

INFOBRIEF *Ausgabe 61/20*



Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation Kaiserslautern

In dieser Ausgabe:

<i>DFG fördert deutsch-brasilianische Zusammenarbeit</i>	
Projekt zu Digitalem Zwilling ist gestartet	2
<i>Neues Projekt im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 926 gestartet</i>	
Untersuchung der Oberflächenmorphologie kryogen gefräster Ti-6Al-4V-Verdichterräder	2
<i>Die Digitale Transformation der Produktion – Eine Lernfabrik</i>	
Projekt zur Förderung innovativer Lehre gestartet	3
<i>Projekt des IRTG2057: Kumulierter Energiebedarf beim Laserauftragsschweißen</i>	
Entwicklung eines Simulationsansatzes zur Energiebedarfsbestimmung	3
<i>Projekt im SFB 926 erfolgreich beendet</i>	
Auslegung und Fertigung flächenhafter Kalibriernormale auf Basis realer Bauteiloberflächen	4
<i>3D-Druck von Corona-Schutzmasken</i>	
FBK leistet Beitrag zum Kampf gegen das Coronavirus in Rheinland-Pfalz	4
Neuer Mitarbeiter	4
Ausgewählte Veröffentlichungen	4

DFG fördert deutsch-brasilianische Zusammenarbeit Projekt zu Digitalem Zwilling ist gestartet

Die Ursprünge des Digitalen Zwillings liegen in der Raumfahrt. Die NASA nutzte das Konzept des Digitalen Zwillings bereits 2002. Da während eines Raumfluges das reale System, beispielsweise eine Raumfähre oder ein Satellit, nicht zur Verfügung steht, ist ein digitales Modell notwendig, um Fehler im Flugsystem zu detektieren oder Reparaturen zu erproben. Das digitale Flugsystem wurde besser abgebildet, wenn aus dem laufenden, realen Flugsystem die Betriebsdaten erfasst und an das digitale Modell übertragen wurden. So konnte das Betriebsverhalten des realen Systems auch aus der Ferne überwacht und durch entsprechende Simulationsmodelle sogar vorhergesagt werden.

Diese Potenziale lassen sich auf die industrielle Produktion übertragen: Hierbei beschreibt der Digitale Zwilling ein digitales Abbild eines realen Prozesses, einer realen Maschine oder eines realen Produktionssystems. Kern des Digitalen Zwillings sind auch hier dem Anwendungszweck angepasste Simulationsmodelle. Diese werden mit in Echtzeit erfassten Betriebsdaten des jeweiligen Systems zusammengeführt. Dadurch steht dem Anwender eine Entscheidungshilfe bereit, welche den Betrieb überwacht sowie mögliche Störungen prognostiziert, die durch entsprechende Steuereingriffe verhindert werden können.

Zur Umsetzung des digitalen Zwillings werden „datenbasierte“ oder „physikbasierte“ Modelle verwendet. Datenbasierte Modelle basieren auf Methoden zur Analyse von erfassten Daten. Hierfür kommt häufig das Maschinelle Lernen zum Einsatz, welches ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz darstellt. Durch die zunehmende Digitalisierung der Produktion im Rahmen von Industrie 4.0 und den damit einhergehenden geringen Produktionskosten für Sensoren werden immer mehr Daten durch Messungen und Überwachungen erfasst. Dies begünstigt den Einsatz von datenbasierten Modellen. Physikbasierte Modelle hingegen bilden reale Phänomene auf Grundlage von bekannten Gesetzmäßigkeiten aus der Physik ab.

Daten- und physikbasierte Modelle besitzen individuelle Vor- und Nachteile, können sich jedoch auch ergänzen. Liegen beispielsweise nicht genügend Daten für das Ableiten eines datenbasierten Modells vor, kann ein physikbasiertes Modell zur Generierung zusätzlicher Datensätze genutzt werden. Andererseits ist es möglich, physikbasierte Modelle durch die Erkenntnisse aus datenbasierten Analysen zu erweitern und so noch besser auf das reale System abzustimmen. Demnach sind Anwendungs-

fälle denkbar, in denen eine Fusion beider Modellierungsarten zu einem hybriden Digitalen Zwilling führen. Durch die Fusion beider Modellierungsarten entsteht ein verbessertes digitales Modell eines realen (Produktions-) Systems, wodurch das Verhalten des realen Systems besser analysiert und prognostiziert werden kann.

Einen solchen hybriden Digitalen Zwilling zu erforschen, ist das Ziel des deutsch-brasilianischen Forschungsprojektes „Modellierung von Produktionssystemen unter Nutzung heterogener und unstrukturierter Daten im Kontext der Industry 4.0“, das im Januar 2020 gestartet ist. In diesem internationalen Projekt wird ein Rahmenwerk modelliert, welches datengetriebene Modelle systematisch mit physikbasierten Simulationsmodellen verknüpft. Dabei wird eine derartige Fusion anhand eines Referenz-Produktionssystems exemplarisch konzipiert und implementiert. Daraus sind Rückschlüsse möglich, die die Konzipierung eines hybriden Digitalen Zwillings auf Fabrik-, Maschinen- und Prozessebene ermöglichen. FBK kooperiert dabei mit Forschern der Federal University of Rio Grande do Norte. Diese internationale Zusammenarbeit ermöglicht eine Berücksichtigung von Produktionsdaten verschiedener Qualität. Dies ist z.B. in einem Produktionsnetzwerk relevant, welches sowohl Standorte in Hochtechnologieländern als auch in Schwellenländern enthält. Gefördert wird das Forschungsprojekt von der Förderlinie „DFG-CAPES Collaborative Research Initiative“ zum Thema Industrie 4.0. Von deutscher Seite erfolgt die Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), während die brasilianische Seite durch das brasilianische Bundesministerium für Bildung (CAPES) gefördert wird.

Die einzelnen Arbeitspakete des Forschungsprojektes werden bilateral bearbeitet. Hierzu werden Informationen über den Bearbeitungsstatus bei wöchentlichen Jour Fixes ausgetauscht und Lösungen gemeinsam erarbeitet. Wichtiger Bestandteil der Zusammenarbeit ist neben nationalen und internationalen Publikationen auch das jährliche Treffen aller Projektbearbeiter aus der Förderlinie DFG-CAPES, welches in diesem Jahr im September in Hamburg stattfindet.

Kontakt

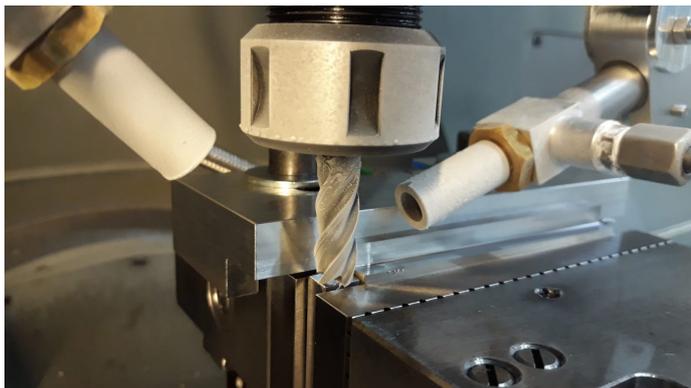
M.Sc. Pascal Langlotz

E-Mail: pascal.langlotz@mv.uni-kl.de

Telefon: 0631 205 – 4225

Neues Projekt im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 926 gestartet Untersuchung der Oberflächenmorphologie kryogen gefräster Ti-6Al-4V-Verdichterräder

Eine häufige Ursache für das Versagen von mechanisch hochbelasteten Bauteilen, wie zum Beispiel gefrästen Verdichterrädern aus Ti-6Al-4V, ist eine Rissbildung an der Bauteiloberfläche infolge einer lokalen Spannungsüberhöhung. Unter zyklischer Beanspruchung breitet sich der Riss aus, bis es zum Ermüdungsbruch kommt. Das Ermüdungsverhalten eines Bauteils wird in hohem Maße von dessen Oberflächenmorphologie beeinflusst. Diese setzt sich aus der Topografie der Oberfläche sowie den mechanisch-metallurgischen Eigenschaften innerhalb der Werkstückrandzone zusammen. Durch eine Verbesserung der Oberflächentopografie, beispielsweise durch eine Minimierung der Rauheit, lässt sich die



Werkzeug nach der Zerspaltung von Ti-6Al-4V-Proben mit CO₂-Kühlung

Anzahl der lokalen Spannungsüberhöhungen minimieren, was die Wahrscheinlichkeit zur Rissinitiierung senkt. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Ermüdungseigenschaften ist die Erhöhung der Härte innerhalb der Werkstückrandzone. Dadurch kann das Bauteil höhere Belastungen ertragen, ohne dass es zu einer Rissinitiierung kommt. Diese Aufhärtung der Werkstückrandzone wird in der Industrie häufig durch der Zerspanung nachgelagerte Prozesse realisiert. Unter Verwendung geeigneter Kühlstrategien besteht jedoch die Möglichkeit, die Härte bereits während des Fräsens zu steigern, um so die zeit- und kostenintensive Nachbearbeitung einzusparen. Grund hierfür sind eingebrachte Kaltverfestigungsmechanismen. Deren Entstehung wird durch eine hohe plastische Deformation in Kombination mit niedrigen Temperaturen begünstigt, welche durch den Einsatz einer kryogenen Kühlung erreicht werden.

Im Rahmen des SFB 926 wird in diesem neuem Teilprojekt C05 der Einfluss kryogener Zerspanung auf die Oberflächenmorphologie von Ti-6Al-4V-Bauteilen untersucht. Durch das Messen der auftretenden Temperaturen und wirkender Kräfte im Werkstück wird das thermo-mechanische Belastungskollektiv erfasst und charakterisiert. Dabei soll durch Einsatz verschiedener kryogener Kühlmedien eine möglichst geringe thermische Belastung im Bereich des Werkzeugeingriffs realisiert werden.

Neben konventionellen kryogenen Kühlmedien, wie flüssigem Stickstoff LN₂ (T_{Siede} = -196 °C) und Kohlenstoffdioxid CO₂ (T_{Siede} = -78 °C), wird auch der Einsatz neuartiger sub-zero Kühlschmierstoffe (KSS) untersucht. Sub-zero KSS auf Basis mehrwertiger Alkohole können dem Zerspanprozess noch bei -50 °C in flüssiger Form zugeführt werden, weswegen sie

im Vergleich zu konventionellen kryogenen Kühlmedien deutlich bessere Benetzungseigenschaften zeigen. Innerhalb des SFB 926 konnten diese kryogenen Kühlkonzepte bereits erfolgreich in den Drehprozess integriert werden, was nun auf das Fräsen erweitert wird. Darüber hinaus soll eine gezielte Einstellung der mechanischen Belastung ermöglicht werden. Hierzu werden unter kryogener Kühlung Zerspanversuche mit einer Variation der Schnittparameter, der Schneidkantengeometrie sowie der Beschichtungsarchitektur des Werkzeugs durchgeführt.

Abschließend werden die experimentell ermittelten Wirkzusammenhänge zwischen den Einstellgrößen, den Prozessgrößen, der Oberflächenmorphologie und den Bauteileigenschaften in einem Modell zusammengefasst. Hieraus sollen Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Ermüdungseigenschaften kryogen gefräster Ti-6Al-4V-Bauteile abgeleitet werden.

Kontakt

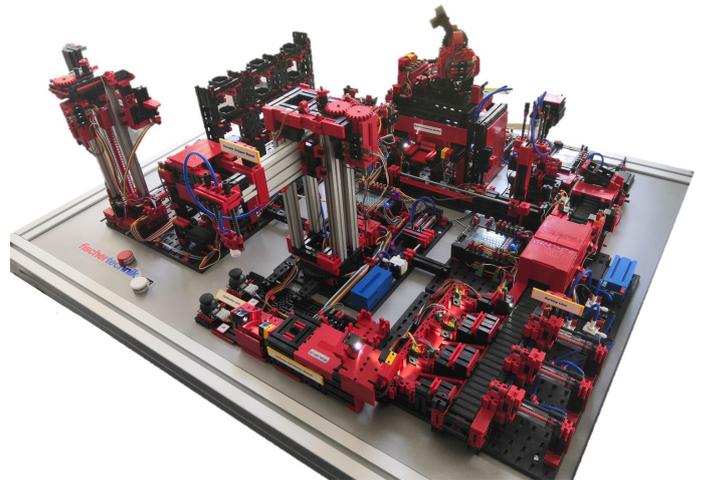
M.Sc. Kevin Gutzeit | E-Mail: kevin.gutzeit@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 – 3472

**Die Digitale Transformation der Produktion – Eine Lernfabrik
Projekt zur Förderung innovativer Lehre gestartet**

In der digitalen Transformation, müssen sich produzierende Unternehmen mit neuen Themen wie Digitalen Zwillingen und Maschinellem Lernen, den „Key Enablers“ der Digitalen Transformation, befassen. Oftmals fehlen jedoch aktuell angehenden Ingenieurinnen und Ingenieuren die entsprechenden Kompetenzen, da in der universitären, produktionswissenschaftlichen Lehre diese Themen meist nur konzeptionell und nicht praxisorientiert vermittelt werden können. An dieser Stelle setzt das gestartete Projekt zur innovativen Lehre an. Hierbei ist es zum einen möglich, den Studierenden einzelne Kompetenzen in den Themengebieten zu vermitteln, zum anderen schafft das Projekt auch Freiräume in Teamarbeit gemeinsam Kompetenzen zu entwickeln. Grundlage des Projekts ist ein realitätsgetreues digitalisiertes Produktionsmodell, welches sich aus einer Vielzahl verknüpfter Anlagenmodule zusammensetzt.

Kontakt

M.Sc. Patrick Kölsch
E-Mail: patrick.koelsch@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 – 3224

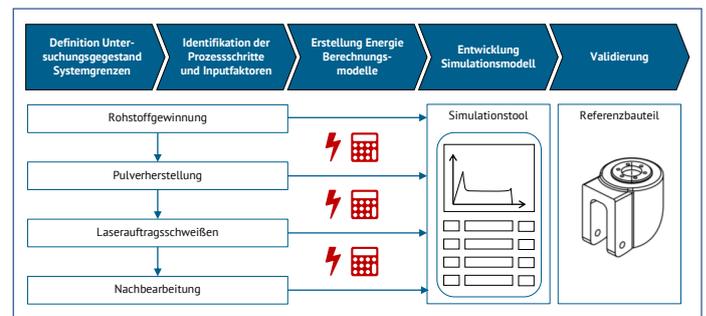


Modellfabrik

**Projekt des IRTG2057: Kumulierter Energiebedarf beim Laserauftragsschweißen
Entwicklung eines Simulationsansatzes zur Energiebedarfsbestimmung**

Die additive Fertigung bezeichnet Fertigungsverfahren, bei denen Bauteile durch schichtweisen Materialauftrag hergestellt werden. Dies ermöglicht eine endkonturennahe Gestaltung, sodass in der Nachbearbeitung nur wenig Material abgetragen werden muss. Durch die Option zur topologischen Optimierung sowie zum Leichtbau können weitere Materialeinsparungen erzielt werden. Aus diesen Gründen wird die additive Fertigung gemeinhin als besonders ressourceneffiziente Technologie bezeichnet. Diese Ressourceneffizienz steht jedoch in Kontrast zum Energiebedarf, da Untersuchungen zeigen, dass der spezifische Energiebedarf der additiven Fertigung größer ist, als der von bereits etablierten wie beispielsweise spanenden Verfahren. Der Energiebedarf eines additiv gefertigten Bauteils hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab und eine alleinige Betrachtung des additiven Fertigungsprozesses, ohne Berücksichtigung von vorgelagerten Prozessen oder der Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen, ist zu umfassenden energetischen Beurteilung der Technologie nicht ausreichend. Das Ziel eines Teilprojekts der International Research Training Group (IRTG) 2057 ist daher die Quantifizierung des kumulierten Primärenergiebedarfs und die Entwicklung eines Simulationsmodells zur Energiebedarfsvorhersage für das additive Fertigungsverfahren Laserauftragsschweißen. Dieses Verfahren bietet aufgrund seiner verkürzten Produktionszeit Vorteile gegenüber anderen metallbasierten additiven Fertigungsverfahren und besitzt somit großes Potenzial für die Industrie. Beim Laserauftragsschweißen schmilzt ein Laser das zu fertigende Werkstück lokal auf. In dieses Schmelzbad wird kontinuierlich Material als Draht oder Pulver zugeführt, das dadurch direkt mit dem Werkstück verschmilzt. Die in diesem Projekt gewählte Systemgrenze zur Quantifizierung des Primärenergiebedarfs umfasst die Rohstoffgewinnung, die Pulverherstellung, das Laserauftragsschweißen, die Nachbearbeitung sowie den Transport zwischen den Prozessschritten und erfolgt somit von „Cradle to Gate“ also von der Wiege bis zum fertigen Bauteil am Werkstor. Die Nutzungsphasen von additiv gefertigten Bauteilen sind dagegen zu unterschiedlich, um die potenziellen Energieeinsparungen in einem allgemeingültigen Modell

zu simulieren. Zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs ist es zunächst notwendig, die gesamte Prozesskette in ihre einzelnen Arbeitsschritte zu unterteilen und die dazugehörigen Systeme sowie energierelevanten Inputfaktoren, beispielsweise Strom und fossile Brennstoffe, und deren Abhängigkeiten zu identifizieren. Für diese Eingangsgrößen werden anschließend auf Basis eigener Erhebungen, physikalischer Gesetzmäßigkeiten oder bereits existierender Daten Berechnungsmodelle abgeleitet. Darauf aufbauend wird das Simulationsmodell auf Softwarebasis entwickelt. Die Aussagekraft des Simulationsmodells wird abschließend anhand eines Referenzbauteils validiert und beurteilt. Auf Grundlage des Simulationsmodells können besonders energieintensive Prozessschritte oder fertigungstechnische Faktoren identifiziert werden, wodurch gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz des gesamten Fertigungsprozesses abgeleitet werden können.



Projektstruktur zur Ermittlung des Energiebedarfs beim Laserauftragsschweißen

Kontakt

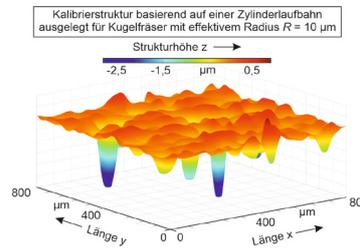
M.Sc. Svenja Ehmsen
E-Mail: svenja.ehmsen@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 – 5448

Projekt im SFB 926 erfolgreich beendet

Auslegung und Fertigung flächenhafter Kalibriernormale auf Basis realer Bauteiloberflächen

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 926 wurde das Transferprojekt T03 mit dem Titel „Auslegung und Fertigung flächenhafter Kalibriernormale auf Basis realer Bauteiloberflächen“ erfolgreich abgeschlossen. Das Projekt wurde gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik (TU Kaiserslautern) und den Anwendungspartnern OptoSurf GmbH, JE-NOPTIK Industrial Metrology Germany GmbH, LT Ultra-Precision Technology GmbH und Matzdorf GmbH bearbeitet. Um die Messunsicherheit eines Messgeräts abzuschätzen und um die Messgröße auf eine Basiseinheit zurückführen zu können, werden Messgeräte kalibriert. Optische Messgeräte zur Topographiemessung wurden bisher mit Hilfe flächenhafter Kalibriernormale kalibriert, welche künstliche Oberflächen aufweisen. Diese künstlichen Oberflächen weichen teilweise stark von der späteren Messaufgabe ab. Ziel des Projekts war es deshalb Kalibriernormale auszulegen sowie zu fertigen, welche Strukturen aufweisen, die nahe an der späteren Messaufgabe des Messgeräts liegen. Dazu wurden Funktionsoberflächen, wie beispielsweise Zylinderlaufbahnen und Kettenbolzen, optisch gemessen und die resultierende Topographie nach der Messung derart transformiert, dass sie definierte Oberflächenkenngrößen aufweist. Diese transformierte Topographie kann für die Kalibrierung herangezogen werden. Als Fertigungsverfahren wurde Mikrofräsen mit Mikrokugelfräsern angewandt. Der Mikrofräsprozess wurde für unterschiedliche Kugelfräser ausgelegt, welche abhängig von ihrem effektiven Radius eine unterschiedliche minimale Strukturgröße der Kalibriernormale erlauben. Im Rahmen der experimentellen Auslegung wurde eine Vielzahl von Prozessparametern

untersucht. Dabei wurden sowohl Schnittparameter, wie beispielsweise der Vorschub pro Zahn oder die Drehzahl, als auch Parameter die mit der Diskretisierung des Steuerdatensatzes (NC-Code) einhergehen, untersucht. Durch die



Neuartige Kalibrierstruktur basierend auf einer Zylinderlaufbahn

experimentelle Auslegung wurden stochastische Störgrößen auf das Prozessergebnis so weit minimiert, dass die Wiederholgenauigkeit bei einer Fertigung von vier gleichen Kalibriernormale mit denselben Prozessparametern im einstelligen Nanometerbereich für die integralen Oberflächenkenngrößen lag. Mithilfe des ausgelegten Mikrofräsprozesses wurden anschließend die neuartigen Kalibriernormale gefertigt, welche auf realen Bauteiloberflächen basieren. Im Rahmen des Projekts wurde gezeigt, dass dieses Vorgehen für unterschiedliche Kalibriernormale und unterschiedliche Kugelfräser erfolgreich durchführbar ist und sich an die jeweilige Kalibrieraufgabe anpassen lässt.

Kontakt

Dipl.-Ing. Katja Klauer
E-Mail: katja.klauer@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 – 3386

3D-Druck von Corona-Schutzmasken

FBK leistet Beitrag zum Kampf gegen das Coronavirus in Rheinland-Pfalz

Um die Ausbreitung der Corona-Epidemie zu bekämpfen, hat FBK für das medizinische Personal im Westpfalz-Klinikum und für mehrere Arztpraxen Schutzmasken per 3D-Druck hergestellt. Dies war eine Reaktion auf die zu-

nehmende Knappheit an Schutzausrüstung, wodurch sich das Infektionsrisiko für Ärzte und Pflegepersonal erhöht hatte. Im Zuge der Epidemie stieg die Nachfrage nach Masken und anderen Hilfsmitteln für viele Gesundheitsfachkräfte stark an. Die Masken wurden mit dem Verfahren des Fused Deposition Modeling (FDM) gefertigt, wodurch eine schnelle und kostengünstige Herstellung ermöglicht wurde. Durch den Einsatz des 3D-Druckes konnten die Masken schnell und zuverlässig hergestellt werden, wodurch Zeit und Kosten gespart und der Kampf gegen das Coronavirus in Rheinland-Pfalz unterstützt wurde.



3D gedruckte Schutzmasken gegen das Coronavirus am FBK

Kontakt

M.Sc. Li Yi
E-Mail: li.yi@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 – 3369

Neuer Mitarbeiter



Marc Schmidt arbeitet seit Mai als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich der additiven Fertigung.

Ausgewählte Veröffentlichungen

P. Kölsch, J.C. Aurich: Innovative Serviceprodukte für individualisierte, verfügbarkeitsorientierte Geschäftsmodelle. Entwicklung datenbasierter Produkt-Service Systeme - Ein Ansatz zur Realisierung verfügbarkeitsorientierter Geschäftsmodelle (2019): S. 1-3.

L. Böhme, A. Hebestreit, S. Kieren-Ehse, M. Bohley, B. Kirsch, J.C. Aurich, E. Kerscher: Präparation dünner Stege zur Bestimmung der kristallographischen Orientierung und deren Einfluss bei der Zerspannung von Reintitan auf der Mikroskala. Fortschritte in der Metallographie 53 (2019): S. 143-148.

B. Blinn, F. Krebs, M. Ley, C. Gläßner, M. Smaga, J.C. Aurich, R. Teutsch, T. Beck: Influence of the Chemical Composition of the Used Powder on the Fatigue Behavior of Additively Manufactured Materials. Metals 9/12 (2019).

P.A. Arrabiyeh, D. Setti, S. Basten, B. Kirsch, J.C. Aurich: Micro grinding 16MnCr5 hardened steel using micro pencil grinding tools with diameters ~50 µm. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology (2019).

K. Klauer, M. Eifler, B. Kirsch, J. Seewig, J.C. Aurich: Ball end micro milling of areal material measures: influence of the tilt angle on the resulting surface topography. Production Engineering – Research and Development (2019).

C. Gläßner, L. Yi, J.C. Aurich: Qualitätsmanagement in hybriden additiv-subtraktiven Prozessketten - Ein regelkreisbasiertes Konzept. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 114/7-8 (2019): S. 435-439.

D. Weber, B. Kirsch, C.R. D'Elia, B.S. Linke, M.R. Hill, J.C. Aurich: Concept to analyze residual stresses in milled thin walled monolithic aluminum components and their effect on part distortion. Production at the leading edge of technology - Proceedings of the 9th Congress of the German Academic Association for Production Technology (2019): S. 287-296.

S. Greco, A. Lange, B. Kirsch, J.C. Aurich: Simulation-based design of an ultrasonic-assisted air bearing spindle for micro machining. Procedia CIRP 82 - Proceedings of the 17th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (2019): S. 160-165.

Herausgeber

Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation
Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich

Kontakt

Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation
Technische Universität Kaiserslautern
Postfach 3049
67653 Kaiserslautern

E-Mail: fbk@mv.uni-kl.de Tel.: 0631 205 - 2618
Internet: www.fbk-kl.de Fax: 0631 205 - 3238

Zu allen Veranstaltungen, Veröffentlichungen und Projekten erhalten Sie neben den angegebenen Quellen Informationen beim Herausgeber.

Der Infobrief ist auch in elektronischer Form als PDF-Datei über die Internet-Seiten des FBK erhältlich. Dort kann der Infobrief ebenfalls abonniert werden.

ISSN 1615-2492