

BRÚSENIE TECHNICKEJ KERAMIKY S PODPOROU VÝKONOVÉHO ULTRAZVUKU

GRINDIG TECHNICAL CERAMICS WITH SUPPORT PERFORMANCE ULTRASOUND

František PECHÁČEK

Autor: Ing. František Pecháček

*Pracovisko: Katedra technologických zariadení a systémov, Materiálovotechnologická
fakulta STU*

Adresa: Bottova 25, 917 24 Trnava

Tel.: 00421/ 33 5521 164, E- mail: frantisek.pechacek@stuba.sk

Abstract

Príspevok prezentuje dosiahnuté výsledky dokončovacej metódy obrábania technickej keramiky klasickou metódou brúsenia a porovnáva ich s brúsením s podporou výkonového ultrazvuku za rovnakých technologických podmienok. Technologické nástroje rozkmitávané ultrazvukovou rezonanciou intenzifikujú a skvalitňujú procesy obrábania.

Report present obtainment results finish methods cutting technical ceramics classic system grinding and compare their with grinding with support performance ultrasound behind identical technological condition. Technological tools vibration ultrasound resonance to improve cutting operation.

Key words

ultrazvuk, brúsenie, keramika technická , vreteno ultrazvukové, menič, koncentrátor

ultrasound, grinding, ceramic technical, ultrasonic spindle, transducer, concentrator

Úvod

Rozvoj strojárkej výroby je priamo závislý a podmienený najmä rozvojom technológie obrábania materiálov. Technické parametre výrobných strojov a nástrojov sú jedným zo základných určujúcich faktorov produktivity práce. Jednou z možností zvyšovania technickej spôsobilosti výrobných strojov je použitie progresívnych, špeciálnych metód technológií obrábania technickej keramiky, spekaných karbidov, teda technických materiálov s vysokou pevnosťou, oteruvzdornosťou a odolnosťou voči korózii. Tieto vlastnosti ich predurčujú na použitie pri riešení problémov kvality, trvanlivosti a spoľahlivosti náročných technologických zariadení, pričom problémom je dosiahnutie požadovanej kvality obrobenej plochy, produktivity a ekonomickej efektívnosti konvenčnými spôsobmi obrábania.

Na skvalitňovanie a intenzifikáciu procesov obrábania čoraz väčší význam nadobúdajú technologické aplikácie výkonového ultrazvuku, realizovateľné nástrojmi rozkmitávanými

ultrazvukovou rezonanciou. Výkonový ultrazvuk sa využíva v strojárskom priemysle hlavne pre operácie sústruženia, vŕtania, frézovania, brúsenia, honovania, superfinišovania a dynamického spevňovania povrchov súčiastok. Dôvody aplikácie ultrazvukovej energie v uvedených metódach obrábania sú charakterizované zvýšením ich efektívnosti, ochranou životného prostredia, úsporou energie, materiálov i ľudskej práce.

Charakteristika brúsenia – dokončovacej metódy brúsenia

Proces brúsenia prebieha pri pôsobení intenzívnej plastickej deformácie odrezávanej vrstvy, vysokej intenzity trenia a veľkého množstva tepla. Pri tvorbe triesky sú rozhodujúce otázky trenia, pružnej a plastickej deformácie. Pružná deformácia zasahuje celý objem obrábanej súčiastky, plastická deformácia je lokálna a objavuje sa v miestach najväčších napätí, čiže zasahuje len malé objemy. Na proces obrábania výrazne vplýva aj značné trenie, ktoré vzniká medzi trieskou, nástrojom a obrobkom. Teplota pri brúsení sa zvyšuje opotrebovaním brúsiacich zŕn.

Príčinou ťahových zvyškových napätí v povrchových vrstvách zakalených, alebo nízko popustených ocelových súčiastkach je termodynamický účinok nevhodne zvolených rezných podmienok. Vplyvom ťahových zvyškových napätí sa v súčiastkach znižuje ich únavová pevnosť, oteruvzdornosť a korozivzdornosť. Nerovnomerná plastická deformácia a nerovnomerný ohrev pri samotnom obrábaní vytvárajú napäťové polia, ktoré sa rozkladajú do väčších hĺbok povrchových vrstiev obrábaných súčiastok.

Proces brúsenia je výslednicou vlastností aj použitého nástroja charakterizovanými druhom brúsiacich zŕn, ich zrnitosťou, tvrdosťou brúsiaceho kotúča, štruktúrou (pórovitosťou) použitou väzbou – spojivom.

Význačnými znakmi procesu brúsenia sú:

- nepravidelné rezné hrany,
- rezné hrany majú nerovnaký rozstup na rôznom polomere,
- rezné hrany – zrná sa štiepia a vydrobujú – vznikajú nové rezné hrany,
- povrch sa vytvára ako zvyšok rezných plôch nepravidelných rezných hrán,
- odrezávaná vrstva má rôznu šírku a hrúbku,
- posuvy závisia od rozmerov brúsiaceho nástroja, hĺbky rezu (pre dokončovacie operácie stotiny milimetrov).

Vývojové smery v oblasti brúsenia sú orientované na prechod k vyšším rezným rýchlostiam, používaniu nových brúsiacich materiálov apod. Významným výsledkom vývoja je rýchlostné brúsenie, vyznačujúce sa vysokou efektívnosťou (zvýšenie produktivity o 30%) a vytváraním presných a kvalitných plôch obrábaných povrchov. Vyššie rezné rýchlosti vo všeobecnosti znižujú opotrebenie brúsiaceho nástroja a znižujú zložky reznej sily. Zvýšenie reznej rýchlosti skracuje čas v oblasti kontaktu nástroja s obrobkom a tým vzniká možnosť vytvorenia tlakových zvyškových napätí ako dôsledok prevládajúceho pôsobenia síl nad vplyvom teplôt v samotnom brúsiacom procese.

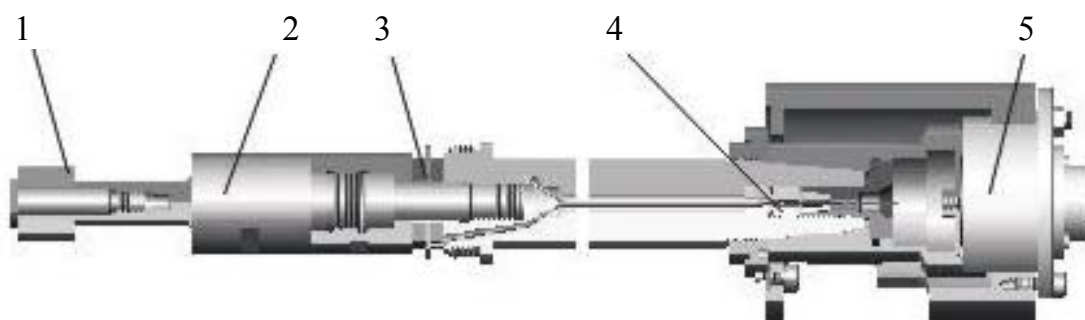
Brúsenie s podporou výkonového ultrazvuku

Akustická ultrazvuková energia privedená do miesta brúsenia, za prítomnosti reznej kvapaliny kvalitatívne ovplyvňuje proces brúsenia, hlavne kinetickými a dynamickými účinkami kmitavého pohybu aktívnych brúsiacich zŕn. Pri brúsení s podporou výkonového ultrazvuku sa využíva variant pozdĺžnych ultrazvukových kmitov ako prídavného pohybu

v reznom rotačnom procese brúsiaceho nástroja. V procese brúsenia otvorov s využitím ultrazvukovej akustickej energie dochádza k spojeniu sínusových ultrazvukových kmitavých pohybov brúsiaceho nástroja s klasickou kinematikou pozdĺžneho brúsenia, čo vedie k upravenému pohybu jednotlivých rezných klinov brúsiaceho nástroja. Ultrazvukovým kmitaním nástroja sa znižuje pravdepodobnosť vzniku významného tepla charakteristického pri brúsení, čím sa znižuje možnosť vzniku mikrotŕhlín, zlepšuje sa akosť obrobenej plochy a nástroj sa prakticky neopotrebováva.

Charakteristickým znakom ultrazvukom podporovaného brúsenia je princíp rezonančného rozkmitávania aktívnej časti nástroja - brúsneho kotúča, ktorý je polohovaný v kmitni špeciálneho ultrazvukového nástrojového rezonátora. Konštrukčnú štruktúru ultrazvukového rezonátora ako súčasť ultrazvukového rezonančného systému tvorí vhodne riešený koncentrátor, piezoelektrický menič napájaný generátorom. Úlohou meniča je transformovať elektrickú energiu generátora na mechanickú. Koncentrátor koncentruje energiu kmitania meniča zosilnením amplitúdy mechanickej výchylky, na ktorý sa upína nástroj.

Pre brúsenie otvorov ťažkoobrobiteľných materiálov s podporou výkonového ultrazvuku slúžil vyhotovený nástrojový ultrazvukový rezonátor - vreteno na obr. 1.



Obr. 1. Ultrazvukové vreteno

1 - nástroj, 2 – koncentrátor, 3 – menič, 4 – elektrické konektory, 5 - spojka

Technická keramika

Využitie materiálov technickej keramiky na zvýšenie technickej spôsobilosti, užitočných vlastností a funkčných charakteristík výrobných zariadení nie je v technickej praxi novinkou. Väčšiemu rozšíreniu ich použiteľnosti bránia okrem iného aj vyššie výrobné náklady spojené pri finálnej operácii obrábania. Vzhľadom k vlastnostiam keramických materiálov – zvlášť vysokej tvrdosti, vyznačujú sa klasické spôsoby obrábania vysokou časovou náročnosťou pracovného postupu, pričom kvalita obrobenej povrchu nedosahuje požadované parametre a dochádza k výraznému opotrebeniu použitého nástroja. Jedným z reprezentantov technickej keramiky je korund Al_2O_3 , ako druhý najtvrdší prvok Mohsovej stupnice tvrdosti je v kyselinách nerozpustný a podľa obsahu oxidu hlinitého resp. legujúcich prvkov oxidov železa, titanu, mangánu a iných rozlišujeme: biely (99 % homogenita chemického zloženia), ružový, hnedý, čierny (91 % homogenita chemického zloženia). Ďalšie vlastnosti korundu: hustota $3,95 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, bod tavenia $2\,050\text{ }^\circ\text{C}$, pevnosť v tlaku 530 MPa , súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti $8\cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \text{ atd'}$.

Na základe užitočných vlastností technickej keramiky je snaha ich využitia v systémoch namáhaných teplotne, tribologicky alebo na oter napr. na vonkajšie krúžky presných valivých rýchlobežných ložísk.

Experimenty brúsenia otvorov do technickej keramiky klasickou metódou a s podporou výkonového ultrazvuku

Pri rovnakých technologických parametroch na jedinom brúsiacom stroji sa uskutočnili experimenty obrábania korundových krúžkov klasickou metódou brúsenia a za podpory výkonového ultrazvuku k porovnaniu dosiahnutých výsledkov podľa jednotlivých metód brúsenia. Nakoľko v súčasnosti u nás nie je skonštruované vreteno pre ultrazvukové brúsenie, ani pracovisko vybavené brúskou pre ultrazvukové obrábanie, experimenty boli zrealizované v spolupráci s TU Cluj-Napoca v rumunskom meste Cugir.

Na vodorovnej brúske na otvory typu Fortuna, ktorý je na obr. 2, boli vykonané experimenty klasickou metódou brúsenia a s ultrazvukom vybaveným systémom, ktorý tvorili generátor s ultrazvukovým vretenom (menič, koncentrátor, konektory, vodiče, spojka) aj brúsenie s podporou ultrazvukovej energie.



Obr. 2 Vodorovná brúska na otvory pre oba spôsoby brúsenia technickej keramiky

V oboch procesoch brúsenia bola sledovaná kvalita obrobeného povrchu strednou aritmetickou odchýlkou R_a a tvarová presnosť odchýlkou kruhovitosti.

Pred zahájením experimentov bolo ultrazvukové vreteno s nástrojom staticky a dynamicky vyvážené a brúsiaci diamantový kotúč orovnaný. Obrábané krúžky z korundu boli vycentrované v upínacích prípravkoch na kontrolných prístrojoch. Na obr. 3 je uvedený detail brúsenia keramického krúžka v strediacom upínači.

Experimenty brúsenia sa uskutočnili pri nasledovných technologických parametroch:

otáčky obrobku	120 až 180 ot.min ⁻¹
otáčky nástroja	16 000 až 20 000 ot.min ⁻¹
pozdĺžny posuv	0,2 až 1,5 m.min ⁻¹
hlbka rezu	0,02 až 0,04 mm
nástroj – diamantový	1A1 D30 T15X2,5 D76 C100R
obrobok – krúžok Al ₂ O ₃	57 x 41 x 9
výkon ultrazvukového generátora	1 kW
amplitúda ultrazvuku	6 až 12 μm
rezonančná frekvencia UZ systému	22,8 kHz



Obr. 3. Brúsenie keramického krúžku upevneného v strediacom upínači

Z nameraných hodnôt experimentu uvádzam:

pri pozdĺžnom posuve $f=0,6 \text{ m.min}^{-1}$, hĺbke rezu $a_p=0,04 \text{ mm}$ pri použití chladiacej kvapaliny

Číslo vzorky	Otáčky obrobku ot.min^{-1} (ot.min^{-1})	Otáčky nástroja (ot.min^{-1})	Ra-brúsenie (μm)	Ra- UZ brúsenie (μm)	Odchýlka kruhovitosti brúsenia (μm)	Odchýlka kruhovitosti UZ brúsenia (μm)
1	120	16 000	0,71	0,31	6,0	2,0
2	120	20 000	0,6	0,16	5,5	1,5
3	180	16 000	0,81	0,4	7,5	1,5
4	180	20 000	0,72	0,2	6,0	1,35

pri pozdĺžnom posuve $f=0,3 \text{ m.min}^{-1}$, hĺbke rezu $a_p=0,02 \text{ mm}$ pri použití chladiacej kvapaliny

Číslo vzorky	Otáčky obrobku ot.min^{-1} (ot.min^{-1})	Otáčky nástroja (ot.min^{-1})	Ra-brúsenie (μm)	Ra- UZ brúsenie (μm)	Odchýlka kruhovitosti brúsenia (μm)	Odchýlka kruhovitosti UZ brúsenia (μm)
5	120	16 000	0,5	0,2	5,5	1,1
6	120	20 000	0,4	0,07	4,5	0,5
7	180	16 000	0,6	0,25	4,2	2,0
8	180	20 000	0,4	0,1	4,0	1,4

Priaznivý vplyv výkonového ultrazvuku na proces brúsenia ťažkoobrobiteľných materiálov brúsnymi diamantovými nástrojmi sa pri použití vhodných druhov nástrojov a pri správnej voľbe technologických podmienok prejavuje vo všeobecnosti:

- zvýšením kvality obrábaných plôch znížením drsnosti 2 až 3 násobne,
- zvýšila sa tvarová presnosť pri odchýlke kruhovitosti o dvojnásobok,
- znížením objemu odoberanej triesky sa zvýšila 4 až 5 krát produktivita práce,
- počas procesu sa nástroj takmer neopotreboval a pracoval v režime samoostrenia.

Záver

Zo získaných výsledkov možno vysloviť záver, že brúsenie technickej keramiky s podporou výkonového ultrazvuku výrazne intenzifikujú procesy obrábania týchto materiálov a možno ho označiť ako perspektívnu metódu resp. základnú aplikáciu obrábania ťažkoobrobiteľných materiálov.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] GAŠPÁREK, J. *Dokončovacie spôsoby obrábania*. Bratislava: Alfa, 1979, 360 s.
- [2] ZELENÝ, J. Technologie vysokorýchlostného obrábění. In *Special MM – Průmyslové spektrum*. Praha, 2000, s. 12 – 20.
- [3] HOLEŠOVSKÝ, F., HRALA, M. Grinding of Silicon and Nitride Ceramics. In *Výrobné inžinierstvo*, 2004, roč. 3, č. 2, s. 21 – 23.
- [4] MIHALČÁK, P. a kol. Niektoré výsledky skúmania vplyvu UZ pri brúsení tvrdých, krehkých materiálov, In *Nové poznatky v obrábaní*. Bratislava: STU SjF, 1996, s. 352 – 361.
- [5] WILK, W., TOTA, J. *Cutting of Sintered Polycrystalline Diamond*. *Annals of ICPM*. Ústí nad Labem, 2001, s. 257 – 262.
- [6] SPUR, G., HOLL, S.E. Ultrasonic Assisted Grinding of Ceramics. In *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, 62, s. 287 – 293.
- [7] BERCE, P., CIUTRILA, G. The Precise inner Grinding Assisted by Ultrasounds Apply on Ceramics Rings from Bearings. In *6TH International Conference MteM, Cluj*. Napoca, 2003.