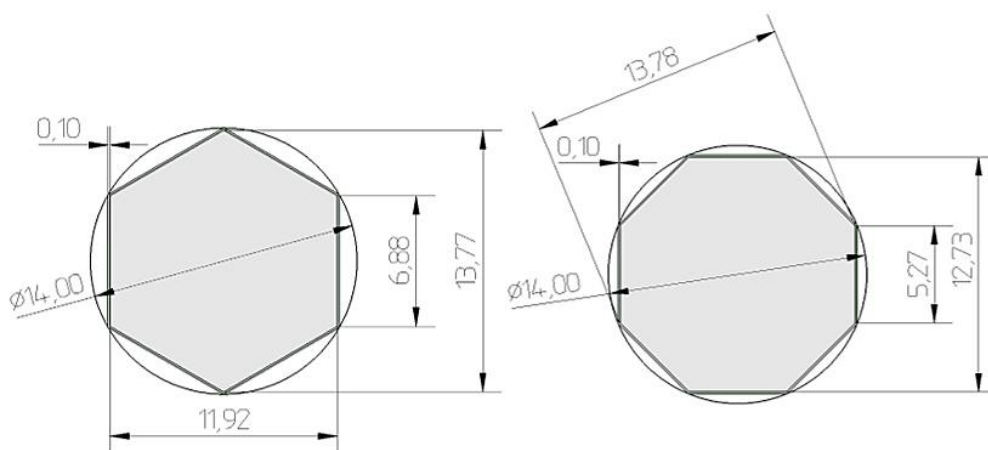
5.1 Charakteristika obrobku

Oxid kremičitý (SiO_2) je tvrdý a krehký materiál, ktorý sa používa v mnohých priemyselných oblastiach. Širšie zastúpenie má v elektronike a optike. Využíva sa aj ako preforma pri výrobe optických vlákien. Preforma je vstupný polotovár z ktorého sa ťahajú optické vlákna. Kým optické vlákna sú dlhé a tenké, preformy sú krátke a hrubé tyče. Na tento účel sa vyžaduje šesťuholníkový alebo osemuholníkový priečny prierez, avšak kvôli

vlastnostiam vstupného procesu majú polotovary kruhový prierez, preto je nevyhnutné ďalšie opracovanie. Zvyčajne ním býva brúsenie, avšak tento proces je časovo náročný.

Táto štúdia ponúka riešenia problému nízkej produktivity brúsenia kruhových SiO₂ tyčí nahradením technológiou rotačného ultrazvukového obrábania (RUM), pričom sú analyzované dva rôzne princípy výroby šesťuholníkového a osemuholníkového profilu z valcovej tyče z hľadiska dosiahnutej tvarovej presnosti. Cieľom je dosiahnuť čo najkratší možný čas výroby pri dodržaní adekvátnej rozmerovej presnosti získaného produktu. Čas sa zaznamenával stopkami, kým presnosť pomocou optického 3D skenera, ktorý výsledný produkt digitalizuje a potom porovná s CAD modelom.

Polotovarom je kryštálový valček s priemerom 14 mm. Jeho dĺžka sa pohybuje od 80 do 150 mm. Z neho sa vytiahne vlákno s priemerom 0,125 až 0,4 mm, pričom z 10 mm dĺžky preformy možno získať 12 až 125 m vlákna. Maximálna odchýlka tvaru predstavuje 1 % (čiže $\pm 0,14$ mm). Napriek tomu rozmery samotné nie sú dôležité – vyžaduje sa najväčší možný rovnostranný mnohoúhelník vyrobiteľný z kruhovej tyče priemeru 14 mm. Rozmery takýchto profilov sú znázornené na Obr. 5.2. Vzhľadom na možné nepresnosti vstupného valcového polotovaru môžu vzniknúť na výslednom profile zaoblenia. Aby sa tomu zabránilo a zabezpečili sa ostré hrany, bol najväčší možný vpísaný mnohoúhelník zmenšený o 0,1 mm z každej strany (UFE, 2020).



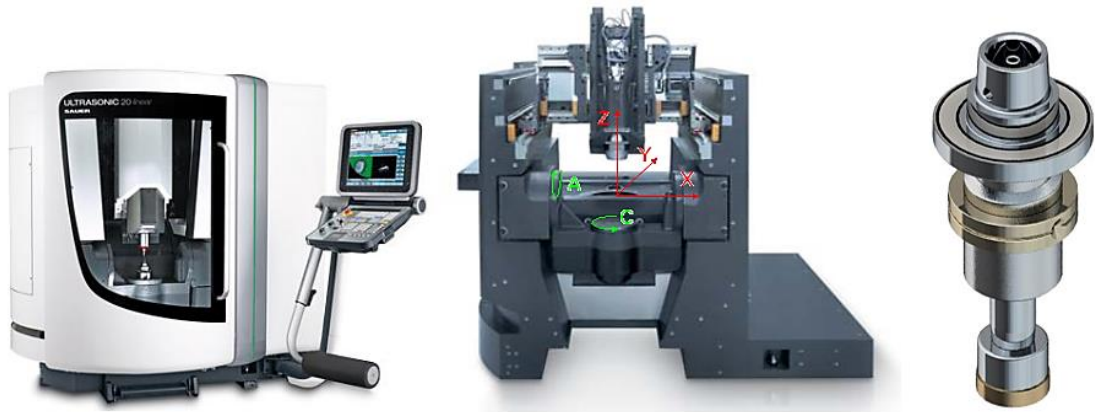
Obr. 5.2. Zakótované rovnostranné mnohoúhelníkové profily v kruhovom polotovare

5.2 Technológia rotačného ultrazvukového obrábania

Čas brúsenia kruhových SiO₂ tyčí je 10 až 16 h (v závislosti od počtu hrán mnohoúhelníka a dĺžky kruhovej tyče). Technológia RUM má potenciál výrazného zníženia času obrábania. Výhody procesu RUM zahŕňajú zvýšenie úberu a zníženie rezných síl, kým obrobený povrch dosahuje výbornú kvalitu ($R_a \approx 0,2 \mu\text{m}$). Princíp tejto metódy spočíva v ultrazvukovom kmitaní nástroja pozdĺž jeho osi pri súčasnej rotácii okolo svojej osi. Nástroj pripomína brúsne teliesko – obsahuje diamantové zrná v mosadznej matrici. Ultrazvukovým kmitaním sa na povrchu obrobku vytvárajú mikrotrhliny, ktoré sú následným abrazívnym účinkom diamantových zŕn a kavitačným účinkom procesnej kvapaliny rozrušované.

V experimentoch bolo použité obrábacie centrum DMG Ultrasonic 20 linear (výrobca DMG Mori). Tento stroj disponuje vysokorýchlostným vretenom (do $42\,000 \text{ min}^{-1}$), ktoré umožňuje prenos ultrazvukových kmitov do držiaka nástrojov. Kinematická štruktúra stroja

umožňuje kontinuálne 5-osové obrábanie. Do vretena stroja sa upína nástrojový držiak pomocou krátkého kužela HSK 32. Na samotný držiak nástrojov sa upína nástroj. V tomto prípade bola použitá ultrazvuková fréza s priemerom 24 mm hrncovitého tvaru (takýto tvar sa označuje ako 6A9). Nástroj sa upína pomocou skrutky, ktorá má vo svojej osi priebežnú dieru kvôli vnútornému prívodu procesnej kvapaliny. Použitý stroj, jeho kinematika a ultrazvukový držiak nástrojov s upnutým rezným nástrojom sú zobrazené na Obr. 5.3 (Kuruc, 2015).

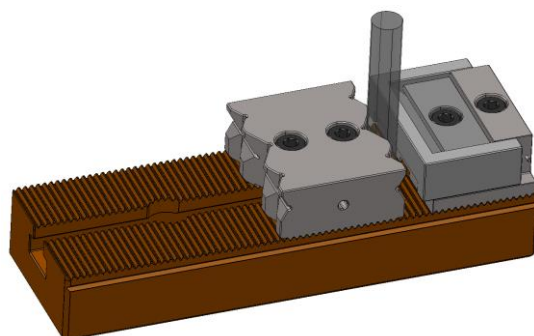


Obr. 5.3. Obrábacie centrum, jeho kinematika a rezný nástroj použitý v experimentoch

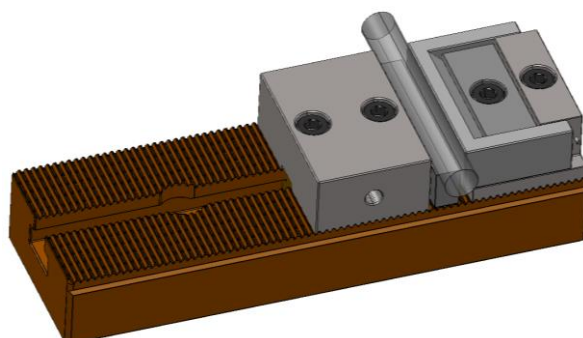
5.3 Návrh výrobných variantov

Prvý spôsob obrábania mnohouholníkového profilu tyče je zobrazený na Obr. 5.4. Jeho výhodou je takmer dokonalý mnohouholníkový profil vďaka dráham nástroja vygenerovaným CAM softvérom. Nevýhodou je rozhranie medzi obrobenými plochami pri prvom a druhom ustavení obrobku a tiež obmedzená dĺžka obrábania. Tá je v tomto prípade limitovaná na 42 mm. Prizmatická čeľusť môže byť po zmene ustavenia obrobku vymenená za čeľusť s rovinnými plochami.

Druhý spôsob, zobrazený na Obr. 5.5, nie je obmedzený dĺžku obrobku na základe rozmerov držiaka nástrojov, ale na základe pracovného priestoru. Pracovný priestor stroja má rozmery $200 \times 200 \times 280$ mm, čo znamená, že najväčšia dĺžka tyče, ktorú možno obrobiť je 200 mm. Počas výroby sú potrebné viaceré zmeny ustavenia obrobku (na obrobenie šesťuholníka aj osemuholníka by mali stačiť štyri ustavenia), avšak počet stratégií frézovania je ovplyvnený počtom vrcholov mnohouholníka (tzn. 6 pre šesťuholník a 8 pre osemuholník). V tomto prípade je čas obrábania, v porovnaní s prvým variantom, nižší a žiadne rozhranie, spôsobené napojením obrobených plôch nie je pozorované. Dokonca nie je nevyhnutný ani CAM softvér – program možno jednoducho vytvoriť priamo v riadiacom systéme obrábacieho stroja, avšak tvarová presnosť môže byť nižšia, nakoľko je ovplyvnená zmenami ustavenia obrobku, správnym umiestnením súradnicového systému, vypočítanou hĺbkou rezu, a opotrebením nástroja.

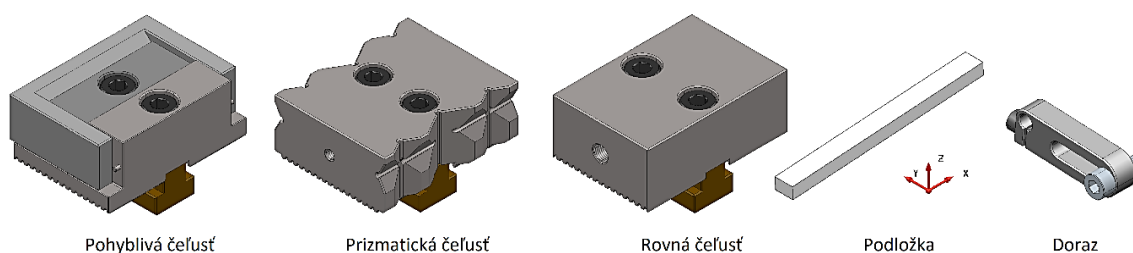


Obr. 5.4. Upínanie tyče v prvej etape obrábania



Obr. 5.5. Upínanie tyče pre druhý prístup obrábania

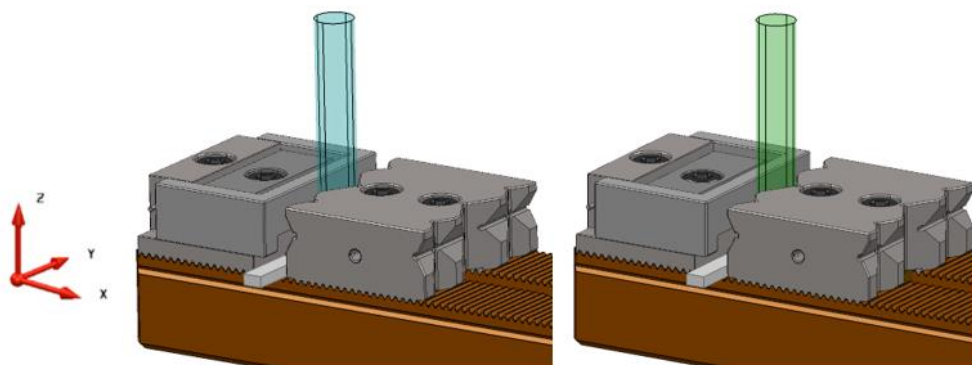
Oba varianty sa síce odlišujú vo svojich princípoch a tým aj v presnosti a produktivite, v oboch prípadoch je však použitý rovnaký upínací systém, ktorého hlavné časti sú zobrazené na Obr. 5.6. Rozdielne boli len rozmery použitých podložiek. Kým pri prvom variante sa použila nízka podložka, aby sa zbytočne neskracovala upínacia plocha obrobku a aby obrobok nemal príliš veľké vyloženie, v druhom variante sa použila vysoká podložka, aby bolo možné na ňu obrobok položiť a zároveň, aby obrábané plochy dostatočne presahovali okraje upínacích čeľustí.



Obr. 5.6. Hlavné časti upínacieho zariadenia

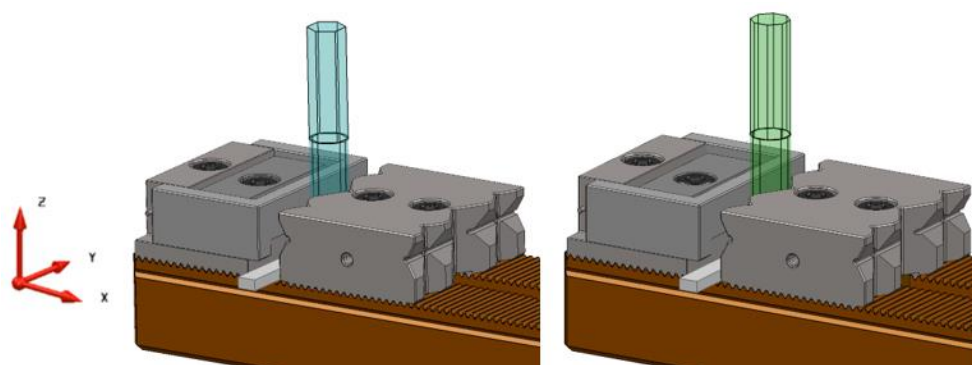
5.3.1 Postup výroby – prvý variant

Postup obrábania mnohoúhľníkovej tyče je zdokumentovaný na Obr. 5.7 až 5.10. Obrábaný materiál – oxid kremičitý je priehľadný kryštál, ale z dôvodu sprehl'adnenia mu bola doplnená farba – tyrkysová pre šesťhran a zelená pre osemhran. Nakoľko je vstupným polotovarom kruhová tyč, upnutie sa realizovalo pomocou pevnej prizmatickej čeľuste. Pohyblivá čeľusť bola rovná. Aby sa polotovár nedotýkal zubov upínacieho zariadenia (Erowy), resp. aby sa polotovár nedostal do T-drážky, je na spodnej čelnej ploche podopretý brúsenou podložkou. Toto upnutie je znázornené na Obr. 5.7.



Obr. 5.7. Upnutie obrobku – prvé ustavenie

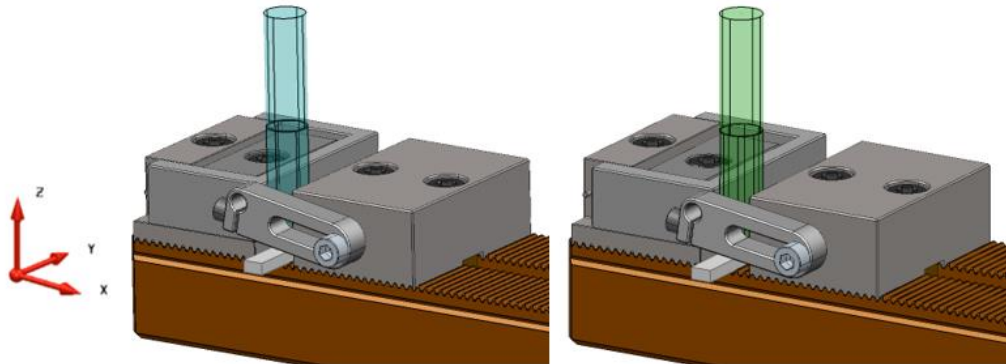
Po upnutí polotovaru bol stanovený nulový bod obrobku – súradnicový systém na základe ktorého stroj počíta dráhy, vygenerované CAM systémom Autodesk PowerMILL Ultimate 2020. Nulový bod bol umiestnený do stredu vrchnej čelnej plochy obrobku. Vzhľadom na už spomínané obmedzenie hĺbky, ktorú možno použitým nástrojom dosiahnuť, bola vzorka obrábaná iba do hĺbky 41 mm (o 1 mm hlbšie ako je polovica vzorky z dôvodu zabezpečenia presahu). Vzorku po obrobení vrchnej časti je vidieť na Obr. 5.8.



Obr. 5.8. Obrobené plochy – prvé ustavenie

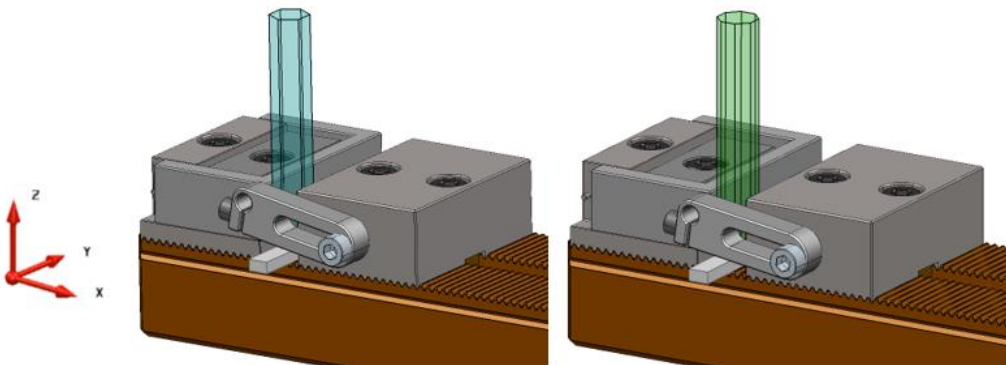
Keď už bola polovica obrobku obrobená, bolo potrebné zmeniť jeho ustavenie a upnúť za už obrobené plochy. Nakoľko aj šesťhran aj osemhran majú rovnobežné plochy, boli tieto plochy využité pri upínaní. A keďže profil mal rovinné plochy, tak vhodnejšia bola rovná

čelúšť než prizmatická. Pri rovnej čelúšti sa využil závitový otvor, ktorý sa nachádza na oboch bokoch čelúšte a pomocou skrutky sa namontoval doraz. Ten poskytol dodatočnú oporu – pri šesťhrane sa oň opiera hrana profilu, pri osemhrane celá plocha. Toto upnutie je zobrazené na Obr. 5.9.



Obr. 5.9. Upnutie obrobku – druhé ustavenie

Po upnutí sa musel znova stanoviť nulový bod obrobku, ktorý bol opäť zvolený do stredu (novej) vrchnej plochy (malo by dôjsť iba k posunu v smere osi Y). Potom mohlo nasledovať obrobenie zostávajúcej časti obrobku. Nebolo nutné generovať nový NC program, nakoľko dráhy sú tie isté ako na predošlej strane. V prípade, že nedošlo k posunutiu vzorky, malo by dôjsť k dokonalému napojeniu jednotlivých obrobených plôch, ako je vidieť na Obr. 5.10.

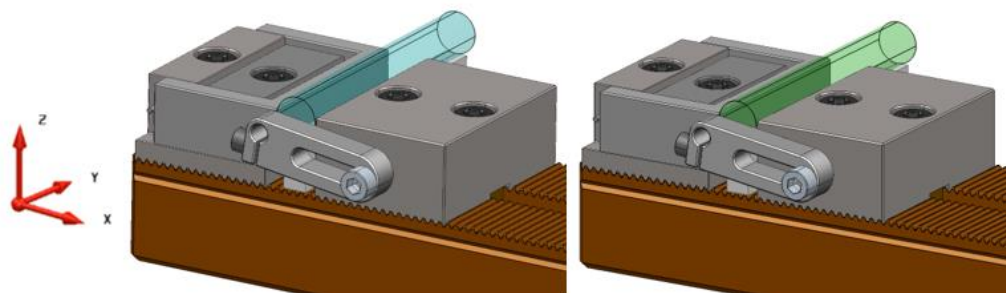


Obr. 5.10. Obrobené plochy – druhé ustavenie

Na takto obrobených vzorkách bolo vykonané meranie tvarovej presnosti za účelom posúdenia vhodnosti tohto prístupu na obrábanie polygonálnych vzoriek. Toto meranie bolo realizované pomocou digitalizácie obrobenej vzorky optickým 3D skenerom a následným porovnaním s referenčným CAD modelom, na základe ktorého boli generované dráhy obrábania.

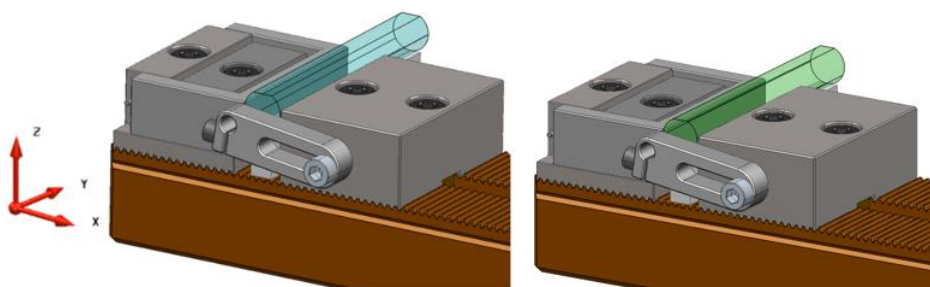
5.3.2 Postup výroby – druhý variant

Postup obrábania mnohouholníkovej tyče druhým spôsobom je zdokumentovaný na Obr. 5.11 až 5.20. V tomto prípade sa používala iba rovná čeľusť s bočným dorazom. Aby sa zabezpečila adekvátne výška polotovaru a jeho dostatočné podopretie, bola použitá brúsená podložka. Ak by bola podložka príliš vysoká, obrobok by nebolo možné upnúť, ak by bola podložka príliš nízka, nástroj by v procese obrábania mohol naraziť do častí upínacieho systému. Vhodnú zostavu upnutia dokumentuje Obr. 5.11.



Obr. 5.11. Upnutie kruhovej tyče v rovných čeľustiach

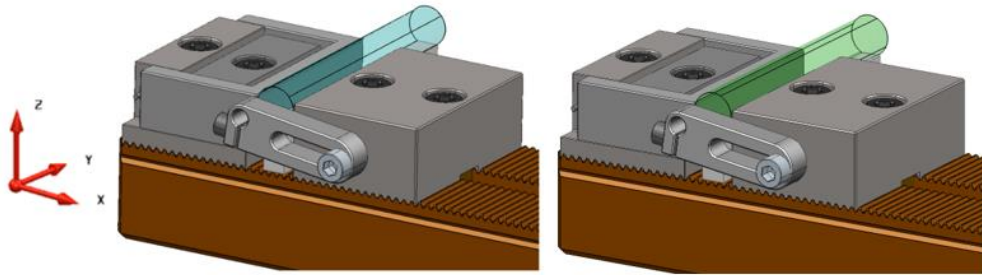
Po upnutí polotovaru bol definovaný nulový bod obrobku. Ten bol zvolený v strede (os X) na prednej čelnej ploche (os Y) v najvyššom bode povrchu valca (os Z). Na vytvorenie dráh obrábania nie je nutné využívať CAM softvér – pohyb nástroja je priamočiary. Taký jednoduchý pohyb sa jednoduchšie naprogramuje priamo v riadiacom systéme stroja, než sa stanovujú všetky potrebné podmienky v CAM softvéri. Bolo nastavené obrábanie na jeden záber. Hĺbka rezu sa vypočítala na základe geometrie profilu (1,038 mm pre šesťuholník a 0,633 mm pre osemuholník). Pohyb nástroja bol nastavený takým spôsobom, aby rezná sila tlačila polotovar na doraz, ktorý zabráňoval posunutiu. Táto fáza obrábania je najkritickejšia, nakoľko obrobok je v minimálnom kontakte s upínacími plochami prípravku (teoreticky čiarový dotyk), iba doraz pôsobí na dostatočne veľkú plochu. Výsledok obrábania je znázornený na Obr. 5.12.



Obr. 5.12. Obrobenie prvej plochy

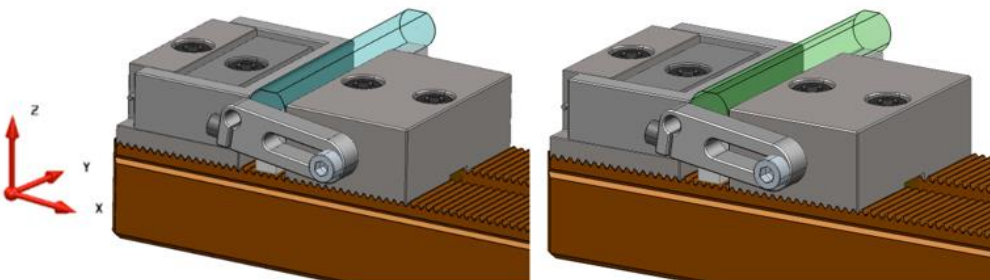
Po obrobení prvej plochy nasleduje prvá zmena ustavenia obrobku. Už obrobená plocha bola natočená tak, aby dosadla na brúsenú podložku upínacieho prípravku (otočenie o 180°).

Tým sa zvýšila stabilita upnutia a zabezpečila sa rovnobežnosť s druhou obrábanou plochou (Obr. 5.13)



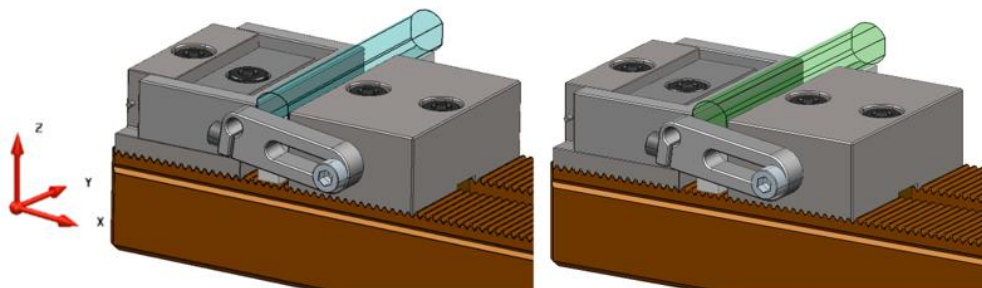
Obr. 5.13. Prvá zmena ustavenia obrobku

Opäť je potrebné premerať nulový bod (mal by iba klesnúť v smere osi Z o hodnotu hĺbky rezu). Následne je možné opäť realizovať obrábanie. Podmienky sú rovnaké ako pri predošlej ploche (hĺbka rezu 1,038 mm pre šesťuholník a 0,633 mm pre osemuholník). Obrobenie druhej plochy je znázornené na obr. 5.14.



Obr. 5.14. Obrobenie druhej plochy

Po obrobení druhej plochy je možné na upnutie využiť rovnobežnosť vytvorených plôch. Rovnobežné plochy sa upnú do čeľustí (otočenie o 90°) čím sa výrazne zlepši upnutie vzorky v porovnaní s upnutím pri prvom ustavení obrobku. Toto upnutie je vidieť na Obr. 5.15.

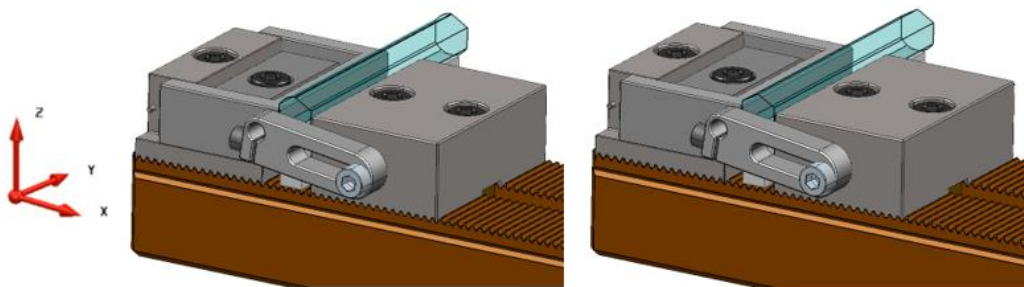


Obr. 5.15. Druhá zmena ustavenia

Po tejto operácii je potrebné opäť premerať nulový bod (mal by stúpnuť v smere osi Z o hodnotu hĺbky rezu a posunúť sa v smere osi X o dvojnásobok hodnoty hĺbky rezu). Na

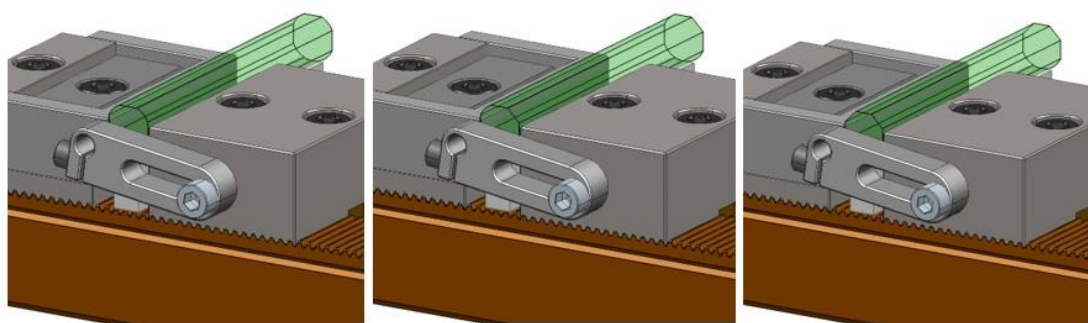
výrobu zostávajúcich plôch je potrebné využiť naklápací cyklus (v Sinumerik-u známy ako Cycle800). Tento cyklus využíva riadené rotačné osi stroja na naklopenie (otáčanie okolo osi X – zabezpečené kolískou) a natočenie obrobku (otáčanie okolo osi Z – zabezpečené otočným stolom). Následné obrábanie je potom realizované iba v troch osiach. Tomuto spôsobu obrábania sa hovorí 3+2 D frézovanie, alebo 5D frézovanie s indexovaním. Pri naklápaní je potrebné si dať pozor na to, aby nástroj nenabúral do upínacieho systému – v tomto prípade už nie je vhodné viesť nástroj stredom plochy, ale jeho periferiou (s minimálnym presahom) po hrane plochy priklonenej k zveráku. Prezentovaný postup bol do tohto kroku rovnaký pre šesťuholník aj pre osemuholník.

Pri šesťuholníkovom profile sa nakloní kolíska o požadovaný uhol (60°) a vyrobí sa tretia plocha. Otočením stola o 180° je možné bezprostredne vyrobiť aj štvrtú plochu. Hĺbka rezu bola 1,038 mm. Výrobu týchto dvoch plôch zobrazuje Obr. 5.16.



Obr. 5.16. Obrobenie tretej a štvrtej plochy šesťuholníkového profilu

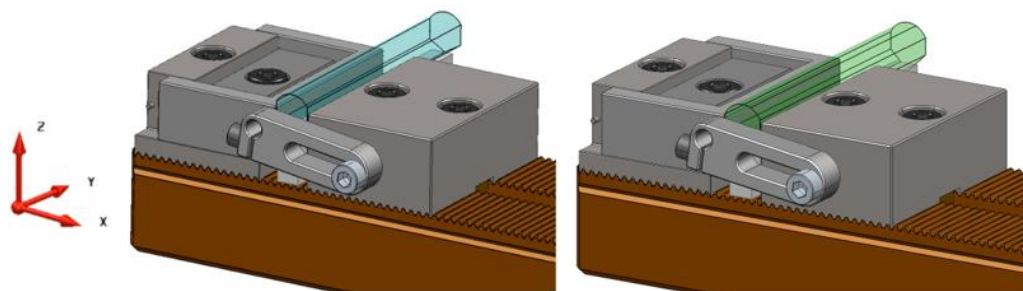
Pri osemuholníkovom profile možno vyrobiť tretiu plochu, ktorá je kolmá na predošlé dve. Následne sa nakloní kolíska o požadovaný uhol (45°) a vyrobí sa štvrtá plocha. Otočením stola o 180° možno hneď vyrobiť aj piatu plochu. Hĺbka rezu bola 0,633 mm. Vytvorenie týchto troch plôch je zobrazené na Obr. 5.17.



Obr. 5.17. Obrobenie tretej, štvrtej a piatej plochy osemuholníkového profilu

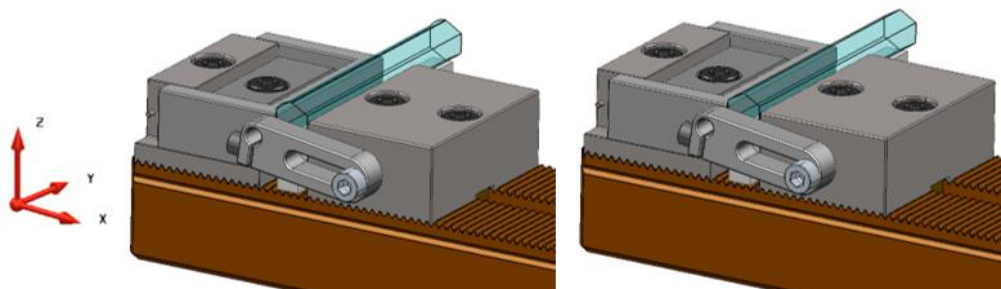
Na obrobenie posledných plôch je nutné opäť otočiť vzorku (o 180°). V prípade šesťhranu sa o podložku opiera hrana profilu, čo môže pri vyššom zaťažení viesť k jej poškodeniu. V prípade osemhranu sa o podložku opiera celá plocha, čo naopak zlepšuje kvalitu upnutia. Po upnutí je opäť potrebné premerať nulový bod (pri šesťhrane by mal v osi Z o trochu

klesnúť, pri osemhrane by mal v osi Z klesnúť o hodnotu hĺbky rezu). Výsledok upnutia je na Obr. 5.18.



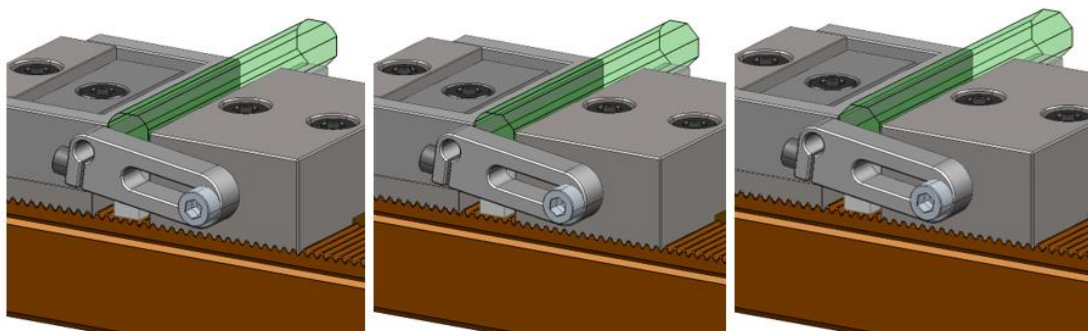
Obr. 5.18. Tretia zmena ustavenia

Ďalší postup je rovnaký ako bol pri predošlých dvoch plochách. V prípade šesťuholníka sa nakloní kolíska o požadovaný uhol (60°) a vytvorí sa piata plocha. Otočením stola o 180° možno vyrobiť aj šiestu plochu. Hĺbka rezu bola 1,038 mm. Tieto kroky dokumentuje Obr. 5.19.



Obr. 5.19. Obrobenie piatej a šiestej plochy šesťuholníkového profilu

Pri osemuholníkovom profile sa tiež postupuje rovnako ako pri predošlých troch plochách. Vytvorí sa šiesta plocha, ktorá je kolmá na zvislé plochy. Potom sa nakloní kolíska o požadovaný uhol (45°) a vyrobí sa siedma plocha. Otočením stola o 180° možno vyrobiť aj ôsmu plochu. Hĺbka rezu bola 0,633 mm. Tieto kroky dokumentuje Obr. 5.20.



Obr. 5.20. Obrobenie šiestej, siedmej a ôsmej plochy osemuholníkového profilu

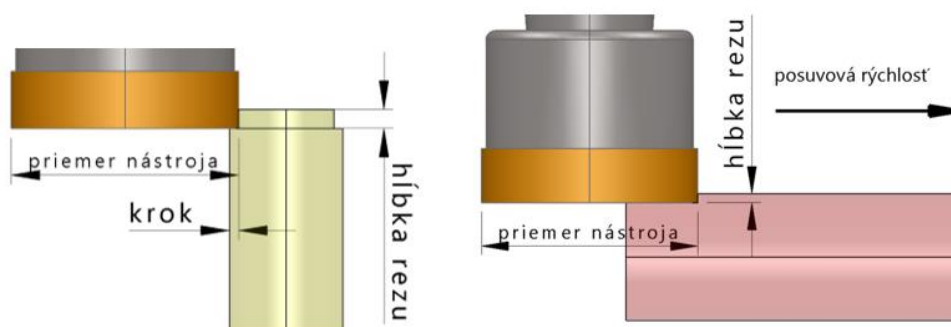
5.4 Parametre obrábania

Porovnanie parametrov obrábania je zaznamenané v Tab. 5.1. Pri prvom variante obrábania bol nastavený plný krok (nástroj zaberal celou svojou šírkou (priemerom)). Hĺbka rezu bola relatívne malá, čo bolo kompenzované vyššou posuvovou rýchlosťou. V druhom variante obrábania bolo tiež možné využiť plný krok, ale použitá bola väčšia hĺbka rezu. Tá bola kompenzovaná nižšou posuvovou rýchlosťou.

Tabuľka 5.1. Parametre obrábania

Variant	#1		#2	
Profil	šesťuholník	osemuholník	šesťuholník	osemuholník
Hĺbka rezu (mm)	0,050	0,150	1,038	0,633
Krok (mm)	1,038	0,633	7,116	5,817
Posuvová rýchlosť (mm.min ⁻¹)	1 200	1 200	100	150
Rezná rýchlosť (m.min ⁻¹)		250,0		
Ultrazvuková frekvencia (kHz)		21,5		
Priemer nástroja (mm)		24,0		
Čas obrábania (min)	180	62	10	10
Vedľajší čas (min)	10	10	15	15
Celkový čas (min)	190	72	25	25

Na Obr. 5.21 sú znázornené významné parametre z Tab. 5.1. Obrobok (znázornený žltou farbou) zodpovedá prvému variantu, kde veľkosť kroku bola závislá od vyrábaného profilu (1,038 mm pre šesťuholník a 0,633 mm pre osemuholník). Po obrobení jednej vrstvy klesol nástroj o hodnotu hĺbky rezu (0,05 mm a 0,15 mm). Obrobok (znázornený červenou farbou) zodpovedá druhému variantu. Hĺbka rezu bola závislá od vyrábaného profilu (1,038 mm pre šesťuholník a 0,633 mm pre osemuholník). Krok bol nastavený na celú šírku nástroja, čo predstavovalo pri šesťuholníku 7,116 mm a pri osemuholníku 5,817 mm. Rezná rýchlosť bola 250 m.min⁻¹, čo pri nástroji s priemerom 24 mm zodpovedá frekvencii otáčania vretena 3 316 min⁻¹.



Obr. 5.21. Zakótované parametre obrábania

Odporúčaná hĺbka rezu pre použitý materiál obrobku (SiO₂) je 0,05 mm. Táto hodnota bola nastavená pri obrábaní šesťhranu prvým spôsobom. Avšak kvôli nízkej hodnote kroku

boli pozorované veľmi malé hodnoty zaťaženia stroja. Preto sa táto hodnota strojnásobila pri osemuholníku. Pozorované zaťaženie stroja bolo stále veľmi malé, čo znamená, že je tu ešte priestor na zlepšenie (zvýšenie produktivity zvýšením hĺbky rezu). Avšak kvôli relatívne veľkému vyloženiu a krehkosti obrábaného materiálu by ďalšie zvýšenie hĺbky rezu mohlo zvýšiť riziko poškodenia obrobku.

Druhý prístup umožňuje tuhšie upnutie obrobku vďaka veľmi malému vyloženiu (je tu skôr riziko kolízie nástroja s upínacím systémom), preto tu bola použitá maximálna možná hĺbka rezu. Avšak zaťaženie stroja bolo príliš vysoké a preto bolo nevyhnutné kompenzovať oveľa väčšiu hĺbku rezu významne menším posuvom. Hodnota rýchlosti posuvu bola nastavená na základe pozorovaného zaťaženia stroja, pričom sa nezabúdalo ani na krehkosť vzorky. Geometria osemuholníka vyžaduje menšiu hĺbku rezu, čo znamená, že je tu možné využiť vyššiu rýchlosť posuvu (v porovnaní so šesťuholníkovým profilom). Kvôli vyššiemu počtu plôch bol výsledný čas obrábania približne rovnaký, ako pri obrábaní šesťuholníkového profilu.

V čase výroby obrobku nie sú zahrnuté vedľajšie časy, potrebné na činnosti, súvisiace so zmenou ustavenia obrobku. Prvý prístup vyžaduje iba jednu zmenu ustavenia, avšak tiež je potrebná výmena čeľustí. Táto činnosť vyžaduje približne 10 minút (profil nemá vplyv na tento čas). Druhý prístup vyžaduje tri zmeny ustavenia (pri poslednej zmene ustavenia sa vyrobí dve plochy pri šesťuholníku a tri plochy pri osemuholníku, to isté platí aj pre predposlednú zmenu ustavenia). Výmena čeľustí nie je potrebná. Na túto činnosť je potrebných približne 15 minút.

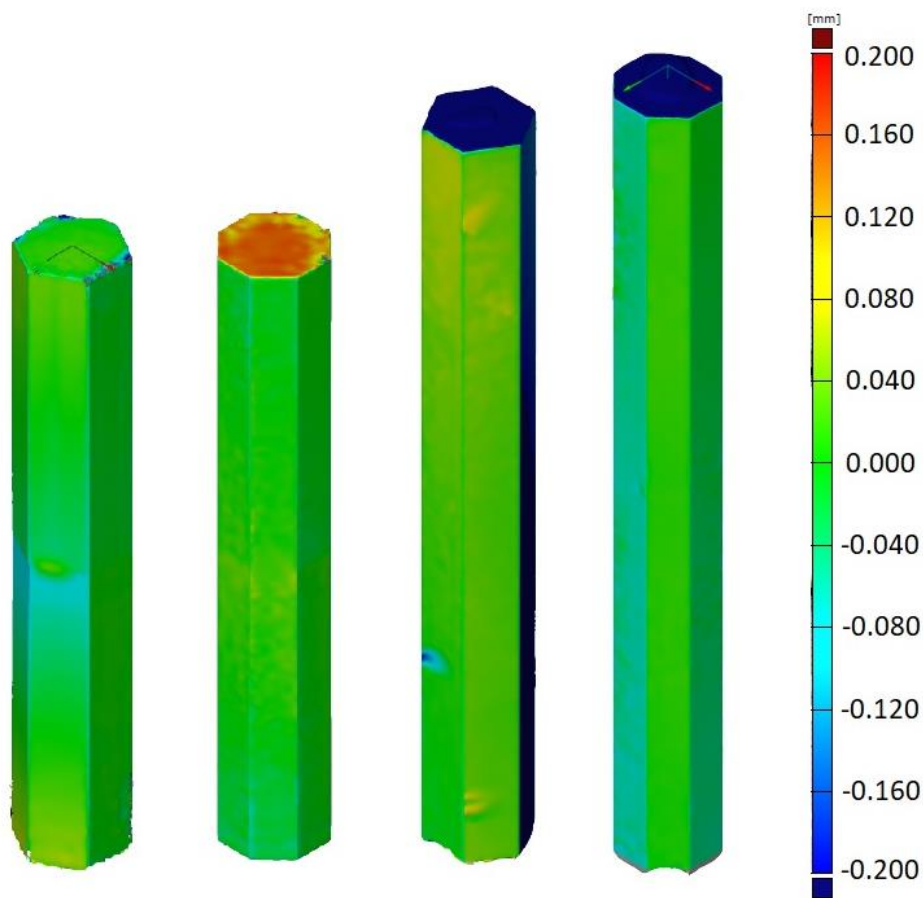
5.5 Výsledky merania rozmerových odchýlok

Pomocou prvého prístupu boli vytvorené dva hranolovité obrobky s dĺžkami 80 mm – jeden so šesťuholníkovým profilom a jeden s osemuholníkovým profilom. Druhým prístupom sa vyrobili ďalšie dva hranolovité obrobky tiež jeden so šesťuholníkovým profilom a jeden s osemuholníkovým profilom, ale s dĺžkami 100 mm a 110 mm. Všetky štyri vzorky boli digitalizované pomocou optického 3D skenera GOM Atos II Triplescan. Ten využíva na skenovanie modré štruktúrované svetlo. Jeho lom na skenovanej súčiastke zaznamenávajú dve CCD kamery. Ich výstupom je mrak bodov, ktoré po následnej polygonizácii vytvoria sieťový model. Nastavenie parametrov digitalizačného zariadenia je zaznamenané v Tab. 5.2.

Tabuľka 5.2. Parametre skenovacieho procesu

Parametre of 3D skenovania	
Merací objem (mm)	MV 170 (170 × 130 × 130)
Vzdialenosť meraných bodov (pre MV 170) (mm)	0,071
Uhol medzi CCD kamerami (°)	20
Meracia vzdialenosť (mm)	490
Priemer referenčných bodov (mm)	0,8
Expozičný čas (s)	3
Kvalitatívne nastavenie (-)	viac bodov
Rozlíšenie (Mpx)	5

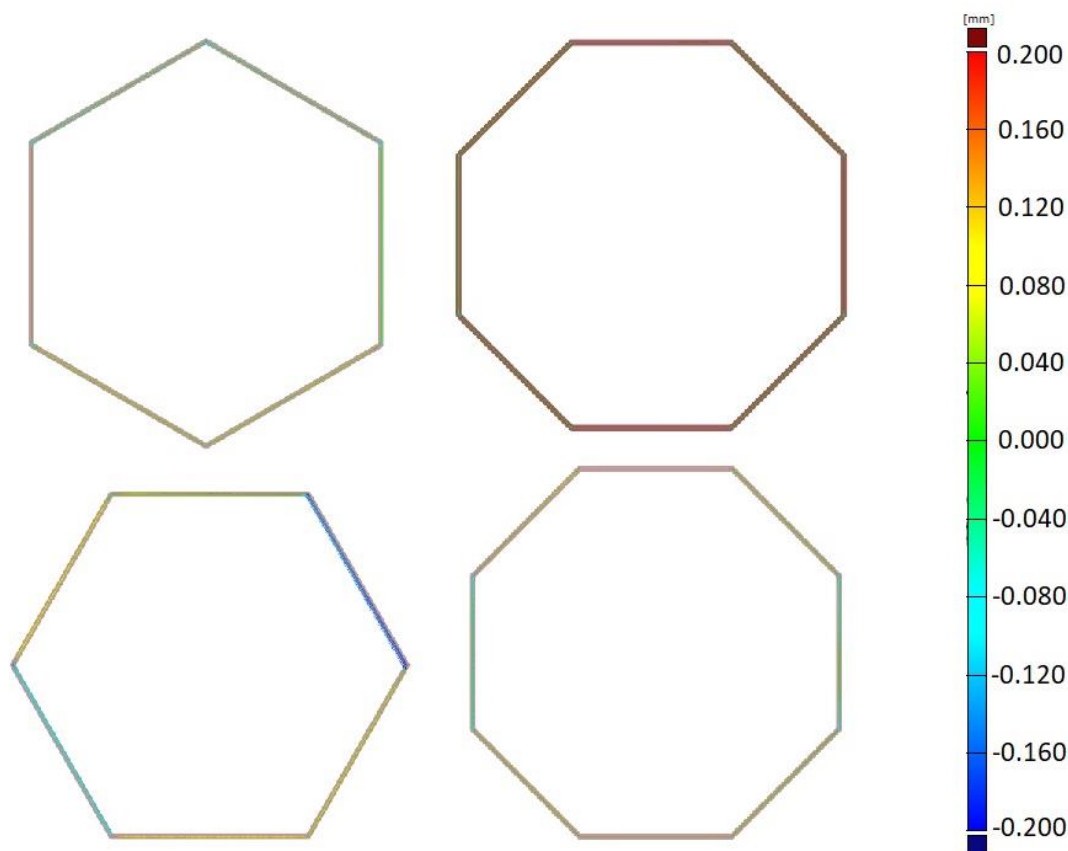
Výsledky merania sú zobrazené na Obr. 5.22 a 5.23. Na Obr. 5.22 je znázornená farebná mapa odchýlok. Možno tu vidieť rozhranie na kratšom šesťuholníku spôsobené zmenou ustavenia pri obrábaní, pri použití prvého variantu výroby. Toto rozhranie je výrazne menšie v prípade osemuholníka kvôli ďalšej ploche, ktorá môže byť použitá pri upínaní (šesťuholník mal na tento účel k dispozícii minimálnu stykovú plochu (teoreticky čiarový dotyk), ktorá nestačila na zabezpečenie požadovanej presnosti). V tomto prípade (prvý prístup) sa obrábali aj čelné plochy kvôli skráteniu dĺžky vzoriek na 80 mm. Pri druhom prístupe nebolo nutné obrábať čelné plochy, preto tu možno pozorovať vysokú nepresnosť. Na farebnej mape odchýlok je vidieť celé povrchy znázornené modrou farbou – to znamená, že je tam zaznamenaná vysoká hodnota zápornej odchýlky. Je to spôsobené nepresnosťou naklápania kolísky, malým posunutím počas upnutia alebo opotrebením nástroja. Opotrebenie sa prejaví skrátením nástroja – a pokiaľ je rezný nástroj kratší, nedosiahne požadovanú hĺbku rezu. Aj pri tomto prístupe boli dosiahnuté lepšie výsledky pri osemuholníku.



Obr. 5.22. Farebná mapa odchýlok

Obr. 5.23 znázorňuje rozdiely profilov od požadovaného tvaru. Výsledky potvrdili predpoklad – prvý prístup vytvorí presnejší tvar profilu. Odchýlka sa pohybovala od -0,05 do +0,03 mm pre šesťuholníkový profil a od -0,02 do +0,02 mm pre osemuholníkový profil. Druhý prístup vykazoval odchýlky tvaru od -0,18 do +0,16 mm pre šesťuholníkový profil a od -0,06 do +0,02 mm pre osemuholníkový profil. Počas obrábania dlhšieho šesťuholníkového profilu mohli nastať posunutia počas upnutia kvôli malým kontaktným

plochám a väčšej hĺbky rezu (o 64 % väčšia oproti osemuholníkovému profilu), preto sú v tomto prípade dosiahnuté výrazne horšie výsledky ako v ostatných prípadoch.



Obr. 5.23. Odchýlky profilu

Záver

Na základe získaných výsledkov možno vyvodiť záver, že technológia RUM dokáže zabezpečiť dostatočne presné obrobenie preforiem na ťahanie optických vlákien. Pri výrobe je odporúčané pravidelne kontrolovať rozmerové opotrebenie rezného nástroja, merať a korigovať uhol sklonu upnutého obrobku a využiť brúsené podložky a dorazy. Čas výroby prvých dvoch obrobkov bol 4 h 22 min. Profil by nemal mať žiaden výrazný vplyv na čas obrábania. Pri druhom prístupe bol čas obrábania 50 min. V tomto čase bol zahrnutý čas potrebný na činnosti súvisiace so zmenou ustavenia obrobku. Celkový čas je výrazne nižší oproti času obrábania pôvodnou metódou – brúsením (kde bol uvádzaný čas výroby 10 až 16 h). Technológiu RUM možno považovať za vhodnú náhradu brúsenia preforiem vzhľadom na jej produktivitu; alebo v prípade vysokých nárokov na presnosť je táto metóda vhodná na hrubovanie preforiem pred samotným brúsením, aby sa čo najviac znížil čas výroby a zároveň dosiahla požadovaná kvalita povrchu.

Zoznam bibliografických odkazov

ABRATE, S., GAUDINO, R. and PERRONE, G. 2013. Step-Index PMMA Fibers and Their Applications, *Current Developments in Optical Fiber Technology*, Sulaiman Wadi Harun and Hamzah Arof, IntechOpen, DOI: 10.5772/52746. [online]. [cit. 2020-01-12]. Dostupné na internete: <<https://www.intechopen.com/books/current-developments-in-optical-fiber-technology/step-index-pmma-fibers-and-their-applications>>.

Alicat. 2020. *Precision & repeatability in fiber optic manufacturing*. [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internete: <<https://www.alicat.com/knowledge-base/precision-repeatability-in-fiber-optic-manufacturing/>>.

Fujikura. 2020. *Large core optical fibers (Energy transmission, Signal transmission)*. [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internete: <https://www.fujikura.co.jp/eng/products/optical/appliedoptics/01/2050108_12901.html>.

FUNKE, Ch. 2016. *GOM 3D Metrology Systems*. 1.SCR-Forum Weißenburg. [online]. [cit. 2020-01-12]. Dostupné na internete: https://www.k3works.de/fileadmin/user_upload/News/005_presentation_optical_measurement.pdf>.

KURUC, M. 2015. *Ultrasonic Machining*. Dizertačná práca. STU MTF, 172 s.

LAURESEN, J. H. 2020. ATOS Triple Scan. Robust and Flexible industrial scanner. [online]. [cit. 2020-01-12]. Dostupné na internete: <<https://www.zebicon.com/en/metrology-systems/3d-scanning/atos-triple-scan/>>.

Sikora. 2020. *Quality assurance at the production of optical fiber cables*. [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internete: <<https://sikora.net/it/sikora-quality-assurance-at-the-production-of-optical-fiber-cables/>>.

UFE. 2020. *Ústav fonetiky a elektroniky, Akadémie věd ČR. Vlákňové lasery a nelineárna optika*. [online]. [cit. 2020-01-12]. Dostupné na internete: <http://www.ufe.cz/cs/tym/vlaknove-lasery-nelinearni-optika>>.

