

DIE BEARBEITUNG SPRÖDHARTER MATERIALIEN

Ultraschallunterstütztes Schleifen mit PRIMINER C500 ultrasonic

EXECUTIVE SUMMARY

Ultraschallunterstütztes Schleifen von Quarzglas und Aluminiumoxid

Quarzglas und technische Keramiken wie Aluminiumoxid sind essenzielle Materialien in zahlreichen Hightech-Branchen. Quarzglas wird beispielsweise in der Halbleiterindustrie für Waferhalter und Ätzmasken verwendet, weil es sowohl thermisch als auch chemisch stabil ist. In der Optik werden Präzisionslinsen, Prismen und Lichtleiter aus Quarzglas gefertigt. Darüber hinaus spielt Quarzglas eine Schlüsselrolle in der modernen Medizintechnik, etwa in diagnostischen Geräten und Lasersystemen.

Aluminiumoxid findet ebenfalls breite Anwendung in der Industrie. Im Bereich der Medizintechnik wird es beispielsweise für biokompatible Implantate wie künstliche Hüftgelenkköpfe genutzt, die von der hohen Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit profitieren. Weitere Anwendungen finden sich in der Luft- und Raumfahrt, wo es als Hitzeschutz für kritische Komponenten oder als Material für Lager und Dichtungen eingesetzt wird, die extremen mechanischen und thermischen Belastungen standhalten müssen.

Die Materialeigenschaften, welche Quarzglas und Aluminiumoxid so wertvoll machen, erschweren gleichzeitig ihre Bearbeitung. Beide Materialien zeichnen sich durch eine hohe Härte und Sprödigkeit aus, was zu Mikrorissen, hohen Werkzeugverschleißraten und unzureichenden Oberflächenqualitäten führen kann. Das Schleifen bietet sich daher als Bearbeitungsverfahren an. Der Schleifprozess erfordert eine hohe Präzision, insbesondere bei komplexen Geometrien, um den Anforderungen vorgenannter Anwendungen gerecht zu werden.

Die Nutzung einer Ultraschallunterstützung für Schleifprozesse zeigt hohes Potenzial, diese Herausforderungen zu bewältigen. Durch die Einbringung hochfrequenter Schwingungen werden Prozesskräfte reduziert, die Oberflächenqualität verbessert und der Werkzeugverschleiß minimiert. Dieses Whitepaper zeigt die Effekte und Vorteile der ultraschallunterstützten Schleiftechnologie für Quarzglas und Aluminiumoxid. Dabei wird das Ultraschallsystem VibroCut *ultrasonic* verwendet, um das Schleifwerkzeug mit hochfrequenten Schwingungen zu beaufschlagen. Das innovative System zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Leistungsfähigkeit für hohe Schwingweiten sowie ein präzises Prozessverhalten aus.

Executive Summary	02
Ultraschallunterstützes Schleifen mit sprödharten Materialien	03
Technologische Effekte und Wirkmechanismen	04
Ergebnisse	05
Kundennutzen	06
Weiterführende Informationen VibroCut	07
Die Maschine C500-5X ultrasonic PRIMINER	08
Ausführender Partner UNITECH-Maschinen GmbH	09

UNTERSUCHUNG ZUR ANWENDUNG DER ULTRASCHALLUNTERSTÜTZUNG MIT VibroCut *ultrasonic*

Beispielhaft für die Gruppe der sprödharten Materialien erfolgt eine Untersuchung des ultraschallunterstützen Schleifens an Bauteilen aus Quarzglas und Aluminiumoxid.

Zur Realisierung der Ultraschallunterstützung wurde das Bearbeitungszentrum PRIMINER C500 durch die UNITECH-Maschinen GmbH, mit dem System VibroCut *ultrasonic* ausgerüstet. Hierbei wird im rotierenden Werkzeughalter eine Ultraschallschwingung erzeugt und die Kinematik des Zerspanungsprozesses mit dieser gezielt überlagert. Die Schwingamplitude wird mittels M-Befehlen im NC-Programm vorgegeben und kann in weiten Bereichen eingestellt werden. Die Schwingfrequenz wird vom System automatisch gefunden und nachgeregelt. Alleinstellung des Systems ist die hohe Leistungsfähigkeit und Präzision, welche sich auf einem internen Sensor zur hochdynamischen Regelung des Ultraschalls begründet.
Die Versuchsparameter wurden in Abhängigkeit der zu bearbeitenden Materialien variiert und sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Um die Effekte der Ultraschallunterstützung zu evaluieren, wurden mit Hilfe einer Kraftmessplattform (Fa. Kistler) die Passivkräfte des Schleifprozesses erfasst und für das konventionelle und ultraschallunterstützte Schleifen verglichen.

Zum Schutz der hochgenauen Maschinenelemente wurden die Antriebselemente durch UNITECH derart modifiziert, dass diese sorgsam gekapselt den aggressiven Schleifstäuben widerstehen.

	Quarzglas	**Aluminiumoxid**
Werkzeug	Schleifstift – Diamantkorn galvanisch gebunden	Schleifstift – Diamantkorn galvanisch gebunden
Werkzeugdurchmesser	Ø10 mm	Ø10 mm
Schnittgeschwindigkeit v_c	2,5 m/s	2,5 m/s
Zustellung a_p	0,2 mm	0,06 mm
Eingriffsbreite a_e	1 mm	2 mm
Vorschubgeschwindigkeit v_f	120…200 mm/min	300…500 mm/min
KSS-Druck	Emulsion 30 bar	Emulsion 30 bar
Schwingfrequenz	≈ 18,5 kHz	≈ 18,5 kHz
Schwingweite	4 µm / 8 µm / 12 µm	4 µm / 8 µm / 12 µm

Tabelle 1: Parameter der Schleifuntersuchungen

Technologische Effekte und Wirkmechanismen

Für die Untersuchung des ultraschallunterstützten Schleifens von **Quarzglas** wurde das Bauteil an der Stirnseite plan geschliffen. Abbildung 2 zeigt für das Schleifen von Quarzglas den Verlauf der Vorschubkräfte für die verschiedenen Vorschübe sowie den konventionellen und ultraschallunterstützten Bohrprozess bei steigender Schwingweite zwischen 4 µm und 12 µm. Es wird ersichtlich, dass die Vorschubkräfte mit höherem Vorschub ansteigen und die Kräfte des konventionellen Schleifens bei max. 4,5 N liegen. Die Zerspanungskräfte sind für den Schleifprozess bei sprödharten Materialien aufgrund des sensiblen Materials ein wichtiges Bewertungskriterium, weil darüber die Effizienz des Abtragprozesses bestimmt wird. Zu hohe Kräfte begrenzen Produktivität sowie Oberflächenqualität und können zu Qualitätsproblemen wie Mikrorissen oder Ausbrüchen führen. Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass die Ultraschallunterstützung für beide Vorschübe zu einer signifikanten Reduzierung der Passivkraft führt. Dabei sinken die Kräfte mit zunehmender Schwingweite. Bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,2 m/min und einer Schwingweite von 12 µm sinkt die Passivkraft von 4,5 N durch die Ultraschallunterstützung auf 2 N. Dies entspricht einer drastischen Kraftreduzierung von 56%. Dieser Effekt ist durch das „Mikro-Hämmern“ des Ultraschalls begründet, welcher das spröde Material mikroskopisch aufbricht und so einen kontrollierten Materialabtrag ermöglicht. Darüber hinaus führt die schnelle Bewegung des Werkzeugs zu einer veränderten Kinematik und mehrachsiger Belastung der Schleifkörner.

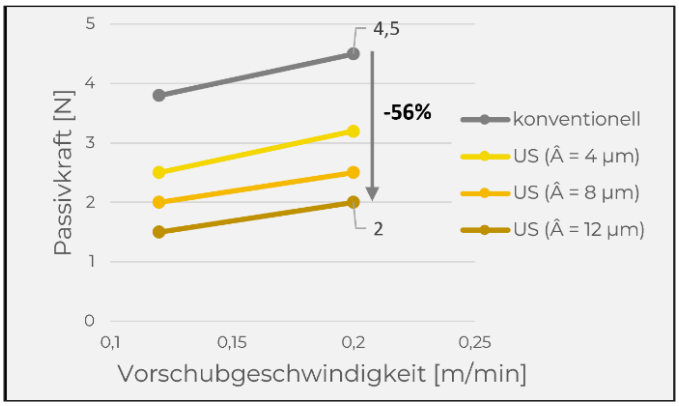


Abbildung 2: Diagramm der Passivkräfte Quarzglas

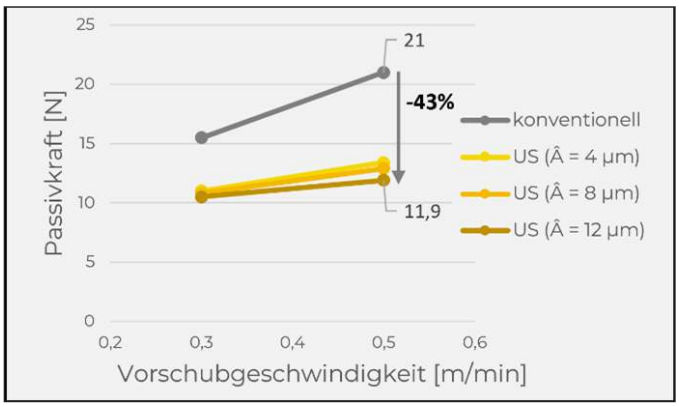


Abbildung 3: Diagramm der Passivkräfte Aluminiumoxid

Für den zweiten Werkstoff **Aluminiumoxid** wurden in einer vergleichbaren Vorgehensweise die Kräfte gemessen. Abbildung 3 zeigt die Werte der Passivkräfte für die Schleifbearbeitung der Keramik. Auch hier steigen die Kräfte mit zunehmenden Vorschubwerten an. Für den konventionellen Schleifprozess und eine Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 m/min beträgt die Passivkraft für das Aluminiumoxid 21 N. Auch bei diesem Material sind die Zerspanungskräfte für die Effizienz des Schleifprozess maßgebend. Die Ultraschallunterstützung des Schleifprozesses führt hier ebenfalls zu drastisch reduzierten Bearbeitungskräften. Beim Vorschub von 0,5 m/min und einer Schwingweite von 12 µm wird die Passivkraft um 43% auf 11,9 N vermindert. Im Gegensatz zum Quarzglas übt die Schwingweite hier einen geringeren Einfluss aus. In diesem Zusammenhang sind die Effekte der Schwingweiten zwischen 4 µm und 12 µm nahezu identisch. Aufgrund es spröden Materialverhaltens wird auch hier der Materialabtrag durch den Ultraschall effizienter und kontrollierter, was sich positiv auf die Performance des Schleifprozesses auswirkt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Ultraschallunterstützung die Eigenschaften und Leistungsfähigkeit des Schleifprozesses positiv beeinflusst. Die Ultraschall-Werkzeughalter versetzen das Schleifwerkzeug in eine hochfrequente Schwingung, wodurch sowohl die Prozesskinematik als auch die Wirkmechanismen bei der Spanbildung verändert werden. Die Effekte und Wirkungen lassen sich hierbei wie folgt zusammenfassen:

1. Ultraschnelle Bewegung des Schleifkorns

Der Schleifkörper wird durch den Ultraschall in extrem schnelle Bewegungen versetzt, wodurch sich jedes einzelne Schleifkorn zusätzlich zu seiner Drehbewegung in Axialrichtung oszillierend bewegt. Dadurch werden die Eingriffsverhältnisse der Schleifkörner maßgeblich beeinflusst.

2. Effizienter Materialabtrag

Der Ultraschall bewirkt ein „Mikro-Hämmern“ der Schleifkörner, wodurch das sprödharte Material an der Oberfläche definiert aufbricht. Dadurch wird der Materialabtrag effizienter und kontrollierter.

3. Selbstreinigung

Durch den Ultraschall werden Ablagerungen am Schleifwerkzeug reduziert und ein Zusetzen des Schleifwerkzeugs verhindert. Dadurch bleibt die Schärfe und Schnittfreudigkeit des Werkzeugs länger erhalten.

4. Schärfung der Körner

Die mehrachsige und stoßartige Belastung führt zum Ausbrechen der Schleifkörner, wodurch sich neue scharfe Schneiden bilden.



Kundennutzen

Die drastisch reduzierten Bearbeitungskräfte verschieben die aktuellen Grenzen des Schleifprozesses hinsichtlich Produktivität, Prozesssicherheit und Bauteilqualität. Abbildung 4 fasst die Vorteile der Ultraschallunterstützung beim Schleifen von sprödharten Werkstoffen wie Quarzglas oder Keramiken wie Aluminiumoxid zusammen.



Abbildung 4: Vorteile beim ultraschallunterstützten Schleifen

Durch den effizienten und kontrollierten Materialabtrag wird die Bauteilqualität in Bezug auf die Oberflächenrauheit verbessert und Mikrorisse sowie Ausbrüche vermieden. Neben der Erhöhung der Werkzeugstandzeit ist vor allem das Potential zur Steigerung der Schnittwerte und dadurch der Produktivität des Schleifprozesses ein wesentlicher Faktor, um durch die Verwendung von VibroCut ultrasonic Kosteneinsparungen zu realisieren.

Kosteneinsparung mit VibroCut *ultrasonic* beim Schleifen von sprödharten Werkstoffen

Berechnungsbeispiel Schnittparametererhöhung

- Maschinenstundensatz: 75,- € / h
- Planbelegungszeit: 4000 h / Jahr (500 Schichten im Jahr)
- Anteil Schleifen an Taktzeit: 80%

Schnittpara-metererhöhung	Produktivitäts-steigerung	Einsparung pro Maschine/Jahr
20%	13,3%	39.900 €
50%	26,7%	80.100 €
100%	40%	120.000 €

Abbildung 5: Beispielrechnung zum wirtschaftlichen Benefit bei Schnittwerterhöhung

Ein beispielhafte Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Abbildung 5 dargestellt. In vielen Anwendungsfällen wird hierbei ein Return of Invest von unter einem Jahr realisiert.

Ein wesentlicher Vorteil der Ultraschallunterstützung liegt zudem in der Steigerung der Prozesssicherheit. Die effiziente und schonende Bearbeitung durch Anwendung des Ultraschalls ist insbesondere bei komplexen und kostenintensiven Bauteilen hilfreich, um die Gefahr von Prozessstörungen sowie qualitätsrelevanten Abweichungen zu reduzieren und dadurch kosten- und zeitintensiven Ausschuss zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für die mannlose Bearbeitung über mehrere Schichten.

Weiterführende Informationen

VibroCut *ultrasonic* ist ein patentiertes System der VibroCut GmbH. Wir treten als Produkt- und Technologieanbieter für den Einsatz der ultraschallunterstützten Zerspanung in Ihrer Fertigung auf. Dabei vertreiben wir die Ultraschallsysteme zur Ausrüstung von Neu- und Bestandmaschinen und bieten Ihnen zugehörige Servicedienstleistungen an.

Das Ultraschallsystem VibroCut ultrasonic steht für den stärksten und präzisesten Ultraschall am Markt. Durch die enorme Leistungsfähigkeit werden hohe Schwingweiten erreicht und auch größere Schleifwerkzeuge in Schwingung versetzt. Ein integrierter Sensor misst die Ultraschallschwingung direkt. Durch eine hochdynamische Regelung werden dadurch reproduzierbare Schwingeigenschaften gewährleistet und die Präzision des Ultraschalls auf eine neue Dimension gehoben.

Das System ist in verschiedenen Leistungsklassen, Abmessungen und Schnittstellen passend für Ihre Werkzeugmaschine erhältlich. Für den Anwender stehen, je nach Anforderung des Bearbeitungsprozesses, vier verschiedene Leistungsklassen zur Auswahl – von der Precision-Line für filigrane Werkzeuge mit Drehzahlen von bis zu 30.000 U/min bis zur Performance-Line für Anwendungen mit großen, massereichen Werkzeugen. Die Precision-Line (100 W), Standard-Line (250 W) und Performance-Line (500 W) sind dabei für Bearbeitungszentren mit automatischen Werkzeugwechsel vorgesehen.



Leistungsparameter VibroCut *ultrasonic*			
Schwingfrequenz	f_{Vib}	=	16 ... 50 kHz
Schwingweite	Â	=	0,1 ... 80 µm
Leistung	P_{Wmax}	=	100 ... 1.000 W

Abbildung 6: Ultraschall-Werkzeughalter für VibroCut ultrasonic

Treten Sie gern direkt mit uns in Kontakt oder informieren Sie sich auf unserer Website:

VIBROCUT

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

Die CNC-Fräsmaschine von PRIMINER im Einsatz mit VibroCut *ultrasonic*

Die C500-5X von PRIMINER ist ein 5-Achs-Bearbeitungszentrum, das sich durch herausragende Präzision und Flexibilität auszeichnet. Mit ihren 9,5 Tonnen ist sie ideal für die komplexe Bearbeitung von Werkstücken in fünf Achsen konzipiert, und ermöglicht die Fertigung von hochpräzisen Bauteilen aus verschiedenen Materialien wie Stahl, Aluminium und Kunststoffen. Mit ihrer Vielseitigkeit ist sie für viele Anwendungen vom Prototypen bis zur Serienproduktion gut geeignet.

Die C500-5X unterstützt mit ihren technischen Daten optimal die VibroCut *ultrasonic* Ausstattung. Die Anforderungen, die das Schleifen und Bohren von sprödharten Materialien durch ultraschallunterstützende Bohrprozesse an die Maschine gestellt werden, werden sehr gut erfüllt.



Technische Daten		C500-5X
Tisch		
Max. Werkstückdurchmesser	mm	700
Tischgröße	mm	Ø 500 x 400
T-Nut (Breite x Anzahl x Abstand)	mm	14 ×80 ×5
Max. Belastung	kg	300
Verfahrweg		
X/Y/Z Verfahrweg	mm	700 / 550 / 500
A/C Verfahrweg	Grad	+30° ~ -120° / 360°
Spindelnase zum Tisch	mm	120 - 620
Spindel		
Spindelkonus	-	SK40/BBT40/CAT40
Leistung des Spindelmotors	kW	9 / 22
Drehmoment des Spindelmotors	Nm	63 / 135
Spindeldrehzahl	rpm	12000
Vorschub		
Eilgang X/Y/Z	m/min	48
Rotationsgeschwindigkeit A/C	U/min	50/60
Schnittgeschwindigkeit	mm/min	1-12000

Technische Daten		C500-5X
Werkzeugwechsler		
Anzahl der Werkzeuge	Stk	40
Max. Werkzeuglänge	mm	300
Max. Werkzeugdurchmesser	mm	Ø 80 / Ø 125
Max. Werkzeuggewicht	kg	8
Genauigkeit (VDI 3441 Voller Verfahrweg)		
Positioniergenauigkeit (ohne Linearmaßstäbe)	mm	0,008 (X/Y/Z)
Wiederholungsgenauigkeit (ohne Linearmaßstäbe)	mm	0,006 (X/Y/Z)
Positioniergenauigkeit (mit Linearmaßstäbe)	mm	0,006 (X/Y/Z)
Wiederholungsgenauigkeit (mit Linearmaßstäbe)	mm	0,004 (X/Y/Z)
Abmessung und Gewicht		
Abmessungen	mm	3976×4965×3050
Gewicht	kg	7000

Treten Sie gern direkt mit uns in Kontakt oder informieren Sie sich auf unserer Website:

PRIMINER

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

UNITECH-Maschinen GmbH — renommierter Partner in der Maschinenbaubranche

Die UNITECH-Maschinen GmbH zählt zu den etablierten Firmen der Maschinenbaubranche in der Region Chemnitz. Das Betätigungsfeld reicht von der Konstruktion über Fertigung und Vertrieb bis zum kompletten Service für viele Typen von Werkzeugmaschinen. Die Erarbeitung von Komplettlösungen, technologische Beratung und Anwenderschulungen gehören ebenfalls zum Leistungsangebot.

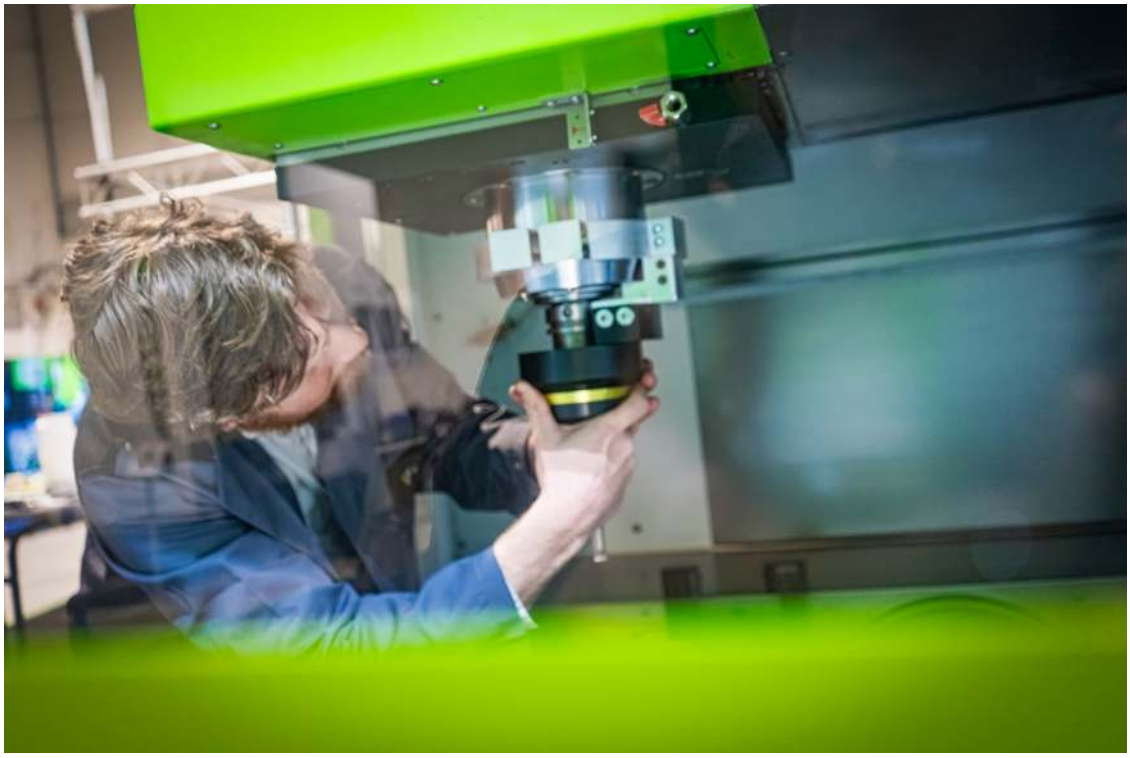
Durch die Nähe zur VibroCut GmbH und dem Vertrieb von Maschinen von Priminer ergab sich eine hervorragende Kooperation.

Integrationspartner der VibroCut GmbH im Bereich der Bearbeitung hartspröder Materialien ist die UNITECH-Maschinen GmbH. Als Experte für technologieorientierte Modifikationen von Werkzeugmaschinen sowie erfahrener Servicepartner hat die UNITECH das hochgenaue 5-achsige Bearbeitungszentrum PRIMINER C500 zur stärksten Ultrasonic-Schleifmaschine ihrer Klasse modifiziert.

Dabei wurde das VibroCut-Ultrasonic-Schleifwerkzeug nebst Bedienerführung und Prozessüberwachung vollständig in die Maschine integriert. Die Maschine selbst wurde u. a. durch eine aufwändige Kapselung mit dem Ziel einer langlebigen Qualität vor den aggressiven Bearbeitungsstäuben geschützt.

Das Bearbeitungsmedium wird von den Stäuben getrennt und dem Bearbeitungsprozess zielgerichtet zugeführt. Je nach Notwendigkeit kann die Maschine im Fall des Einsatzes explosionsneigender Medien um brandschützende Maßnahmen ergänzt werden.

Zur Absicherung einer mannlosen Bearbeitung über mehrere Schichten sind Prozess- und Qualitätsüberwachung integriert.



Technologieintegration durch UNITECH-Maschinen GmbH und Dr. Oliver Georgi von VibroCut GmbH

Treten Sie gern direkt mit uns in Kontakt oder informieren Sie sich auf unserer Website:

UNITECH

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