

BRÚSENIE ULTRAZVUKOM – PROGRESÍVNA METÓDA OBRÁBANIA ŤAŽKO OBRÓBITELNÝCH MATERIÁLOV

ULTRASOUND GRINDING - PROGRESSIVE PROCEDURE CUTTING OPERATION HARDMACHINED MATERIALS

Karol VELÍŠEK, František PECHÁČEK

Autor: Doc. Ing. Karol Velíšek CSc., Ing. František Pecháček

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

Adresa: Bottova 23, 917 24 Trnava, Slovensko

Tel.: 00421 33 5521 164 E-mail: velisek@mtf.stuba.sk, pechacek@mtf.stuba.sk

Abstract

Nowadays, there are higher demands for development of manufacturing in machine industry which are also focused on the growth of the productivity of machining, of technical ceramics. These demands can be satisfied by several ways like application of perspective technologies which is also a power ultrasonic. It is known that using ultrasonic causes higher performance of several machines. There are known applications in cleaning processes but also in processes of machining. The technology of grinding has an important role in the manufacturing of component of hardmachined material. Considering to achieved results, the ultrasound grinding is characterised as a new development method of the hardmachined material machining.

Súčasnú požiadavku vo výrobní praxi kladú zvýšené nároky na rozvoj strojárkej výroby, ktorá sa popri iných oblastiach zameriava aj na zvyšovanie produktivity obrábania technickej keramiky. Tieto nároky možno riešiť rôznymi spôsobmi, aplikáciami perspektívnych technológií, do ktorých zaraďujeme aj výkonový ultrazvuk. Je nesporné, že ultrazvuk môže zvýšiť účinky rôznych technických zariadení. Známe sú aplikácie v procesoch čistenia, ale aj v procesoch opracovávaní súčiastok. Pri výrobe súčiastok z ťažkoobrobiteľných materiálov má významné postavenie technológia brúsenia. Vzhľadom na dosiahnuté výsledky brúsenie s podporou výkonového ultrazvuku možno charakterizovať ako novú perspektívnu metódu opracovania ťažkoobrobiteľných materiálov.

Key words

grinding, ultrasound, machining, hardmachined materials

brúsenie, ultrazvuk výkonný, obrábanie, materiály ťažkoobrobiteľné

Úvod

Zvyšovanie technickej spôsobilosti výrobných strojov je trvalým procesom, ktorému je potrebné venovať značnú pozornosť a úsilie. Technické parametre výrobných strojov sú jedným z určujúcich faktorov produktivity práce a efektívnosti technologického procesu obrábania materiálov v podmienkach strojárskkej výroby. Aktuálnym problémom je obrábanie ťažkoobrobiteľných materiálov s vysokou pevnosťou, oteruvzdornosťou a odolnosťou voči korózii. Vzhľadom na ich spomínané vlastnosti sú predurčené na použitie pri riešení trvanlivosti, spoľahlivosti a funkčnej spôsobilosti náročných technologických aj technických zariadení. Jednou z metód ovplyvňovania procesu obrábania ťažkoobrobiteľných materiálov je aplikácia výkonového ultrazvuku v procese brúsenia.

Technická keramika

Jedným z reprezentantov technickej keramiky, ktorý má v súčasnosti významné miesto v aplikáciách súčiastok s vysokou tepelnou odolnosťou, pevnosťou, je karbid kremíka infiltrovaný kremíkom s označením SiSiC. Tento druh keramiky sa na základe špecifických vlastností využíva v systémoch, kde kovové materiály sú na hranici svojich výkonových možností, prípadne sú preťažené. Systémy, ktoré sú namáhané teplotne, tribologicky alebo na oter, sa karbidom kremíka infiltrovaným kremíkom významne zlepšia, alebo dokonca sú ním realizovateľné. Mechanické vlastnosti a oteruvzdornosť sú neprekonateľné pri použití voči abrazívnym a oter spôsobujúcim médiám. Na základe úžitkových vlastností technickej keramiky sa uvažuje s jej použitím na vonkajšie krúžky presných rýchlooběžných valivých ložísk, s cieľom zvýšiť ich presnosť a trvanlivosť.

Vlastnosti technickej keramiky ako vysoká odolnosť, tuhosť, pevnosť, majú vplyv na technologické parametre obrábania pri výrobe súčiastok z týchto materiálov, napr. nízku reznú rýchlosť, vysoké opotrebenie nástroja, vysoké náklady.

Brúsenie – dokončovacia metóda obrábania

Proces brúsenia prebieha pri pôsobení intenzívnej plastickej deformácie odrezávanej vrstvy, vysokej intenzity trenia a veľkého množstva tepla. Nástrojmi pre brúsenie sú brúsiace segmenty, alebo brúsiace kotúče. Brúsiaci kotúč je charakterizovaný druhom brúsiacich zrn, ich zrnitosťou, tvrdosťou brúsiaceho kotúča, štruktúrou (pórovitosťou) a spojivom. Brúsenie realizujú zrná brúsiaceho kotúča, ktoré sú nepravidelne rozložené na jeho činnnej ploche. Tvary rezných klinov a rezné uhly závisia na polohe zrna v brúsiacom kotúči. Značne veľké rezné rýchlosti používané pri brúsení (10 až $80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), prierez odoberanej triesky ($0,0001$ až $0,002 \text{ mm}^2$) a záporné uhly čela rezných klinov, sú príčinou vytvorenia veľkého množstva tepla, vysokej teploty odrezávaných triesok (800 až $1\,200^\circ\text{C}$) v povrchovej vrstve brúsenej plochy. Nerovnomerná plastickej deformácia a nerovnomerný ohrev (pri samotnom obrábaní) vytvárajú napätové polia, ktoré sa rozkladajú do väčších hĺbok povrchových vrstiev obrábaných súčiastok. V povrchovej vrstve dochádza k podstatným metalografickým zmenám, k jej spevneniu, k vzniku povrchových napätí, k vzniku mikrotrhlín a ďalším sprievodným dôsledkom.

Vývojové smery v oblasti brúsenia sa orientujú na prechod k vyšším rezným rýchlostiam – rýchlostné brúsenie. Vyššie rezné rýchlosti vo všeobecnosti znižujú opotrebenie brúsiaceho kotúča, znižujú zložky reznej sily, praznivo pôsobia na úber materiálu, na kvalitu povrchu a aj

na presnosť tvaru, skracuje sa čas spolupôsobenia v oblasti kontaktu nástroj – obrobok čo sa prejavuje vysokou efektívnosťou – zvýšenie produktivity až o 30%.

Vysoké tempo rozvoja vysokorýchlostného obrábania (HSC – High Speed Cutting) umožňujú existujúce vysokoproduktívne rezné nástroje. Podstatná časť moderných výrobných strojov a zariadení využívaných v praxi neumožňuje v plnej miere efektívne využiť existujúce vysokovýkonné rezné nástroje, zvlášť pre efektívne obrábanie súčiastok z ťažkoobrobiteľných materiálov.

Brúsenie s podporou výkonového ultrazvuku

Na skvalitňovanie a intenzifikáciu procesov obrábania slúžia aplikácie výkonového ultrazvuku, ako napr. brúsenie s podporou ultrazvuku.

Kvalitatívne zmeny podmienok procesov, špecifické oddeľovanie a tvorba triesky, procesy lokálnej plastickej deformácie sú kvalitatívne ovplyvniteľné generovaním energetického ultrazvukového poľa v mieste procesu. V zóne procesu sú generovaním ultrazvukového poľa rozkmitávané rezné klíny nástroja stojatým ultrazvukovým vlnením. Rezné klíny nástroja sú polohované v kmitniach rezonančných ultrazvukových vlnovodných systémov pozdĺžneho stojateho vlnenia. Akustická ultrazvuková energia privedená do miesta brúsenia, za prítomnosti reznej kvapaliny, ovplyvňuje samotné brúsenie, hlavne kinetickými a dynamickými účinkami kmitavého pohybu technologicky aktívnych brúsnych zŕn.

Výsledným efektom pôsobenia ultrazvuku je zmena rezivosti a ostatných technologických charakteristík procesu brúsenia (periodická zmena parametrov nedeformovaného úberu a ekvivalentného radiálneho úberu). Prejavuje sa to periodickou zmenou smeru a okamžitej hodnoty reznej sily a reznej rýchlosti, na rozdiel od klasického brúsenia, kde vektor okamžitej rýchlosti má konštantnú hodnotu a stály smer.

Brúsenie presných otvorov do technickej keramiky s podporou ultrazvuku

Známe vlastnosti technickej keramiky možno v praxi využiť na zvýšenie trvanlivosti jednotlivých druhov valivých ložísk. Za tým účelom sa uskutočnili experimenty na TU Cluj – Napoca pri brúsení otvorov vonkajších krúžkov z SiSiC s podporou výkonového ultrazvuku a klasickou metódou brúsenia. Pri obrábaní vnútorných otvorov krúžkov sa sledovali rezné sily, dosiahnutá akosť povrchu i odchýlka kruhovitosti obrobenej otvorov klasickým brúsením a brúsením s podporou výkonového ultrazvuku, pri rovnakých podmienkach a technologických parametroch.

Pokusy sa vykonali v meste Cugir na vodorovnej brúske Fortuna, na ktorú bol pri ultrazvukovom brúsení namontovaný ultrazvukový generátor, ultrazvukové vreteno (patent TU Napoca, -č.115609B) a zariadenie na meranie zložiek rezných síl (tangenciálnych a radiálnych).



Obr. 1 Ultrazvukové vreteno s nástrojom

Pred uskutočnením experimentov bolo ultrazvukové vreteno s nástrojom staticky a dynamicky vyvážené, brúsiaci kotúč orovnaný. Obrábané krúžky boli vycentrované na upínacích a kontrolných prístrojoch.



Obr. 2 Diamantové nástroje

Obrábanie krúžkov sa vykonalo pri nasledovných technologických parametroch:

Otáčky obrobku	120 až 180 ot.min ⁻¹
Otáčky vretena – nástroja	16 000 až 20 000 ot.min ⁻¹
Pozdĺžny posuv	0,2 až 1,5 m.min ⁻¹
Hĺbka rezu	0,02 až 0,04 mm
Nástroj	diamantový
Výkon ultrazvukového generátora	1 kW
Amplitúda ultrazvuku	6 až 12 μm
Rezonančná frekvencia UZ systému	22,8 kHz

Z nameraných hodnôt uvádzame:

pri pozdĺžnom posuve $s = 0,6 \text{ m.min}^{-1}$, pri prísuve $s_1 = 0,004$, hĺbke rezu $a_p = 0,04 \text{ mm}$,

Otáčky obrobku	Otáčky nástroja	R_a -UZ brúsenia [μm]	R_a - brúsenie [μm]	Odchýlka - UZ brúsenia	Odchýlka - brúsenie
120	16 000	0,28	0,68	1,5	5,0
120	20 000	0,12	0,50	1,0	4,5
180	16 000	0,30	0,72	1,5	6,0
180	20 000	0,15	0,68	1,15	5,5

Otáčky obrobku	Otáčky nástroja	F_r - radiálna sila brúsenie [N]	F_r - radiálna sila UZ brúsenie [N]	F_t - tangenciálna sila - brúsenie [N]	F_t – tangenciálna sila UZ brúsenie [N]
120	16000	24	14	11	7
120	20000	22	12	10	5
120	16000	21	12	10	6
120	20000	20	10	9	4

Porovnaním jednotlivých sledovaných a nameraných hodnôt klasickým brúsením a brúsením s podporou ultrazvuku boli preukázané výrazné výhody brúsenia ultrazvukom a to:

- ♦ parametre akosti povrchu R_a a R_z sa oproti klasickému brúseniu zlepšili 2 až 3 krát
- ♦ zložky rezných síl F_r a F_t sa znížili dvojnásobne
- ♦ znížil sa objem odoberanej triesky, čím sa zvýšila produktivita práce 4 až 5 krát
- ♦ zvýšila sa presnosť pri odchýlke kruhovitosti o dvojnásobok
- ♦ počas procesu sa nástroj neopotreboval a pracoval v režime samoostrenia.

Záver

Z výsledkov získaných brúsením technickej keramiky možno vyjadriť záver, že ultrazvukové brúsenie výrazne intenzifikuje procesy brúsenia týchto materiálov a môžeme ho označiť ako perspektívnu metódu, resp. základnú aplikáciu obrábania ťažkoobrobiteľných materiálov.

Literatúra:

- [1] GAŠPÁREK, J. *Dokončovacie spôsoby obrábania*. Bratislava: Alfa, 1979, 353 s.
- [2] UHLMANN, E. - DAUS, N. A. *Ultraschallunterstütztes Schleifen*. Výskumná práca. Berlín: TU, 2000.
- [3] ŠVEHLA, Š. - ABRAMOV, O. - CHORBENKO, I. *Využitie ultrazvuku v strojárstve a metalurgii*. Bratislava: Alfa, 1986, 320 s.
- [4] SPUR, G. - UHLMANN, E. - HOLL, S. Ultrasonic assisted grinding of ceramics. In *9th Cimtec – World Ceramics Congres*. 1999.
- [5] LIPA, Z. - JANÁČ, A. *Dokončovacie spôsoby obrábania*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2000. 94 s.
- [6] ZELENÝ, J. Technologie vysokorýchlostního obrábění. In *Special MM – Průmyslové spektrum. Vysokorýchlostní obrábění - High Speed Cutting*. Praha: 2000, 6, s. 12 – 20.