

Bleifreier Stahl ■ Mehrspindelbearbeitung ■ Spanbildung

Gut zerspannt auch ohne Blei

Greift die EU-Direktive 2005/673/EG, haben Mehrspindeldreher ein Problem: Der Bleianteil im Stahl, der einen guten Spanbruch bewirkt, wird begrenzt. Forscher der TU Dortmund zeigten, dass modifizierte bleifreie Stähle durchaus dem Zerspanverhalten bleihaltiger nahe kommen.

von Dirk Biermann und Maximilian Metzger

Die industrielle Fertigung der für den Automobilbereich benötigten Komponenten erfordert eine hohe Produktivität und Prozesssicherheit. Vielfach müssen die Bauteile dabei spanend bearbeitet werden. Um bei diesen Bearbeitungsoperationen sichere und produktive Prozesse zu gewährleisten, ist eine gute Zerspanbarkeit der verwendeten Konstruktionswerkstoffe erforderlich.

In zahlreichen Anwendungsfällen greift man auf Stähle zurück, bei denen ein Zusatz von beispielsweise Blei, Schwefel oder Phosphor den Spanbruch verbessert. Die Verwendung von Blei ist allerdings problematisch, da dieses Le-

gierungselement gesundheitsgefährdend ist. Auf europäischer Ebene fordert die EU-Richtlinie 2005/673/EG, dass zum Schutz der Umwelt der generelle Höchstwert für Blei in Stahllegierungen den Anteil von 0,1 Gewichtsprozent nicht mehr übersteigen darf. In diesem Regelwerk sind allerdings Ausnahmen definiert, wie etwa ein maximaler Bleianteil von 0,35 Prozent, wenn der Stahl für Bearbeitungszwecke verwendet wird [1].

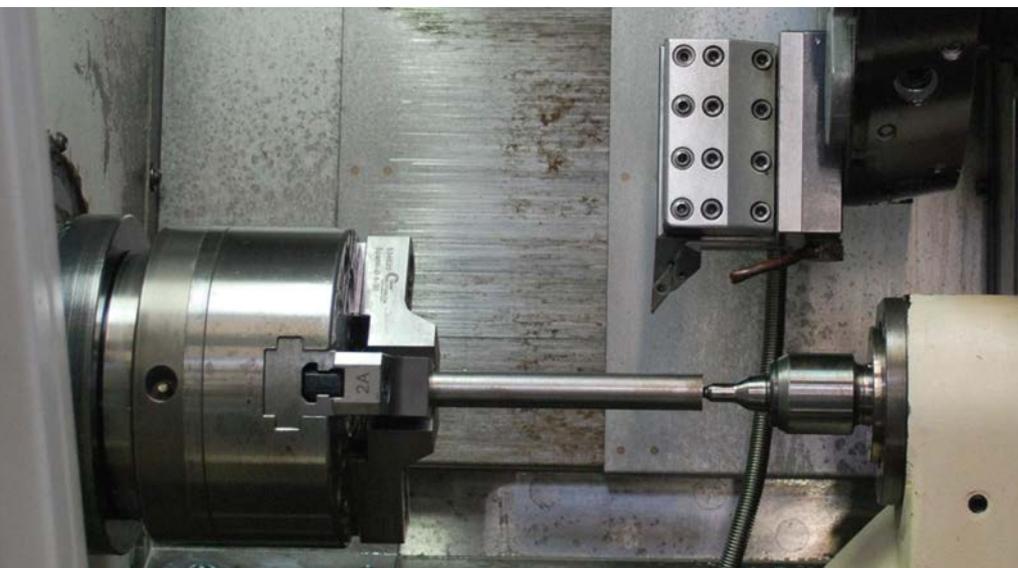
Blei fördert den Spanbruch und somit die Prozesssicherheit

Indem man dem Stahl Blei zusetzt, wird der Verarbeitungsprozess durch kurzbre-

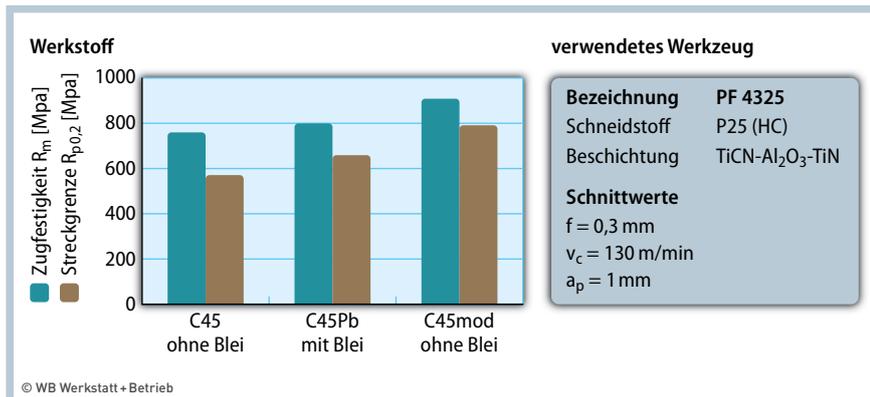
chende Späne begünstigt. Darüber hinaus ist die Wirkung des Bleis als Schutzfilm am Werkzeug zur Erhöhung der Verschleißbeständigkeit bekannt [2, 3]. Somit wird die Automatisierung von Herstellungsverfahren begünstigt. Der Bleigehalt erlaubt hohe Schnittgeschwindigkeiten und lange Werkzeugstandzeiten und zeigt darüber hinaus eine eng tolerierte Bearbeitungsfläche in guter Qualität [4]. Eine Vielzahl dieser Bauteile wird aufgrund der nachgefragten Mengen auf Mehrspindelautomaten gefertigt. Umso größer ist die Notwendigkeit prozesssicherer Fertigungsabläufe. Der Spanbildung kommt hierbei eine elementare Rolle zu. Durch den Verzicht auf das Legierungselement Blei wird die Prozesssicherheit der Fertigungsabläufe maßgeblich beeinflusst.

Ziel des von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (Fosta) mit Mitteln der Stiftung Stahlanwendungsforschung geförderten Forschungsvorhabens ›Zerspanungsoptimierung von hochbelastbaren Stählen für die Automobilindustrie (P989)‹ ist es daher, eine alternative Herstellungsrouten zur Erzeugung bleifreier, hinsichtlich der Spanbildung modifizierter Vergütungsstähle zu identifizieren. Unterstützung für das Projekt leisteten die Forschungspartner Arcelor Mittal und Edelstahlzieder Mark.

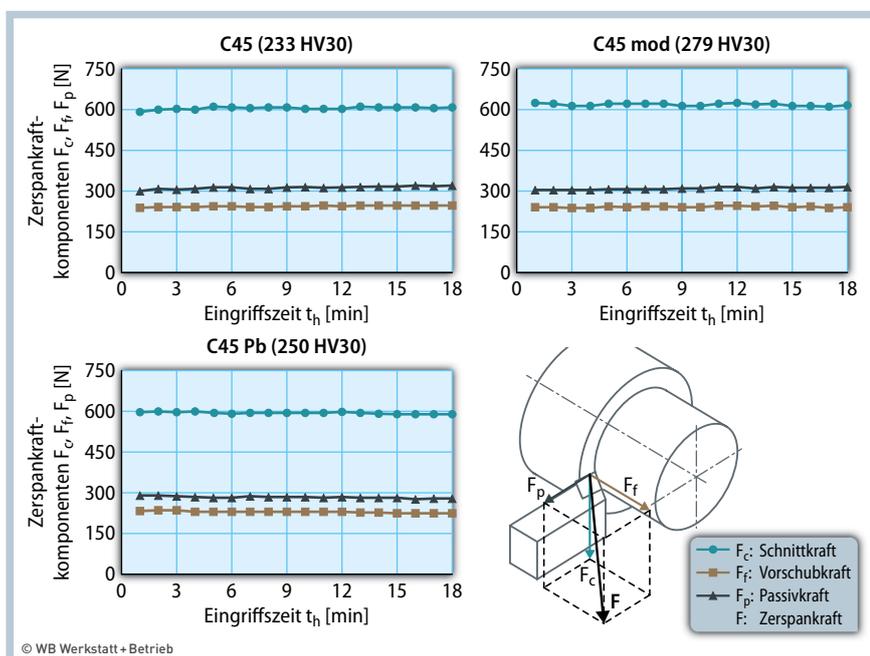
Für die dazu am Institut für Spanende Fertigung (ISF) der Technischen Universität Dortmund durchgeführten experimentellen Untersuchungen lagen drei Modifikationen eines C45 vor: ein herkömmlicher C45 mit 0,3 Prozent Blei



1 Arbeitsraum der Monforts RNC 200A, auf der an der TU Dortmund Zerspanungsversuche an Werkstücken aus einer bleihaltigen und zwei bleifreien C45-Stahlsorten gemacht wurden, um die mechanischen Werkzeugbelastungen zu analysieren (Bild: ISF)



2 Einige der wichtigsten experimentellen Randbedingungen bei den Zerspanungsversuchen (Bild: ISF)



3 Zusammenfassung der in den Versuchen ermittelten mechanischen Werkzeugbelastungen (Bild: ISF)

(C45Pb), ein vergleichbarer C45 ohne Blei (C45) und ein modifizierter, mit zerspannungserleichternden Elementen versetzter C45 (C45mod). Um den stetig steigenden Bauteilanforderungen und -belastungen Rechnung zu tragen, wurde letztere Variante mit einer um 20 Prozent höheren Grundhärte ausgelegt.

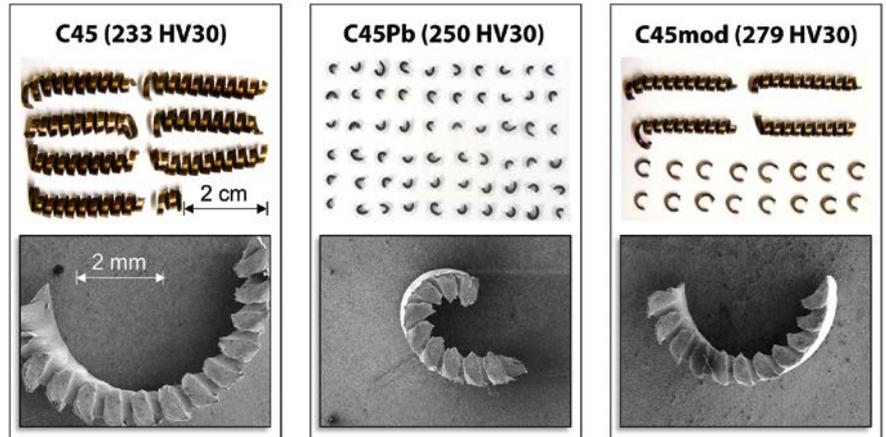
Zerspanungserleichternde Elemente reduzieren die Werkzeugbelastung

Um bewusst den Einfluss der Legierungszusammensetzung sichtbar zu machen, wurden sämtliche experimentellen Randbedingungen konstant gehalten. Die Untersuchungen erfolgten am ISF auf einer CNC-Drehmaschine vom Typ RNC 200 A der A. Monforts Werkzeugmaschinen GmbH (Bild 1) unter Verwendung einer Überflutungs-Kühlschmie-

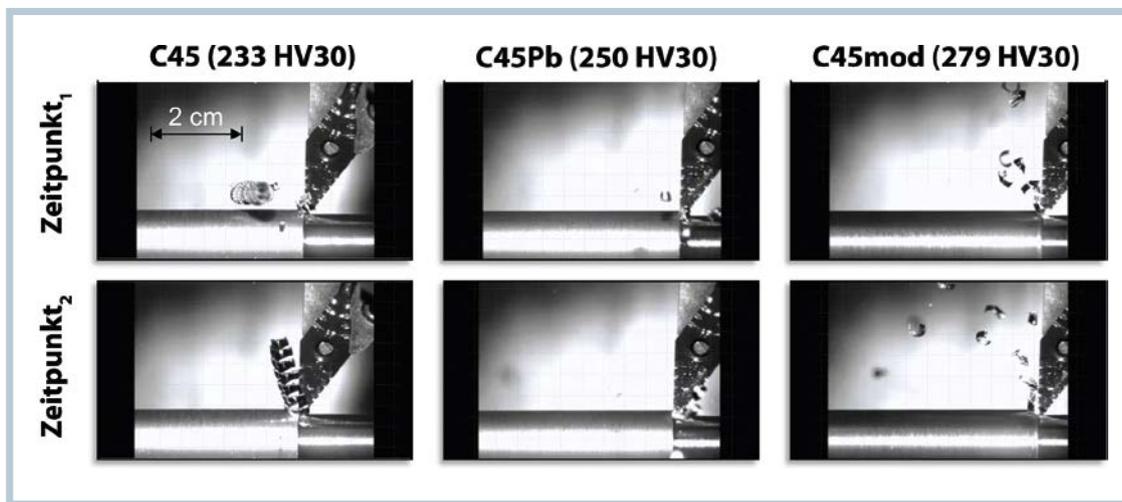
rung mit einer 6- bis 7-prozentigen Emulsion. Zum Einsatz kamen in Anlehnung an industrielle Serienprozesse Werkzeuge der Sandvik Tooling Deutschland GmbH vom Typ VNMG 160408. Detaillierte Informationen zu den verwendeten Werkzeugen und Schnittwertparameterwerten sind Bild 2 zu entnehmen.

Die Zerspankraft F gibt Aufschluss darüber, mit welchem mechanischen Widerstand die spanende Bearbeitung eines Werkstoffs möglich wird. Um Unterschiede hinsichtlich der mechanischen Werkzeugbelastung erkennen zu können, wird mithilfe eines Kraftmessdynamometers die Zerspankraft F in den drei Raumrichtungen gemessen. Diese drei Raumrichtungen entsprechen der Schnittkraft F_c , der Vorschubkraft F_f und der Passivkraft F_p , wie unten rechts in Bild 3 »

illustriert. Bild 3 zeigt für alle C45-Modifikationen einen konstanten Verlauf der mechanischen Belastungen bei steigender Eingriffszeit. Obwohl die Variante C45mod die höchste Werkstoffgrundhärte aufweist, liegt die mechanische Belastung in allen drei Richtungen auf einem mit den alternativen Varianten vergleichbaren Niveau. Eine infolge der höheren Werkstoffgrundhärte vermutete höhere Schneidenbelastung bleibt durch die gezielte Verwendung zerspannungserleichternder Elemente aus. Ein notwendiger Verzicht auf das Legierungselement Blei führt durch eine gezielte Legierungsan-



4 Ausführliche Darstellung der Spanbildung (Bild: ISF)



5 Detailaufnahmen mittels Hochgeschwindigkeits-Mikroskopie (Bild: ISF)

passung zu vergleichbaren Belastungen beim Außenlängsdrehen.

Infolge der mechanischen und thermischen Schneidenbelastungen kommt es bei längeren Eingriffszeiten zu einem zunehmenden Werkzeugverschleiß. Der einsetzende Verschleiß hat einen signifikanten Einfluss auf die Prozesssicherheit und bildet somit den Gradmesser für die Werkzeugstandzeit. Die Verschleißbeständigkeit eines Werkzeugs hat darüber hinaus maßgeblichen Einfluss auf die Maßhaltigkeit der erzeugten Bauteile und die entsprechenden Oberflächenqualitäten und muss zur Identifizierung einer geeigneten bleifreien C45-Variante unbedingt beachtet werden.

Das Verschleißverhalten bildet sich in diesem Anwendungsfall in Form einer Verschleißmarkenbreite an der Haupt- und Nebenfleißfläche sowie einer Kerbbildung am Übergang von der Schneidenecke zur Nebenschneide aus. Zur Dokumentation des Verschleißverhaltens der eingesetzten Werkzeuge wurden in regelmäßigen Intervallen lichtmikroskopische Aufnahmen zur Ermittlung der Verschleißmarkenbreiten erstellt.

Hohe Verschleißbeständigkeit trotz gesteigerter Grundhärte

Die eingesetzten Werkzeuge weisen ein vergleichbares Verschleißverhalten nach einer Eingriffszeit t_h von 18 min auf. Lediglich bei der spanenden Bearbeitung des C45Pb ist am Übergang von der Schneidenecke zur Nebenschneide eine leicht stärker ausgeprägte Kerbbildung erkennbar. Bei Betrachtung der Verschleißmarkenbreiten ist über die Eingriffszeit ein stationäres Verschleißver-

halten erkennbar. Dies unterstreicht die hohe Verschleißbeständigkeit der TiCN-Al₂O₃-TiN-Beschichtung in Verbindung mit dem gewählten Hartmetallsubstrat.

Ein Einfluss der gesteigerten Grundhärte ist auch bei den eingesetzten Werkzeugen nicht feststellbar und lässt die Bedeutung der richtigen Zusammensetzung von Legierungselementen erkennen.

Ein unzureichender Spanbruch kann die Prozesssicherheit und sogar die erzeugten Oberflächenqualitäten negativ beeinflussen. Besonders bei der Verwendung von Mehrspindelautomaten ist die Gefahr sehr groß, dass sich Fließspäne in den anderen Spindeln verfangen und zu unnötigen Maschinenausfällen führen. Ein kontrollierter Spanbruch ist daher für einen effizienten Fertigungsprozess mit geringen Ausfallzeiten unabdingbar.

Die Spankrümmung macht den Unterschied

Der Einfluss der unterschiedlichen zerspannungserleichternden Legierungselemente wird insbesondere bei der Spanbildung unter Verwendung identischer



Wendeschneidplatten sichtbar, wie Bild 4 zeigt. Der bleifreie C45 weist einen klassischen Wendelspan auf, der nach einer gewissen Länge aufgrund der erhöhten bewegten Masse abbricht und sich anschließend neu ausbildet. Bei der Bearbeitung des bleilegierten C45 entstehen hingegen sehr kurze Spanlocken, die als sehr prozesssicher gelten. Grund hierfür ist das Blei, das sich an die Korngrenzen setzt und bei hohen Bearbeitungstemperaturen den Spanbruch fördert [5].

Die Bearbeitung des bleifreien, modifizierten C45 erzeugt hingegen beide Spanformen. Auffällig ist hierbei jedoch die stärkere Krümmung beziehungsweise Wendelung des Wendelspans. Aufgrund ihrer Engmaschigkeit und der kleinen

Radien kommt es bei diesen Wendelspänen zu keinem Verhaken mit anderen Spänen. Zudem entstehen auch hier ohne das Element Blei phasenweise Spanlocken durch den Bearbeitungsprozess. Der größte Unterschied zwischen den drei Varianten wird in der Betrachtung einzelner Späne im Rasterelektronenmikroskop sichtbar. Späne der modifizierten Variante haben neben den bleihaltigen Spänen deutlich engere Wendelungen als ein konventioneller bleifreier C45.

Hochgeschwindigkeitsaufnahmen belegen die Varianz zweifelsfrei

Auf Basis dieser unterschiedlichen Wendelungen der Späne wurden die Untersuchungen erneut mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgezeichnet. Die Kamera vom Typ VW 9000 der Keyence Deutschland GmbH zeigt den Spanbildungsvorgang mit ungefähr 15 000 Bildern pro Sekunde stark verlangsamt und visualisiert so den Unterschied (Bild 5).

Bei der Zerspanung des bleifreien C45 entsteht zum Zeitpunkt t_1 ein neuer Wendelspan. Der Span läuft aufgrund seiner großen Krümmung über das Werkstück und über das Werkzeug ab und bildet den neuen Wendelspan vollständig bis zu einer bestimmten Länge aus (Zeitpunkt t_2). Aufgrund der deutlich stärkeren Krümmung des bleihaltigen C45 kommt es gar nicht zu einem Spanablaufverhalten über das Werkstück. Der Span bricht unmittelbar an dem entstehenden Übergang zwischen zerspantem und noch zu zerspanendem Material. Daher bricht der Span regelmäßig.

Der modifizierte, bleifreie C45 weist hingegen eine nicht so starke Krümmung auf und läuft über das Werkstück ab (Zeitpunkt t_1). Anders als der bleifreie C45 läuft der Span des modifizierten C45 wegen seiner engeren Krümmung deutlich direkter gegen die Hauptfreifläche des Werkzeugs (Zeitpunkt t_2) und ruft somit den Spanbruch hervor.

Indem man auf das Element Blei verzichtet, kommt es, wie zu erwarten war, zu einer Veränderung des Spanbildungsprozesses. Durch ein angepasstes Legierungskonzept kann der Entstehungsprozess allerdings positiv im Vergleich zur herkömmlichen bleifreien C45-Variante beeinflusst werden. Neben den gewünschten Spanlocken entstehen in seltenen Fällen Wendelspäne, die sich aber durch eine enge Krümmung hervorheben und ein Verhaken ineinander behindern. ■

INFORMATION & SERVICE



INSTITUT

Institut für Spanende Fertigung (ISF) der TU Dortmund

44227 Dortmund
Tel. +49 231 755-2784
www.isf.de

LITERATUR

[1] *EU-Direktive 2005/673/EG*

[2] *Y. Ushima, H. Yuyama, S. Mizogushi, H. Kajoka: Effect of oxide inclusions on MnS precipitation in low carbon steel, ISIJ International, vol. 75/1989, No. 3, pp. 123-130*

[3] *W. J. Phillips, D. B. Barron: Iron Age 180/1957, p. 102/71*

[4] *J. Gobrecht, E. Rumpler: Werkstofftechnik – Metalle, 2. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2006*

[5] *U. Leuschke: Einfluss von Ausscheidungen auf das Duktilitätsverhalten einzelner Erstarrungsgefüge während der Drahtwalzung am Beispiel von Automatenstahl, Dissertation, Shaker Verlage 2014*

DIE AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann leitet das Institut für Spanende Fertigung (ISF) der TU Dortmund
biermann@isf.de

Maximilian Metzger, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF
metzger@isf.de

PDF-DOWNLOAD

www.werkstatt-betrieb.de/1055031