

T. Tawakoli, A. Rasifard, B. Azarhoushang

Vorteilhafter Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Abrichten und Schleifen

Im Spanbildungsprozess können durch die Überlagerung der Kinematik des konventionellen Bearbeitungsprozesses mit einer zusätzlichen Schwingung im Mikrometerbereich bei Frequenzen im Ultraschallbereich erhebliche Prozessverbesserungen erzielt werden. Beim Schleifen und Abrichten sinken die Kräfte und die Temperatur, die Oberfläche verfeinert sich und der Werkzeugverschleiß wird reduziert.

Sowohl beim Spanen mit geometrisch bestimmten als auch beim Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden können durch die Überlagerung der Kinematik des konventionellen Bearbeitungsprozesses mit einer zusätzlichen Schwingung im Mikrometerbereich bei Frequenzen im Ultraschallbereich erhebliche Prozessverbesserungen erzielt werden.

Unsere Forschungen zeigen, dass die Ultraschallunterstützung einen wichtigen Beitrag zur Optimierung des Spanbildungsprozesses beim Schleifen leisten kann. Das Prinzip dieser Technik besteht im Hinzufügen hochfrequenter (16–40 kHz) Schwingungen mit Amplituden (2–30 µm) in der Vorschubrichtung oder quer zur Vorschubrichtung auf das Werkzeug oder Werkstück. Beim ultraschallunterstützten Schleifen und Abrichten handelt es sich im Vergleich zu den konventionellen Prozessen um einen Hybridprozess.

Bei unseren Untersuchungen haben wir durch den Einsatz des ultraschallunterstützten Schleifens eine signifikante Reduzierung von Vorschubkraft, Spangröße, Werkzeugverschleiß, Wärmeentwicklung sowie eine Verfeinerung der Oberflächengüte festgestellt. Die Ultraschallschwingungen reduzieren die Reibung zwischen Span und Spanfläche des Schneidwerkzeugs, was zu dünneren Spänen und dadurch zu einer Verringerung der Schnittkräfte sowie Verfeinerung der Oberflächenrauheitswerte beim Schleifen führt.

Aufbau des ultraschallunterstützten Schleifsystems

Um das ultraschallunterstützte Schleifen zu untersuchen, wurde eine angesteuerte Werkstück-

haltevorrichtung entwickelt. Die Ultraschallschwingungskette besteht aus einem piezoelektrischen Wandler, einem Booster, einer Sonotrode und einer speziellen Werkstückspannvorrichtung.

Der Ultraschallgenerator wandelt den elektrischen Strom mit ca. 50 Hz in hochfrequente Impulse bei 21 kHz um. Diese hochfrequenten elektrischen Impulse gelangen zu einem piezoelektrischen Wandler und werden durch den piezoelektrischen Effekt in mechanische Schwingungen mit einer Ultraschall-Frequenz von 21 kHz umgewandelt. Die Schallamplitude wird zuerst durch den Booster und dann durch die Sonotrode verstärkt und auf das Werkstück, das an der Sonotrode angeschlossen ist, übertragen. Die daraus resultierenden Schwingungen des Werkstücks im Werkzeughalter erreichen eine Amplitude von 10–30 µm bei einer Frequenz von etwa 21 kHz. Das Bild 1 zeigt den Versuchsaufbau für die Ultraschallschwingungskette.

Schleifuntersuchungen beim ultraschallunterstützten Schleifen

Es wurden zahlreiche Untersuchungen beim Variieren von Werkzeugen, Schleifscheiben und Werkstoffen durchgeführt. Hier werden beispielhaft eini-



Prof. Dr.-Ing. Taghi Tawakoli
Leiter des Kompetenzzentrums für Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung (KSF) an der Hochschule Furtwangen University



M.Sc.-Ing. Abdolreza Rasifard
wissenschaftlicher Mitarbeiter am KSF



M.Sc.-Ing. Bahman Azarhoushang
wissenschaftlicher Mitarbeiter am KSF

ge Resultate für ultraschallunterstütztes Schleifen mit konventionellen Korundscheiben vorgestellt.

Bei den Untersuchungen handelt es sich um Flachschleifprozesse mit einem Ultraschallgenerator Mastersonic MMM Generator-MSG.1200.IX, 1200 W Leistung, Frequenzstufen von 17–47 kHz. Die Schallausbreitung kann sowohl in Vorschubrichtung als auch senkrecht dazu sein.

Es wurden Untersuchungen beim konventionellen Schleifen und im Vergleich dazu beim Schleifen mit Ultraschallunterstützung durchgeführt. Ein typisches Beispiel ist im *Bild 2* dargestellt. Hier sind die Brandmarken beim konventionellen Schleifen deutlich erkennbar (*Bild 2a*). Ein unter gleichen Bedingungen, aber mit Einsatz von Ultraschallunterstützung geschliffenes Werkstück weist dagegen keine thermischen Schädigungen auf (*Bild 2b*). Beim konventionellen Schleifen traten ab einer Zustellung von $a_e=0,1$ mm immer thermische Schädigungen auf. Beim ultraschallunterstützten Schleifen konnte die Zustellung sogar auf 0,2 mm erhöht werden, ohne dass dies der Fall war.

Die Versuche wurden jeweils dreimal wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Resultate zu dokumentieren. *Bild 3* und *Bild 4* zeigen die Ergebnisse für die Schleifkräfte und die Oberflächenrauheit in Abhängigkeit von Vorschub und Zustellung für das ultraschallunterstützte Schleifen im Vergleich zum konventionellen Schleifen.

In *Bild 3* werden die Unterschiede der bezogenen Schleifkräfte in Abhängigkeit von der Zustellung a_e sowie dem bez. Zeitspannungsvolumen Q'_w zwischen den beiden Verfahren - ultraschallunterstütztes Schleifen und konventionelles Schleifen - dargestellt. Die Feuersymbole stellen die Brandmarken bzw. die thermischen Schädigungen der ge-

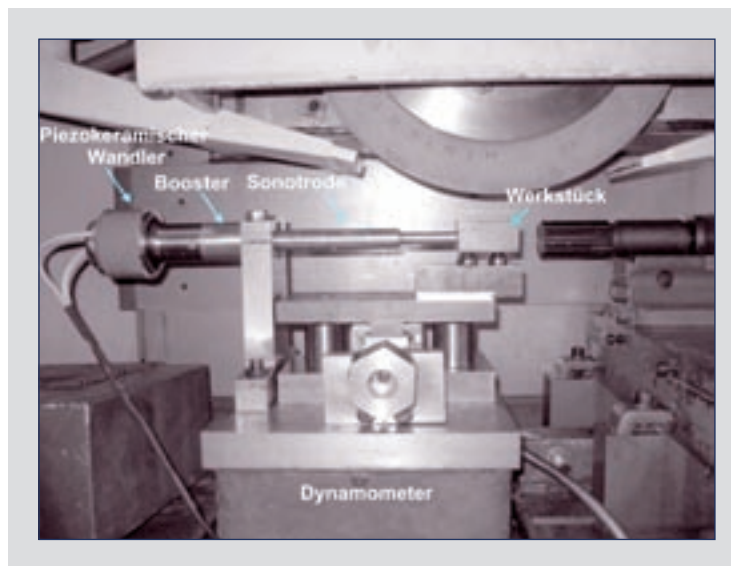


Bild 1
Versuchsaufbau für das Ultraschallschleifen

schliffenen Oberfläche dar. Die abfallende Schleifkraft unter Einsatz von Ultraschallunterstützung ist ein Beweis für die Optimierung des Spanbildungsprozesses im Vergleich zum konventionellen Schleifen ohne ultraschallunterstütztes Schleifen.

Wegen der hochfrequenten Wechselwirkung zwischen den aktiven Körnern und der hohen Beschleunigung des Werkstücks beim ultraschallunterstützten Schleifen wird der Abtragprozess vereinfacht. Die Späne werden leichter abgetrennt. Durch die oszillierenden Schläge zwischen Körnern und Werkstück können sich die Mikrorisse in der Kontaktzone schneller ausbreiten und die nächste Spanbildung positiv beeinflussen. Folglich werden die Schleifkräfte und Reibungseffekte verringert, so dass weniger plastische Verformungen in der Kontaktzone auftreten.

Das *Bild 4* zeigt den Unterschied zwischen den beiden Verfahren – ultraschallunterstütztes Schleifen und konventionelles Schleifen – bezüglich der Rauheitswerte R_a und R_z in Abhängigkeit von der Zustellung a_e sowie dem bez. Zeitspannungsvolumen Q'_w . Die Rauheitswerte R_z beim ultraschallunterstützten Schleifen sind zwischen 30–50% kleiner als beim konventionellen Schleifen. Hier wird eine weitere wich-

tige positive Eigenschaft der Ultraschallunterstützung für die Erzeugung von feineren Oberflächen sichtbar. Als positiver Faktor entsteht nicht nur eine feinere Oberfläche; diese besitzt auch eine andere Struktur mit höherem Traganteil.

Ultraschallunterstütztes Abrichten von CBN-Schleifscheiben

Ähnlich positive Resultate haben wir durch den Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Abrichten von konventionellen aber auch CBN-Schleifwerkzeugen erreicht. Beim konventionellen Abrichten glättet das Abrichtwerk-

Bild 2
Brandmarken beim konventionellen Schleifen (a); keine thermische Schädigung der Oberfläche beim ultraschallunterstützten Schleifen (b), $v_c=60$ m/s, $v_{ft}=2000$ mm/min, $a_e=200$ μ m

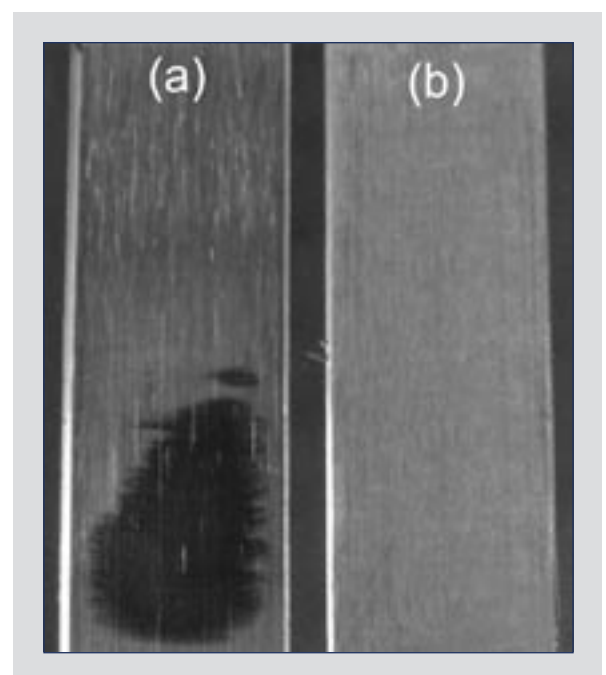


Bild 3

Bez. Schleifkräfte in Abhängigkeit von der Zustellung a_e ; $v_{ft}=2000$ mm/min (UUS: $A=10$ μ m, $f=21$ kHz)

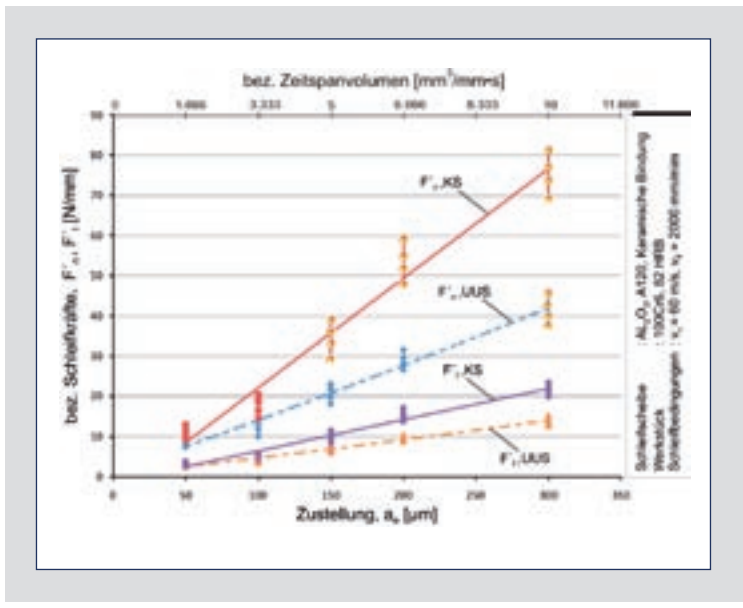


Bild 4

Oberflächenrauheit R_a und R_z in Abhängigkeit von der Zustellung a_e ; $v_{ft}=2000$ mm/min (USS: $A=10$ μ m, $f=21$ kHz)

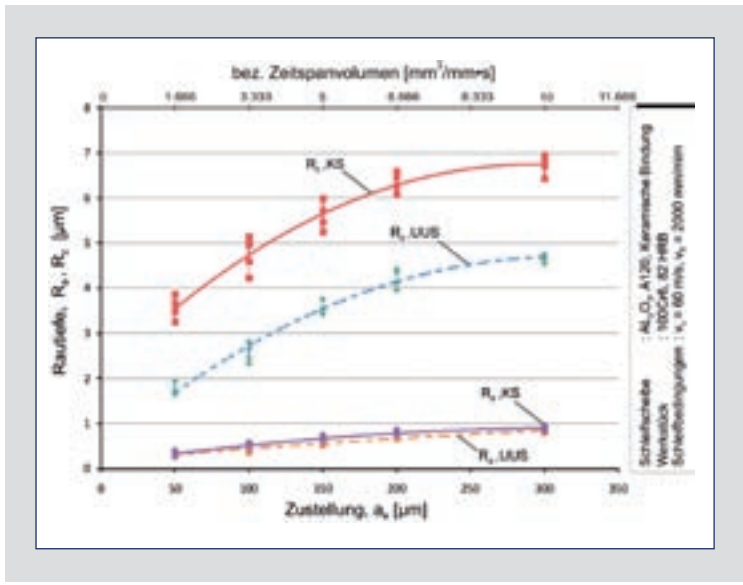
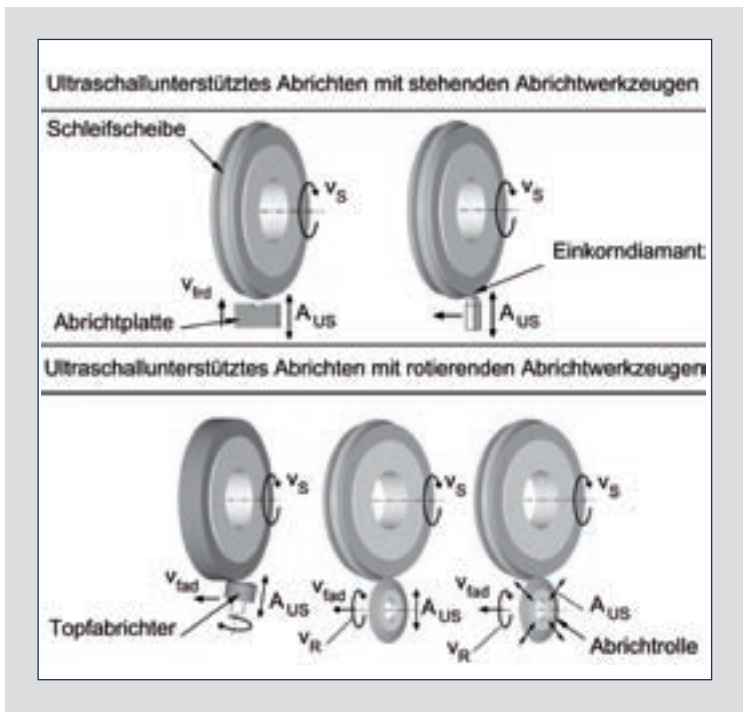


Bild 5

Prinzip des ultraschallunterstützten Abrichtens mit stehenden Abrichtwerkzeugen und mit rotierender Formrolle



zeug die Oberfläche des Schleifkornes und diese glatte Oberfläche hat keine optimalen griffigen Eigenschaften für die Spanbildung. Beim ultraschallunterstützten Schleifen werden durch die Schwingungen im Ultraschallbereich mit kleinen Amplituden die Schleifkörner fein gebrochen und nicht geglättet. Die kleinen scharfen Bruchflächen auf der Kontaktfläche des Schleifkornes erhöhen die Schneidfreudigkeit des Kornes beim Schleifen. Die ersten Resultate zeigen eine Reduzierung der Schleifkräfte um 30–50% beim ultraschallunterstützten Abrichten im Vergleich zum konventionellen Abrichten.

Das Bild 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau für das Abrichten mit stehendem Abrichtwerkzeug und mit rotierender Formrolle. Im Vergleich zu dem konventionellen Abrichten ist die zusätzliche hochfrequente Bewegung des Abrichtwerkzeuges A_{US} (Amplitude) gegen die Schleifscheibe im Mikrometerbereich charakteristisch für die ultraschallunterstützte Bearbeitung. Generell ist es relativ einfach, bei stehendem Abrichtwerkzeug die Unterstützung mit Ultraschall zu kombinieren. Bei rotierendem Abrichtwerkzeug, wie in dem Fall mit der Formrolle, ist es komplizierter und benötigt sowohl Know-how als auch komplexere Berechnungen und Vorrichtungen.

Das Bild 6 zeigt die Resultate der Abrichtuntersuchungen mit rotierendem Abrichtwerkzeug mit und ohne Ultraschallunterstützung. Bei diesen Untersuchungen wurde das Abrichtgeschwindigkeitsverhältnis beim Gleich- und Gegenlaufabrichten variiert. Die niedrigeren Schleifkräfte bei der abgerichteten Schleifscheibe mit Ultraschall sind deutlich zu erkennen. Dabei zeigt der Unterschied der Amplitude bei 3 μ m und 6 μ m keinen signifikanten Unterschied. Das Abfallen der Schleifkräfte signalisiert die Schleiffreudigkeit des

Werkzeugs, in dessen Folge es zu größeren Oberflächenrauheitswerten wie R_z kommt. In vielen Fällen wird der höhere Rauheitswert in Kauf genommen, um die Reduzierung der Kräfte und die dementsprechend niedrigere Schleiftemperatur und niedrigere thermische Schädigungen zu erreichen.

Ein weiterer Vorteil des Abrichtens mit Ultraschallunterstützung ist der niedrigere Verschleiß des Abrichtwerkzeuges bei der Praxis des gängigen Abrichtens im Gleichlaufmodus.

Das Bild 7 stellt den Abricht-Verschleißquotienten „D“ für konventionelles und ultraschallunterstütztes Abrichten dar, wobei das Verhältnis D das abgerichtete Kornvolumen der CBN-Schleifscheibe V_{CBN} auf das Verschleißvolumen des Abrichtwerkzeuges V_D angibt. Der Abricht-Verschleißquotient hat beim Abrichten im Gegenlauf höhere Werte, wobei es zu einem niedrigeren Verschleiß des Werkzeugs im Gegenlaufmodus kommt. Im Gleichlaufabrichten stellt sich ein gegenteiliges Resultat ein und es kommt zu einem höheren Verschleiß des Abrichtwerkzeuges beim Ultraschallabrichten. Dieser Modus ist aber weniger praxisrelevant und von daher nicht kritisch.

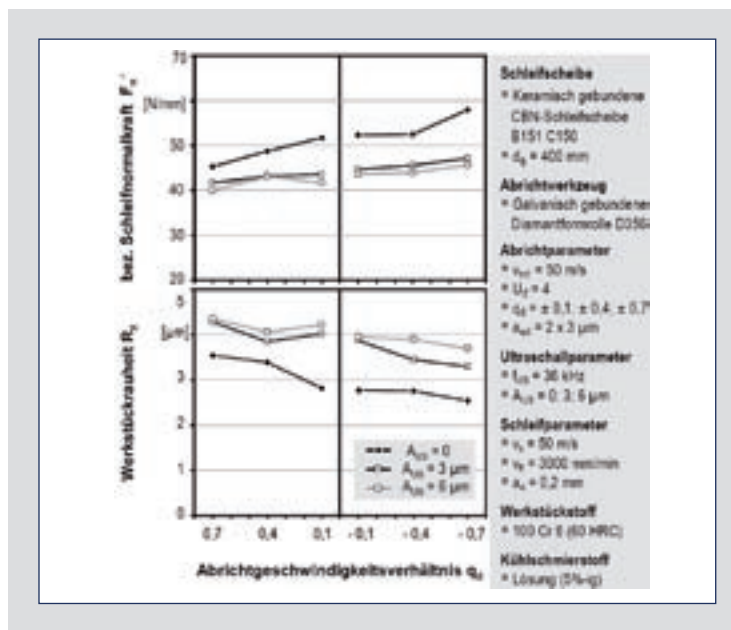


Bild 6
 Niedrigere Schleifkräfte für ultraschallunterstütztes Abrichten bei einer Amplitude $A_{us} = 3$ und $6 \mu\text{m}$ und geringfügig größere Oberflächenrauheit

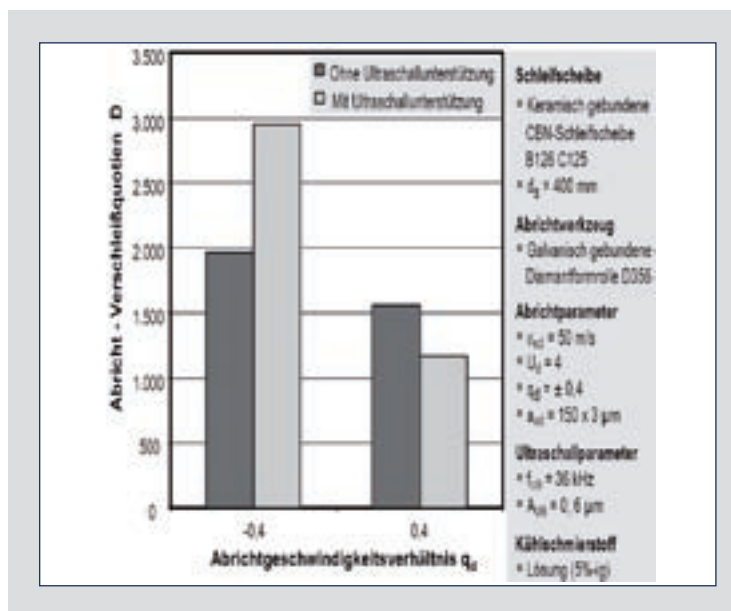


Bild 7
 Verschleißverhalten des Abrichtwerkzeuges mit und ohne Ultraschallunterstützung

Bildnachweis Verfasser

Service &

Vollstädt-Diamant GmbH
 Schlunkendorfer Str. 21
 14554 Seddiner See

Telefon 033205-7460
 Fax 033205-74621
 Internet www.vdiamant.de
 E-mail info@vdiamant.de



Ausrüstungen

für Diamant und CBN

- Bildanalyse
 - Bruchkraft- & Bruchfestigkeitsmessung



- TI & TTI Analyse
 - komplette Analyse von Segmenten



- Kornformanalyse & Sortierung
 - magnetische Analyse & Sortierung



- elektrostatische Sortierung
 - Qualitätskontrolle

