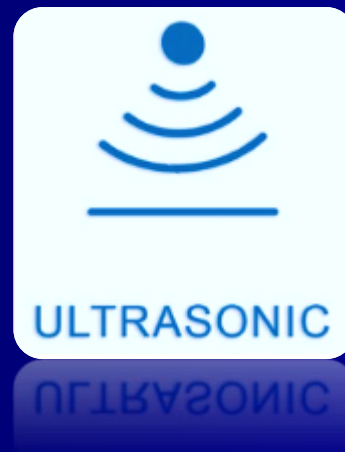


Ultrazvukové obrábanie (Ultrasonic Machining)



Ultrazvukové obrábanie – Ultrasonic Machining (USM)

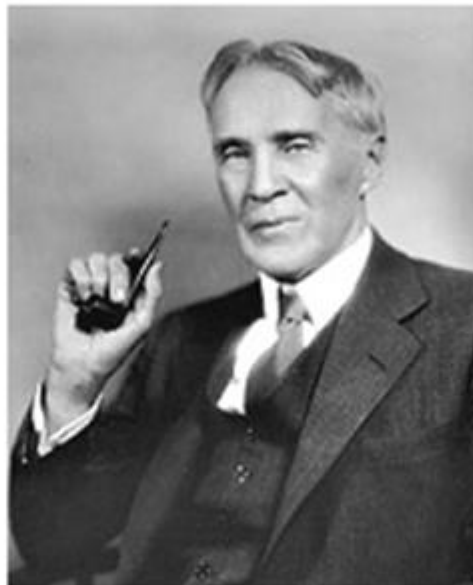
ultrasonic drilling, ultrasonic abrasive machining, ultrasonic cutting,
ultrasonic dimensional machining, slurry drilling

(od r. 1950) ultrasonic impact grinding, ultrasonic machining

- r. 1927 – **Alfred Lee Loomis** (1887–1975), **Robert Williams Wood** (1868–1955): prvý článok o možnostiach využitia ultrazvukovej energie na obrábanie
- r. 1945 – **Lewis Balamuth**, Method of Abrading, British patent 602 801 – prvý patent na priemyselné využitie ultrazvuku na obrábanie
- **80-te roky 20. storočia**: potreba obrábať tvrdé keramické a kompozitné materiály



Alfred Lee Loomis



Robert W. Wood



Lewis Balamuth

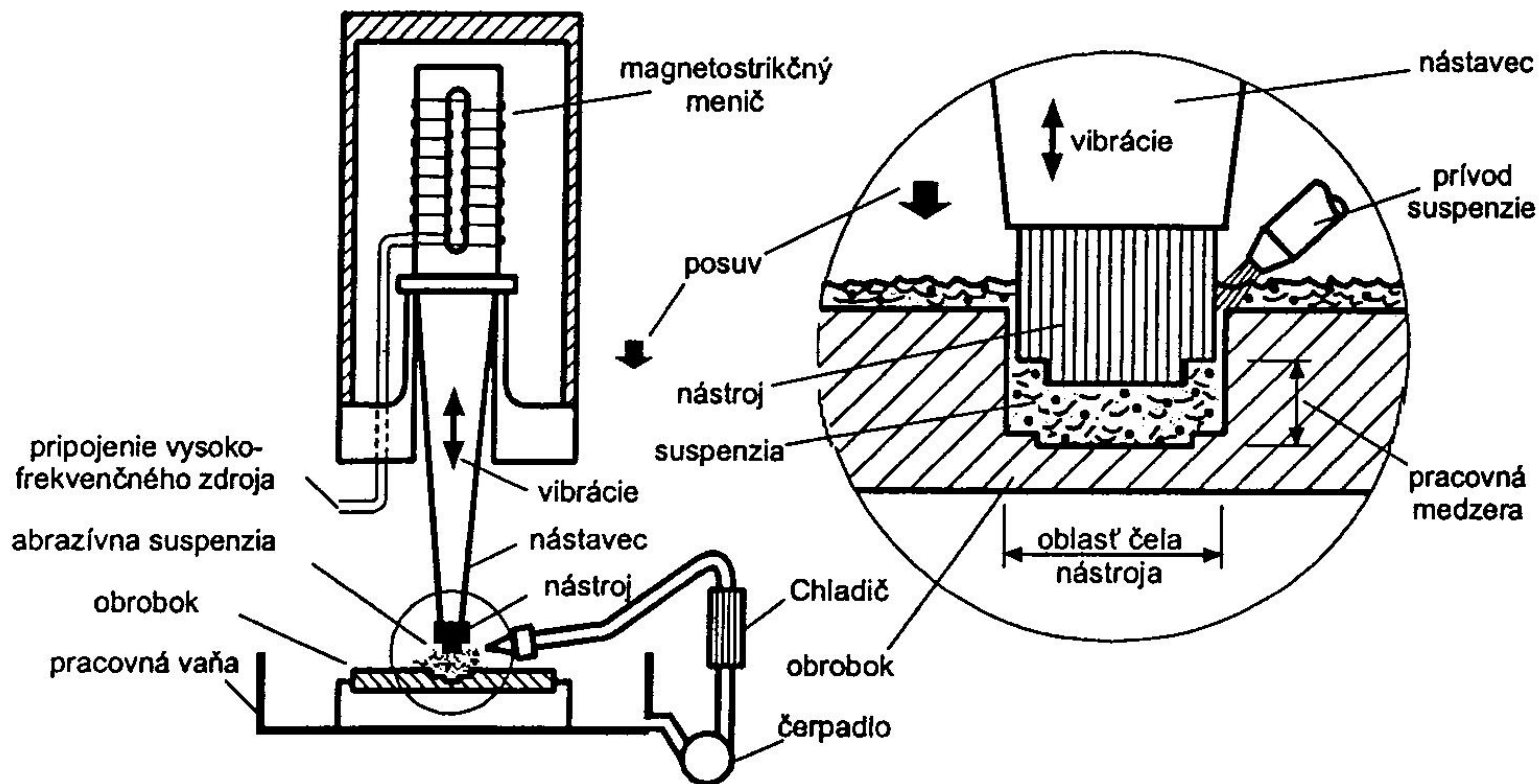
Ultrazvukové obrábanie – základná charakteristika, rozdelenie

Ultrazvukové obrábanie je proces, ktorý využíva mechanicko-akustické vlnenie s frekvenciou približne 20 kHz a viac, na rozrušovanie povrchu materiálu nárazovým účinkom brusiva.

Existujú dve modifikácie tohto procesu:

- ✓ ultrazvukové obrábanie (Ultrasonic Machining – **USM** alebo Ultrasonic Impact Grinding – **USIG**) – obrábanie nerotujúcim nástrojom s použitím brúsnej suspenzie,
- ✓ rotačné ultrazvukové obrábanie (Rotary Ultrasonic Machining – **RUM**) – obrábanie rotujúcim nástrojom bez použitia brúsnej suspenzie.

Ultrazvukové obrábanie (USM) – princíp

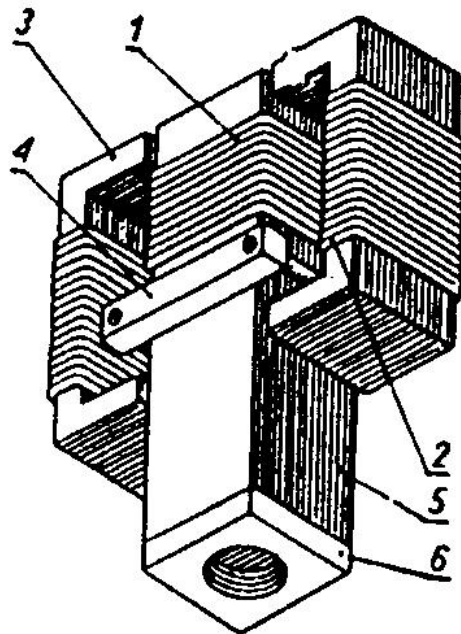


Princíp technológie USM

Zariadenie na ultrazvukové obrábanie

- ✓ **vysokofrekvenčný generátor** (frekvencia 15 až 40 kHz; výkon 150 až 2500 W),
- ✓ **konvertor (menič)** – využíva magnetostrikčný alebo elektrostrikčný jav; materiál meniča: permalloy – zliatina Ni (75 až 80 %) a Fe, permendur – zliatina Fe (50 %) a Co (50 %),
- ✓ **koncentrátor** – zosilňovač kmitov (zväčšuje amplitúdu kmitov z 0,001 až 0,1 μm na 20 až 50 μm , v niektorých prípadoch až na 100 μm),
- ✓ **nástroj** – má negatívny tvar k tvaru vyrábaného profilu. Vyrobený je z molybdénu (Mo), koróziivzdornej ocele, mosadze (Cu + Zn) alebo monelu (Ni + Cu).

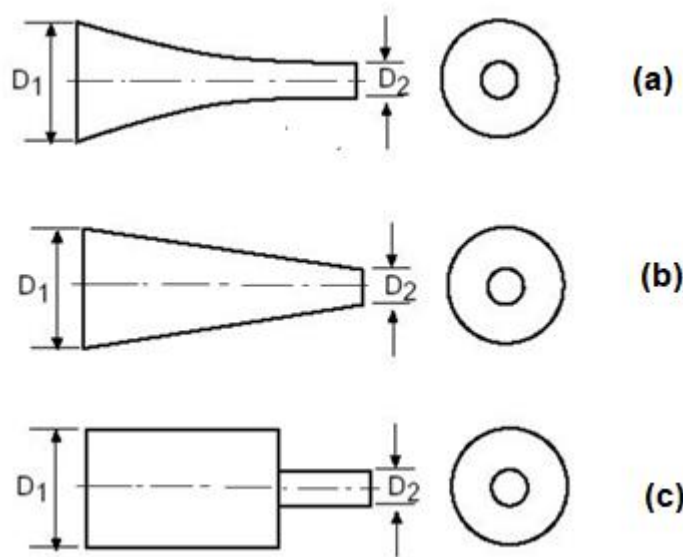
Zariadenie na ultrazvukové obrábanie



Časť konštrukcie zariadenia na ultrazvukové obrábanie

**1 – vysokofrekvenčné vinutie, 2 – polarizačné vinutie, 3 – teleso,
4 – magnetostrikčný nosič, 5 – magnetostrikčné jadro, 6 – prípojka konvertora**

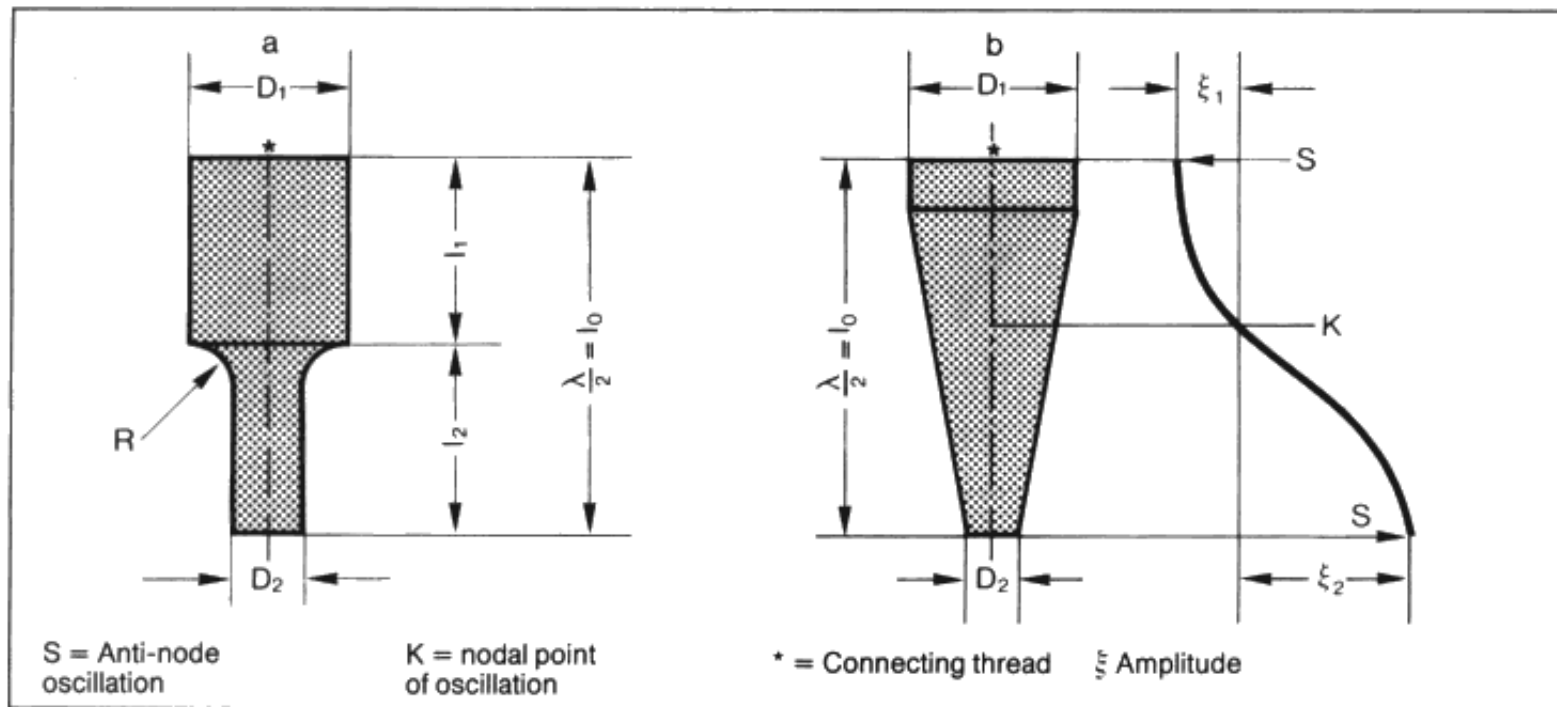
Zariadenie na ultrazvukové obrábanie



Základné tvary koncentrátorov

a – exponenciálny (zosilenie D_1/D_2); b – kužeľový (zosilenie max. 4,61);
c – odstupňovaný (zosilenie $(D_1/D_2)^2$)

Zariadenie na ultrazvukové obrábanie



Geometrické parameter koncentratora vo vzťahu k vlnovej dĺžke kmitavého pohybu λ

a – odstupňovaný, **b** – kužeľový

Vstupné a výstupné procesné parametre

- ✓ **mechanické vlastnosti obrábaného materiálu**
- ✓ **amplitúda a frekvencia kmitov**
- ✓ **druh brusiva** – SiC, B₄C, KNB, Al₂O₃
- ✓ **priemerná veľkosť brusiva** pre hrubovanie je 30 až 50 μm (zrornosť 200 až 400),
pre dokončovanie 9 až 14 μm (zrornosť 800 až 1000),
- ✓ **druh procesnej kvapaliny** – voda, petrolej, lieh, strojový olej
- ✓ **koncentrácia brusiva v kvapaline** – 20 až 60 %,
- ✓ **vzdialenosť medzi nástrojom a obrobkom** – 25 až 75 μm,

Proces obrábania ultrazvukom sa hodnotí na základe:

- ✓ **intenzity úberu materiálu (MRR – Material Removal Rate),**
- ✓ **intenzity opotrebovávania nástroja,**
- ✓ **kvality obrobenej plochy.**

Intenzita úberu materiálu

Úber materiálu prebieha na základe týchto mechanizmov:

- ✓ **mechanický účinok** – abrázia (80 % podiel na úbere materiálu),
- ✓ **mikrovydrobovanie** (microchipping),
- ✓ **kavitačný účinok** brúsnej suspenzie,
- ✓ **chemické pôsobenie kvapalného média v suspenzii.**

Intenzita úberu materiálu je determinovaná:

- ✓ **vlastnosťami obrábaného materiálu** – rozhodujúca je krehkosť a tzv. nárazová tvrdosť. Z tohto hľadiska sú na USM vhodné materiály: sklo, keramika, diamant, tvrdé ocele. Menej vhodné sú: meď, olovo, mäkké ocele.
- ✓ **akustickým systémom** – na intenzitu úberu materiálu vplýva hodnota amplitúdy a frekvencie kmitov. Existuje tiež optimálna statická sila (tlak) medzi nástrojom a obrobkom, kedy je intenzita úberu maximálna.
- ✓ **vlastnosťami suspenzie** – koncentrácia, zrnitosť brusiva (maximálny úber je pri veľkosti brusiva porovnateľnej s veľkosťou amplitúdy kmitov), tvrdosť brusiva (tvrdšie brusivo má vyššiu intenzitu úberu), spôsob prívodu suspenzie.
- ✓ **tvarom a veľkosťou nástroja**

Intenzita opotrebovávania nástroja

Opotrebovávanie nástroja prebieha podobne ako pri klasických metódach obrábania nástrojmi s definovanu geometriou rezného klina. Riadené je:

- ✓ **materiálom nástroja,**
- ✓ **materiálom obrobku,**
- ✓ **druhom brusiva.**

Príklad:

Opotrebovávanie nástroja pre rôzne kombinácie materiálu obrobku, nástroja a brusiva

Materiál nástroja	Materiál obrobku	Druh brusiva	Relatívny úbytok hmoty nástroja
karbidový nástroj	sklo	B_4C	0,1 %
mosadz	WC	SiC	140 %

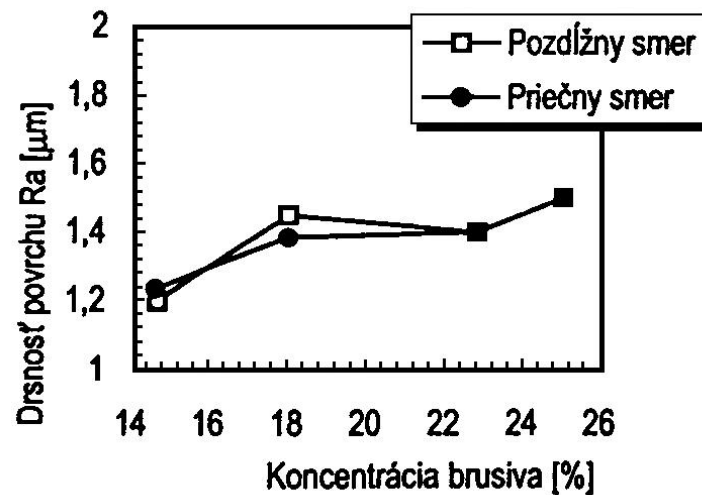
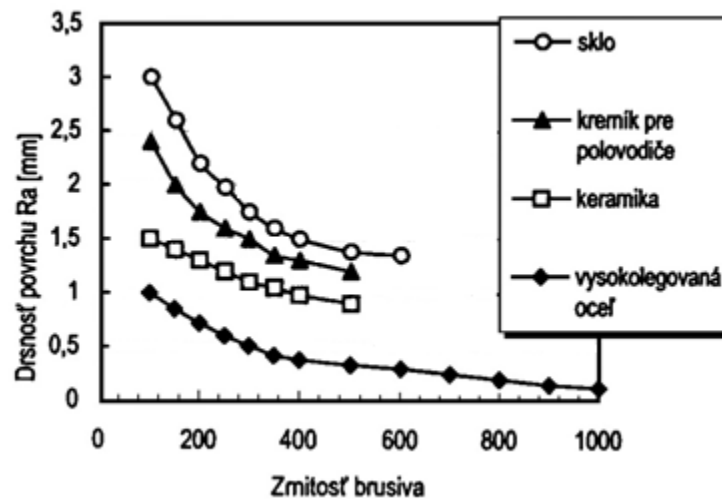
Kvalita obrobenej plochy

Drsnosť povrchu:

Drsnosť povrchu je determinovaná **vlastnosťami materiálu obrobku, akustického systému a suspenzie**. Najväčší vplyv na drsnosť obrobeneho povrchu má **zrornosť brusiva**. Na drsnosť vplýva tiež **veľkosť amplitúdy kmitov** (väčšia amplitúda = väčšia drsnosť povrchu). Materiál obrobku ovplyvňuje drsnosť tak, že ten **materiál, ktorý vykazuje vysokú intenzitu úberu má aj vyššie hodnoty drsnosti povrchu**.

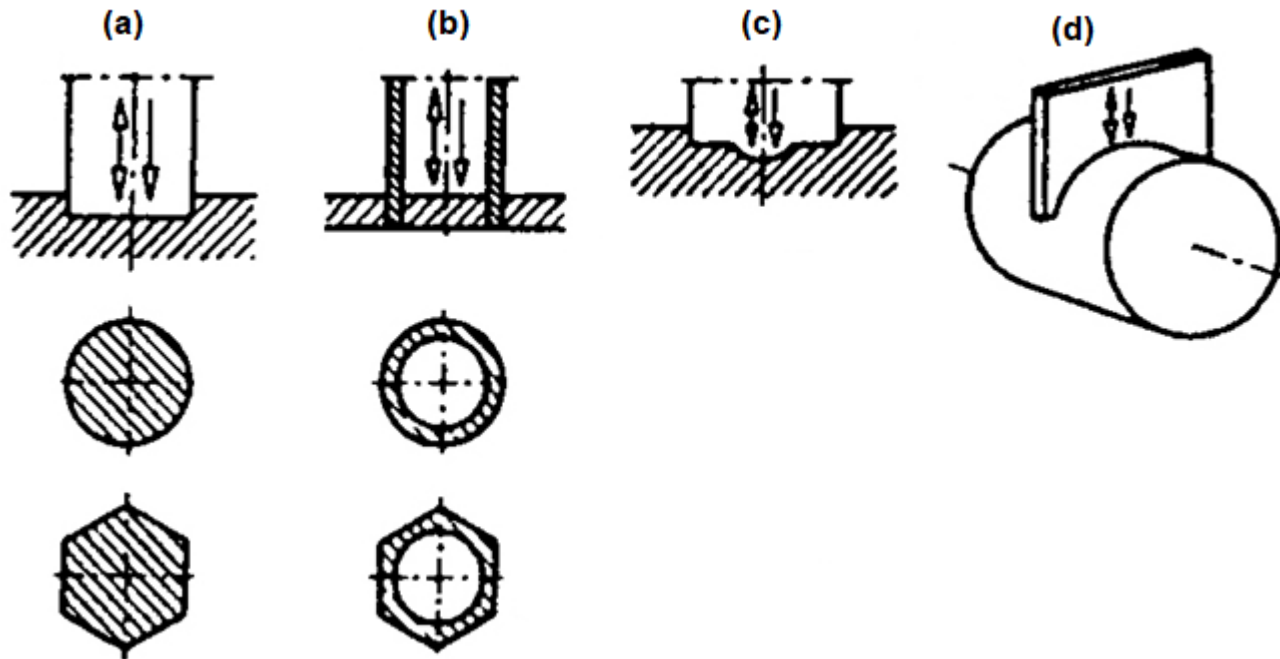
Rozmerová presnosť:

Presnosť obrobenej plochy je determinovaná **zrornosťou brusiva, rozmerovou presnosťou a tuhosťou nástroja, odolnosťou nástroja voči kmitaniu a odolnosťou materiálu nástroja voči opotrebovaniu**. Presnosť je ovplyvnená tiež **veľkosťou plochy nástroja, amplitúdou kmitov a materiálom obrobku**.



**Vplyv zrnitosti a koncentrácie brusiva na drsnosť
obrobeného povrchu**

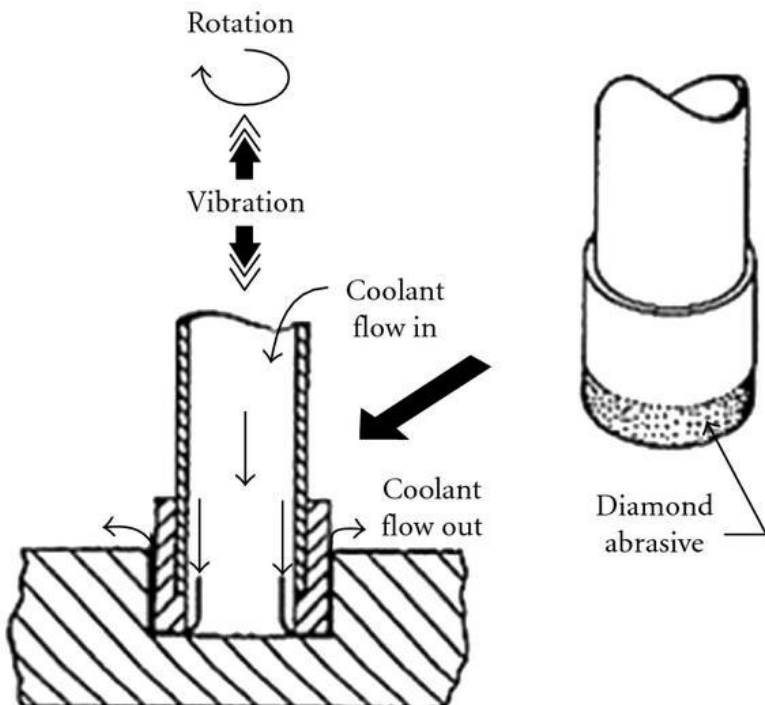
Aplikácie technológie USM



Aplikácie obrábania ultrazvukom s nerotujúcim nástrojom

a, b – výroba kruhových a tvarových priechodných otvorov ($L = 8$ až 10),
c – gravírovanie ($h = 4$ až 6), **d** – delenie materiálu (kremeň, rubín)

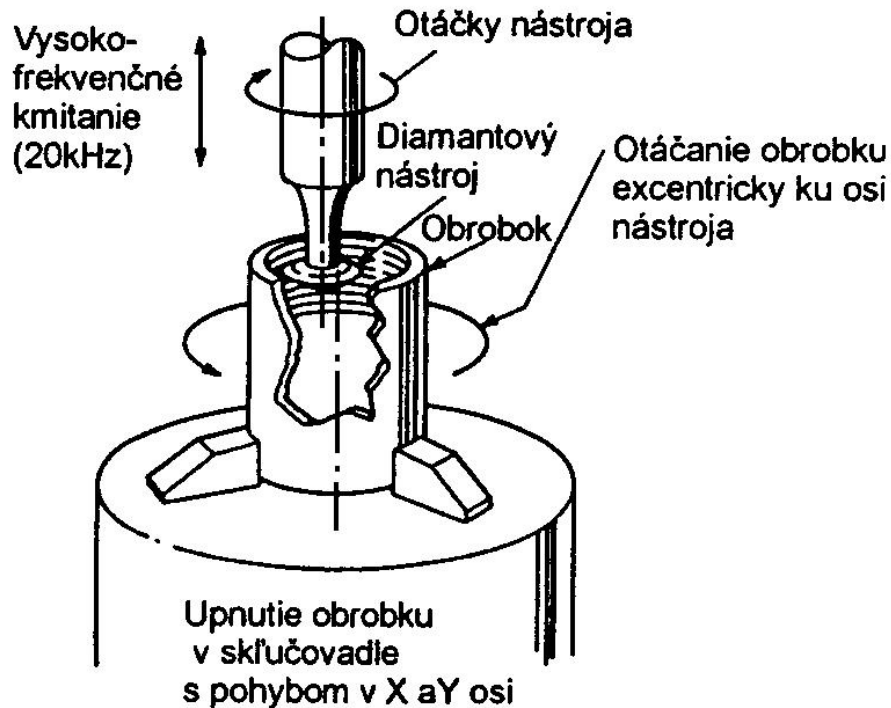
Rotačné ultrazvukové obrábanie – princíp



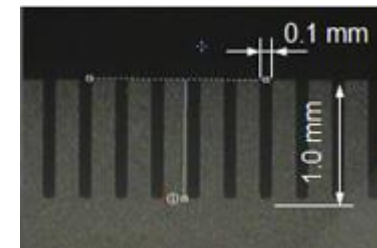
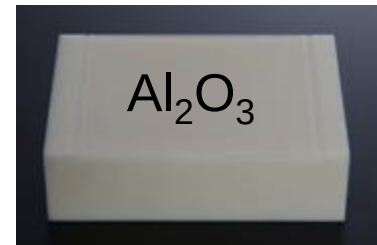
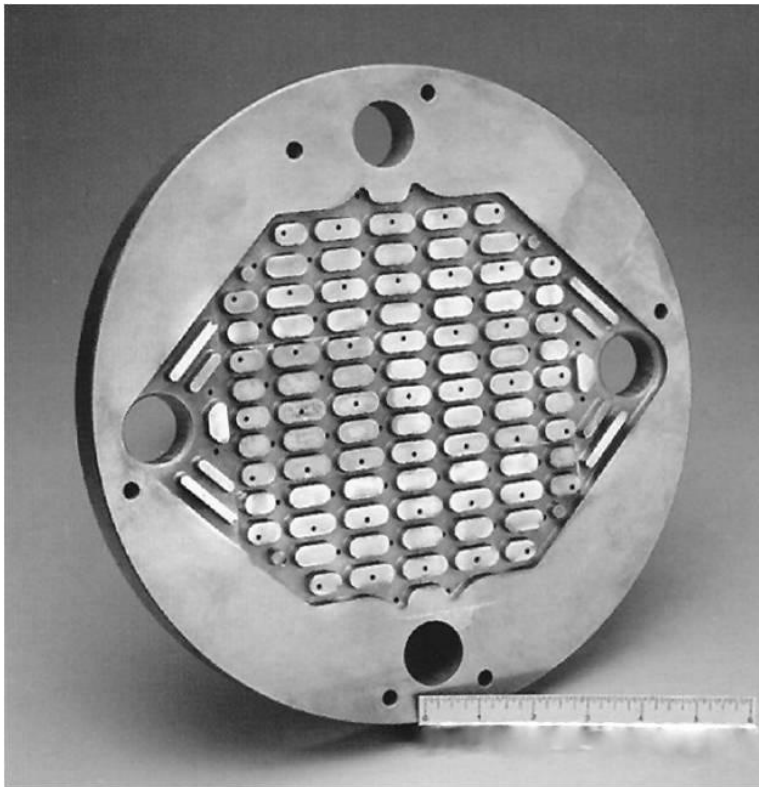
Princíp rotačného ultrazvukového obrábania (RUM)

Aplikácie technológie RUM

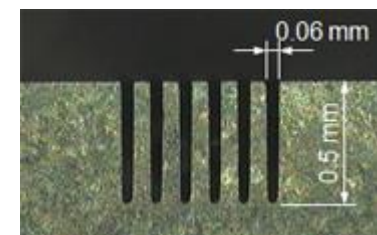
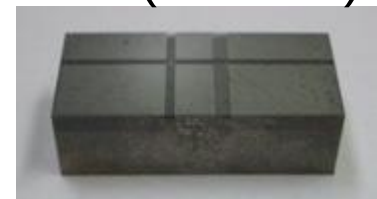
Technológia RUM sa používa na obrábanie vysokotvrdých materiálov ako je keramika, sklo, karbidy kovov. Využíva sa najmä na výrobu rozmerovo malých súčiastok s vysokou presnosťou a nízkou drsnosťou.



Príklad rotačného ultrazvukového obrábania (RUM)



WC (90 HRA)



Príklady USM
(gravírovanie a výroba drážok do ťažkoobrobiteľných materiálov)

Slovník základných anglických výrazov (USM)

- **Ultrasonic Machining (USM)** – ultrazvukové obrábanie
- **Magnetostrictive transducer** – magnetostrikčný menič
- **Horn (Concentrator)** – koncentrátor
- **Abrasive grids (grain)** – jemné brusivo (brúsne zrno)
- **Water slurry** – vodná suspenzia
- **Material Removal Rate (MRR)** – intenzita úberu materiálu

P a r a m e t e r s:

- **Amplitude of vibration**
- **Frequency of vibration**
- **Feed force**
- **Abrasive size**
- **Abrasive material**
- **Contact area of the tool**
- **Volume concentration of abrasive in water slurry**
- **Flow strenght of work and tool material**
- **Ratio of workpiece hardness to tool hardness**

Použité zdroje

- [1] EL-HOFY, H. *Advanced Machining Processes: Nontraditional and Hybrid Machining Processes*. McGraw, 2005. ISBN 978-0071453349
- [2] KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. *Manufacturing Engineering and Technology*. New York : Prentice Hall, 2010. 1176 s. ISBN 978-0-13-608168-5.
- [3] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technológie obrábania*. Košice : Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4.
- [4] McGEOUGH, J. A. *Advanced Methods of Machining*. London : Chapman and Hall, 1988.
- [5] MIČIETOVÁ, A. *Progresívne technológie*. Žilina: Žilinská univerzita, 2016. 408 s. ISBN 80-7100-853-2.
- [6] MIČIETOVÁ, A.; MAŇKOVÁ, I.; VELÍŠEK, K. Top trendy v obrábaní: V. časť - Fyzikálne technológie obrábania. Žilina : Media/St, s.r.o., 2007. 168 s. ISBN 978-80-968954-7-2.