

Bohrer und Fräser ■ schwer zerspanbare Werkstoffe ■ Schneidstoffentwicklung

# Effiziente Werkzeuglösungen zum Bearbeiten von UHC-Stahl

Alulegierter Leichtbaustahl (UHC-Stahl) ist prädestiniert als Werkstoff für Motorbauteile. Eine unproduktive Zerspanung und kurze Werkzeugstandzeiten verhindern jedoch seinen Serieneinsatz. Angepasste Substrate und Kühlsysteme können die Standzeit verlängern.

von Berend Denkena, Thilo Grove, Michael Lahres und Andreas Weidle



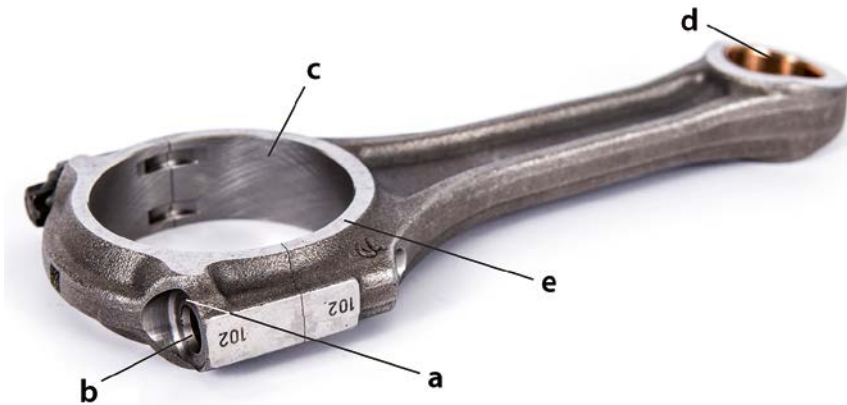
**1** Der Werkstoff der Hauptkomponenten Rohkarosserie (links), Antriebsstrang (Mitte) und Motor (rechts) trägt entscheidend zum Gesamtgewicht eines Pkw bei, hier eines Mercedes Benz GLC 350 4Matic. UHC-Leichtbaustahl kann das Gewicht reduzieren, erfordert jedoch angepasste Zerspankonzepte (© Daimler, IFW Wei/80392)

Die Ingenieure der Fahrzeugindustrie arbeiten mit hoher Intensität daran, den Kraftstoffverbrauch und damit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu senken. Die Gründe hierfür sind zum einen die Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und zum anderen die in den Medien oft diskutierte Überschreitung der Stickoxidwerte in städtischen Gebieten [1]. Um einen niedrigeren Kraftstoffverbrauch pro Kilometer als bis-

her zu erreichen, müssen alle Reibungseinflüsse, zum Beispiel der Luft- und der Rollwiderstand, auf ein Minimum reduziert werden. Ein weiterer entscheidender Faktor ist das Fahrzeuggewicht. Speziell Komponenten wie die Karosserie, der Antriebsstrang und der Motor bergen ein großes Potenzial zur Gewichtsreduktion, das sich durch eine anwendungsgerechte Werkstoffauswahl heben lässt (Bild 1).

**Motorcomponenten können zukünftig um 10 bis 13 Prozent leichter werden**

Insbesondere können bei bewegten Verbrennungsmotor-Komponenten erhebliche Einsparungen erzielt werden, indem man konventionelle durch dichterereduzierte Werkstoffe ersetzt. Aufgrund der geringeren Masse, die beschleunigt werden muss, sinkt die dafür aufzuwendende Energie. Zu diesen bewegten Motorcomponenten zählen beispielsweise die



2 An Pleueln wie diesem werden nach dem Schmieden die Schraubenkopf-Auflagefläche (a), die Bohrung (b), das große (c) und das kleine Pleuelauge (d) sowie die Planparallellflächen (e) mittels Fräsen, Bohren und Schleifen endbearbeitet (© IFW, Wei/80393)

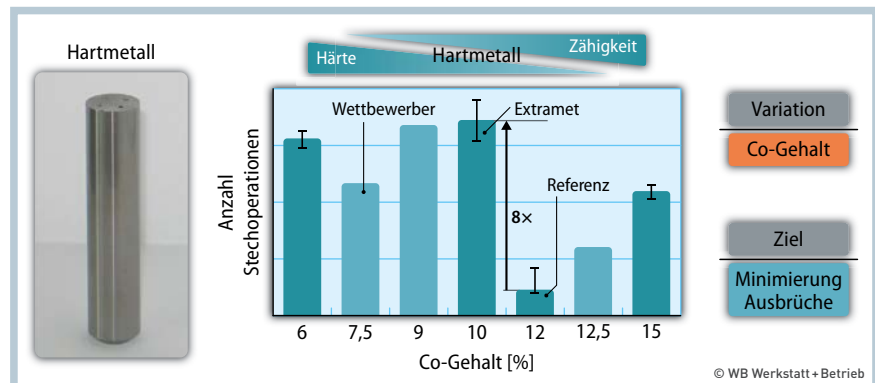
Kurbelwelle, der Kolben mit Kolbenbolzen sowie das Pleuel.

Derzeit bestehen beim Automobilhersteller Daimler AG solche Komponenten vorzugsweise aus Stahlsorten mit einer spezifischen Dichte  $\rho$  von 7,6 bis 7,8 g/cm<sup>3</sup>. Ein von Daimler und dem Unternehmen Deutsche Edelstahlwerke GmbH (DEW) entwickelter Leichtbauwerkstoff soll die konventionellen Stähle ablösen und auf diese Weise das Gewicht der Komponenten um 10 bis 13 Prozent senken, je nach Baureihe [2].

Die aluminiumlegierten UHC-Stähle (Ultra High Carbon Steels) werden als metallische Leichtbauwerkstoffe bezeichnet. Trotz ihrer spezifischen Dichte  $\rho$  von unter 7,0 g/cm<sup>3</sup> haben die UHC-Stähle ähnliche mechanische Eigenschaften wie die schon in der Serie verwendeten Werkstoffe. Werte für die Zugfestigkeit  $R_m$  von über 930 MPa, für die Bruchdehnung  $A$

von mehr als 6 Prozent und für die Härte von mindestens 300 HV sind aufgrund eines neuen Gießverfahrens, einer gesteigerten Temperatur beim Walzen und einer angepassten Wärmebehandlung möglich [3].

Dennoch zählen UHC-Stähle aufgrund eines Aluminiumanteils von bis zu 10 Prozent und eines Kohlenstoffanteils von 1 bis 2,1 Prozent zu den schwer zerspanbaren Werkstoffen. Vorarbeiten beim Drehen gingen einher mit hohen thermomechanischen Belastungen der Werkzeugschneide, bei denen Spitzentemperaturen von maximal 1000 °C aufgenommen wurden [4]. Die große Herausforderung beim Zerspanen ergibt sich unter anderem aus der geringen Wärmeleitfähigkeit des UHC-Stahls, die mit jener von Titanwerkstoffen verglichen werden kann. Neben der Wärmestauung an der Werkzeugschneide sowie dem vorherrschenden Wärmeabtransport durch das Werkzeug unterliegt der Schneidstoff entsprechend hohen thermischen Belastungen. »

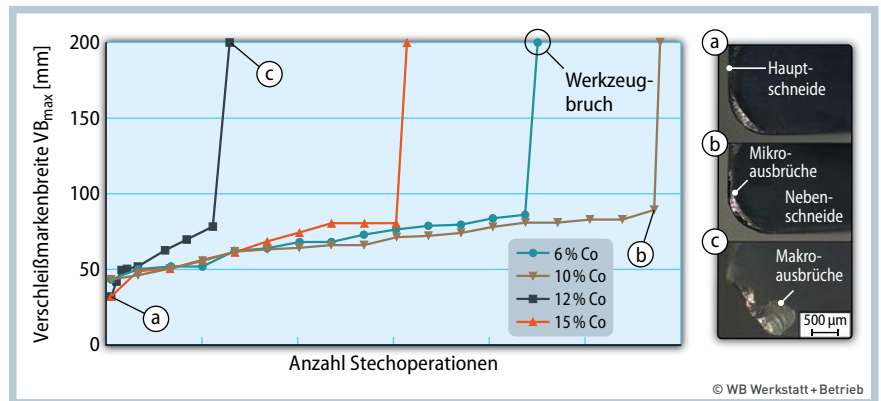


3 Standmengen bei HM-Eintauchfräsversuchen an stranggegossenem UHC-Leichtbaustahl mit variablem Werkzeug auf einer DMU 100. Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 60$  m/min, Zahnvorschub  $f_z = 0,020$  mm, Abbruchkriterium  $VB_{max} = 200$   $\mu$ m, KSS 8 Prozent (© IFW, Wei/80394)

### UHC-Leichtbaustahl leitet wie Titan Wärme schlecht aus der Wirkzone ab

Eine typische Komponente im Verbrennungsmotor ist das in Bild 2 dargestellte Pleuel [5]. Um aus dem nach dem Schmieden entgrateten Rohling ein einsetzfähiges Pleuel zu generieren, bedarf es einer spanenden Endbearbeitung durch mehrere Fertigungsverfahren wie Fräsen, Bohren und Schleifen. Dabei werden unter anderem das kleine und das große Pleuelauge, die Planparallellflächen, die Bohrung und die Schraubenkopf-Auflagefläche gefertigt. Im Folgenden wird der Fokus auf das Fräsen der Schraubenkopf-Auflageflächen gelegt.

Für gewöhnlich wird die Werkzeuglebensdauer vom verschleißbedingten Überschreiten zulässiger Bauteilqualitätsgrenzen (Oberflächengüte, Gratbildung, Maßhaltigkeit) begrenzt und mithilfe der Größen Einsatzzeit (Standzeit), Standweg oder Zerspanvolumen bewertet [6]. In diesem Fall wurde als Standzeit-Bewertungskriterium die Anzahl der gefrästen Schraubenkopf-Auflageflächen bis zu einer maximalen Verschleißmar-



4 Verlauf der Verschleißmarkenbreite an Werkzeugen aus verschiedenen Hartmetallsorten nach dem Eintauchfräsen von UHC-SG. Versuchsbedingungen wie in Bild 3

(© IFW, Wei/80394)

kenbreite  $VB_{max}$  von 200  $\mu\text{m}$  gewählt. Die Anzahl der Schraubenkopf-Auflageflächen, damit auch Stechoperationen, ist dem Zerspanvolumen proportional.

In vorangegangenen Untersuchungen haben die Autoren die hohen thermomechanischen Belastungen und Wärmeaufstauungen an der Werkzeugschneide, bedingt durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des Materials, nachweisen können. Experimentelle Bohrversuche ergaben hierbei Temperaturen von 110 °C im Abstand von 0,3 mm zur Messposition [3]. Aufgrund der Messungen und numerischer Berechnung sind an der Werkzeugschneide des Bohrers Temperaturen um die 650 °C zu erwarten. Zudem treten vorrangig Mikro- und Makroausbrüche an den Schneiden auf, die auf die erhöhte dynamische Belastung der Schneiden zurückzuführen sind (Bild 4). Aus diesen Gründen sind eine an den thermischen und mechanischen Belastungsfall angepasste Positionierung der Kühlkanäle und die Auswahl einer Substratsorte mit hinreichender Festigkeit bei gleichzeitig ausreichender Zähigkeit nötig.

Die Entwicklungen haben eine Minimierung von Ausbrüchen sowie eine verbesserte Wärmeabfuhr zum Ziel, um die Standmenge zu erhöhen, und zwar durch eine Variation des Hartmetallsubstrats und der Kühlkanalposition. Im Folgenden wird zunächst auf die Variation des Hartmetallsubstrats eingegangen.

#### Die Standmenge verachtete sich im Vergleich zum Referenzhartmetall

Für die Optimierung des Verschleißverhaltens sollte ein geeignetes Verhältnis zwischen Hartmetallhärte und -zähigkeit ermittelt werden. Hierzu wurden sieben Hartmetallsorten mit einer Korngröße

von rund 0,8  $\mu\text{m}$  und variierendem Kobaltgehalt von 6 bis 15 Gewichtsprozenten (kurz HM 6 % Co bis HM 15 % Co) betrachtet. Nur das Hartmetall mit 12 Gewichtsprozenten Kobalt (HM 12 % Co) hatte eine abweichende Korngröße von 0,5  $\mu\text{m}$ , um den Einfluss kleiner Korngrößen exemplarisch herauszustellen. Jede Versuchsreihe wurde dreimal durchgeführt.

In Bild 3 werden die Ergebnisse der Versuchsreihen veranschaulicht und die erreichten Werkzeugstandmengen dargestellt. Demzufolge ergaben sich die maximalen Werkzeugstandmengen unter Verwendung von HM 10 % Co. Bei gleichbleibenden Einstellparametern ließ sich damit die Anzahl der Stechoperationen je Fräs Werkzeug im Vergleich zum Referenzhartmetall HM 12 % Co um das Achtfache steigern.

In Bild 4 sind der Freiflächenverschleiß und die Schneidkantenausbrüche sowie der Verlauf der maximalen Verschleißmarkenbreite  $VB_{max}$  der vier Hartmetalle mit 6, 10, 12 und 15 Gewichtsprozenten Kobalt dargestellt. Als Ursache des Verschleißes sind die Abrasion, also der Werkstoffabtrag durch mechanischen Abrieb, sowie die hohe mechanische Wechselbeanspruchung zu nennen.

Grundsätzlich ist für Industrie und Anwender eine beherrschbare, stetige und gleichmäßige Vergrößerung der Verschleißmarken wünschenswert, um das Werkzeugversagen vorherzusagen und den Zeitpunkt des Werkzeugwechsels zu bestimmen [7]. Aufgrund des frühzeitigen Ansteigens der Verschleißmarkenbreite sowie des plötzlichen und unerwarteten Auftretens von Ausbrüchen ist das Referenzhartmetall HM 12 % Co für den Einsatz in der Serienfertigung ungeeignet.

## INFORMATION & SERVICE

### INSTITUT

**IFW – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der Leibniz Universität Hannover**

30823 Garbsen  
Tel. +49 511 762-2533

[www.ifw.uni-hannover.de](http://www.ifw.uni-hannover.de)

### DIE AUTOREN

**Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena** ist Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover  
[denkena@ifw.uni-hannover.de](mailto:denkena@ifw.uni-hannover.de)

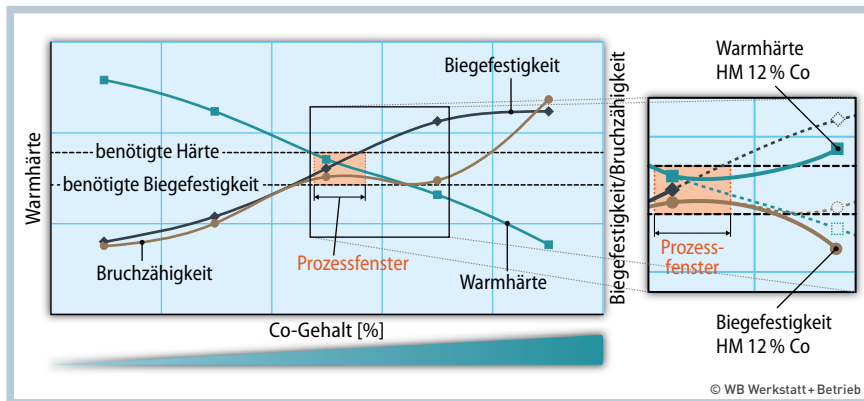
**Dr.-Ing. Thilo Grove** ist Bereichsleiter Fertigungsverfahren am IFW  
[grove@ifw.uni-hannover.de](mailto:grove@ifw.uni-hannover.de)

**Dr. Michael Lahres** ist Leiter Funktionsflächen bei Daimler AG Group Research & MBC Development in Ulm  
[michael.lahres@daimler.com](mailto:michael.lahres@daimler.com)

**M. Sc. Andreas Weidle** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW und Doktorand bei Daimler AG Group Research & MBC Development in Ulm  
[weidle@ifw.uni-hannover.com](mailto:weidle@ifw.uni-hannover.com)

### PDF-DOWNLOAD

[www.werkstatt-betrieb.de/1680194](http://www.werkstatt-betrieb.de/1680194)



**5 Hartmetalleigenschaften und maximal zulässige Belastungen. Eine Steigerung des Kobaltgehalts führt zu einem Anstieg der Bruchzähigkeit und der Biegebruchfestigkeit; zugleich nimmt aber auch die Warmhärte ab, unabhängig von der Korngröße** (© IFW, Wei/80395)

### Der Kobaltgehalt beeinflusst die mechanischen Eigenschaften stark

Zur Erklärung der beobachteten Effekte sind in Bild 5 qualitativ die Biegefestigkeit und die Bruchzähigkeit sowie die Warmhärte über dem Kobaltgehalt der Hartmetallsorten dargestellt. Eine Steigerung des Kobaltgehalts führt zu einem Anstieg der Bruchzähigkeit und der Biegebruch-

festigkeit, reduziert aber gleichzeitig die Warmhärte, unabhängig von der Korngröße [6].

Aufgrund der Dynamik des Zahneingriffs im unterbrochenen Schnitt sowie der geringen Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes unterliegt das Substrat sowohl starker dynamischer Wechselbelastung als auch thermischer Belastung. Da-

bei werden hohe Anforderungen an die Bruchfestigkeit und an die Warmhärte gestellt. Aus diesen in Bezug auf den Kobaltgehalt divergierenden Anforderungen resultiert ein schmales Prozessfenster, in dem das Hartmetall ein optimales Werkzeug-Einsatzverhalten ermöglicht (Bild 4).

HM 6 % Co ist aufgrund der hohen Härte sehr verschleißfest, bietet aber keine ausreichende Sicherheit gegen Bruch bei dynamischer Last; hingegen führt bei HM 15 % Co die fehlende Warmhärte zu einem frühen Werkzeugversagen. Nur das Hartmetall mit 10 Gewichtsprozenten Kobaltgehalt zeigt sowohl eine ausreichend hohe Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit als auch eine genügend große Warmhärte. Ähnliche Effekte ergeben sich für die drei untersuchten Wettbewerbersorten mit dem günstigsten Einsatzverhalten für das HM 9 % Co.

Die Verringerung der Korngröße auf 0,5 µm beim HM 12 % Co des Schweizer Herstellers Extramet AG bewirkt gegenüber HM 10 % Co eine Erhöhung der »



Warmhärte bei gleichzeitiger Verringerung der Bruchzähigkeit (Bild 5 rechts). Hinzu kommt eine Reduktion der Wärmeleitfähigkeit um 20 % für das HM 12 % Co gegenüber HM 10 % Co. Dieser Umstand führt zu einer weiteren Erhöhung der thermischen Belastung des Schneidkeils. Im Ergebnis wirkt sich im betrachteten Anwendungsfall somit das feinere Hartmetallgefüge nicht standzeitsteigernd aus.

Durch einen angepassten Kobaltgehalt und die Korngröße des Hartmetalls lassen sich die auftretenden Mikroausbrüche minimieren, und das Auftreten von Makroausbrüchen kann hinausgezögert werden. Mit HM 10 % Co wurde ein standzeitsteigerndes Hartmetall gefunden; die eingangs genannten Herausforderungen bei der Bearbeitung von UHC-

Leichtbaustahl im unterbrochenen Schnitt bleiben jedoch bestehen.

### Richtige Kühlstrategie verlängerte die Fräserstandzeit um 80 Prozent

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Steigerung der Produktivität bei der Bearbeitung von UHC-Leichtbaustahl ist die Verbesserung der Werkzeugkühlung. Um die aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes hervorgerufene Wärmestauung und die daraus resultierende thermische Schneidenbelastung zu reduzieren, wurden im Rahmen des Projekts verschiedene Kühlkanalstrukturen untersucht. In Bild 6 sind zwei Fräserwerkzeuge mit verschiedenen Kühlkanalausstritten dargestellt.

Die von der Hauptkühlkanalbohrung abzweigenden vier Kühlkanäle treten

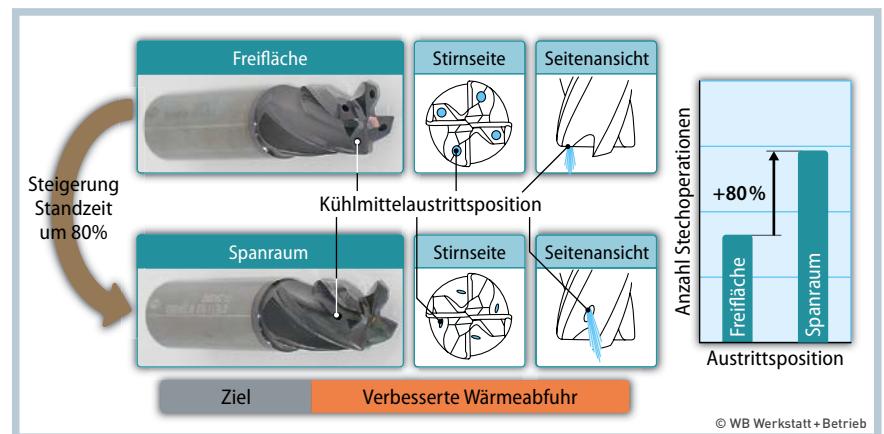
mulation das Werkzeugkühlkanaldesign weiter optimiert.

Als Resümee lässt sich festhalten, dass im BMBF-Projekt IPROM (Innovative Prozesskette zur Massivteilfertigung aus einem neuartigen Leichtbaustahl) gemeinsam mit den Projektpartnern Mapal Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG, Walter AG, Daimler AG und der projektbegleitenden Firma Extramet AG ein Schaftfräser für die Bearbeitung von UHC-Leichtbaustahl in den Werkzeugteilsystemen Substrat und Kühlkanalposition entwickelt wurde. Die Projektbeteiligten untersuchten sieben Hartmetallsubstrate mit unterschiedlichem Kobaltgehalt und zwei verschiedenen Kühlkanalpositionen. Das Resultat der Experimente ist, dass die Werkzeugstandzeiten durch die gezielte Auswahl des Substrats um das Achtfache

## INFORMATION & SERVICE

### LITERATUR

- [1] *Europäisches Parlament*: Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von neuen Personenkraftwagen. Verordnung (EG) Nr 443/2009
- [2] *T. Haug, H.-P. Jung, et al.*: Dichte-reduzierter UHC-Leichtbaustahl und dessen Verwendung. DE102010012718, 25. März 2010
- [3] *B. Denkena, T. Grove, M. Lahres und A. Weidle*: Wirtschaftliche Bearbeitung von UHC-Leichtbaustahl. WB Werkstatt + Betrieb 5/2016, S. 40–43
- [4] *B. Denkena, T. Grove und M. A. Dittrich*: Flow stress and temperature considerations for orthogonal cutting of an aluminum-alloyed UHC-steel. Production Engineering Research and Development (WGP) 2015, Vol. 9, Issue 3, S. 337–342
- [5] *P. Lippmann und A. Weidle*: Solid part manufacturing of lightweight steels: Challenges to formability and machining. Hannover: 15. Werkstoff-Forum, 13. bis 17. April 2015, S. 22
- [6] *F. Klocke und W. König*: Fertigungsverfahren, Band 1 – Drehen, Fräsen, Bohren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, 8. Auflage
- [7] *S. Scherbarth*: Der Einfluß der Schneidkeilgeometrie auf das Zerspanverhalten beim Fräsen von Stahlwerkstoffen mit beschichtetem Hartmetall. Dr.-Ing. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg 1999, ISBN 3-8265-4763-2



**6 Ergebnisse von Untersuchungen mit verschiedenen Kühlkanalausstrittspositionen beim Eintauchfräsen von UHC-Leichtbaustahl. Versuchsbedingungen wie in den Bildern 3 und 4**

(© IFW, Wei/80396)

zum einen an der Freifläche und zum anderen im Spanraum aus. Durch die Änderung der Kühlkanalpositionierung ließ sich die Standzeit des Fräasers mit Kühlkanalaustritt im Spanraum um 80 Prozent im Vergleich zum Fräser mit Kühlkanalaustritt an der Freifläche der Stirnschneide verlängern. Grund für die verbesserte Kühlwirkung mit KSS-Austritt im Spanraum sind der zielgerichtete KSS-Freistrahle und sein sofortiges Auftreffen auf die Werkzeugschneide. Beim Fräser mit Kühlkanalaustritt an der Freifläche gelangt der Kühlschmierstoff nicht direkt auf die zu kühlende und schmierende Werkzeugschneide.

Diese ersten Untersuchungen zeigen deutlich das Potenzial zur Verbesserung der Wärmeabfuhr mittels angepasster Kühlstrategie. In aktuellen Untersuchungen wird unter anderem mittels CFD-Si-

gesteigert werden konnten. Zudem ist eine Standmengenerhöhung mithilfe einer belastungsgerechten Kühlkanalposition um 80 Prozent möglich.

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept ›Forschung für die Produktion von morgen‹ (Förderkennzeichen: 02PN2050 ff.) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut, wofür sich die Autoren bedanken. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern für die hervorragende Zusammenarbeit und die Genehmigung zur Publizierung der Erkenntnisse. Besonderer Dank gilt dem projektbegleitenden Hartmetallhersteller Extramet sowie den Projektpartnern Mapal und Walter. ■