

Titel

Präparation der Schneidkanten von Hartmetall-Sägebändern durch Strahlen zur Erhöhung der Standzeiten und Leistungssteigerung bei der Stahlzerspanung

IGF-Nr.: 20343 N

Forschungseinrichtung:

Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW)

Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid



Ansprechpartner beim Institut:

Dipl.-Phys. Ralph Keßler

02191 / 5921 127

kessler@fgw.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 20343 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ausgangssituation

Jedes Halbzeug oder Produkt wird in seiner Wertschöpfungskette mindestens einmal abgelängt und getrennt, meistens sogar schon zu Beginn des Produktionsprozesses. Hier bietet das spanabhebende Sägeverfahren ein effizientes Bearbeitungsverfahren an, welches seit der durchgehenden Rationalisierung immer mehr an Bedeutung gewonnen hat und weiterhin gewinnt. Dabei ist das Bandsägen durch seine geringen Schnittbreiten und die dadurch resultierenden niedrigen Antriebsleistungen qualifiziert. Die Einführung von sehr harten und temperaturbeständigen hartmetallbestückten Sägebändern (HM-Sägebänder oder HM-Bänder) steigerte die Verschleißbeständigkeit der Sägezähne und damit auch die Werkzeugstandzeiten. Doch die fehlende Zähigkeit des Hartmetalls führt immer wieder zu Makro- und Mikroausbrüchen an der Hauptschneide des Werkzeugs. Dieser Schwachpunkt führt dazu, dass HM-Sägebänder immer mehr in den Fokus der Forschung rücken. Die Anforderungen der Anwender steigen immer weiter, so dass nicht nur das gezielte Einfahrverhalten von neuen Werkzeugen, sondern auch höhere Vorschübe und längere Standzeiten mehr und mehr gefordert werden. Beim sogenannten Einfahren der Sägebänder werden je nach Empfehlung des Sägeband- oder Maschinenherstellers die ersten Schnitte eines neuen Sägebandes mit um etwa 50 % reduzierten Vorschubwerten bis zu einer Schnittfläche von 200 bis 500 cm² durchgeführt, um eine belastungsarme Verrundung der Zähne zu erreichen und größere Ausbrüche zu verhindern. Erst danach wird mit den für den Sägeprozess empfohlenen Prozessparametern weitergearbeitet. Dieser Prozess reduziert die Produktivität des Sägens.

Allgemein spielt bei Hartmetall-Zerspanungswerkzeugen seit mehreren Jahren die Präparation der Schneidkante zur Verbesserung des Einsatzverhaltens und der Leistung eine zentrale Rolle. Durch Kantenpräparation wird die Werkzeugschneide geglättet und gezielt verrundet. Dies wirkt sich positiv auf die Stabilität der Schneide und somit auf den Werkzeugverschleiß aus. Bei HM-Sägebändern gehört die gezielte Kantenpräparation heute noch nicht zum anerkannten Stand der Technik. Diese Tatsache hängt einerseits mit den extremen Werkzeugabmessungen der Sägebänder von bis zu 12 m Länge zusammen, welche die Anwendung verschiedener Präparationsverfahren verhindert. Andererseits liegt eine besondere Herausforderung in der präzisen Anordnung von Schneidkante und Bearbeitungseinheit, um eine gleichmäßige und symmetrische Kantenpräparation entlang der Sägebänder zu gewährleisten.

Dieses Weiterentwicklungspotential für HM-Bänder wurde von Seiten der Werkzeughersteller erkannt. Deshalb unterstützen sie das vorliegende Projekt, um diesen Forschungsansatz - der Qualifizierung eines geeigneten Strahlverfahrens zur Konditionierung von HM-Sägebändern - weiterzuverfolgen.

Forschungsziel

Das Ziel des Forschungsvorhabens war der wissenschaftliche fundierte Nachweis einer definierten und reproduzierbaren Schneidkantenpräparation von hartmetallbestückten Sägebändern, sodass dies zu einem verbesserten Einsatzverhalten mit einem im Ergebnis deutlich gesteigertem Leistungsvermögen des gesamten Sägewerkzeuges führt. Zunächst wurden hierzu grundlegende Kenntnisse zum Einfluss der Kantenpräparationsverfahren durch Strahlen auf die Sägenmikrogeometrie von HM-Sägebändern erarbeitet und erweitert. Hierzu mussten eine Kantenpräparationsanlage und Prüfstände entwickelt und aufgebaut werden, um das Standzeitverhalten von unterschiedlich präparierten Sägebändern zu ermitteln. Die Betrachtung von aus einem Sägeband herausgetrennten und dann einzeln präparierten Einzelzähnen diente der Selektion geeigneter Präparationsparameter und Einstellgrößen. Ein Teilziel war die Herstellung von HM-Bandsägewerkzeugen mit definierten und reproduzierbaren Schneidkantenverrundungen mittels des Verfahrens Strahlen. Mit diesen Bändern sollte das verbesserte Standzeitverhalten von ganzheitlich präparierten Bandsägewerkzeugen zunächst unter einheitlich definierten und konstanten Laborbedingungen belegt werden.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Beim Strahlen wird das Abrasivmedium mittels eines Trägermediums (z.B. Luft) beschleunigt und auf die zu bearbeitende Schneidkante gestrahlt. Durch das Auftreffen der Abrasivkörner mit hoher Geschwindigkeit auf die Schneidkante erfolgen Materialabtrag und Formgebung an der Schneidkante. Hierbei wird meist die komplette Werkzeugschneide behandelt. Somit werden auch die an die Schneidkante angrenzenden Flächen durch das Abrasivmedium beeinflusst. Der Strahlprozess wird durch die Variation verschiedener Prozessparameter bestimmt. Zu berücksichtigen sind die Korngröße des Abrasivmediums, der Strahldruck, die Strahlvorschubgeschwindigkeit, der Düsenabstand, der Strahlwinkel und die Bearbeitungszeit. Eine Verringerung der Strahlvorschubgeschwindigkeit führt z.B. zu einer größeren Schneidkantenverrundung. *Abbildung 1* zeigt eine modellhafte Verrundungsvorrichtung mit eingebauter Strahlkabine zum Präparieren von endlosgeschweißten HM-Sägebändern.

Zur Verifizierung der Leistungssteigerung von schneidkantenpräparierten Bandsägebändern wurde im Rahmen des hier beschriebenen Forschungsprojektes eine leistungsfähige Bandsägemaschine beschafft, welche durch eine Zweisäulenführung sowie elektrisch angetriebenen Kugelspindeltrieb die Voraussetzungen für hinreichende Maschinensteifigkeit und Prozessstabilität für einen reproduzierbaren Hochleistungs-Sägeprozess mit hartmetallbestückten Sägebändern garantiert. Eine automatische Werkstückzufuhr bietet zudem die Möglichkeit zur Durchführung von ansonsten sehr personalaufwändigen Standzeituntersuchungen im praxisnahen Laborbetrieb (*Abbildung 2*).

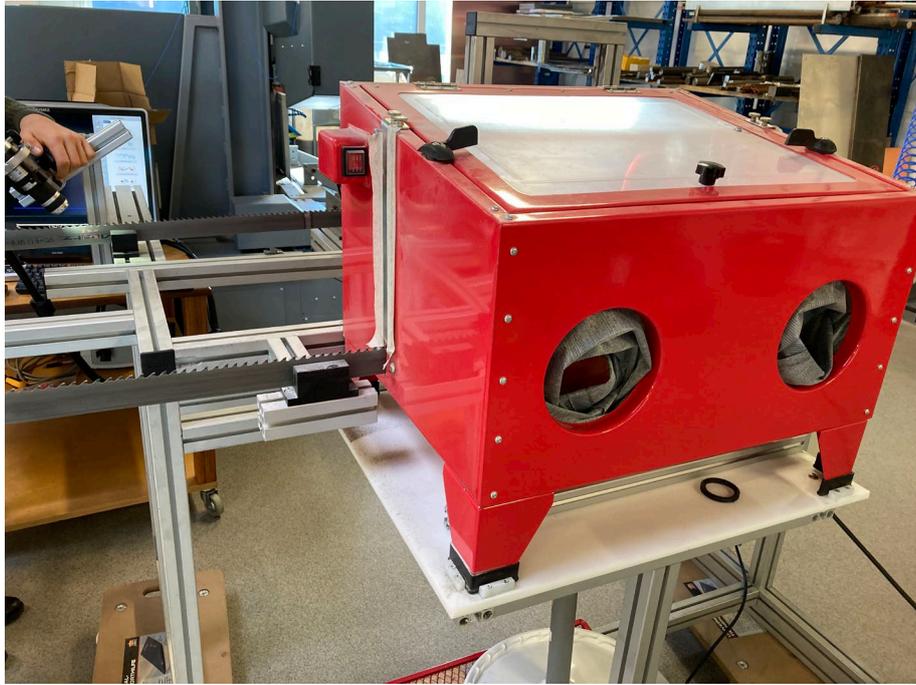


Abbildung 1: Schneidkantenpräparation an einem endlosen hartmetallbestückten Sägebänd mittels Strahlen.



Abbildung 2: Metall-Bandsägeautomat MEBA e-cut 400 A.

Über eine OPC UA-Schnittstelle an der MEBA-Bandsäge war es möglich, einen Zugang zu den elementaren Prozessparametern während der Schnittversuche herzustellen. Hierzu wurde mit Labview eine Datenerfassungssoftware entwickelt, welche es insbesondere ermöglichte, die Parameter Vorschub, Schnittdruck und Schnittverlauf während der Schnittversuche kontinuierlich aufzunehmen. Zudem wurde am Maschinengestell der Bandsäge ein Beschleunigungssensor zur Schwingungsmessung und eine Elektronik zur Messung der elektrischen Leistungsaufnahme angebracht.

Die untersuchten Sägebänder wiesen ausschließlich trapezförmige Zähne mit drei unterschiedlich stark angefasten Hauptschneiden auf. Die Längen der angebrachten Fasen bestimmt die spezifische Aufgabe eines Zahns innerhalb einer Zahngruppe. Eine Zahngruppe besteht aus drei Sägezähntypen:

- Der Vorschneider überragt die anderen Zähne und schneidet sich in dem Material vor. Er besitzt zwei sehr breite, angefaste Hauptschneiden, die insgesamt über 70% der Schneidkantenlänge ausmachen. Der gerade Teil der Hauptschneide liegt unter 30%.
- Der Nachschneider weitet die von Vorschneider erzeugten Schnittkanal auf. Er besitzt kurze, angefaste Hauptschneiden, die in der Regel zwischen 30% und 50% der Schneidkantenlänge ausmachen.
- Der Endschneider erarbeitet die endgültige Schnittfuge und ist damit für die Qualität der Schnittflächen verantwortlich. Er besitzt sehr schmale, angefaste Hauptschneiden, die insgesamt weniger als 20% der Schneidkantenlänge ausmachen.

Die Aufnahmen in *Abbildung 3* (Neuzustand des Sägebandes) wurden mit einem Keyence Laserscanning Mikroskop VK-X200 hergestellt.

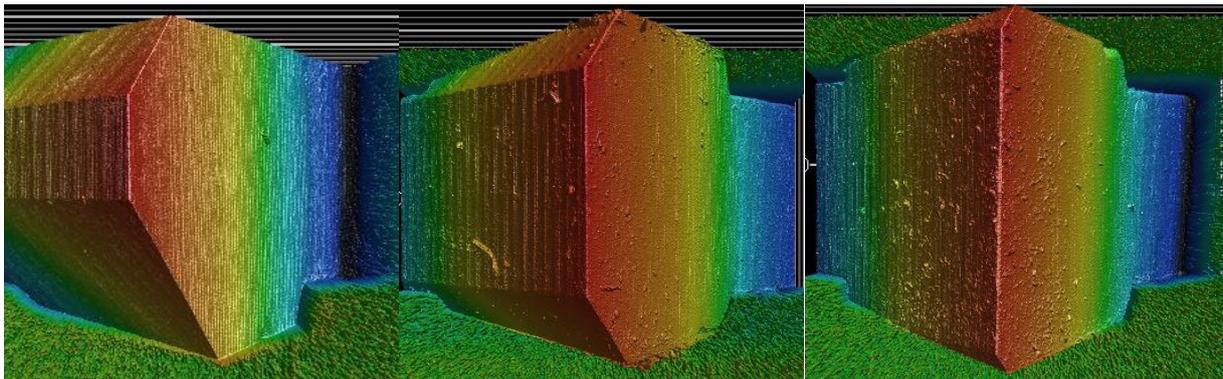


Abbildung 3: Aufnahmen des Keyence 3d Laserscanning-Mikroskops VK-X200 zeigen die drei Zahnformen des HM-Sägebandes, Links: Vorschneider; Mitte Nachschneider; Rechts: Endschneider.

Referenzversuche

Für die spätere Vergleichbarkeit zu den schneidkantenpräparierten Sägebändern wurden Referenzuntersuchungen an handelsüblichen Sägebändern der Dimension 6220 x 41 x 1,3 mm 2/3 K durchgeführt. In *Abbildung 4* ist exemplarisch das Diagramm der Schnittversuche für ein Sägebänder bis zum Standzeitende gezeigt. Im Diagramm sind die Anzahl der Sägeschnitte gegen den Schnittdruck aufgetragen. Der Schnittdruck steigt mit zunehmendem Verschleiß des Sägebandes bei gleichbleibendem Vorschub. Als Standzeitende wurde ein Überschreiten eines Grenzschnittverlaufs definiert, welcher in der Sägemaschine überwacht wird. Ein stumpfes Sägebänder neigt aufgrund zunehmender Abdrängkräfte an den Nebenschneiden zum Verlaufen des Sägeschnitts, was zur Verschleißüberwachung genutzt wird.

Referenz Sägeband

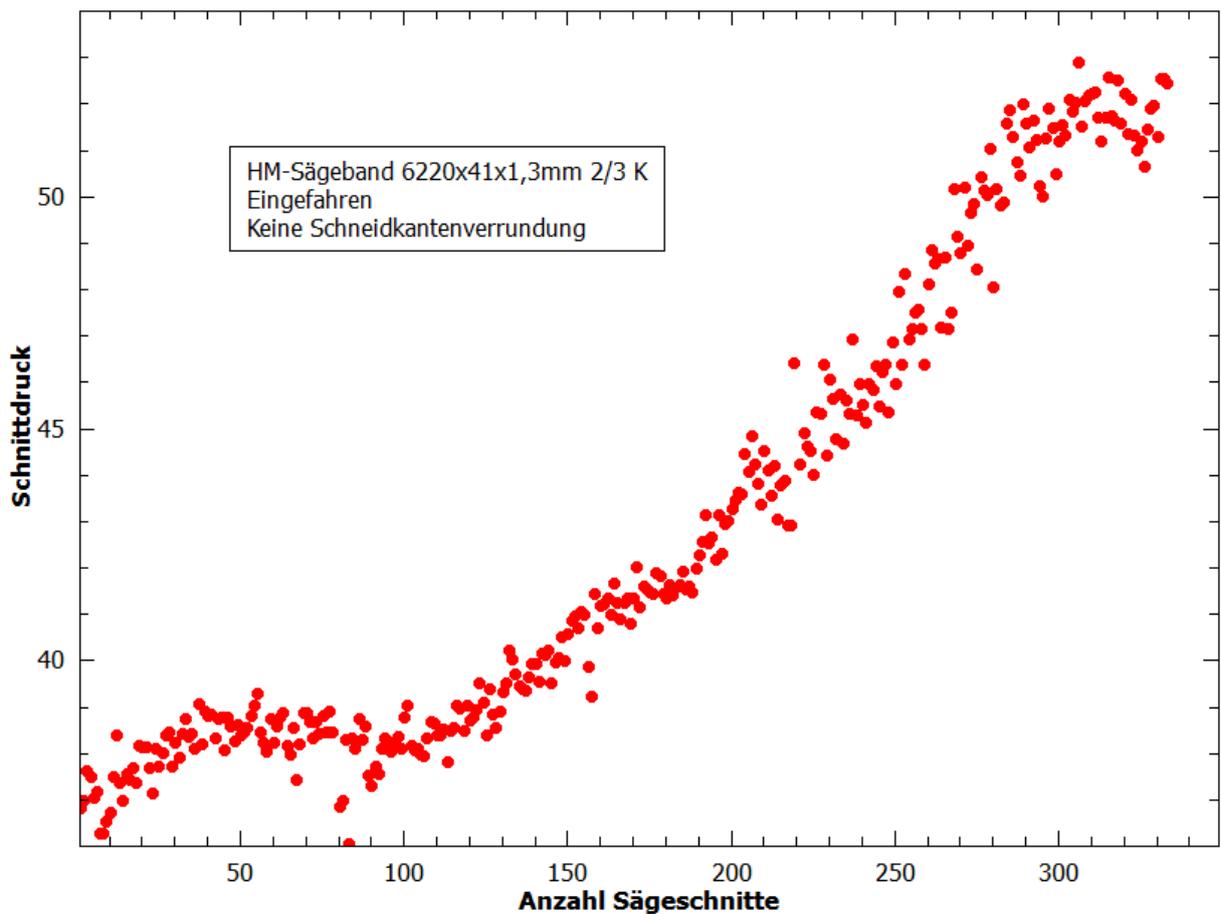


Abbildung 4: Referenzschnittversuche auf der Meba Bandsägemaschine.

Mit dem Keyence Laserscanning Mikroskop VK-X200, Keyence Digitalmikroskop VHX-5000 und einzelnen REM-Aufnahmen wurden nach dem Einfahren die auftretenden Verschleißformen der Schneidkanten ermittelt. Dabei wurde der Fokus auf den flachen Teil der Hauptschneide gelegt. Die rechten und linken angefasten Hauptschneiden wurden nicht berücksichtigt. Die beobachteten Verschleißformen hängen von der Rolle eines Sägezahn innerhalb einer Zahngruppe ab. Vorschneider weisen nach dem Einfahren den stärksten Verschleiß auf. *Abbildung 5* zeigt, dass die Schneidkanten vom Nachschneider in der Mitte gegenüber dem Ausgangszustand kaum verändert ist und lediglich an den Seiten Verschleißerscheinungen aufweist.

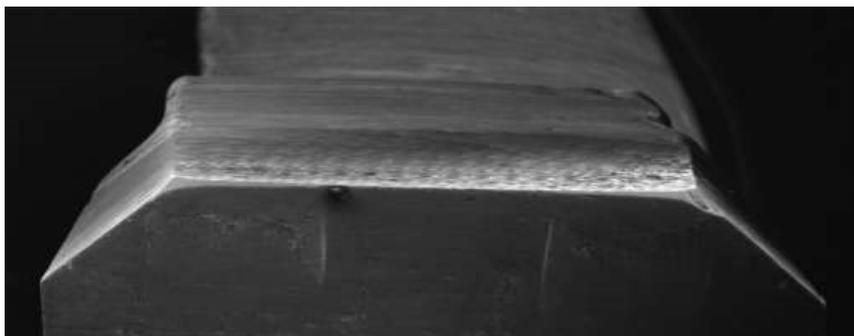


Abbildung 5: REM-Aufnahme eines eingefahrenen Nachschneiders.

Endschneider weisen die gleichen Verschleißformen wie Nachschneider auf. Diese Verschleißformen der Zahntypen lassen sich mit ihrer unterschiedlichen Aufgabe in der Zahngruppe begründen. Der Vorschneider taucht erstmals in das zu zerspanende Material ein und schneidet über die gesamte Schneidkante, die breiteren Nachschneider und Endschneider müssen die Schneidarbeit in der Mitte nicht mehr leisten und verschleifen entsprechend nur im Außenbereich.

Allerdings wurden auch viele Mikroausbrüche überwiegend an den Übergängen zwischen flachem und angefastem Bereich der Hauptschneide beobachtet (vgl. *Abbildung 6*). Das Einfahren der Sägebänder produziert offensichtlich an vielen Zähnen auch keine definierten glatte Schneidkanten. An vielen Schneidkanten sind bereits Mikroausbrüche vorhanden. Diese sind dann Ausgangspunkte für einen weiteren Verschleiß des Sägebandes, da hier die Aufgabe innerhalb der Zahngruppe nicht mehr ausreichend übernommen werden kann, so dass im Folgenden Nachbarzähne überlastet werden und hierdurch Schaden erleiden.

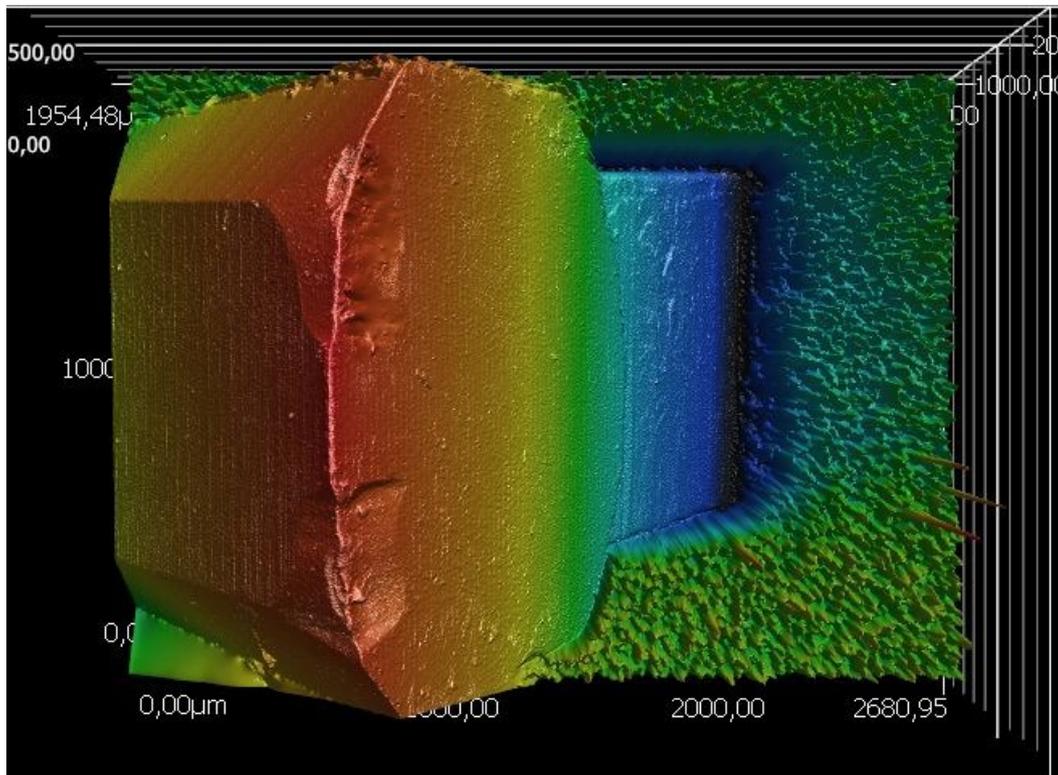


Abbildung 6: Laserscanning Aufnahme eines eingefahrenen Nachschneiders mit Mikroausbrüchen.

In Tabelle 1 sind alle beobachteten Verschleißformen schematisch und deren prozentualer Anteil aufgeschlüsselt nach der Gruppenzahnart Vorschneider (V), Nachschneider (N) und Endschneider (E) nach dem Einfahren dargestellt.

Tabelle 1: Schematische Darstellung der Verschleißformen und ihre prozentuale Häufigkeit in den untersuchten Sägebändern.

	Zahnform	V Anteil %	N Anteil %	E Anteil %
	Geschliffener Neuzustand			
	Seiten gerundet		88 %	94 %
	Komplett gerundet	85 %		
	Mitte neu und Mikroseitenausbruch		12 %	
	Mitte gerundet und Mikroseitenausbruch	15 %		6 %

Die Bewertung der Schneidkanten wurde direkt nach dem Einfahren im eingebauten Zustand der Sägebänder durchgeführt. Hierzu wurde das Objektiv des Keyence Digitalmikroskops nach dem Einfahrprozess an der Maschine befestigt (vgl. *Abbildung 7*).



Abbildung 7: Direkte Bewertung der Schneidzähne nach dem Einfahren an der Meba Sägemaschine.

Auf dem Gebiet der Werkzeugpräparation wird eine Schneidkante häufig durch ihre Verrundung und dementsprechend durch einen Schneidkantenradius und die dazugehörige Form (Trompete, Wasserfall, usw.) definiert. Die Charakterisierung durch einen Schneidkantenradius ist bei Werkzeugen mit einem Schneidwinkel unter 70° jedoch nicht ganz unproblematisch. Ein Kantenradius wird nicht allen realen Schneidkantenformen gerecht: Hier werden oft einzelne oder mehrere Fasen sowie undefiniert Ausbrüche beobachtet. So auch bei den vorliegenden Untersuchungen zum Zustand von Hartmetall-Bandsägezähne nach dem Einfahren. In der Literatur sind bereits kantenformgerechte Kenngrößen für die quantitative Beschreibung von Schneidkanten, wie das Fehlvolumen und die Fehlfläche, genannt. Diese Kenngrößen werden jedoch bisher von keinem Schneidkantenmessgerät berechnet. Weiter ist zu bemerken, dass kein Gerätehersteller für die Bestimmung des Kantenradius eine Genauigkeit von unter $2\ \mu\text{m}$ zusichern kann. Dies liegt daran, dass trotz statistischer Auswertung die Bestimmung des Kantenradius als Hüllkreis, Pferchkreis oder einer Kombination der beiden noch nicht wissenschaftlich abgesichert ist.

Im Vorhaben wurde zur quantitativen Beurteilung der Kantenverrundung durch das Strahlen die erzielte Schneidkantenbreite als Maß für die Schneidkantenverrundung verwendet. Die Bestimmung dieses Verrundungsmaßes dx hatte den Vorteil, dass die erzielte Wirkung des Strahlens auch mittels eines Digitalmikroskops am zusammengeschnittenen Sägeband ermittelt werden konnte, ohne immer einzelne Zähne aus dem Sägeband für die genauere Analyse im Laserscanning Mikroskop heraustrennen zu müssen.

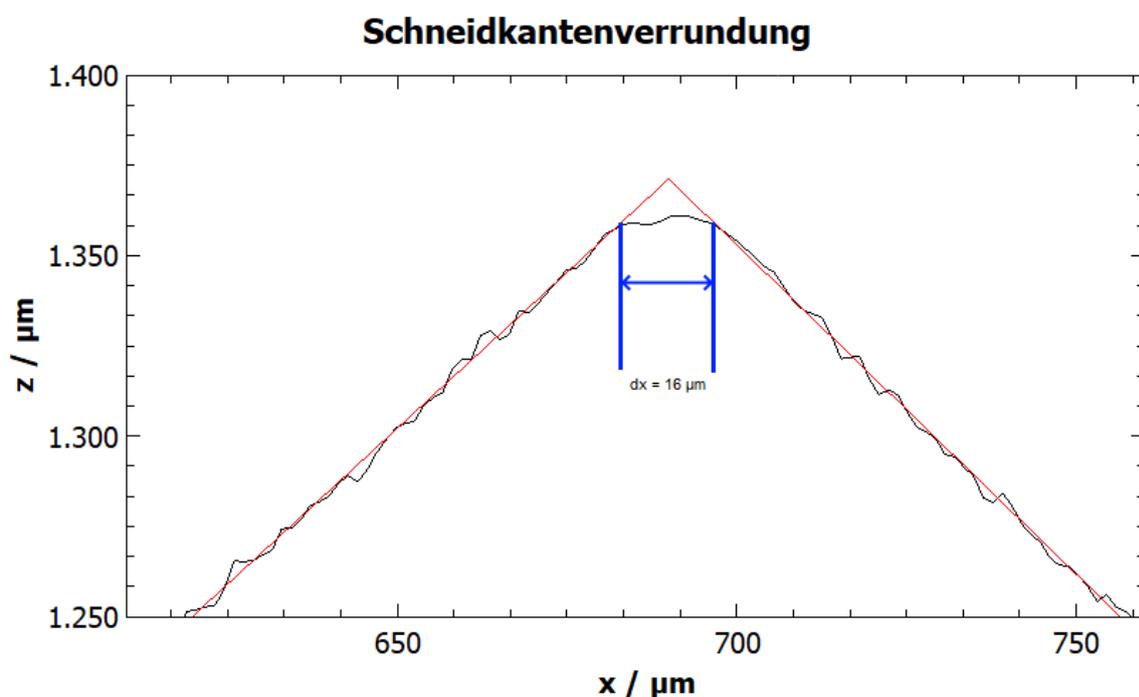


Abbildung 8: Bestimmung der Schneidkantenverrundung dx .

In *Abbildung 8* ist die in diesem Vorhaben verwendete Definition der Schneidkantenverrundung gezeigt. Die roten Linien symbolisieren die Form der

maximal spitzen Schneidkante. Der schwarze Graph im Diagramm ist die mit dem Laserscanning Mikroskop gemessene Konturlinie über die Schneidkante des Zahnes.

Tabelle 2: Bearbeitungsparameter beim Trockenstrahlen

Strahlparameter	
Hubgeschwindigkeit	0,3 m/s
Strahldruck	7 bar
Abstand der Düse zum Werkzeug	35 mm
Düsendurchmesser	5 mm
Korngröße	40– 70 μm

Für die folgenden Versuche wurden Sägebandschnitte in der Strahlkabine durch mehrmaliges Überfahren präpariert. Mit der Variation der Anzahl der Durchläufe konnte die Stärke der Verrundung definiert eingestellt werden (Tabelle 3). Die Schneidkanten wurden so bei 10 Überfahrten bis zu einer Schneidkantenbreite dx von etwa 20 μm verrundet. Die angegebenen Werte in der Tabelle 3 sind die ermittelten Mittelwerte bei einer Varianz von etwa 1,5.

Tabelle 3: Schneidkantenverrundung mittels Strahlen.

Anzahl der Durchläufe	Verrundungsmaß dx [μm]
0 (Neuzustand)	7 - 8
2	9
4	12
6	15
8	19
10	21

Zur Präparation geschweißter Endlosbänder wurde ein vom PA zur Verfügung gestellter Versuchsstand, welcher ursprünglich zum Bürsten der Schneidkanten gedacht war, entsprechend umgebaut. Hierzu wurde eine Strahlkabine angebracht und die Bandführung für die 6,2 m langen Bänder für die Meba-Sägemaschine umgerüstet. Angetrieben von einem Elektromotor und durch Führungen stabilisiert, wurden die Bänder in definierter Geschwindigkeit gleichmäßig durch die Strahlkabine gezogen, sodass auch hier die Schneidkantenverrundung durch mehrmalige Umläufe definiert einstellbar war.

Um die Verrundung der Sägebänder prozessnah analysieren zu können, wurde an dem oben beschriebenen Versuchsstand eine Meßstation mit einem Keyence Digitalmikroskop VHX-5000 aufgebaut (*Abbildung 9*). Hierdurch bestand die Möglichkeit, den Schneidkantenradius gezielt einzustellen.



Abbildung 9: Direkte Begutachtung der Schneidkanten nach der Bestrahlung mit dem Digitalmikroskop.

Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch die Vorgehensweise bei der Analyse der Schneidkanten durch das Laserscanning-Mikroskop. Über den Schneidkeil der Sägezähne wurden mehrere, möglichst repräsentative Schnitte gelegt, um die Schneidkantenbreite zu bestimmen.

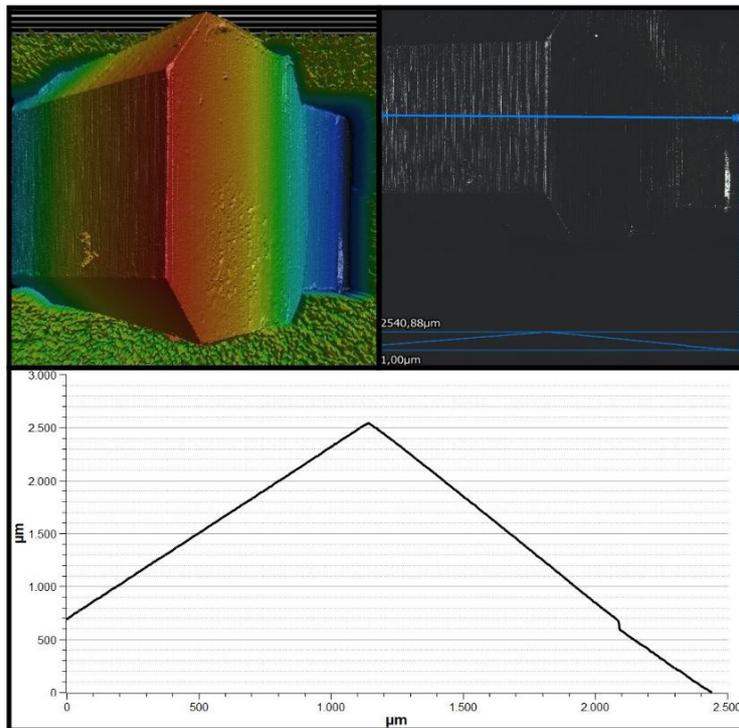


Abbildung 10: Nachschneider im Neuzustand. Gemessene Konturlinie mit dem Laserscanning Mikroskop. Schneidkantenbreite $dx = 8 \mu\text{m}$.

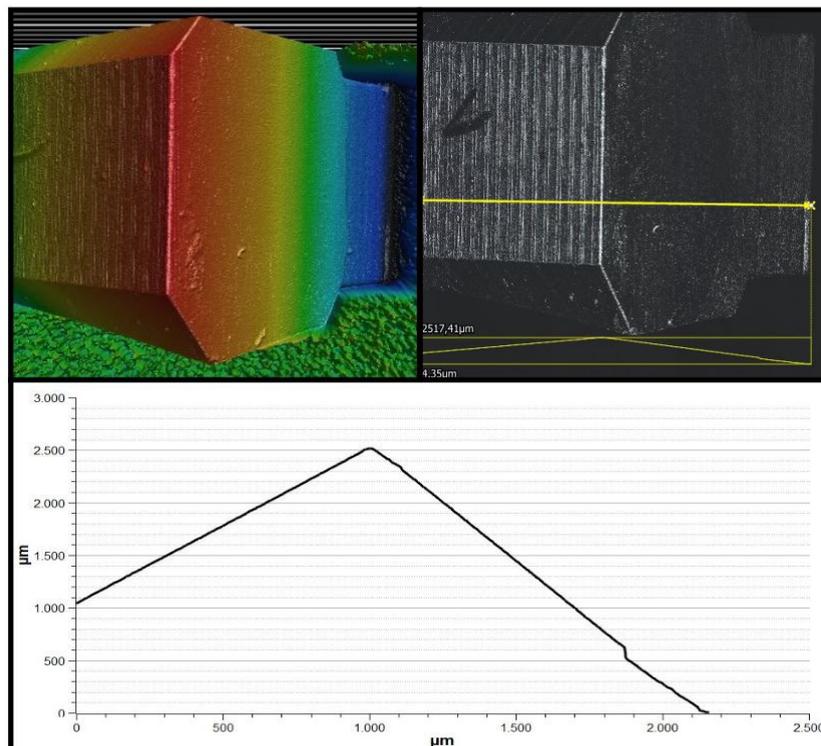


Abbildung 11: Nachschneider gestrahlt. Gemessene Konturlinie mit dem Laserscanning Mikroskop. Schneidkantenbreite $dx = 14 \mu\text{m}$.

Die Zerspanversuche der Sägebänder wurden nach Absprache mit dem PA alle im Labor durchgeführt. Nur so konnte eine ausreichende Vergleichbarkeit der Standzeiten erreicht werden, da wegen der Corona-bedingten Einschränkungen eine wissenschaftliche Begleitung bei den ursprünglich angedachten Praxisversuchen in den

Betrieben nicht möglich war. Im Rahmen der praxisähnlichen Laborversuche konnten alle Einflussfaktoren auf den Sägeprozess berücksichtigt und konstant gehalten werden. Somit wurde eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse unter der methodischen Variation der Einflüsse sichergestellt. Die Laborzerspanungsversuche wurden an dem Bandsägeautomat MEBA e-Cut 400A von der Firma MEBA durchgeführt.

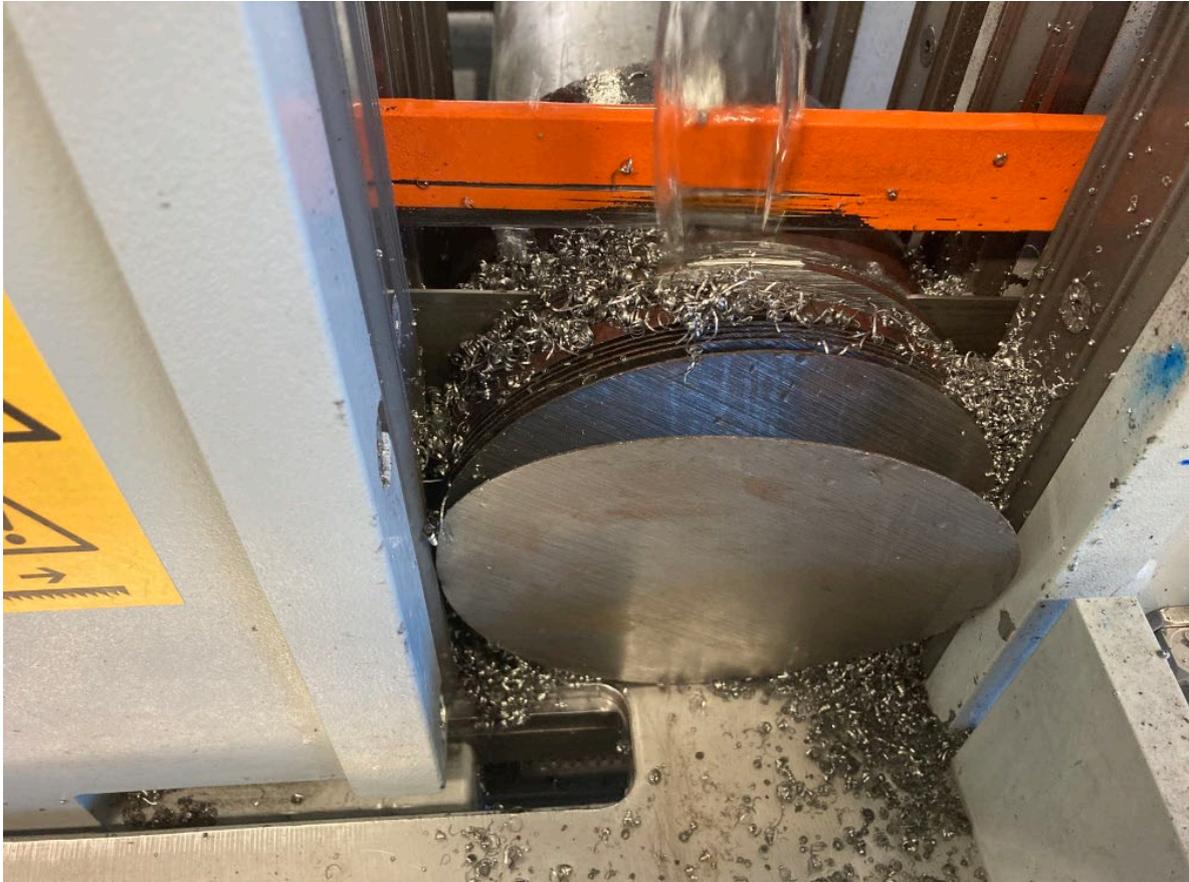


Abbildung 12: Schnittversuche an der Meba. Der Stahlzylinder wird in 0,5 mm dicke Scheiben getrennt.

Dank des elektrischen Kugelspindeltriebs können unabhängig von der Umgebungstemperatur konstante Sägeparameter und somit reproduzierbare Versuchsbedingungen sichergestellt werden. Für die wissenschaftlichen Untersuchungen war der Einsatz einer solchen Maschine unabdingbar. Als Schneidgut wurde ein Zylinder aus unlegiertem Vergütungsstahl (Sorte 1.0503/C45) mit einem Durchmesser von 150 mm ausgewählt.

Alle Einstellgrößen wurden dem industriellen Stand der Technik beim Zerspanen mit Bandsägen entsprechend für die o.g. Werkstückabmessungen und dem Werkstoff eingestellt, sodass für die gewählte 2-3 (ZpZ) Kombi-Verzahnung mit ca. 87 Zähnen pro laufendem Meter (Angaben variieren je nach Hersteller Ausführung) mit einer Schnittgeschwindigkeit im Bereich von $v_c = 80$ m/min und einer Vorschubgeschwindigkeit v_f von ca. 60 mm/min zu arbeiten war. Die Zerspanungsleistung lag dann etwa bei 70 cm²/min. In den Versuchen wurden etwa 0,5 mm dicke Scheiben aus den jeweils 1 m langen Stahlzylindern geschnitten.

Schnittversuch gestrahltes Band

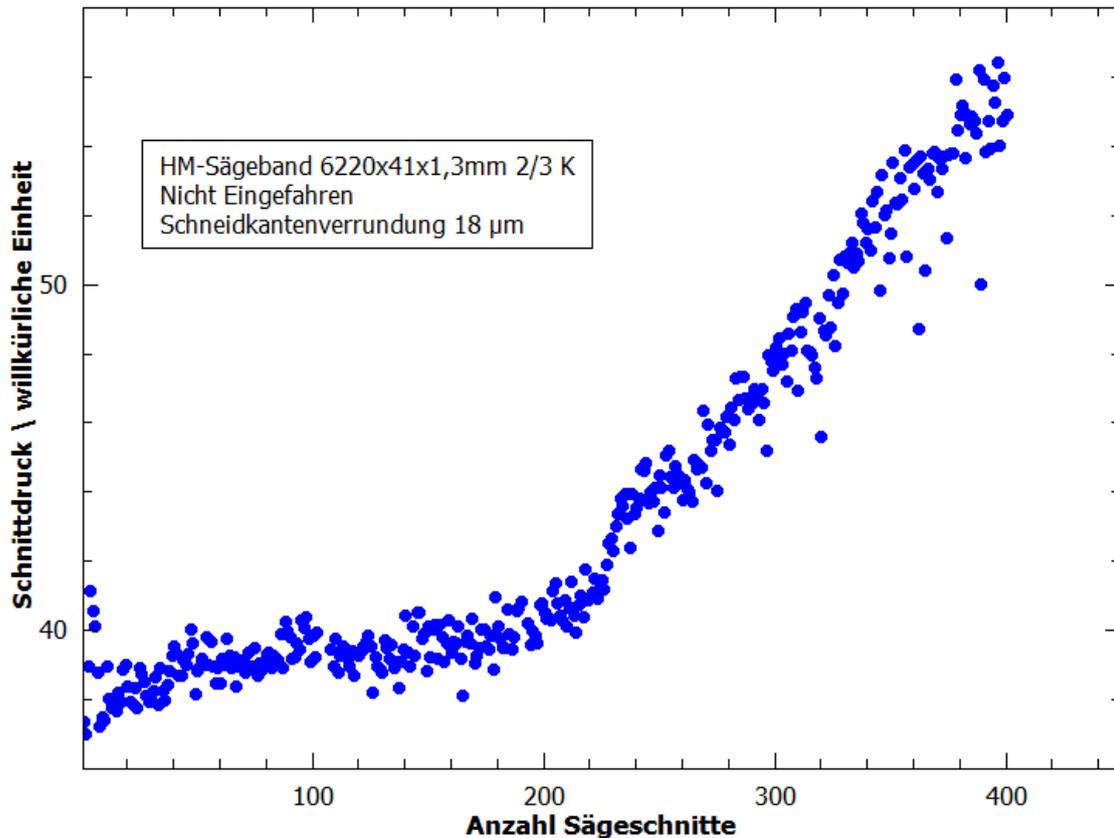


Abbildung 13: Schnittversuche eines gestrahlten ($dx=18 \mu\text{m}$) Sägebandes bis zum Standzeitende bei etwa 400 Sägeschnitten.

In der *Abbildung 13* ist exemplarisch der Verlauf des Schnittversuches eines Sägebandes bis zum Standzeitende des Sägebandes dargestellt. Aufgetragen ist die Anzahl der Einzelschnitte gegen den von der Sägemaschine ausgelesenen Schnittdruck (willkürliche Einheit) aufgetragen. Das Standzeitende des Sägebandes wurde mit dem Beginn des automatischen Nachregels des Vorschubes der Sägemaschine definiert. Übersteigt der Schnittverlauf des Sägebandes aufgrund des Verschleißes einen Grenzwert wird von der Steuerung der Maschine automatisch die Vorschubgeschwindigkeit reduziert.

Tabelle 4: Die erreichten Schnittmengen in Abhängigkeit der Schneidkantenverrundung

Mittlere Verrundung dx [μm]	Einfahren ja/nein	Mittlere Schnittmenge [m^2]
Neuzustand	ja	5,5
12	nein	4,4
16	nein	5,1
18	nein	7,1
20	nein	6,2

In der Tabelle 4 sind für die untersuchten Sägebänder die im Mittel erreichten Standzeiten dargestellt. Die Verrundung mit einer Schneidkantenbreite von $18 \mu\text{m}$ erreichte dabei eine maximale Schnittmenge von $7,1 \text{ m}^2$. Gegenüber den

Referenzwerkzeugen ergab sich somit eine Standzeitverlängerung von 30 %, zuzüglich wurde das Einfahren der Bänder eingespart.

Zusammenfassung

Allgemein spielt bei Hartmetall-Zerspanungswerkzeugen seit mehreren Jahren die Präparation der Schneidkante zur Verbesserung des Einsatzverhaltens und der Leistung eine zentrale Rolle. Eine gezielte Schneidkantenpräparation soll Defekte der Schneidkante beseitigen und eine definierte Kontur generieren. Die Reduzierung der Schartigkeit und Änderung der Mikrostrukturierung der Span- und Freifläche bewirken eine Minimierung von lokalen Spannungsspitzen und damit eine Steigerung der Kantenfestigkeit, wodurch eine Standzeiterhöhung der Werkzeuge erreicht werden kann.

Das Ziel des Forschungsvorhabens war der wissenschaftliche fundierte Nachweis einer definierten und reproduzierbaren Schneidkantenpräparation durch Strahlen von hartmetallbestückten Sägebändern für den Bandsägeprozess, sodass dies zu einem verbesserten Einsatzverhalten mit einem im Ergebnis gesteigertem Leistungsvermögen des gesamten Sägewerkzeuges führt.

Es konnte gezeigt werden, dass die Schneidkanten von Bandsägebändern mittels Trockenstrahlen definiert verrundet werden können. Bei optimaler Verrundung konnte eine Standzeitverlängerung der Sägebänder von etwa 30 % erreicht werden. Zudem konnte auf das sonst notwendige Einfahren der Bänder verzichtet werden.

Das Strahlen und Verrunden der Schneidkanten kann zukünftig auch das zusätzliche Beschichten der Zähne vereinfachen, da durch die Verrundung eine Beschichtung mit einer durchgehend gleichmäßigen Schichtdicke und einer verbesserten Schichthftung gewährleistet werden kann.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Herrn Dipl.-Phys. Ralph Keßler unter 02191 5921 127.