

Verfahrensvergleich zum Tiefbohren nicht rostender Stähle**«Konsumententipps»
für Tiefbohrwerkzeuge**

Bohrverfahren und insbesondere Tiefbohrverfahren besitzen für die Herstellung industrieller Bauteile eine hohe Bedeutung. Die Werkzeugentwicklung hat verschiedene Werkzeugkonzepte für diese Bearbeitungsaufgaben bereitgestellt: Einlippen- und Zweilippenwerkzeuge sowie Wendelbohrwerkzeuge. Am ISF der TU Dortmund wurde die Eignung dieser drei Werkzeugkonzepte für die Bearbeitung nicht rostender Stähle untersucht und verglichen.

Nicht rostende Stähle besitzen durch ihre mechanischen und technologischen Eigenschaften weite Anwendungsfelder. Eine besondere Herausforderung für die Zerspanung stellen in dieser Werkstoffgruppe die austenitisch-ferritischen Stähle, sog. Duplex-Stähle, dar. Bei der Bearbeitung des nicht rostenden Werkstoffs X2CrNiMoN22-5-3/1.4462 wird das Einsatzverhalten der unterschiedlichen Werkzeugkonzepte anhand von Werkzeugverschleiss, Spanform und Bohrungsgüte bewertet.

Zur Fertigung industrieller Bauteile werden in zahlreichen Anwendungsfällen Bohrverfahren eingesetzt. In Abhängigkeit der Komplexität und Dimension der Bauteile müssen Bohrungen mit einer Tiefe gefertigt werden, die den Werkzeughdurchmesser um ein Vielfaches überschreitet. Zum Einsatz kommen für die Herstellung dieser tiefen Bohrungen die sog. Tiefbohrverfahren. In Abhängigkeit von Durchmesser

und Tiefe der Bohrung werden verschiedene Verfahren eingesetzt, wie z. B. das Tiefbohren mit Einlippen- und Zweilippenwerkzeugen. Moderne Werkzeugentwicklungen haben das Tiefbohren mit Wendelbohrern ohne Ausspannhübe ebenfalls möglich gemacht (Abb. 1).

Das Einlippentiefbohren findet sein Haupteinsatzgebiet im Durchmesserbereich von $d=0,5 \dots 40$ mm und deckt somit viele industrielle Fertigungsaufgaben ab. Das Tiefboh-

ren nach dem Einlippenverfahren zeichnet sich verfahrensbedingt durch eine Reihe von Besonderheiten aus. Zu nennen sind hier vor allem der asymmetrische, leistungsfähige Werkzeugaufbau, die Notwendigkeit von Pilotbohrungen oder Bohrbuchsen zur Führung des Werkzeuges während der Anbohrphase und die hohen Kühlschmierstoffdrücke. Die Vorteile des Verfahrens liegen in der Erzielung einer sehr guten Bohrungsgüte hinsichtlich Bohrungsdurchmesser, Mittenverlauf, Rundheitsabweichung und Oberflächengüte. Nachteilig sind der geringe mögliche Vorschub und die damit einhergehenden hohen Prozesszeiten. Ziel der Weiterentwicklung dieses Werkzeugkonzeptes ist demnach eine Produktivitätssteigerung [1].

Die Bedeutung der Führungsfasen an Zweilippenbohrwerkzeugen ist hinge-

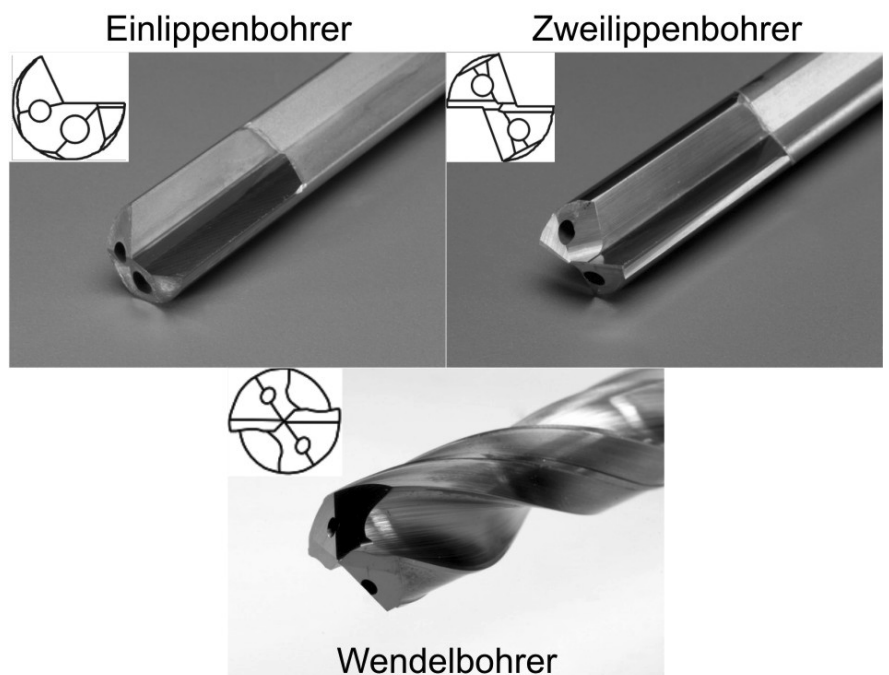


Abb. 1: Werkzeugkonzepte für das Tiefbohren.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann
ist Leiter des Instituts für Spanende Fertigung
(ISF) der TU Dortmund.
Dipl.-Ing. Fabian Felderhoff
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF.

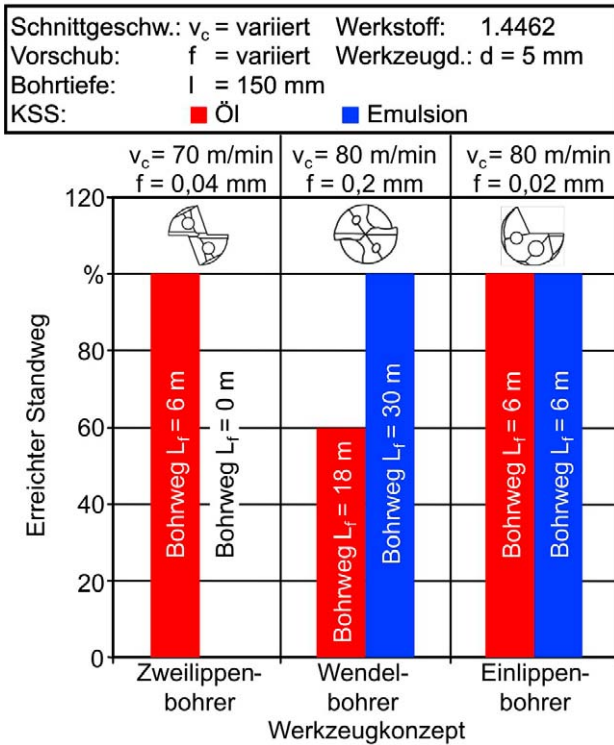


Abb. 2: Erreichter Standweg der unterschiedlichen Tiefbohrkonzepte.

gen durch den zweiseitigen, symmetrischen Aufbau nicht zum Einlippenbohrer vergleichbar. Der zweiseitige Aufbau macht höhere Vorschubwerte möglich, jedoch ist die Querschnittsfläche der einzelnen Spannuten geringer, sodass diese Werkzeuge vielfach zur Bearbeitung von Gusswerkstoffen und Buntmetallen zum Einsatz kommen. Die Notwendigkeit einer Anbohrbohrführung besteht gleichermassen, ebenso wie bei den Wendelbohrwerkzeugen zum Tiefbohren. Wendelbohrwerkzeuge

zum Tiefbohren, die keine Ausspannhübe erfordern, sind zumeist aus Vollhartmetall hergestellt. Über die Werkzeuglänge veränderliche Steigungen der wendelförmigen Spannuten oder veränderliche Kerndurchmesser sind beispielhaft als Detailanpassungen zu nennen, die das Tiefbohren mit Wendelbohrern möglich machen. Zahlreiche Untersuchungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Werkzeuge und zur Steigerung der Bohrungsgüte haben die schnelle Weiterentwicklung dieses Werkzeugtyps möglich gemacht, sodass der Einsatz in der industriellen Praxis bereits erfolgt [2, 3].

Im Rahmen dieser Untersuchung werden die Einlippen-, Zweilippen- und Wendeltiefbohrwerkzeuge bei der Bearbeitung eines nicht rostenden austenitisch-ferritischen Stahls erprobt [4]. Aus den werkstoffspezifischen Eigenschaften, wie hohe Festigkeit und Zähigkeit sowie hohe Wärmekapazität und geringe Wärmeleitfähigkeit, resultiert eine schwierige Verarbeitbarkeit. Insbesondere die Verfestigungs- und Adhäsionsneigung kann zu einem erhöhten Werkzeugverschleiss führen [5].

Werkzeugstandzeitvergleich beim Tiefbohren nicht rostender Stähle

Um die Eignung unterschiedlicher Werkzeugkonzepte zum Tiefbohren unter Verwendung verschiedener KSS-Konzepte zu analysieren, werden experimentelle Untersuchungen auf verschiedenen Bearbeitungszentren durchgeführt. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird für alle Tiefbohrkonzepte die Anbohrführung über eine Pilotbohrung realisiert. Die eingesetzten Einlippen- und Zweilippenbohrer verfügen über einen Bohrkopf, der auf einen Stahlschaft gelötet ist, und sind unbeschichtet. Die eingesetzten Wendelbohrer sind aus Vollhartmetall. Im Kopfbereich der Werkzeuge ist eine TiAlN-Beschichtung aufgebracht worden. Der Durchmesser aller eingesetzten Werkzeuge liegt bei $d = 5$ mm, die Tiefe aller Bohrungen bei $l = 150$ mm, sodass sich ein Bohrtiefe-zu-Durchmesser-Verhältnis von $l/D = 30$

ergibt. Untersuchungen zum Tiefbohren nicht rostender Stähle wurden bislang bei einem grösseren Werkzeugdurchmesser durchgeführt [6, 7].

In Abb. 2 sind die Standzeitergebnisse für die Bearbeitungsversuche unter Emulsion und Öl dargestellt. Für die Einlippen- und Zweilippenbohrwerkzeuge wurde ein Bohrweg von $L_f = 6$ m angestrebt, für die Wendelbohrwerkzeuge ein Bohrweg von $L_f = 30$ m.

Signifikante Unterschiede im Standzeitverhalten ergeben sich für die eingesetzten Zweilippenbohrer. Bei der Kühlschmierung mit Öl kann der angestrebte Bohrweg von $L_f = 6$ m bearbeitet werden. Bei der Nutzung von Emulsion kommt es zu Werkzeugbruch, sodass die volle Bohrtiefe nicht erreicht wird. Um das Einsatzverhalten detailliert zu analysieren, werden für die Zweilippenbohrwerkzeuge die Schnittwerte in einem Bereich zwischen Schnittgeschwindigkeit $v_c = 60 \dots 80$ m/min und Vorschub $f = 0,04 \dots 0,08$ mm variiert. Für den Einsatz von Emulsion kann für keine Schnittwertkombination die volle Bohrtiefe von $l = 150$ mm erreicht werden. Verschiedene Ursachen für die Werkzeugbrüche sind anzunehmen. Ein Versagen der Lötstelle von Bohrkopf und Stahlschaft aufgrund zu hoher mechanischer Beanspruchung ist zu beobachten. Die häufigste Ursache für ein frühzeitiges Werkzeugversagen ist jedoch das Verkleben von Spänen in der Spannute zwischen Bohrungswand und Werkzeug.

Die Übersicht Abb. 2 zeigt ebenfalls, dass mit den Einlippenbohrwerkzeugen der angestrebte Bohrweg sowohl für den Einsatz von Emulsion als auch von Öl erzielt wird. Unterschiede in Abhängigkeit des KSS-Konzeptes zeigen sich für die Wendelbohrwerkzeuge. Bei der Zufuhr von Emulsion wird der angestrebte Bohrweg von $L_f = 30$ m erreicht. Unter Verwendung von Öl muss der Versuch nach einem Bohrweg von $L_f = 18$ m aufgrund zu hohen Verschleisses an den Schneidenecken abgebrochen werden.

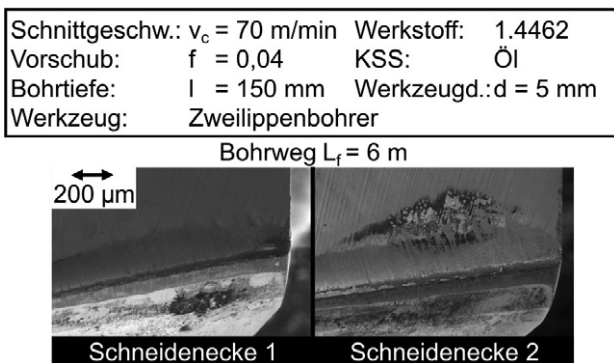


Abb. 3: Verschleissverhalten des Zweilippenbohrers.

Einsatzverhalten von Zweilippenbohrern

Bei der Verwendung von Tiefbohröl wird der angestrebte Bohrweg für die Schnittwertkombination aus $v_c=70$ m/min und $f=0,04$ mm erreicht. Der Verschleisszustand des verwendeten Werkzeugs nach Bearbeitung des angestrebten Bohrweges wird in Abb. 3 anhand von Aufnahmen mit dem REM der Schneidenecken dargestellt.

Beide untersuchten Schneidenecken zeigen keine signifikanten Ausbrüche. Der Kolkverschleiss an der Spanfläche ist gering, im Bereich der Schneidkante ist anhaftendes Material auszumachen. Der Freiflächenverschleiss nimmt zur Schneidenecke hin zu. Es ist festzustellen, dass der Freiflächenverschleiss asymmetrisch ausgebildet ist, denn an Schneidenecke 2 ist eine grössere Abnutzung zu erkennen. Insgesamt ist der vorhandene Werkzeugverschleiss als gering zu bewerten und das Werkzeug wäre für einen weiteren Einsatz geeignet.

Jedoch sind häufig Werkzeugbrüche auch bei dem Einsatz von Tiefbohröl bei der Schnittwertvariation im Bereich von $v_c=60 \dots 80$ m/min und $f=0,04 \dots 0,08$ mm aufgetreten, sodass der angestrebte Bohrweg in weiteren Versuchen nicht reproduziert werden kann. Da die Werkzeugbrüche ebenfalls zumeist durch ein Verkleben von Spänen zwischen Bohrungswand und Werkzeug verursacht werden, sind die erzeugten Spanformen von Bedeutung und in Abb. 4 dargestellt. Darüber hinaus sind die Bohrungen, in denen sich die Werkzeuge verklebten hatten, nahe der Werkzeugschneidkante aufgetrennt in der Abbildung dargestellt.

Die erzeugten Spanformen sind bei der dargestellten Vorschubvariation gleichmässig geformt und generell für die Bearbeitung des nicht rostenden Duplex-Stahls als günstig zu bezeichnen, denn es liegen vereinzelte Spanlocken vor. Die Analyse des Querschnitts der gebrochenen Werkzeuge legt jedoch die Vermutung nahe, dass diese kompakt geformten Späne für die geraden Spannuten des Zweilippenbohrers

nicht ausreichend klein sind und daher nicht kontinuierlich aus der Bohrung abtransportiert werden können. Zahlreiche Späne sind in der Spannut ineinandergeschoben und verpresst. Dies bewirkt eine grosse Reibung zwischen Spanmaterial und Bohrungswand, was bereits ein Werkzeugversagen hervorrufen kann. Es ist darüber hinaus möglich, dass sich Späne zwischen Werkzeug und Bohrungswand verkleben und so den Werkzeugbruch bewirken.

Einfluss des KSS-Konzeptes auf das Verschleissverhalten

Der Verschleisszustand der eingesetzten Einlippen- und Wendelbohrwerkzeuge wurde ebenfalls anhand von REM-Aufnahmen untersucht. In Abb. 5 sind die eingesetzten Werkzeuge für die Bearbeitung des Duplex-Stahls unter Verwendung von Öl und Emulsion dargestellt.

Bei Einsatz der Einlippenbohrwerkzeuge wurde der angestrebte Bohrweg von $L_f=6$ m erreicht. Bei Verwendung von Öl ist der Verschleiss gegenüber der Verwendung von Emulsion geringer. Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigen, dass der Kolkverschleiss auf der Spanfläche weniger tief ausgeprägt ist. Die Verschleissmarkenbreite an der Freifläche ist ebenfalls kleiner. Das Werkzeug, das für die Bearbeitung unter Emulsion eingesetzt wurde, weist einen Ausbruch am Übergang von Rundschliffase zu Spanfläche auf.

Die Untersuchung der Wendelbohrwerkzeuge zeigt einen gegenläufigen KSS-Einfluss, denn das günstigere Verschleissverhalten liegt bei der Zuführung von Emulsion vor. Der Freiflächenverschleiss am Werkzeug ist gering. Auch wenn die Beschichtung auf der Spanfläche in weiten Bereichen abgetragen ist und Materialanhaftungen im Bereich der Schneidkante vorhanden sind, so ist die Kontur der Schneide dennoch nach dem absolvierten Bohrweg von $L_f=30$ m intakt. Bei der Nutzung von Öl wird der grössere Werkzeugverschleiss insbesondere durch den Ausbruch der Schnei-

Schnittgeschw.:	$v_c = 80$ m/min	Werkstoff:	1.4462
Vorschub:	$f =$ variiert	KSS:	Öl
Bohrtiefe:	$l = 150$ mm	Werkzeugd.:	$d = 5$ mm
Werkzeug:	Zweilippenbohrer		

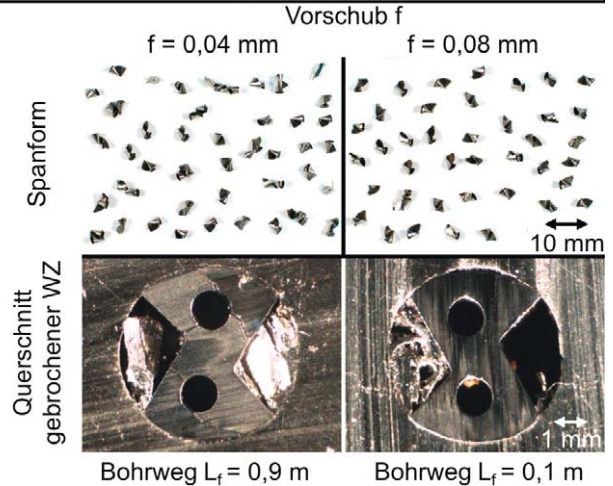


Abb. 4: Spanform und Querschnitt gebrochener Werkzeuge.

denecke deutlich. Wie auch bei der Bearbeitung unter Emulsion wurde in der Kontaktzone an der Spanfläche Beschichtung abgetragen, die Oberfläche des Hartmetalls belegt anhand der zerklüfteten Struktur jedoch einen stärkeren adhäsiven Verschleiss.

Schnittgeschw.:	$v_c = 80$ m/min	Werkstoff:	1.4462
Vorschub:	$f =$ variiert	KSS:	variiert
Bohrtiefe:	$l = 150$ mm	Werkzeugd.:	$d = 5$ mm
Werkzeug:	Einlippenbohrer und Wendelbohrer		

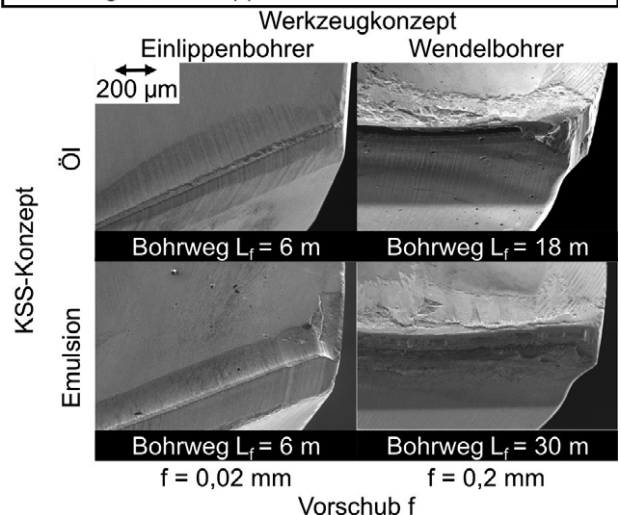


Abb. 5: Verschleissverhalten der Einlippen- und Wendelbohrwerkzeuge.

Schnittgeschw.: $v_c =$ variiert Werkstoff: 1.4462
 Vorschub: $f =$ variiert Werkzeugd.: $d = 5$ mm
 Bohrtiefe: $l = 150$ mm KSS: Öl

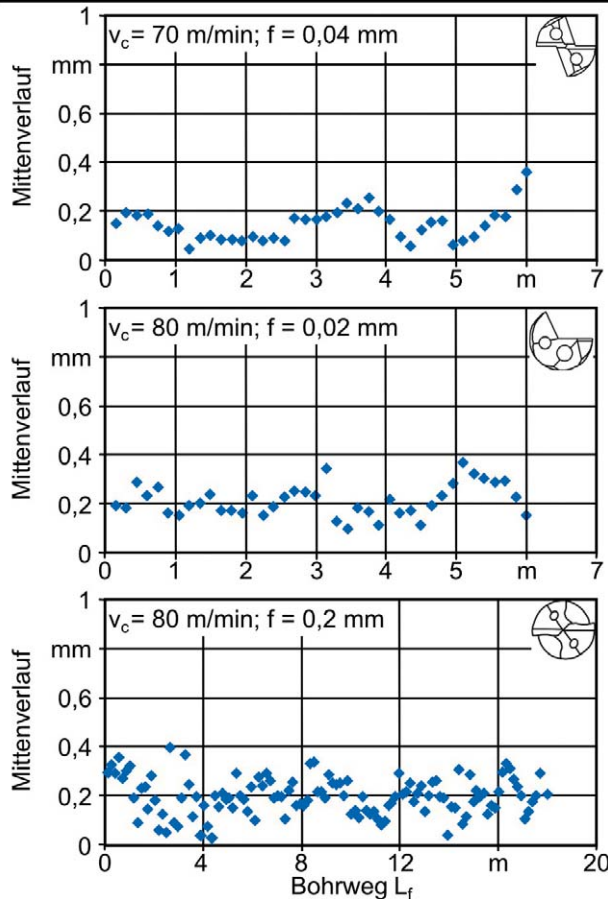


Abb. 6: Einfluss des Tiefbohrkonzeptes auf den Mittenverlauf der Bohrungen.

Für das Tiefbohren mit Wendelbohrern ergibt sich demnach das günstigere Verschleissverhalten bei Einsatz von Emulsion. Die grössere Kühlwirkung des Mediums kann die thermische Beanspruchung der exponierten Schneidenecke mindern und so die Werkzeugstandzeit erhöhen. Demgegenüber ergibt sich das günstigere Verschleissverhalten bei Einsatz von Öl für das Tiefbohren mit Einlippenbohrern. Die höhere Schmierwirkung in den Kontaktzonen an Span- und Freifläche reduziert die Reibung und mindert den Verschleiss der unbeschichteten Werkzeuge. Die Kühlwirkung der Emulsion verliert an Relevanz, da durch den geringen Vorschub weniger Wärme entsteht.

Bohrungsgüte

Für die Beurteilung des Einsatzverhaltens der unterschiedlichen Tiefbohrkonzepte ist die Bohrungsgüte von grosser Bedeutung. Neben der Durchmesser Genauigkeit, der Rundheitsabweichung oder der Oberflächenrauheit ist der Mittenverlauf der Bohrung ein entscheidendes Kriterium. Dazu sind in Abb. 6 die ermittelten Mittenverlaufswerte für den Einsatz der untersuchten Werkzeugkonzepte dargestellt.

Die Übersicht der ermittelten Werkzeuge ergibt, dass alle untersuchten Werkzeugkonzepte auf einem vergleichbaren Niveau liegen. Dieses Ergebnis ist insbesondere für den Einsatz der Wendelbohrwerkzeuge bemerkenswert, da diese Werkzeuge aufgrund der höheren Vorschubwerte und damit grösseren Vorschubkräfte bei kleinen Werkzeugdurchmessern stärker zum Verlaufen neigen.

Fazit

Die Analyse der unterschiedlichen Tiefbohrwerkzeugkonzepte für die Bearbeitung des nicht rostenden Duplex-Stahls zeigt signifikante Unterschiede im Einsatzverhalten auf. Das günstigste Verschleissverhalten für Einlippenbohrwerkzeuge lässt sich bei Verwendung von Öl erzielen. Die Bohrungsgüte zeichnet ein guter Mittenverlauf aus. Demgegenüber liegt das günstigste Verschleissverhalten von Wendelbohrwerkzeugen bei Einsatz von Emulsion vor. Unter einer Ölschmierung wird die Werkzeugstandzeit durch die höhere thermische Beanspruchung der Schneidenecke gemindert. Zur Steigerung der Werkzeugstandzeit könnten Beschichtungen mit noch grösserer thermischer Stabilität gegenüber der verwendeten TiAlN-Beschichtung oder reduzierte Schnittgeschwindigkeitswerte genutzt werden.

Zweilippenbohrwerkzeuge zeigen zunächst ein interessantes Potenzial für die Bearbeitung von nicht rostenden Stählen durch die möglichen höheren Vorschubwerte gegenüber Einlippenbohrern auf. Der Vorteil einer besseren Produktivität gegenüber dem Einlippenbohrer wird

durch die grosse Häufigkeit an Werkzeugbrüchen bei der Zuführung von Tiefbohröl und Emulsion unter Hochdruck aufgehoben. Demnach bietet hinsichtlich der Produktivität das Wendeltiefbohrwerkzeug die günstigste Alternative, da im Rahmen dieser Untersuchung dieses Werkzeugkonzept auch einen zum Einlippenbohrer vergleichbaren Mittenverlauf erreicht.

Die Ergebnisse dieses Berichtes sind Teil eines Forschungsprojektes, das von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) gefördert wird. (mg)

Literatur

- [1] Heisel, U.; Eisseler, R.; Zhang, M.: Einlippentiefbohren bei hohen Schnittgeschwindigkeiten. In: Präzisions- und Tiefbohren aktuell: Technik-Tools-Trends, VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (Hrsg.). Düsseldorf: VDI-Verlag, 2004.
- [2] Ellermeier, A.; Tschannerl, M.: Nicht alle sind Spitze. Leistungsvergleich von Tieflochbohrern zeigt Entwicklungspotenziale auf. MM Maschinenmarkt. Das IndustrieMagazin, Heft 13, 2005, S. 44–47.
- [3] Krenzer, U.: «Tieflochbohren mit Vollhartmetall-Wendelbohrern», In: Präzisions- und Tiefbohren aktuell: Technik-Tools-Trends, VDI Berichte Nr. 2054/VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (Hrsg.). Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 99–106, 2008.
- [4] N. N.: Böhler-Edelstahlhandbuch, Version 2.0; Böhler Edelstahl GmbH, Kapfenberg, Österreich, 1997.
- [5] Gumpel, P.: Rostfreie Stähle: Grundwissen, Konstruktions- und Verarbeitungshinweise. 2., aktualisierte Auflage, Renningen Mannheim: expert-Verlag, S. 1–37, 2000.
- [6] Wittkop, S.: Einlippentiefbohren nicht rostender Stähle. Dissertation Universität Dortmund, Vulkan Verlag, Essen, 2007, ISBN 978-3-8027-8740-9
- [7] Weinert, K.; Löbbe, H.: Tiefbohren von Edelstahl. Werkstatt und Betrieb 134(2001) 6; S. 56–60