MECANIZADO DE MATERIALES DUROS Y FRÁGILES

Rectificado asistido por ultrasonidos con PRIMINER C500ultrasonic



RESUMEN EJECUTIVO

Rectificado asistido por ultrasonidos de vidrio de cuarzo y alúmina

El vidrio de cuarzo y las cerámicas técnicas como la alúmina (óxido de aluminio) son materiales esenciales en numerosos sectores de alta tecnología. El vidrio de cuarzo se emplea, por ejemplo, en la industria de semiconductores para soportes de obleas y máscaras de grabado, por su estabilidad térmica y química. En óptica se fabrican con él lentes de precisión, prismas y guías de luz. Además, desempeña un papel clave en la tecnología médica moderna, por ejemplo en equipos de diagnóstico y sistemas láser.

La alúmina también tiene una amplia aplicación industrial. En tecnología médica se utiliza, por ejemplo, para implantes biocompatibles como cabezas de prótesis de cadera, que aprovechan su alta resistencia al desgaste y a la corrosión. Otras aplicaciones se encuentran en la industria aeroespacial, donde se emplea como protección térmica de componentes críticos o como material para rodamientos y juntas que deben soportar cargas mecánicas y térmicas extremas.

Las propiedades que hacen tan valiosos al vidrio de cuarzo y a la alúmina dificultan al mismo tiempo su mecanizado. Ambos materiales se caracterizan por su gran dureza y fragilidad, lo que puede provocar microfisuras, un elevado desgaste de herramienta y calidades superficiales insuficientes. Por ello, el rectificado es el proceso de mecanizado idóneo. Este proceso exige una gran precisión, sobre todo en geometrías complejas, para cumplir los requisitos de las aplicaciones antes mencionadas.

El uso de la asistencia por ultrasonidos en los procesos de rectificado muestra un gran potencial para superar estos retos. La introducción de vibraciones de alta frecuencia reduce las fuerzas de proceso, mejora la calidad superficial y minimiza el desgaste de la herramienta. Este whitepaper muestra los efectos y ventajas del rectificado asistido por ultrasonidos para vidrio de cuarzo y alúmina. Se utiliza el sistema de ultrasonidos VibroCut *ultrasonic* para aplicar vibraciones de alta frecuencia a la herramienta de rectificado. Este innovador sistema destaca sobre todo por su gran potencia para amplitudes de vibración elevadas y por un comportamiento de proceso preciso.

Resumen ejecutivo	02
Rectificado asistido por ultrasonidos de materiales duros y frágiles	03
Efectos tecnológicos y mecanismos de acción	04
Resultados	05
Beneficio para el cliente	06
Más información sobre VibroCut	07
La máquina C500-5X ultrasonic PRIMINER	08
Partner ejecutor UNITECH-Maschinen GmbH	09

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE LA ASISTENCIA POR ULTRASONIDOS CON VibroCut *ultrasonic*

Como ejemplo del grupo de materiales duros y frágiles, se estudia el rectificado asistido por ultrasonidos en piezas de vidrio de cuarzo y alúmina.

Para implementar la asistencia por ultrasonidos, UNITECH-Maschinen GmbH equipó el centro de mecanizado PRIMINER C500 con el sistema VibroCut *ultrasonic*. En él se genera una vibración ultrasónica en el portaherramientas rotativo, que se superpone de forma selectiva a la cinemática del proceso de mecanizado. La amplitud de vibración se define mediante comandos M en el programa NC y puede ajustarse en un amplio rango. El sistema encuentra y reajusta automáticamente la frecuencia de vibración. Lo que distingue al sistema es su gran potencia y precisión, basadas en un sensor interno para la regulación altamente dinámica de los ultrasonidos. Los parámetros de ensayo se variaron en función de los materiales a mecanizar y se resumen en la tabla 1.

Para evaluar los efectos de la asistencia por ultrasonidos, se registraron con una plataforma dinamométrica (Kistler) las fuerzas pasivas del proceso de rectificado y se compararon el rectificado convencional y el asistido por ultrasonidos.

Para proteger los elementos de máquina de alta precisión, UNITECH modificó los elementos de accionamiento de modo que, cuidadosamente encapsulados, resistan los agresivos polvos de rectificado.

	Vidrio de cuarzo	**Alúmina**
Herramienta	Muela de vástago – diamante ligante galvánico	Muela de vástago – diamante ligante galvánico
Diámetro de herramienta	Ø10 mm	Ø10 mm
Velocidad de corte v_c	2,5 m/s	2,5 m/s
Profundidad de pasada a_p	0,2 mm	0,06 mm
Ancho de corte a_e	1 mm	2 mm
Velocidad de avance v_f	120…200 mm/min	300…500 mm/min
Presión de refrigerante	Emulsión 30 bar	Emulsión 30 bar
Frecuencia de vibración	≈ 18,5 kHz	≈ 18,5 kHz
Amplitud de vibración	4 µm / 8 µm / 12 µm	4 µm / 8 µm / 12 µm

Tabla 1: Parámetros de los ensayos de rectificado

Efectos tecnológicos y mecanismos de acción

Para estudiar el rectificado asistido por ultrasonidos de **vidrio de cuarzo** se rectificó en plano la cara frontal de la pieza. La figura 2 muestra, para el rectificado de vidrio de cuarzo, la evolución de las fuerzas de avance con los distintos avances, así como el proceso convencional y el asistido por ultrasonidos con amplitud de vibración creciente entre 4 µm y 12 µm. Se observa que las fuerzas de avance aumentan con el avance y que las fuerzas del rectificado convencional alcanzan como máx. 4,5 N. En el rectificado de materiales duros y frágiles, las fuerzas de mecanizado son un criterio de evaluación importante por la sensibilidad del material, ya que determinan la eficiencia del proceso de arranque. Unas fuerzas excesivas limitan la productividad y la calidad superficial y pueden causar problemas de calidad como microfisuras o desconchados. En la figura 2 se aprecia que la asistencia por ultrasonidos reduce de forma significativa la fuerza pasiva con ambos avances. Las fuerzas bajan al aumentar la amplitud de vibración. Con una velocidad de avance de 0,2 m/min y una amplitud de 12 µm, la fuerza pasiva baja, gracias a la asistencia por ultrasonidos, de 4,5 N a 2 N, lo que supone una drástica reducción de la fuerza del 56 %. Este efecto se debe al «micromartilleo» de los ultrasonidos, que fractura microscópicamente el material frágil y permite así un arranque de material controlado. Además, el rápido movimiento de la herramienta modifica la cinemática y somete los granos abrasivos a una carga multiaxial.

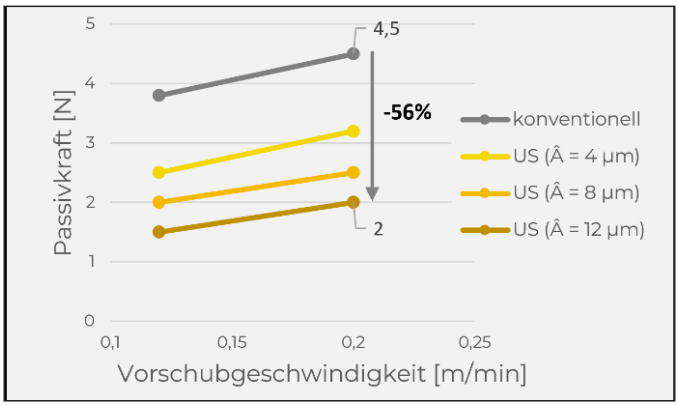


Figura 2: Diagrama de las fuerzas pasivas, vidrio de cuarzo

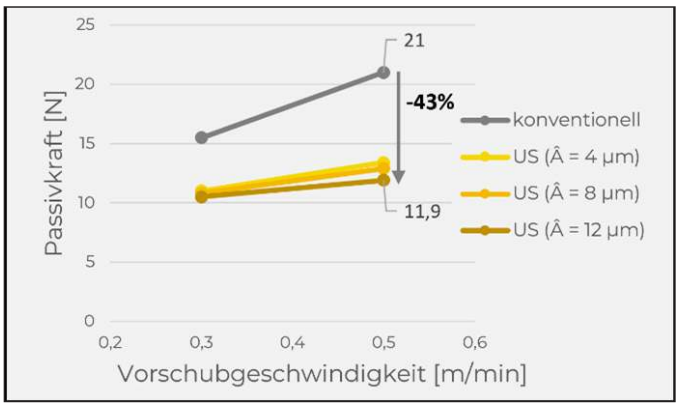


Figura 3: Diagrama de las fuerzas pasivas, alúmina

Para el segundo material, la **alúmina**, se midieron las fuerzas con un procedimiento comparable. La figura 3 muestra los valores de las fuerzas pasivas en el rectificado de la cerámica. También aquí las fuerzas crecen al aumentar el avance. En el rectificado convencional, con una velocidad de avance de 0,5 m/min, la fuerza pasiva en la alúmina es de 21 N. También en este material las fuerzas de mecanizado son determinantes para la eficiencia del rectificado. Aquí la asistencia por ultrasonidos del proceso también reduce drásticamente las fuerzas de mecanizado. Con un avance de 0,5 m/min y una amplitud de vibración de 12 µm, la fuerza pasiva disminuye un 43 %, hasta 11,9 N. A diferencia del vidrio de cuarzo, la amplitud de vibración influye menos en este caso: los efectos de las amplitudes entre 4 µm y 12 µm son prácticamente idénticos. Debido al comportamiento frágil del material, también aquí los ultrasonidos hacen el arranque de material más eficiente y controlado, lo que repercute positivamente en el rendimiento del proceso de rectificado.

Resultados

Los resultados muestran que la asistencia por ultrasonidos influye positivamente en las propiedades y el rendimiento del proceso de rectificado. Los portaherramientas de ultrasonidos someten la herramienta de rectificado a una vibración de alta frecuencia, lo que modifica tanto la cinemática del proceso como los mecanismos de acción en la formación de viruta. Los efectos y resultados pueden resumirse así:

1. Movimiento ultrarrápido del grano abrasivo

Los ultrasonidos imprimen a la muela movimientos extremadamente rápidos, de modo que cada grano abrasivo oscila en dirección axial además de girar. Esto influye de forma decisiva en las condiciones de contacto de los granos abrasivos.

2. Arranque de material eficiente

Los ultrasonidos provocan un «micromartilleo» de los granos abrasivos, que fractura de forma definida la superficie del material duro y frágil. Así, el arranque de material es más eficiente y controlado.

3. Autolimpieza

Los ultrasonidos reducen los depósitos en la herramienta de rectificado y evitan su embozamiento. Así, la herramienta conserva más tiempo su filo y su capacidad de corte.

4. Afilado de los granos

La carga multiaxial y por impactos provoca la fractura de los granos abrasivos, con lo que se forman nuevos filos vivos.



Beneficio para el cliente

La drástica reducción de las fuerzas de mecanizado desplaza los límites actuales del rectificado en productividad, seguridad de proceso y calidad de pieza. La figura 4 resume las ventajas de la asistencia por ultrasonidos al rectificar materiales duros y frágiles como el vidrio de cuarzo o cerámicas como la alúmina.



Figura 4: Ventajas del rectificado asistido por ultrasonidos

El arranque de material eficiente y controlado mejora la calidad de pieza en cuanto a rugosidad superficial y evita microfisuras y desconchados. Junto a la mayor vida útil de la herramienta, es sobre todo el potencial de aumentar los parámetros de corte, y con ello la productividad del rectificado, un factor esencial para lograr ahorros de costes con VibroCut ultrasonic.

Ahorro de costes con VibroCut *ultrasonic* al rectificar materiales duros y frágiles

Ejemplo de cálculo: aumento de los parámetros de corte

- Coste horario de máquina: 75,- € / h
- Ocupación planificada: 4000 h / año (500 turnos al año)
- Parte de rectificado en ciclo: 80%

Aumento de parám. de corte	Aumento de productividad	Ahorro por máquina/año
20%	13,3%	39.900 €
50%	26,7%	80.100 €
100%	40%	120.000 €

Figura 5: Ejemplo de cálculo del beneficio económico al aumentar los parámetros de corte

La figura 5 muestra un cálculo de rentabilidad a modo de ejemplo. En muchos casos de aplicación se logra un retorno de la inversión inferior a un año.

Otra ventaja esencial de la asistencia por ultrasonidos es la mayor seguridad de proceso. El mecanizado eficiente y cuidadoso que permiten los ultrasonidos resulta especialmente útil en piezas complejas y costosas, para reducir el riesgo de fallos de proceso y de desviaciones relevantes para la calidad y evitar así rechazos costosos en tiempo y dinero. Esto es especialmente válido para el mecanizado desatendido a lo largo de varios turnos.

Más información

VibroCut *ultrasonic* es un sistema patentado de VibroCut GmbH. Actuamos como proveedor de productos y tecnología para el uso del mecanizado asistido por ultrasonidos en su producción. Comercializamos los sistemas de ultrasonidos para equipar máquinas nuevas y existentes y le ofrecemos los servicios asociados.

El sistema de ultrasonidos VibroCut ultrasonic representa los ultrasonidos más potentes y precisos del mercado. Su enorme potencia permite alcanzar grandes amplitudes de vibración y hacer vibrar también herramientas de rectificado de mayor tamaño. Un sensor integrado mide directamente la vibración ultrasónica. Una regulación altamente dinámica garantiza así propiedades de vibración reproducibles y eleva la precisión de los ultrasonidos a una nueva dimensión.

El sistema está disponible en distintas clases de potencia, dimensiones e interfaces, a la medida de su máquina-herramienta. Según los requisitos del proceso de mecanizado, el usuario puede elegir entre cuatro clases de potencia: desde la Precision-Line para herramientas finas con velocidades de hasta 30.000 rpm hasta la Performance-Line para aplicaciones con herramientas grandes y de gran masa. La Precision-Line (100 W), la Standard-Line (250 W) y la Performance-Line (500 W) están previstas para centros de mecanizado con cambio automático de herramienta.



Datos de potencia VibroCut *ultrasonic*			
Frec. de vibración	f_{Vib}	=	16 ... 50 kHz
Amplitud de vibración	Â	=	0,1 ... 80 µm
Potencia	P_{Wmax}	=	100 ... 1.000 W

Figura 6: Portaherramientas de ultrasonidos para VibroCut ultrasonic

Póngase en contacto directamente con nosotros o infórmese en nuestro sitio web:

VIBROCUT

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

La fresadora CNC de PRIMINER en uso con VibroCut *ultrasonic*

La C500-5X de PRIMINER es un centro de mecanizado de 5 ejes que destaca por su extraordinaria precisión y flexibilidad. Con sus 9,5 toneladas, está concebida idealmente para el mecanizado complejo de piezas en cinco ejes y permite fabricar componentes de alta precisión en distintos materiales como acero, aluminio y plásticos. Por su versatilidad es muy adecuada para muchas aplicaciones, del prototipo a la producción en serie.

Con sus datos técnicos, la C500-5X da un soporte óptimo al equipamiento VibroCut *ultrasonic*. Cumple muy bien los requisitos que el rectificado y el taladrado asistidos por ultrasonidos de materiales duros y frágiles plantean a la máquina.



Datos técnicos		C500-5X
Mesa		
Diámetro máx. de pieza	mm	700
Tamaño de la mesa	mm	Ø 500 x 400
Ranura en T (ancho x n.º x paso)	mm	14 ×80 ×5
Carga máx.	kg	300
Recorrido		
Recorrido X/Y/Z	mm	700 / 550 / 500
Recorrido A/C	grados	+30° ~ -120° / 360°
Nariz del husillo a mesa	mm	120 - 620
Husillo		
Cono del husillo	-	SK40/BBT40/CAT40
Potencia del motor del husillo	kW	9 / 22
Par del motor del husillo	Nm	63 / 135
Velocidad del husillo	rpm	12000
Avance		
Avance rápido X/Y/Z	m/min	48
Velocidad de giro A/C	rpm	50/60
Velocidad de corte	mm/min	1-12000

Datos técnicos		C500-5X
Cambiador de herramientas		
Número de herramientas	uds.	40
Longitud máx. de herramienta	mm	300
Diámetro máx. de herramienta	mm	Ø 80 / Ø 125
Peso máx. de herramienta	kg	8
Precisión (VDI 3441, recorrido completo) Posicionamiento (sin reglas lineales)	mm	0,008 (X/Y/Z)
Repetibilidad (sin reglas lineales)	mm	0,006 (X/Y/Z)
Posicionamiento (con reglas lineales)	mm	0,006 (X/Y/Z)
Repetibilidad (con reglas lineales)	mm	0,004 (X/Y/Z)
Dimensiones y peso		
Dimensiones	mm	3976×4965×3050
Peso	kg	7000

Póngase en contacto directamente con nosotros o infórmese en nuestro sitio web:

PRIMINER

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

UNITECH-Maschinen GmbH — partner de prestigio en la construcción de maquinaria

UNITECH-Maschinen GmbH es una de las empresas consolidadas del sector de la construcción de maquinaria en la región de Chemnitz. Su actividad abarca desde el diseño, la fabricación y la venta hasta el servicio completo para muchos tipos de máquinas-herramienta. La oferta incluye también el desarrollo de soluciones completas, el asesoramiento tecnológico y la formación de usuarios.

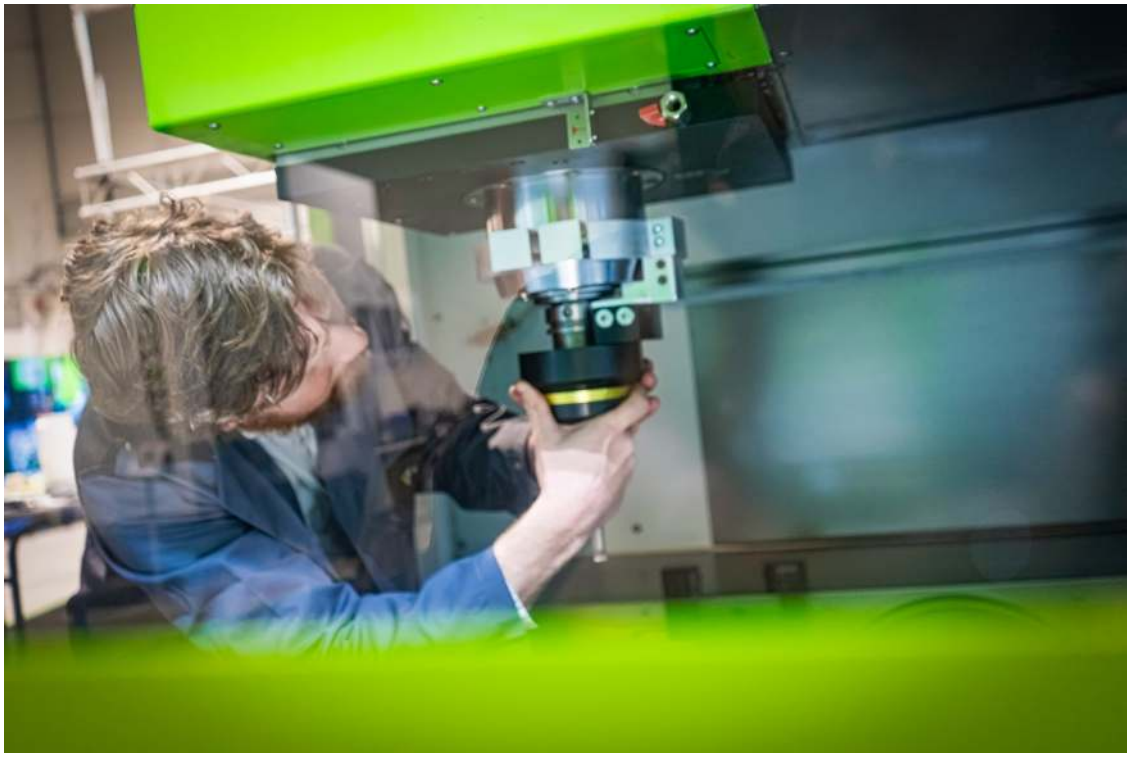
La proximidad a VibroCut GmbH y la venta de máquinas de Priminer dieron lugar a una excelente cooperación.

El partner de integración de VibroCut GmbH para el mecanizado de materiales duros y frágiles es UNITECH-Maschinen GmbH. Como experta en modificaciones tecnológicas de máquinas-herramienta y socio de servicio con experiencia, UNITECH ha convertido el centro de mecanizado de 5 ejes de alta precisión PRIMINER C500 en la rectificadora por ultrasonidos más potente de su clase.

Para ello, la herramienta de rectificado VibroCut ultrasonic se integró por completo en la máquina, junto con la guía del operario y la supervisión del proceso. La propia máquina se protegió de los agresivos polvos de mecanizado, entre otras medidas, con un complejo encapsulado, con el objetivo de una calidad duradera.

El medio de mecanizado se separa de los polvos y se conduce de forma dirigida al proceso de mecanizado. Según la necesidad, si se emplean medios con riesgo de explosión, la máquina puede completarse con medidas de protección contra incendios.

Para asegurar un mecanizado desatendido a lo largo de varios turnos, se han integrado la supervisión del proceso y de la calidad.



Integración tecnológica por UNITECH-Maschinen GmbH y el Dr. Oliver Georgi, de VibroCut GmbH

Póngase en contacto directamente con nosotros o infórmese en nuestro sitio web:

UNITECH

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