

WT Werkstattstechnik

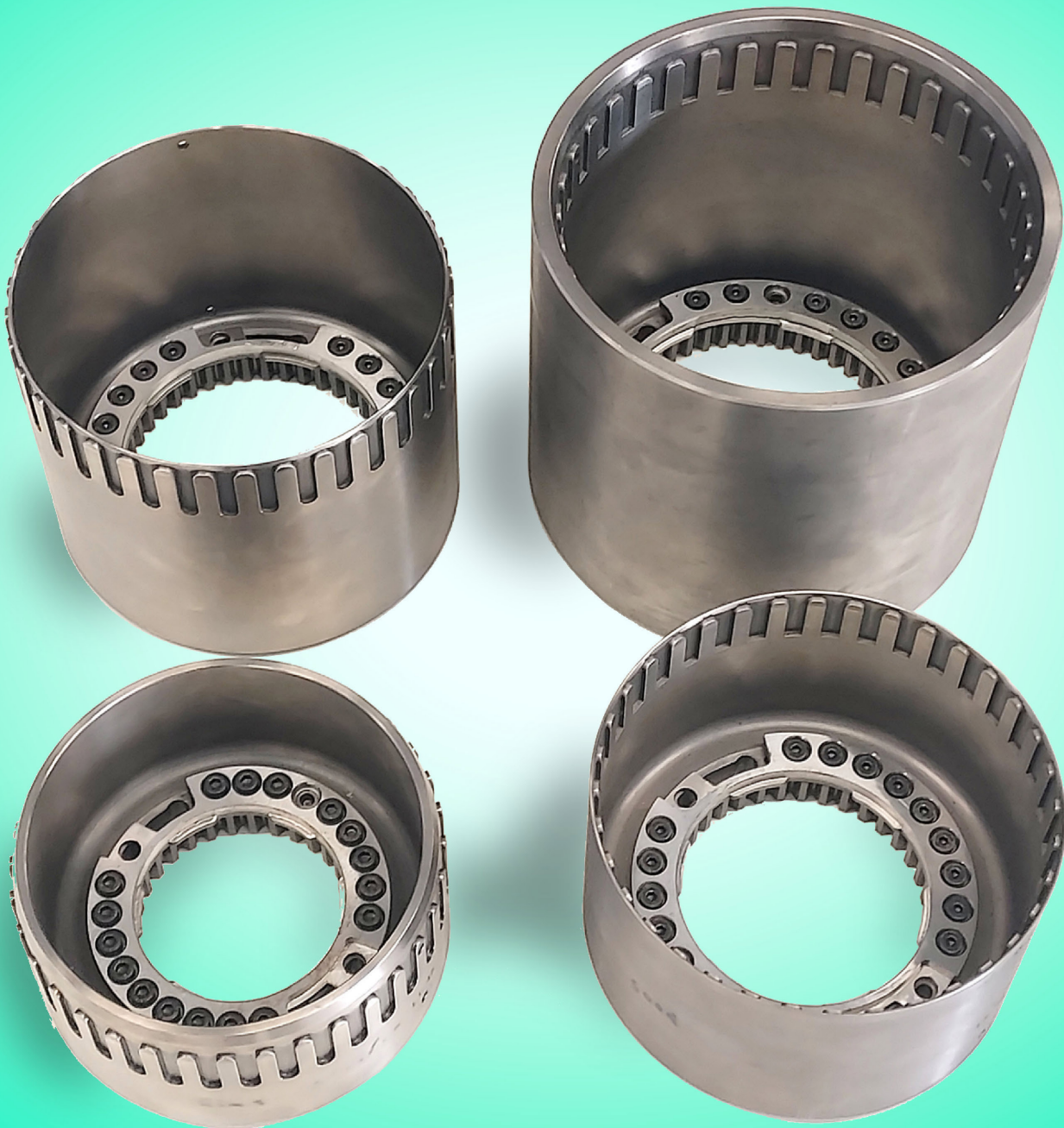


Foto: wbk

ADDITIVE FERTIGUNG

Fehlstellen im
Laser-Sintern
mit Endlosfasern

SCHLEIFEN

Analyse der Werkzeug-
deformation beim
Bandschleifen

WERKZEUGMASCHINEN

Genauigkeits-
limitierung in der
Fehlerkompensation

INHALTE DER ONLINE-AUSGABE 5-2026 HAUPTTHEMA: HOCHLEISTUNGSPROZESSE

E. Uhlmann, Technische Universität Berlin, Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF); Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin

Produktionssysteme im Spannungsfeld wirtschaftlicher und soziotechnischer Herausforderungen

Die industrielle Produktion steht vor tiefgreifenden Veränderungen durch Digitalisierung, Nachhaltigkeitsanforderungen, volatile Lieferketten und Fachkräftemangel. Dadurch gewinnen Anpassungsfähigkeit, Resilienz und datengetriebene Entscheidungsprozesse zunehmend an Bedeutung. KI-gestützte Ansätze bieten Potenziale zur Bewältigung dieser Komplexität, erfordern jedoch eine hohe Datenqualität und die enge Verzahnung von Forschung und Praxis. Die Beiträge dieser Ausgabe zeigen aktuelle Entwicklungen und innovative Lösungen aus den Bereichen additive Fertigung, Schleif- und Fügetechnik sowie Robotik und Mobilität.

S. 359

E. Uhlmann, F. Unger, TU Berlin, IWF; Fraunhofer IPK, Berlin

Additive Fertigung von Hartmetall

Aufgrund stark unterschiedlicher thermophysikalischer Eigenschaften von Wolframkarbid (WC) und Kobalt (Co) ist die additive Fertigung von WC-Co mittels pulverbettbasiertem Laserstrahlschmelzen (PBF-LB/M) besonders anspruchsvoll. Multi-Laser-Belichtungsstrategien erweitern das Verfahren durch zusätzliche, räumlich und zeitlich abgestimmte Energieeinbringung innerhalb einer Schicht. Durch eine Nachbelichtung mit einem zweiten Laser wird die relative Dichte von $\rho_{\text{rel,ref}} = 93,30\%$ auf $\rho_{\text{rel}} = 97,46\%$ erhöht.

S. 360

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-6

S. Zeidler, S. Henschel, J. Fleischer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik

Fehlstellen im Laser-Sintern mit Endlosfasern

Die additive Fertigung von endloskohlenstofffaserverstärkten Kunststoffbauteilen (CFK) ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung komplexer Bauteile für diverse Branchen. Laser-Sintern als Verfahren konnte erst vor Kurzem zur Herstellung von CFK befähigt werden. Während die Integration validiert wurde, sind die Mechanismen hinter dem Prozess nicht vollständig verstanden. In diesem Beitrag werden erste Einflüsse der Prozessparameter auf die resultierende Porosität vorgestellt, um die Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen als Schlüssel zu einer Prozessoptimierung zu erforschen.

S. 366

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-12

M. Mehner, F. Schwarz, S. Schabel, J. Fleischer, wbk, KIT, Karlsruhe

Fertigung von Strukturen mit Überhängen im WAAM

In dieser Arbeit wurde ein Modell entwickelt, um dünnwandige Strukturen aus unlegiertem Stahl mit Überhang im Wire-Arc-Additive-Manufacturing herzustellen. Ziel war es, komplexere Geometrien für nonplanaren Druck zu ermöglichen. Nach Vorversuchen und einem Central-Composite-Design Versuchsplan zeigte sich: Bei konstanter Materialaustragsrate beeinflusst die Druckgeschwindigkeit die Geometrie am stärksten, unabhängig vom Wandwinkel. Eine Validierung der Ergebnisse erfolgte am 3D-Benchy.

S. 373

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-19

D. Schröder, S. Henschel, J. Fleischer, KIT, wbk, Karlsruhe

Maschinenmodul zum sequentiellen Hairpin-Twisten

Die klassische Prozesskette zur Produktion von Hairpin-Statoren für elektrische Traktionsmotoren ist stark werkzeuggesteuert, insbesondere der Prozessschritt des Twistens der Hairpin-Wicklung. In diesem Beitrag wird ein einfaches Maschinenmodul vorgestellt, das einen flexiblen, sequentiellen Twistprozess ermöglicht. Es besteht aus einem Industrieroboter, einem einfachen Twistwerkzeug sowie verschiedenen Sensoren zur Prozessüberwachung und der zugehörigen Steuerungslogik.

S. 380

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-26

D. Merz, S. Schabel, J. Fleischer, wbk, KIT, Karlsruhe

Spektrale Überwachung beim Hairpin-Schweißen

In dieser Arbeit wird untersucht, ob sich definierte Einflussgrößen beim Laserschweißen von Hairpins für Elektromotoren im multispektralen Prozessleuchten abbilden lassen. Auf Basis einer strukturierten Versuchsreihe wurden die Stirnseitengeometrie, die Laserfokusslage und der Pinwerkstoff analysiert. Die Ergebnisse zeigen eine klare Differenzierung geometrischer Variationen, einen Trend bei Fokusänderungen, jedoch keine signifikante Materialabhängigkeit.

S. 389

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-35

T. Klein, A. Schwertner, A. Puchta, J. Fleischer, wbk, KIT, Karlsruhe

Roboterassistiertes Endeffektorsystem zum Heißdrahtschneiden

Die steigende Nachfrage nach individualisierten Produkten erfordert flexible Produktionssysteme. Hierbei stehen roboterassistierte Systeme im Fokus, diese weisen jedoch oft nicht die notwendige Steifigkeit für hochpräzise Bearbeitungsprozesse auf. Als flexibler Ansatz für Zahnräder und Getriebe wird das Drahterodieren mit zwei Robotern betrachtet. Hierfür wurde ein Endeffektorsystem entwickelt, wodurch ein Heißdraht am Roboter fixiert beziehungsweise variabel gestreckt und gestaucht werden kann. Das Schneiden beliebiger Geometrien in Polymerschäum wurde nachgewiesen, wodurch das Potenzial zweier Roboter im Wire-EDM-Prozess gezeigt werden konnte.

S. 395

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-41

E. Uhlmann, Y. Li, X. Feng, V. H. Wohlfahrt, TU Berlin, IWF

Multisensorische Prozessüberwachung beim CO₂-Strahlen

Das flüssige Hochdruckstrahlen mit CO₂ (HDCO₂-Strahlen) bietet als trockenes, rückstandsfreies und umweltfreundliches Fertigungsverfahren ein vielversprechendes Potenzial für den Materialabtrag und die Oberflächenbearbeitung. Um einen stabilen flüssigen CO₂-Strahl mit ausreichender Prozesskraft zu erzeugen, muss das CO₂ im Strahlsystem auf definierte Temperatur- und Druckzustände konditioniert werden. Dies erfordert eine Prozessüberwachung des CO₂-Strahlsystems. In dieser Arbeit wird die Auslegung und Integration von Durchfluss-, Druck- und Temperatursensoren in ein bestehendes Hochdruck-CO₂-Strahlsystem beschrieben. Durch experimentelle Untersuchung wird auf Basis der Datenanalyse der Zusammenhang zwischen den CO₂-Phasenumwandlungen im HDCO₂-Strahlprozess und der resultierenden Prozessstabilität analysiert.

S. 402

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-48

A. Bekston, D. Biermann, Institut für Spanende Fertigung (ISF), Dortmund

Experimentelle Validierung der Kühlschmierstoffströmung im Einlippentiefbohren durch CFD-gestützte Strömungsanalyse

Insbesondere bei Tiefbohrprozessen ist die effiziente Kühlschmierstoffversorgung entscheidend für Prozessstabilität und Werkzeugstandzeit. Ziel der Arbeit ist die experimentelle Validierung numerischer Strömungssimulationen beim Einlippentiefbohren. Hierzu werden CFD-Simulationen mit einer experimentellen Strömungsvisualisierung kombiniert. Die Ergebnisse zeigen eine inhomogene Strömungsverteilung sowie eine unzureichende Versorgung der Schneidenecke, die sowohl numerisch als auch experimentell konsistent nachgewiesen wird. Die gute Übereinstimmung belegt die Aussagekraft des Modells und bildet eine belastbare Grundlage für gezielte Optimierungen der Kühlschmierstoffführung.

S. 437

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-57

E. Uhlmann, J. Henning, M. Walter, TU Berlin, IWF

Analyse der Werkzeugdeformation beim Bandschleifen

In diesem Beitrag wird das Deformationsverhalten elastischer Werkzeugsysteme beim Bandschleifen untersucht. Anhand quasistatischer Druckversuche, Zentrifugalkraftmessungen und kontaktmechanischer Analysen werden die Einflüsse von Kontaktrollenhärte h_k und Schleifbandunterlage auf Normalkraft F_n , Kontaktfläche A_0 und effektive Zustellung $a_{e,eff}$ analysiert. Die Ergebnisse zeigen ausgeprägte nicht-lineare Zusammenhänge mit direktem Einfluss auf Prozessstabilität und Arbeitsergebnis.

S. 419

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-65

E. Uhlmann, A. Rozek, E. Berg, S. Gröger, S. Stöckel, S. Fiebig, TU Berlin, IWF; Technische Universität Chemnitz, Professur Fertigungsmesstechnik

Lokale Geometrieeffekte beim Strömungsschleifen

Diese Arbeit untersucht den Einfluss von Durchmesseränderungen Δd in der Ausgangsgeometrie sowie von Strömungsrichtung und Volumenstrom $\dot{V}$ des abrasiven Mediums auf die geometrischen Eigenschaften strömungsgeschliffener Werkstücke. Die Ergebnisse zeigen, dass die Strömungsrichtung einen signifikanten Einfluss auf die Art der lokalen Effekte hat und die Höhe der Durchmesseränderungen Δd sowie die Höhe des Volumenstroms $\dot{V}$ die lokale Änderung des Zeit-spannungsvolumen Q_w wesentlich beeinflussen.

S. 427

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-73

M. Maier, B. Denkena, B. Bergmann, IFW Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Leibniz Universität Hannover, Garbsen

Mehr Kornhaltekraft in galvanischen Schleifstiften

Galvanisch nickelgebundene Dentschleifwerkzeuge sind mit Umwelt- und Gesundheitsrisiken verbunden. Im Forschungsprojekt „GreenDentalGrind“ wird daher eine nachhaltige Kupferbindung als Alternative entwickelt. Durch den Einsatz titanbeschichteter Diamantkörner und eine prozessintegrierte Wärmebehandlung zur Bildung von Titankarbid soll die Anbindung der Körner verbessert und eine vergleichbare Leistungsfähigkeit zu konventionellen Nickelsystemen erreicht werden.

S. 437

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-83

E. Uhlmann, J. Polte, T. Hocke, C. Lahoda, TU Berlin, IWF

Glattrücken als wirtschaftliche Finishingstrategie

Diese Arbeit analysiert die prozessseitigen Einflussgrößen beim Glattrücken mit monokristallinen Diamantsphären der Aluminiumlegierung EN AW-5083 zur gezielten Optimierung der Oberflächeneigenschaften. Im untersuchten Parameterbereich konnte die Eingriffsbreite a_e als maßgebliche Einflussgröße identifiziert werden, während Vorschubgeschwindigkeit v_f und Zustelltiefe a_z einen untergeordneten Einfluss aufwiesen. Der arithmetische Mittenrauwert konnte insgesamt um mehr als 80 % auf $R_a = 14 \text{ nm}$ reduziert werden.

S. 441

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-87

M. Lorenz, S. Stribick, R. Pahlmeyer, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

Vakuumhärten von Holzwerkzeugen

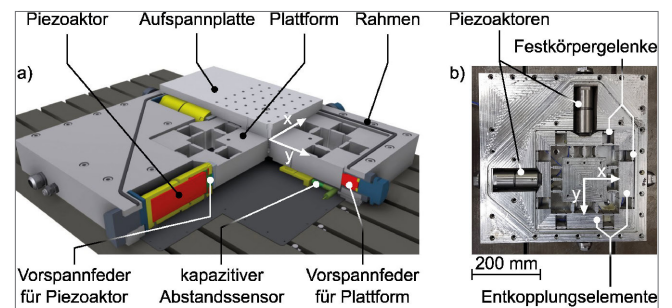
Kombiniertes Vakuumlöten und härten ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung von Holzbearbeitungswerkzeugen mit Stahlgrundkörpern. Dieser Beitrag stellt ein validiertes transientes FE-Modell vor, das die Temperaturverteilung während Halte- und Abkühlphase abbildet. Verschiedene Szenarien untersuchen den Einfluss von Werkzeugdurchmesser und -länge, Positionierung und Werkzeuganzahl auf das Temperaturfeld. Die Ergebnisse liefern konkrete Handlungsempfehlungen für optimale Beladungsstrategien.

S. 447

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-93

E. Uhlmann, M. Polte, T. Pache, F. Triebel, N. Bergström, TU Berlin, IWF; Fraunhofer IPK, Berlin

Genauigkeitslimitierung in der Fehlerkompensation



Zweiachsiger Kompensationstisch (Add on) [5]; a) gerendertes CAD-Modell in Schnittdarstellung;

b) Draufsicht ohne Aufspannplatte. Grafik und Foto: IWF [5]

Die Arbeitsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen wird durch Prozesskraft-induzierte Verlagerungen des tool center points limitiert. Eine aktive Kompensation kann die resultierenden geometrischen Abweichungen am Bauteil reduzieren. In diesem Beitrag wird das Kriechverhalten einer zweiachsigen piezoaktuierten Kompensationseinheit experimentell bestimmt und mathematisch modelliert. Ein analytischer Kriechoperator beschreibt den nichtlinearen Zusammenhang mit einem $RMSE \leq 0,152 \mu\text{m}$ und bildet die Grundlage für eine Genauigkeitssteigernde Vorkompensation.

S. 459

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-05-105

IMPRESSUM

Redaktion

Alexandra Briesch
Telefon: +49 (0) 211-6103-335
abriesch@vdi-fachmedien.de

Verlag

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG
VDI-Platz 1, D-40468 Düsseldorf
Postfach 10 10 22, D-40001 Düsseldorf

Geschäftsführung

Beatrice Gerner
geschaeftsfuehrung@vdi-nachrichten.com

Layout

Alexander Reiß

Weitere Informationen:
www.werkstattstechnik.de

Produktionssysteme im Spannungsfeld wirtschaftlicher und soziotechnischer Herausforderungen

Die industrielle Produktion befindet sich seit Jahren in einer Phase überlagerter Transformationsprozesse, in der technologische, organisatorische und marktbezogene Veränderungen simultan wirken. Neben der fortschreitenden Digitalisierung prägen volatile Lieferketten, steigende Anforderungen an Nachhaltigkeit und Transparenz der Wertschöpfungsketten sowie ein strukturell zunehmender Fachkräftemangel die Rahmenbedingungen produktionswirtschaftlicher Systeme. Diese Entwicklungen wirken nicht isoliert, sondern verstärken sich gegenseitig und erfordern eine zunehmend ganzheitliche Betrachtung.

Klassische Optimierungsansätze sind vielfach durch die Fokussierung auf einzelne Zielgrößen wie Durchsatz, Kostenreduktion oder Stabilität geprägt. Im modernen Produktionsumfeld stößt diese eindimensionale Sichtweise jedoch an ihre Grenzen. Stattdessen rücken Anpassungsfähigkeit, Resilienz und die Fähigkeit zur flexiblen Konfiguration von Produktionsstrukturen in den Vordergrund. Des Weiteren müssen vermehrt ökonomische, ökologische und soziale Anforderungen Berücksichtigung finden. Die Erweiterung klassischer Zielsysteme um Aspekte wie Energieeffizienz, CO₂-Reduktion und Versorgungssicherheit führt dabei zu einer erheblich gestiegenen Komplexität in der Planung und Entscheidungsfindung.

Vor diesem Hintergrund gewinnen datengetriebene und KI-unterstützte Ansätze zunehmend an Bedeutung und entwickeln sich zu einem integralen Bestandteil moderner Produktionssysteme. Ihr Potenzial entfaltet sich insbesondere in der Fähigkeit, komplexe Zusammenhänge in hochdynamischen Umgebungen zu analysieren, Prognosen zu verbessern und Entscheidungsprozesse zu unterstützen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine durchgängige Datenverfügbarkeit sowie die semantisch konsistente Integration heterogener Informationsquellen über alle Ebenen der Wertschöpfung hinweg. Ebenso entscheidend ist die Frage der Datenqualität, der Interoperabilität sowie der Vertrauenswürdigkeit algorithmischer Entscheidungen, die zunehmend auch regulatorisch und ethisch gerahmt werden muss. Nicht zuletzt sind gezielte Weiterbildungsmaßnahmen der Belegschaft erforderlich, um das Potenzial zur Produktivitätssteigerung durch KI-Unterstützung voll auszuschöpfen.

Die zentrale Herausforderung liegt somit weniger in der Entwicklung einzelner technologischer Lösungen als vielmehr in deren systemischer Verknüpfung innerhalb bestehender und zukünftiger Produktionsarchitekturen. Die enge Verzahnung von Forschung und industrieller Anwendung bleibt dabei ein wesentlicher Schlüssel für die innovationsgetriebene Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Sie bildet die Grundlage, um die skizzierten Transformationsprozesse aktiv zu gestalten sowie die Auslegung robuster, adaptiver und nachhaltiger Fertigungsprozesse zu gewährleisten.

Die Beiträge der aktuellen Ausgabe zeigen exemplarisch auf, wie bestehende Fertigungsverfahren durch neue Ansätze in ihrer Leistungsfähigkeit gesteigert werden können. Dabei werden unter anderem aktuelle Entwicklungen aus den Bereichen der additiven Fertigung, der Schleif- und Fügetechnologien sowie der Robotik und Mobilität diskutiert. ■



Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

leitet das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin. Foto: IWF