OBRÁBĚNÍ TVRDÝCH A KŘEHKÝCH MATERIÁLŮ

Broušení s ultrazvukovou podporou s PRIMINER C500ultrasonic



MANAŽERSKÉ SHRNUTÍ

Broušení křemenného skla a oxidu hlinitého s podporou ultrazvuku

Křemenné sklo a technická keramika, jako je oxid hlinitý, jsou zásadními materiály v řadě high-tech odvětví. Křemenné sklo se používá například v polovodičovém průmyslu na držáky waferů a leptací masky, protože je tepelně i chemicky stabilní. V optice se z křemenného skla vyrábějí přesné čočky, hranoly a světlovody. Křemenné sklo navíc hraje klíčovou roli v moderní zdravotnické technice, například v diagnostických přístrojích a laserových systémech.

Oxid hlinitý má v průmyslu rovněž široké uplatnění. Ve zdravotnické technice se používá například na biokompatibilní implantáty, jako jsou hlavice umělých kyčelních kloubů, které těží z vysoké odolnosti proti opotřebení a korozi. Další použití nachází v letectví a kosmonautice, kde slouží jako tepelná ochrana kritických komponent nebo jako materiál ložisek a těsnění, která musí odolávat extrémnímu mechanickému a tepelnému zatížení.

Vlastnosti, které činí křemenné sklo a oxid hlinitý tak cennými, zároveň ztěžují jejich obrábění. Oba materiály se vyznačují vysokou tvrdostí a křehkostí, což může vést k mikrotrhlinám, vysokému opotřebení nástrojů a nedostatečné kvalitě povrchu. Jako metoda obrábění se proto nabízí broušení. Proces broušení vyžaduje vysokou přesnost, zejména u složitých geometrií, aby byly splněny požadavky výše uvedených oblastí použití.

Využití ultrazvukové podpory při broušení vykazuje velký potenciál tyto problémy zvládnout. Vnesením vysokofrekvenčních kmitů se snižují procesní síly, zlepšuje se kvalita povrchu a minimalizuje opotřebení nástroje. Tento whitepaper ukazuje účinky a přednosti technologie broušení s ultrazvukovou podporou u křemenného skla a oxidu hlinitého. Brusný nástroj je přitom vysokofrekvenčně rozkmitáván ultrazvukovým systémem VibroCut *ultrasonic*. Tento inovativní systém se vyznačuje zejména vysokým výkonem pro velké rozkmity a přesným chováním v procesu.

Manažerské shrnutí 02

Broušení tvrdých a křehkých materiálů s podporou ultrazvuku 03

Technologické účinky a mechanismy působení 04

Výsledky 05

Přínos pro zákazníka 06

Další informace k VibroCut 07

Stroj PRIMINER C500-5X ultrasonic 08

Realizační partner UNITECH-Maschinen GmbH 09

ZKOUŠKY POUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉ PODPORY S VibroCut *ultrasonic*

Jako příklad skupiny tvrdých a křehkých materiálů je zkoumáno broušení s ultrazvukovou podporou na dílech z křemenného skla a oxidu hlinitého.

Pro realizaci ultrazvukové podpory vybavila společnost UNITECH-Maschinen GmbH obráběcí centrum PRIMINER C500 systémem VibroCut *ultrasonic*. V rotujícím držáku nástroje se přitom generuje ultrazvukové kmitání, které se cíleně superponuje na kinematiku obráběcího procesu. Amplituda kmitání se zadává M-funkcemi v NC programu a lze ji nastavit v širokém rozsahu. Frekvenci kmitání systém automaticky vyhledá a doreguluje. Jedinečností systému je vysoký výkon a přesnost, které se opírají o interní snímač pro vysoce dynamickou regulaci ultrazvuku. Parametry zkoušek byly měněny podle obráběných materiálů a jsou shrnuty v tabulce 1.

Pro vyhodnocení účinků ultrazvukové podpory byly pomocí silového dynamometru (Kistler) zaznamenány pasivní síly při broušení a porovnány pro konvenční broušení a broušení s ultrazvukovou podporou.

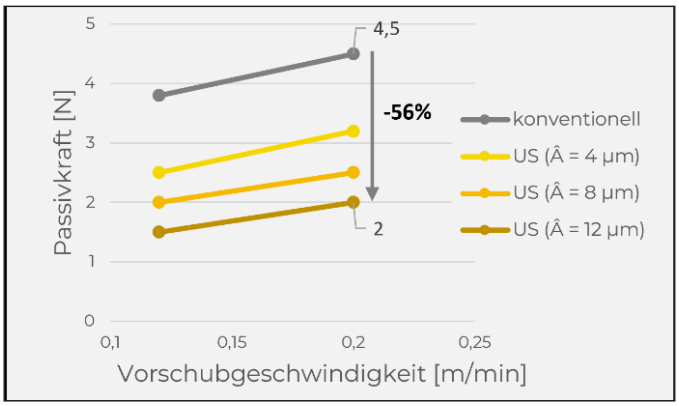
Na ochranu vysoce přesných strojních prvků upravila společnost UNITECH pohonné prvky tak, aby pečlivě zapouzdřené odolávaly agresivnímu brusnému prachu.

	Křemenné sklo	**Oxid hlinitý**
Nástroj	Brusné tělísko – diamant galvanická vazba	Brusné tělísko – diamant galvanická vazba
Průměr nástroje	Ø10 mm	Ø10 mm
Řezná rychlost v_c	2,5 m/s	2,5 m/s
Přísuv a_p	0,2 mm	0,06 mm
Šířka záběru a_e	1 mm	2 mm
Rychlost posuvu v_f	120…200 mm/min	300…500 mm/min
Tlak chladicí kapaliny	Emulze 30 bar	Emulze 30 bar
Frekvence kmitání	≈ 18,5 kHz	≈ 18,5 kHz
Rozkmit	4 µm / 8 µm / 12 µm	4 µm / 8 µm / 12 µm

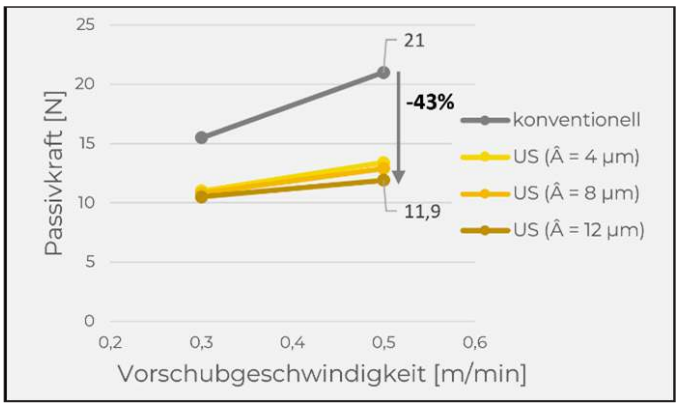
Tabulka 1: Parametry zkoušek broušení

Technologické účinky a mechanismy působení

Pro zkoumání broušení **křemenného skla** s ultrazvukovou podporou byl díl rovinně broušen na čelní straně. Obrázek 2 ukazuje pro broušení křemenného skla průběh posuvových sil pro různé posuvy a pro konvenční proces i proces s ultrazvukovou podporou při rostoucím rozkmitu od 4 µm do 12 µm. Je patrné, že posuvové síly s vyšším posuvem rostou a síly při konvenčním broušení dosahují max. 4,5 N. Řezné síly jsou při broušení tvrdých a křehkých materiálů vzhledem k citlivosti materiálu důležitým hodnoticím kritériem, protože určují efektivitu úběru materiálu. Příliš vysoké síly omezují produktivitu i kvalitu povrchu a mohou vést k problémům s kvalitou, jako jsou mikrotrhliny nebo vylamování. Z obrázku 2 je patrné, že ultrazvuková podpora vede u obou posuvů k výraznému snížení pasivní síly. Síly přitom klesají s rostoucím rozkmitem. Při rychlosti posuvu 0,2 m/min a rozkmitu 12 µm klesá pasivní síla díky ultrazvukové podpoře ze 4,5 N na 2 N. To odpovídá výraznému snížení síly o 56 %. Tento účinek je dán „mikrokladivovým“ působením ultrazvuku, které křehký materiál mikroskopicky narušuje a umožňuje tak řízený úběr materiálu. Rychlý pohyb nástroje navíc vede ke změněné kinematice a víceosému zatížení brusných zrn.



Obrázek 2: Diagram pasivních sil – křemenné sklo



Obrázek 3: Diagram pasivních sil – oxid hlinitý

U druhého materiálu, **oxidu hlinitého**, byly síly měřeny obdobným postupem. Obrázek 3 ukazuje hodnoty pasivních sil při broušení keramiky. I zde síly s rostoucím posuvem narůstají. Při konvenčním broušení a rychlosti posuvu 0,5 m/min činí pasivní síla u oxidu hlinitého 21 N. I u tohoto materiálu jsou řezné síly rozhodující pro efektivitu broušení. Ultrazvuková podpora procesu broušení vede i zde k výrazně nižším obráběcím silám. Při posuvu 0,5 m/min a rozkmitu 12 µm se pasivní síla sníží o 43 % na 11,9 N. Na rozdíl od křemenného skla má zde rozkmit menší vliv. Účinky rozkmitů mezi 4 µm a 12 µm jsou v této souvislosti téměř shodné. Vzhledem ke křehkému chování materiálu je i zde úběr materiálu díky ultrazvuku efektivnější a lépe řízený, což se příznivě projevuje na výkonnosti procesu broušení.

Výsledky

Výsledky ukazují, že ultrazvuková podpora příznivě ovlivňuje vlastnosti a výkonnost procesu broušení. Ultrazvukové držáky nástrojů uvádějí brusný nástroj do vysokofrekvenčního kmitání, čímž se mění jak kinematika procesu, tak mechanismy působení při tvorbě třísky. Účinky lze shrnout takto:

1. Ultrarychlý pohyb brusného zrna

Ultrazvuk uvádí brusné těleso do extrémně rychlého pohybu, takže se každé jednotlivé brusné zrno kromě rotace pohybuje také oscilačně v axiálním směru. Tím se zásadně ovlivňují podmínky záběru brusných zrn.

2. Efektivní úběr materiálu

Ultrazvuk vyvolává „mikrokladivový“ účinek brusných zrn, takže se tvrdý a křehký materiál na povrchu definovaně narušuje. Úběr materiálu je tak efektivnější a lépe řízený.

3. Samočištění

Ultrazvuk omezuje usazeniny na brusném nástroji a brání jeho zanášení. Nástroj si tak déle zachovává ostrost a řezivost.

4. Ostření zrn

Víceosé a rázové zatížení vede k vylamování brusných zrn, čímž vznikají nové ostré břity.



Přínos pro zákazníka

Výrazně nižší obráběcí síly posouvají dosavadní hranice procesu broušení z hlediska produktivity, procesní spolehlivosti a kvality dílů. Obrázek 4 shrnuje přednosti ultrazvukové podpory při broušení tvrdých a křehkých materiálů, jako je křemenné sklo nebo keramika typu oxidu hlinitého.



Obrázek 4: Přednosti broušení s ultrazvukovou podporou

Efektivní a řízený úběr materiálu zlepšuje kvalitu dílů z hlediska drsnosti povrchu a zabraňuje mikrotrhlinám i vylamování. Vedle delší životnosti nástrojů je zásadním faktorem především možnost zvýšit řezné podmínky, a tím produktivitu broušení, což s VibroCut ultrasonic přináší úsporu nákladů.

Úspora nákladů s VibroCut *ultrasonic* při broušení tvrdých a křehkých materiálů

Příklad výpočtu: zvýšení řezných parametrů

- Hodinová sazba stroje: 75,- € / h
- Plánované vytížení: 4 000 h / rok (500 směn ročně)
- Podíl broušení na taktu: 80%

Zvýšení řezných parametrů	Zvýšení produktivity	Úspora na stroj/rok
20%	13,3%	39 900 €
50%	26,7%	80 100 €
100%	40%	120 000 €

Obrázek 5: Příklad výpočtu ekonomického přínosu při zvýšení řezných podmínek

Příklad výpočtu hospodárnosti je uveden na obrázku 5. V mnoha případech použití se přitom dosahuje návratnosti investice do jednoho roku.

Významnou předností ultrazvukové podpory je také vyšší procesní spolehlivost. Efektivní a šetrné obrábění s využitím ultrazvuku pomáhá zejména u složitých a nákladných dílů snížit riziko poruch procesu i odchylek ovlivňujících kvalitu, a zabránit tak zmetkům náročným na náklady i čas. To platí zvláště pro bezobslužné obrábění přes několik směn.

Další informace

VibroCut *ultrasonic* je patentovaný systém společnosti VibroCut GmbH. Vystupujeme jako dodavatel produktů a technologií pro nasazení obrábění s ultrazvukovou podporou ve vaší výrobě. Dodáváme ultrazvukové systémy pro vybavení nových i stávajících strojů a nabízíme vám související servisní služby.

Ultrazvukový systém VibroCut ultrasonic představuje nejsilnější a nejpřesnější ultrazvuk na trhu. Díky mimořádnému výkonu dosahuje velkých rozkmitů a rozkmitá i větší brusné nástroje. Integrovaný snímač měří ultrazvukové kmitání přímo. Vysoce dynamická regulace tak zaručuje reprodukovatelné vlastnosti kmitání a posouvá přesnost ultrazvuku do nové dimenze.

Systém je k dispozici v různých výkonových třídách, rozměrech a s rozhraními vhodnými pro váš obráběcí stroj. Podle požadavků obráběcího procesu má uživatel na výběr čtyři výkonové třídy – od řady Precision-Line pro jemné nástroje s otáčkami až 30 000 ot/min po řadu Performance-Line pro aplikace s velkými, hmotnými nástroji. Řady Precision-Line (100 W), Standard-Line (250 W) a Performance-Line (500 W) jsou přitom určeny pro obráběcí centra s automatickou výměnou nástrojů.



Parametry výkonu VibroCut *ultrasonic*			
Frekvence kmitání	f_{Vib}	=	16 ... 50 kHz
Rozkmit	Â	=	0,1 ... 80 µm
Výkon	P_{Wmax}	=	100 ... 1 000 W

Obrázek 6: Ultrazvukový držák nástroje pro VibroCut ultrasonic

Kontaktujte nás přímo nebo se informujte na našich webových stránkách:

VIBROCUT

VibroCut GmbH
Annaberger Str. 240
09125 Chemnitz
info@vibrocut.de
www.vibrocut.de

CNC frézka PRIMINER v provozu s VibroCut *ultrasonic*

C500-5X od společnosti PRIMINER je 5osé obráběcí centrum, které se vyznačuje vynikající přesností a flexibilitou. Se svými 9,5 tuny je ideálně koncipováno pro komplexní obrábění obrobků v pěti osách a umožňuje výrobu vysoce přesných dílů z různých materiálů, jako je ocel, hliník a plasty. Díky své všestrannosti se dobře hodí pro mnoho aplikací od prototypů po sériovou výrobu.

C500-5X svými technickými údaji optimálně podporuje výbavu VibroCut *ultrasonic*. Požadavky, které na stroj klade broušení a vrtání tvrdých a křehkých materiálů s ultrazvukovou podporou, splňuje velmi dobře.



Technické údaje		C500-5X
Stůl		
Max. průměr obrobku	mm	700
Rozměry stolu	mm	Ø 500 x 400
T-drážky (šířka x počet x rozteč)	mm	14 ×80 ×5
Max. zatížení	kg	300
Pojezd		
Pojezd X/Y/Z	mm	700 / 550 / 500
Rozsah naklápění A/C	°	+30° ~ -120° / 360°
Vzdálenost čela vřetena od stolu	mm	120 - 620
Vřeteno		
Kužel vřetena	-	SK40/BBT40/CAT40
Výkon motoru vřetena	kW	9 / 22
Krouticí moment motoru vřetena	Nm	63 / 135
Otáčky vřetena	ot/min	12000
Posuv		
Rychloposuv X/Y/Z	m/min	48
Rychlost otáčení A/C	ot/min	50/60
Pracovní posuv	mm/min	1-12000

Technické údaje		C500-5X
Výměník nástrojů		
Počet nástrojů	ks	40
Max. délka nástroje	mm	300
Max. průměr nástroje	mm	Ø 80 / Ø 125
Max. hmotnost nástroje	kg	8
Přesnost (VDI 3441, celý pojezd) Přesnost polohování (bez lineárních pravítek)	mm	0,008 (X/Y/Z)
Opakovatelnost (bez lineárních pravítek)	mm	0,006 (X/Y/Z)
Přesnost polohování (s lineárními pravítky)	mm	0,006 (X/Y/Z)
Opakovatelnost (s lineárními pravítky)	mm	0,004 (X/Y/Z)
Rozměry a hmotnost		
Rozměry	mm	3976×4965×3050
Hmotnost	kg	7000

Kontaktujte nás přímo nebo se informujte na našich webových stránkách:

PRIMINER

PRIMINER
Werkzeugmaschinen GmbH
Tungendorfer Str. 10
24536 Neumünster
info@priminer.de
www.priminer.de

UNITECH-Maschinen GmbH — renomovaný partner ve strojírenství

UNITECH-Maschinen GmbH patří k zavedeným strojírenským firmám v regionu Chemnitz. Její činnost sahá od konstrukce přes výrobu a prodej až po kompletní servis mnoha typů obráběcích strojů. K nabídce patří také zpracování komplexních řešení, technologické poradenství a školení uživatelů.

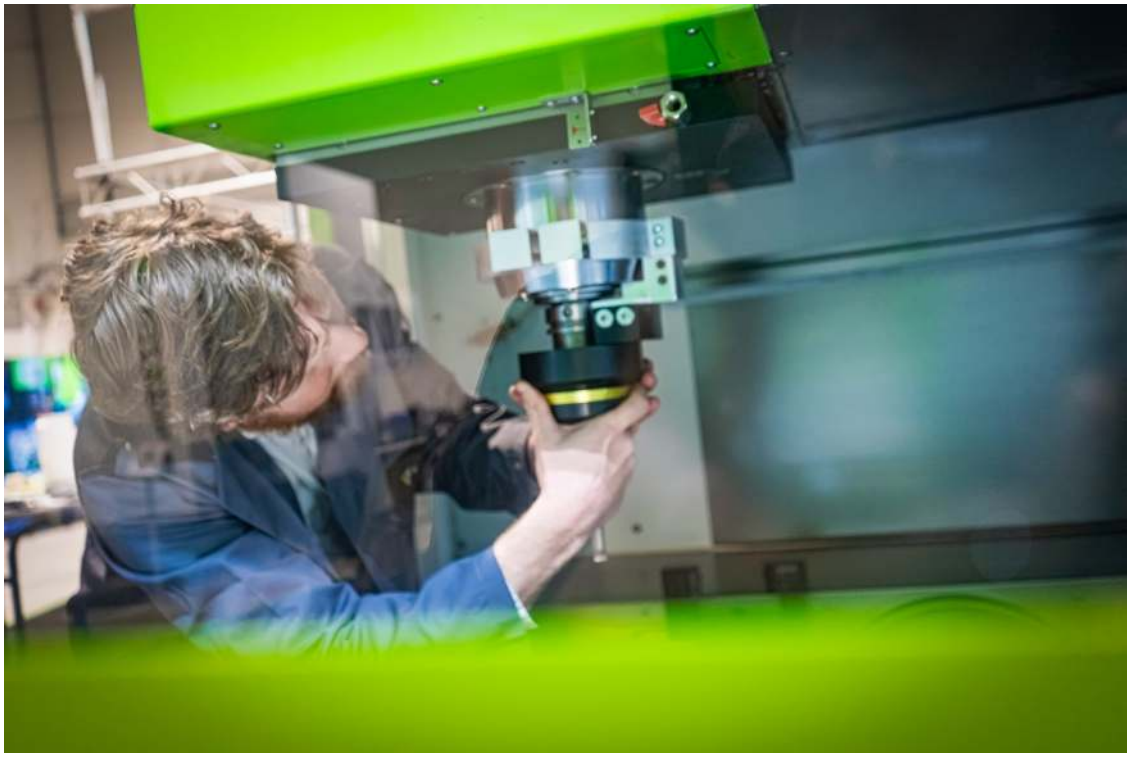
Blízkost k VibroCut GmbH a prodej strojů Priminer vedly k vynikající spolupráci.

Integračním partnerem VibroCut GmbH v oblasti obrábění tvrdých a křehkých materiálů je UNITECH-Maschinen GmbH. Jako expert na technologicky zaměřené úpravy obráběcích strojů a rovněž zkušený servisní partner upravila společnost UNITECH vysoce přesné 5osé obráběcí centrum PRIMINER C500 na nejvýkonnější ultrazvukovou brusku ve své třídě.

Ultrazvukový brusný nástroj VibroCut byl přitom včetně navádění obsluhy a monitorování procesu plně integrován do stroje. Samotný stroj byl mj. důkladným zapouzdřením chráněn před agresivním prachem z obrábění s cílem zajistit dlouhodobou kvalitu.

Obráběcí médium se odděluje od prachu a cíleně přivádí do obráběcího procesu. Podle potřeby lze stroj při použití médií náchylných k výbuchu doplnit o protipožární opatření.

Pro zajištění bezobslužného obrábění přes několik směn je integrováno monitorování procesu a kvality.



Integrace technologie: UNITECH-Maschinen GmbH a Dr. Oliver Georgi z VibroCut GmbH

Kontaktujte nás přímo nebo se informujte na našich webových stránkách:

UNITECH

UNITECH-Maschinen GmbH
Clemens-Winkler-Straße 6
09116 Chemnitz
www.unitech-maschinen.de