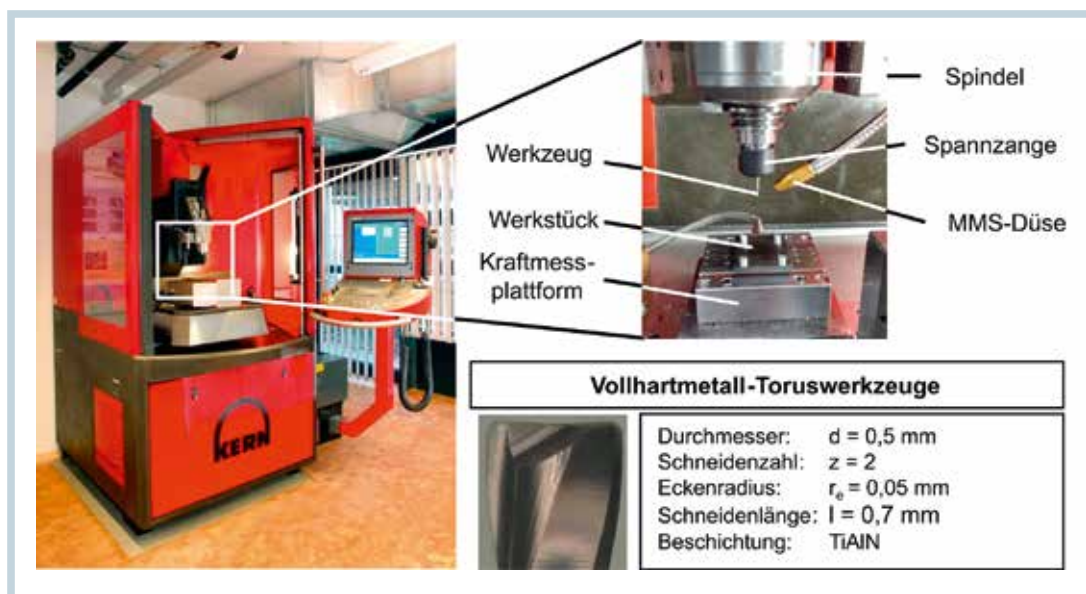


Kleinstfräser ■ schwer zerspanbare Werkstoffe ■ Taschenbearbeitung

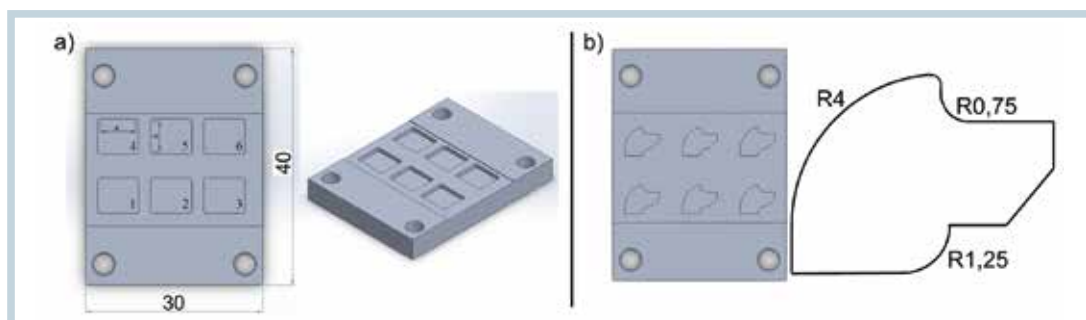
# Mikrofräsen von rostfreiem austenitischem Edelstahl

Beim Mikrofräsen von Edelstahl wie X5CrNi18-10 kommt zum Problem des starken Schneidverschleißes und der oft mangelnden Fräsqualität die Gefahr des Werkzeugbruchs. Versuche an Taschenelementen zeigen, wie die Prozesse zu führen sind, um sicher zu sein.

von Dirk Biermann und Stefan Hannich



1 Die für das Mikrofräsen verwendete Versuchsmaschine Kern HSPC 2522 und die dabei eingesetzten Werkzeuge (© TU Dortmund)



2 Im Rahmen der Versuche wurden einfache viereckige (links) und komplexer geformter Taschen mit verschiedenen Geometrie-Elementen (rechts) gefertigt (© TU Dortmund)

Die spanende Bearbeitung rostfreier austenitischer Edelstähle wie X5CrNi18-10 stellt eine große Herausforderung dar. Die Ursache hierfür liegt in den werkstoffphysikalischen Eigenschaften

wie der hohen Neigung zur Kaltverfestigung, der Bildung von Aufbauschneiden und der hohen Zähigkeit und Duktilität begründet [1 und 2]. Eine nicht exakt ausgelegte Prozessführung resultiert bei der

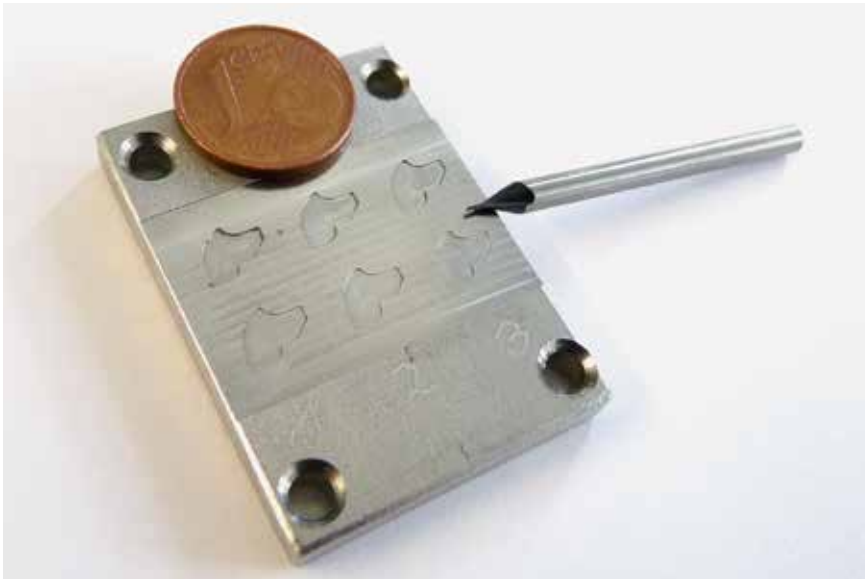
Bearbeitung in schnell fortschreitendem Werkzeugverschleiß oder -bruch sowie einer inakzeptablen Bearbeitungsqualität aufgrund schlechter Oberflächengüten und hoher Gratbildung.

### Prinzipien der Makrobearbeitung sind nicht eins zu eins übertragbar

Der Einsatz einer Mikrofräsbearbeitung wird aufgrund dieser Randbedingungen erheblich erschwert. Aufgrund der hohen Bruchempfindlichkeit der Fräswerkzeuge beziehungsweise der filigranen Schneidengestalt muss eine Prozessauslegung hier in deutlich engeren Grenzen erfolgen. Außerdem lassen sich bekannte Empfehlungen der Prozessführung aus der Makrobearbeitung nicht auf die Mikrobearbeitung übertragen [3]. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war die

0,5 mm (Bild 3). Zusätzlich verfügen die Werkzeuge standardmäßig über eine TiAlN-Beschichtung. Um die Verschleißbeständigkeit der Werkzeuge zu erhöhen, waren sie mit einem Eckenradius  $r_e$  von 0,05 mm versehen.

In einem ersten Schritt wurden CAM-programmierte Bearbeitungszyklen erstellt, um einfache viereckige Taschenelemente zu fertigen (Bild 2 links). In diesen Versuchen wurden Schnittgeschwindigkeit  $v_c$ , Schnitttiefe  $a_p$ , seitliche Zustellung  $a_e$  sowie Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  variiert, um ihre jeweiligen Ein-



**3** Schon generell ist es nicht unproblematisch, korrosionsbeständige Werkstoffe mit hohem Reinheitsgrad zu zerspanen, denn sie neigen zur Kaltverfestigung, bilden Aufbauschneiden und sind sehr zäh, sodass die Fräferschneiden stark belastet werden. Sollen Strukturen ähnlich diesen durch Mikrofräsen erzeugt werden, kommen weitere Restriktionen hinzu (© TU Dortmund)

grundlegende Analyse einer Mikrostrukturbearbeitung in Form von Taschenelementen des austenitischen Werkstoffs X5CrNi18-10.

Alle Versuche wurden am Institut für Spanende Fertigung (ISF) an einem Mikrobearbeitungszentrum vom Typ Kern HSPC 2522 durchgeführt (Bild 1). Die Maschine verfügt über eine sehr gute Arbeitsgenauigkeit sowie einen für die Mikrobearbeitung zwingend notwendigen großen, mit verschiedenen Spindeln realisierbaren Drehzahlbereich. Als Versuchswerkstoff wurde ausschließlich der rostfreie austenitische Edelstahl X5CrNi18-10 (DIN 1.4301) verwendet. Dieser hat eine hohe Korrosionsbeständigkeit sowie gute mechanische Eigenschaften. Bei den verwendeten Werkzeugen handelt es sich um zweischneidige Vollhartmetall-Toruswerkzeuge mit einem Durchmesser  $d$  von

flüsse auf das Bearbeitungsergebnis zu identifizieren. Detailliert analysiert wird in diesem Artikel der Einfluss der Schnittgeschwindigkeit sowie der Schnitttiefe. Zur Analyse wurden Verschleißuntersuchungen der Werkzeuge in Form von Lichtmikroskopaufnahmen, Kraftaufnahmen mithilfe einer 3-Komponenten-Kraftmessplattform sowie detaillierte Aufnahmen der bearbeiteten Oberflächen und der erzeugten Taschenkanten durch den Einsatz eines Licht- und eines Weißlichtmikroskops erstellt.

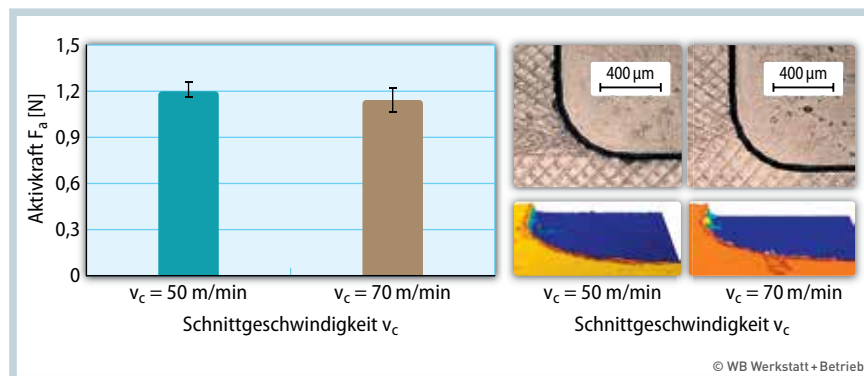
### Gesucht war ein Schnittwertebereich mit garantiert sicherer Bearbeitung

In den Versuchen wurden jeweils zwei Taschen mit denselben Schnittwerten gefertigt. Die Ergebnisse wurden genutzt, um einen Schnittwertebereich zu identifizieren, mit dem eine sichere Mikro- »

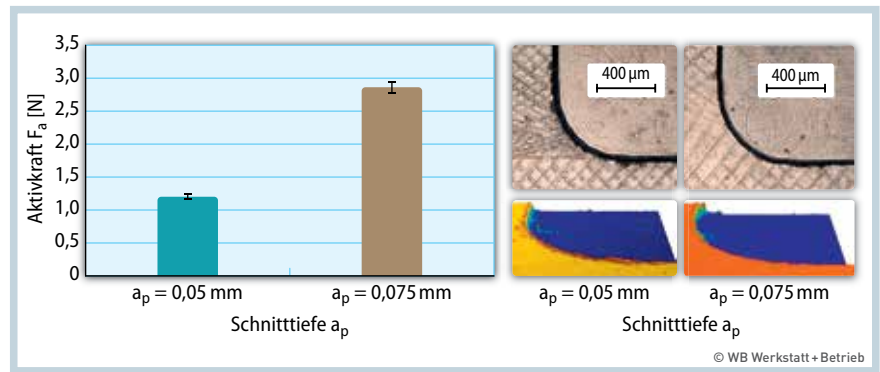
bearbeitung des Edelstahls garantiert werden kann. Im Anschluss an die einfachen Viereckgeometrien wurden ebenfalls Taschen mit verschiedenen geometrischen Elementen konstruiert und gefertigt, um mögliche Problemstellen in der Mikrobearbeitung zu identifizieren (Bild 2 rechts). Auch bei diesen Taschen erfolgten eine Variation der Schnittwerte und eine analoge Analyse der Ergebnisse. Alle Versuche wurden unter Verwendung einer Minimalmengenschmierung (MMS) durchgeführt, und es wurde eine Anzahl von drei Taschen pro Parameterkombination gefertigt.

Zunächst soll der Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die mechanische Werkzeugbelastung sowie die Bearbeitungsqualität dargestellt werden (Bild 4). In den Analysen der Prozesskräfte wurden die Kräfte in  $F_x$ - und  $F_y$ -Richtung zur Aktivkraft  $F_a$  mit der Gleichung  $F_a = \sqrt{(F_x^2 + F_y^2)}$  zusammengefasst. Es wurden jeweils die höchsten Bearbeitungskräfte für jeden Zahneingriff ausgewertet. Wie bereits Untersuchungen von Steiner zeigten [4], hat die Schnittgeschwindigkeit keinen Einfluss auf die Bearbeitungskräfte. Eine thermische Entfestigung des Werkstoffs aufgrund der höheren Drehzahlen kann nicht beobachtet werden. Ursächlich hierfür ist der geringe Wärmeeintrag bei der Mikrofräsbearbeitung. Eine Steigerung von  $v_c = 50$  m/min auf 70 m/min führt lediglich zu kleinen Änderungen, die als nicht signifikant bezeichnet werden können. Das Kraftniveau  $F_a$  liegt in beiden Fällen bei etwa 1,2 N.

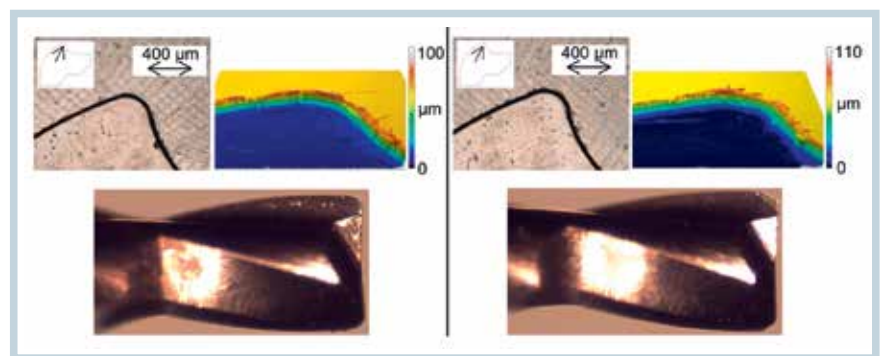
Da die mechanische Belastung der Werkzeuge auf vergleichbarem Niveau liegt, ist ebenfalls kein großer Unterschied in den Verschleißerscheinungen zu erwarten. Es stellte sich heraus, dass



**4 Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die mechanische Werkzeugbelastung (links) und die Bearbeitungsqualität beim Mikrofräsen von X5CrNi18-10. Werkzeugdurchmesser  $d = 0,5$  mm, Schnitttiefe  $a_p = 0,05$  mm, Zahnvorschub  $f_z = 0,01$  mm, seitliche Zustellung  $a_e = 0,1$  mm, Zerspanvolumen  $V = 4,5$  mm<sup>3</sup>,  $v_c$  variabel, Minimalmengenschmierung (© TU Dortmund)**



**5 Einfluss der Schnitttiefe auf die mechanische Werkzeugbelastung (links) und die Bearbeitungsqualität beim Mikrofräsen von X5CrNi18-10. Werkzeugdurchmesser  $d = 0,5$  mm, Zahnvorschub  $f_z = 0,01$  mm, seitliche Zustellung  $a_e = 0,1$  mm, Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 50$  m/min,  $a_p$  und  $V$  variabel, Minimalmengenschmierung (© TU Dortmund)**



**6 Bearbeitungsergebnis und Werkzeugverschleiß bei der Fertigung von Taschen mit verschiedenen Geometrie-Elementen in X5CrNi18-10 mit einer seitlichen Zustellung  $a_e$  von 0,1 (links) und von 0,2 mm (rechts).  $d = 0,5$  mm,  $a_p = 0,05$  mm,  $f_z = 0,005$  mm,  $v_c = 50$  m/min,  $V = 3,74$  mm<sup>3</sup>, Minimalmengenschmierung (© TU Dortmund)**

die Schneidkanten intakt waren und somit beide Schnittgeschwindigkeiten in Bezug auf die mechanische Werkzeugbelastung und die Verschleißerscheinungen als unkritisch betrachtet werden können. Bei einer Analyse der Bodenoberflächen und der Taschenkanten zeigte sich, dass sich auch hier vergleichbare Ergebnisse einstellen. Gerade im Bereich der Taschenenecken kommt es in beiden Fällen

zu einer leichten Gratbildung, die jedoch vergleichsweise niedrig ausfällt.

#### Schnitttiefe hat deutlichen Einfluss auf die Belastung des Werkzeugs

Ein weiterer Untersuchungsaspekt war der Einfluss der Schnitttiefe  $a_p$  auf die Bearbeitungsergebnisse sowie die mechanische Werkzeugbelastung. In Bild 5 sind die Ergebnisse mit Schnitttiefen von 0,05 und 0,075 mm dargestellt. Anders als bei der Schnittgeschwindigkeit hat die Schnitttiefe einen deutlichen Einfluss auf die mechanische Werkzeugbelastung. Liegt die Aktivkraft bei einer Schnitttiefe  $a_p$  von 0,05 mm bei  $F_a = 1,2$  N, so steigt sie bei einer Schnitttiefe von 0,075 mm auf 2,85 N an. Der Grund dafür ist der größere Spannungsquerschnitt, der durch die Erhöhung der Schnitttiefe hervorgerufen wird.

Trotz der höheren mechanischen Belastung war in Bezug auf die Verschleißerscheinungen kein deutlicher Unterschied zu erkennen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer größeren Anzahl gefertigter Taschen ein Unterschied

in der Werkzeugstandzeit sichtbar wird. Dies muss in weiteren Versuchen analysiert werden.

Beim Vergleich der Bearbeitungsqualitäten fällt auf, dass sich hier keine signifikanten Unterschiede ergeben. Die Wahl der höheren Schnitttiefe hat keinen Einfluss. Auch hier könnte fortschreitender Verschleiß Unterschiede in der Bearbeitungsqualität ergeben und die geringere Schnitttiefe dann vorteilhaftere Qualitäten liefern.

### Die Testgeometrien bildeten Zonen mit größter Werkzeugbelastung ab

Aufbauend auf den Ergebnissen der Standardtaschen wurden Versuche an Taschen mit verschiedenen Geometrie-Elementen durchgeführt (Bild 2 rechts). Dabei wurden Bereiche gewählt, die das Werkzeug stark beanspruchen. So gibt es beispielsweise eine Taschenecke mit einem kleinen Winkel, was einen großen Umschlingungswinkel des Werkzeugs zur Folge hat. Aufgrund der höheren Belastungen steigt das Risiko des Werkzeugbruchs an den kritischen Stellen, weshalb die Schnittwerte angepasst werden mussten. In Bild 6 sind beispielhafte Aufnahmen des Bearbeitungsergebnisses und des Werkzeugverschleißes bei zwei unterschiedlichen seitlichen Zustellungen  $a_e$  von 0,1 und 0,2 mm dargestellt.

Gezeigt wird die Gratbildung an der Stelle des Übergangs des großen Radius R4 zu dem innen liegenden Radius R0,75. Hierbei handelt es sich um den Bereich, in dem das Werkzeug den höchsten Umschlingungswinkel aufweist. Bei einer seitlichen Zustellung  $a_e$  von 0,1 mm bildet sich ein gleichmäßiger Grataufwurf, wohingegen bei einer seitlichen Zustellung von 0,2 mm ein deutlich höherer und unregelmäßiger Grataufwurf entsteht. Zusätzlich führt die Wahl einer seitlichen Zustellung von 0,2 mm zu einem Schneidenbruch, wie auf der Verschleißaufnahme des Werkzeugs zu erkennen ist. Dadurch kann das Werkzeug nicht weiter genutzt werden. Der hohe Verschleiß entsteht durch die starke mechanische Werkzeugbelastung speziell in dem dargestellten Bereich der Tasche. Deshalb sollte der Spanungsquerschnitt kleiner gewählt werden, um auch die Taschen mit den unterschiedlichen Geometrie-Elementen fertigen zu können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Untersuchungen grundle-

gende Erkenntnisse über die mechanische Werkzeugbelastung sowie den Werkzeugverschleiß und die Bearbeitungsergebnisse bei der Mikrofräsbearbeitung des austenitischen Edelstahl X5CrNi18-10 geliefert haben. Durch eine Variation der Schnittwerte war eine prozesssichere Bearbeitung von Taschen erreichbar. Weitere Untersuchungsaspekte werden Variationen der Schnittwerte in einem breiteren Bereich betreffen sowie Standzeituntersuchungen, um eine möglichst produktive Fertigung garantieren zu können.

Ein besonderer Dank der Autoren gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die freundliche Unterstützung des Projektes ›Mikrozerspannung rostfreier Edeltähle‹ (GZ: BI 498/15). ■

## INFORMATION & SERVICE



### INSTITUT

#### ISF – Institut für Spanende Fertigung der TU Dortmund

44227 Dortmund  
Tel. +49 231755-2784  
[www.isf.de](http://www.isf.de)

### LITERATUR

- [1] H.-J. Bargel und G. Schulze: Werkstoffkunde. 11. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
- [2] F. Klocke und W. König: Fertigungsverfahren 1 – Drehen, Fräsen, Bohren. 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- [3] D. Biermann und P. Kahnis: Analysis and simulation of size effects in micromilling. Production Engineering. Research and Development 4/2010, S. 25–34
- [4] J. Schlenker und M. Steiner: Beitrag zur Mikrofräsbearbeitung der schwer zerspanbaren Werkstoffe Titan und X5CrNi18-10. Spanende Fertigung. 6. Ausgabe, D. Biermann (Hrsg.), Vulkan Verlag, Essen, 2012, S. 96–103

### DER AUTOR

**Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann** ist Leiter des Instituts für Spanende Fertigung (ISF) an der Technischen Universität Dortmund  
[biermann@isf.de](mailto:biermann@isf.de)

**Dipl.-Wirt.-Ing. Stefan Hannich** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF  
[hannich@isf.de](mailto:hannich@isf.de)

### PDF-DOWNLOAD

[www.werkstatt-betrieb.de/1316386](http://www.werkstatt-betrieb.de/1316386)