MASCHINENBAU UND VERFAHRENSTECHNIK

INFOBRIEF *Ausgabe 68/22*

FBK Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation Kaiserslautern

In dieser Ausgabe:

Projekt zur Steigerung der Resilienz von Produktionssystemen gestartet
Erhöhung der Resilienz von Produktionssystemen durch den Transfer von Methoden aus dem Maschinellen Lernen 2

DFG- uns FAPESP-finanziertes Kooperationsprojekt erfolgreich gestartet
Erweiterung der Möglichkeiten des kryogenen Schleifens 2

Erfolgreicher Projektabschluss im Sonderforschungsbereich 926: Assoziiertes Projekt µKerWe
Entwicklung und Untersuchung vollkeramischer Mikrofräswerkzeuge mit Durchmesser ⩽ 50 µm 3

5G-Vernetzungsveranstaltung am FBK durchgeführt
Branchenvertreter und Experten aus Wissenschaft treffen sich in Kaiserslautern 4

EXIST-Gründerstipendium am FBK gestartet
Ausgründung des FBK nimmt den CO_2-Fußabdruck von Produkten ins Visier 4

Deutsch-Brasilianische Jahreskonferenz von DFG und CAPES
Geförderte Projekte zum Thema Industrie 4.0 präsentieren ihre Fortschritte 4

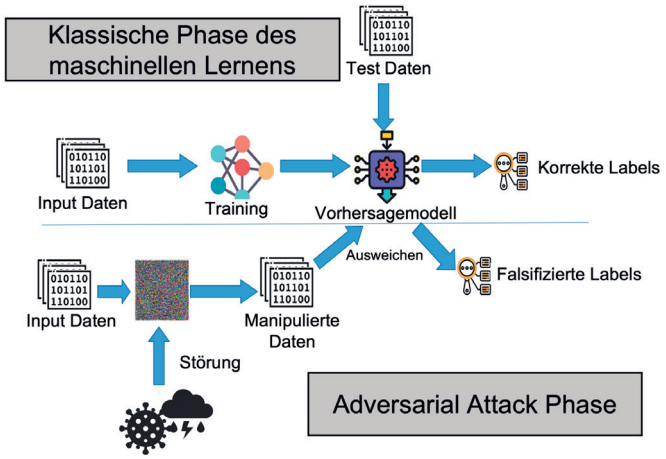
Ausgewählte Veröffentlichungen 4

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Projekt zur Steigerung der Resilienz von Produktionssystemen gestartet

Erhöhung der Resilienz von Produktionssystemen durch den Transfer von Methoden aus dem Maschinellen Lernen

Die COVID-19-Pandemie hat durch unterbrochene Lieferketten, krankheits- oder quarantänebedingte Personalausfälle und kurzfristig stark veränderte Auftragslagen zu zahlreichen Einschränkungen für die industrielle Produktion geführt. Darüber hinaus prägen plötzliche Störungen wie politische Krisen oder Rohstoffverknappungen zunehmend die Situation der Hersteller. Für die ökonomische Aufrechterhaltung des Produktionsbetriebs ist es daher entscheidend, wie gut die Unternehmen auf externe Störeinflüsse vorbereitet sind. Resilienz von Produktionssystemen bezeichnet hierbei die Fähigkeit mit solchen extremen Situationen umzugehen. Aufgrund der zunehmenden globalen Vernetzung und der komplexen Umgebung moderner Produktionssysteme gestaltet sich die Prognose von Störungen und die rechtzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen zunehmend schwieriger. Das aus Mitteln des Rheinland-Pfälzischen Sondervermögens zur nachhaltigen Bewältigung der Corona-Pandemie geförderte Projekt "Increasing resilience of manufacturing systems through cross-domain application of machine learning resilience methods" (Erhöhung der Resilienz von Produktionssystemen durch interdisziplinäre Anwendung von resilienzsteigernden Methoden des maschinellen Lernens (ML)) untersucht neue Möglichkeiten die Resilienz in Produktionssystemen zu erhöhen. Hierbei liegt der Fokus auf dem Transfer von Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz von ML-Modellen (insbesondere Adversarial Attacks) auf Produktionssysteme. Die Resilienz eines ML-Modells wird als dessen Fähigkeit definiert, sich selbst vor falschen Vorhersagen zu schützen. Durch den Transfer der Methoden werden somit Erkenntnisse über die Robustheit realer Produktionssysteme erlangt. Hierzu wird zunächst das Verhalten eines Produktionssystem durch ein ML-Modell nachempfunden. Anschließend wird das Konzept der Adversarial Attacks, welches auf einer systematischen Manipulation der Eingangsdaten mit dem Ziel dessen Vorhersagen sukzessive zu täuschen beruht, angewandt. Die Manipulationen werden über zuvor definierte Produktionsparameter gesteuert und mittels Methoden des unüberwachten Lernens (z.B. AutoEncoder) und Reinforcement Learning (RL) erzeugt. Die Auswertung dieser Modelle erlaubt Rückschlüsse auf die Resilienz des komplexen Systems.



Unterbrechungen des Produktionssystems, modelliert als Adverserial Attacks

Zunächst wird hierbei in eine Planungsphase, die strategische und somit langfristige Einflüsse betrachtet, und eine Betriebsphase, mit kurzfristigen Einflüssen, unterschieden. Für jede dieser Phasen werden zunächst anwendungsnahe Szenarien eines Produktionssystems simuliert, welche die Datengrundlage für die späteren ML-Modelle bilden. Die ML-Modelle sollen hierbei das hohe Maß an Nichtlinearität, durch stark vernetzte Lieferketten und komplexe Steuerungsstrukturen in heutigen Produktionsprozessen abbilden. Die formale Beschreibung dieser Szenarien eines Produktionssystems unter Berücksichtigung aller notwendigen Einflussfaktoren stellt hierbei die größte Herausforderung dar. Im Rahmen des Projekts wird daher ein Produktionssystem als eine Funktion seiner Entscheidungsvariablen und seiner Abläufe modelliert. Hierzu werden die Entscheidungsvariablen, die in der Produktionsplanung und -steuerung eines Produktionssystems verwendet werden, nach dem Zeitrahmen ihrer Gültigkeit unterteilt. Langfristige Entscheidungsvariablen wie der Standort, die Lieferanten, der Ressourcenbedarf, der Energiebedarf, der Personalbedarf und die Art des Produktionssystems werden für die Planungsphase herangezogen, während die kurzfristigen Variablen wie die Verfügbarkeiten, die Ausfallzeiten, die vorausschauenden Instandhaltung und andere Betriebskontrollstrategien für die Betriebsphase gelten. Mittels der zuvor definierten anwendungsnahen Simulationen in unterschiedlichen Produktionsszenarien werden Leistungsindikatoren wie die Produktionsmenge in Abhängigkeit der Planungs- und Betriebsvariablen ermittelt. Ein multimodales neuronales Netz lernt nun auf Basis dieser Eingangsdaten die notwendigen Operationen und Zustände im Produktionssystem. Anschließend wird das trainierte ML-Modell einer Belastungsprobe in Anlehnung an das Konzept der Adversarial Attacks unterzogen, um schließlich die Robustheit und Resilienz einzelner Zustände und Operationen im Produktionssystem zu bewerten und Gegenmaßnahmen abzuleiten.

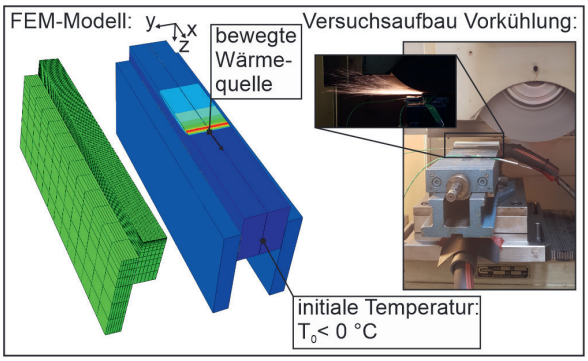
Kontakt
Dr.-Ing. Patrick Ruediger-Flore
E-Mail: patrick.ruediger@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 4282

DFG- und FAPESP-finanziertes Kooperationsprojekt erfolgreich gestartet

Erweiterung der Möglichkeiten des kryogenen Schleifens

Schleifen wird häufig als Endbearbeitungsverfahren eingesetzt. Dabei kommen Kühlschmierstoffe (KSS) zum Einsatz, um hitzebedingte Probleme wie Oberflächenrisse, Schleifbrand und Zugeigenspannungen zu minimieren und somit die Qualität des erzeugten Werkstücks zu garantieren. Allerdings bilden Filtration, Recycling und Entsorgung von KSS erhebliche Kostenfaktoren. Eine Alternative zu konventionellen KSS ist die kryogene Prozesskühlung. Aufgrund des inerten Charakters und der sofortigen Verdampfung der Kryogene aus der Arbeitsumgebung entfallen die Kosten für Recycling und Entsorgung. Typische Kryogene liegen in der Regel in Form von Flüssiggasen vor, wie z.B. Flüssigstickstoff (LN2), Sauerstoff, Helium, Methan, Ethan und Argon in Bereichen unter -160 °C. In der Zerspanungstechnologie werden jedoch auch Temperaturen oberhalb dieser Grenze, z.B. die Verwendung von flüssigem und/oder festem Kohlenstoffdioxid (CO_2) und sogar gekühlte Luft bei niedriger Temperatur, als Kryogene betrachtet. Im Allgemeinen kann die kryogene Prozesskühlung bezüglich ihrer Zufuhrmethode in drei Varianten unterteilt werden: Vorkühlung der Werkstücke, In-situ-Teilvorkühlung und die Direktkühlung. Bei der Vorkühlung werden die Werkstücke vor dem Schleifprozess gekühlt, z.B. durch Eintauchen in flüssigem LN2. Bei der In-situ-Teilvorkühlung wird die zu bearbeitende Oberfläche durch einen LN2- oder CO_2-Strahl unmittelbar vor der Bearbeitung in der Maschine gekühlt. Bei der Direktkühlung wird das Kryogen durch Düsen während des Schleifprozesses direkt in die Schnittzone eingebracht. Allerdings hängt die Effizienz des kryogenen Schleifens, insbesondere der Vorkühlung, von der Werkstückdimension ab, da die tiefkalten Temperaturen über die gesamte Bearbeitungsdauer im Werkstück verweilen müssen. Dabei gilt: Je größer die Werkstückoberfläche im Bezug zum -volumen ist, desto schneller erwärmt sich ein auf tiefkalte Temperaturen gekühltes Werkstück durch Wärmeabgabe mittels Konvektion.

Im Kooperationsprojekt „Erweiterung der Möglichkeiten des kryogenen Schleifens“ mit dem Laboratory for Advanced Processes and Sustainability (LAPRAS) der Universität in São Paulo werden sowohl experimentelle als auch simulative Untersuchungen durchgeführt, um die Vor- und Nachteile des kryogenen Schleifens mit einem breiten Spektrum von Variablen zu ermitteln. Dabei werden der Schleifprozesses, die Kühlstrategien, die Werkstückgeometrie und die Bearbeitungsparameter variiert. Dadurch sollen umfassende Kenntnisse über die Möglichkeiten der kryogenen Kühlung beim Schleifen gewonnen werden.



Kryogenes Schleifen

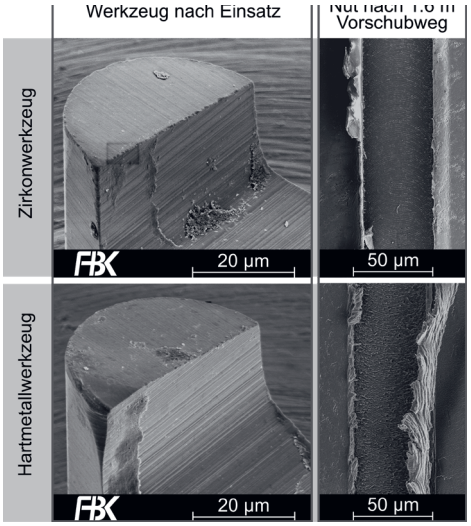
Die deutsche Forschungsgruppe untersucht das Flachschleifen, während die brasilianische den Schwerpunkt auf das Außenrundeinstechschleifen legt. Zur Untersuchung der geeigneten Kühlstrategien werden beide Forschungsgruppen gemeinsam Auswahlkriterien und Simulationen auf der Grundlage der Werkstückgeometrie, der thermischen Eigenschaften der Schleifscheibe und des Werkstücks entwickeln. Dabei eignen sich insbesondere dreidimensionale Wärmeübergangssimulationen auf Grundlage der finiten Elemente Methode (FEM). Diese bieten die Möglichkeit die Temperaturentwicklung im Werkstück sowohl zeitlichen als auch örtlich abzubilden. Die für die Simulation benötigten Randbedingungen, wie z.B. der temperaturabhängige konvektive Wärmeübertragungskoeffizient, werden experimentell ermittelt. Dadurch kann in Zukunft basierend auf der Werkstückgeometrie und den Bearbeitungsparametern die passende kryogene Kühlmethode vor dem eigentlichen Schleifprozess bestimmt werden. Neben dem zu erzielenden wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn, ist ein interkultureller Austausch durch verschiedene Forschungsaufenthalte zu erwarten, welcher die Brasilianisch-Deutsche kollaborative Zusammenarbeit weiter stärkt.

Kontakt
Dipl.-Ing. Daniel Weber
E-Mail: daniel.weber@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 – 5911

Erfolgreicher Projektabschluss im Sonderforschungsbereich 926: Assoziiertes Projekt µKerWe

Entwicklung und Untersuchung vollkeramischer Mikrofräswerkzeuge mit Durchmesser ≤ 50 µm

Der Werkzeugverschleiß ist aufgrund des hohen Belastungskollektivs und den auftretenden Größeneffekten beim Mikrofräsen in vielen Fällen ein limitierender Faktor bei der Herstellung komplexer bzw. großflächiger Strukturen. Bisher werden für Mikrofräswerkzeuge mit einem Durchmesser kleiner 200 µm Ultrafeinstkornhartmetalle eingesetzt. In der konventionellen Zerspanung hat sich gezeigt, dass technische Keramiken als Schneidstoff in der Lage sind den Werkzeugverschleiß deutlich zu reduzieren, und die im Prozess einsetzbare Schnittgeschwindigkeit dabei deutlich zu erhöhen. Für Anwendungen in der Mikrozerspanung mit Werkzeugdurchmessern im Bereich von 50 µm und kleiner sind keramische Substrate bisher jedoch noch nicht erforscht und werden nicht eingesetzt. Aufgrund der hervorragenden physikalischen Eigenschaften von technischer Keramik und der Verfügbarkeit von Substraten mit sehr geringen Korngrößen, welche für scharfe Mikrowerkzeuge erforderlich sind, kann jedoch analog zur konventionellen Zerspanung ein verringerter Verschleiß beim Einsatz von vollkeramischen Mikrofräsern erwartet werden.



Mikrofräswerkzeug aus teilstabilisiertem Zirkonoxid und Hartmetall nach dem Einsatz in PMMA

Das Ziel dieses Forschungsprojekts war die erstmalige Entwicklung und Anwendung solcher keramischer Mikrofräswerkzeuge. Hierzu wurden zunächst vier Keramiksorten anhand ihrer Korngröße und mechanischer Belastbarkeit als mögliche Substrate identifiziert: Aluminiumoxid, zirkonverstärktes Aluminiumoxid, teilstabilisiertes Zirkonoxid und Siliziumnitrid. Zum Schleifen von Mikrofräswerkzeugen aus den Keramikrohlingen wurde eine spezielle Schleifeinheit aufgebaut, welche im Vergleich zum Schleifen von Hartmetallwerkzeugen mit einer robusteren Schleifspindel mit höherer Antriebsleistung, einem Minimalmengenschmiersystem und einer in den Schleifprozess integrierten Abrichtvorrichtung ausgestattet wurde. Weiter wurde die Reihenfolge der Bearbeitungsschritte im NC-Schleifprogramm auf die Keramiksubstrate angepasst.

Mit dieser angepassten Schleifeinheit konnten vollkeramische Mikrofräser prozesssicher hergestellt werden, welche anschließend in Mikrofräsexperimenten eingesetzt wurden. Dabei wurde das teilstabilisierte Zirkonoxid als am besten geeignetes Substrat identifiziert. Die daraus hergestellten Werkzeuge verfügten über scharfe Schneiden und wenig bis keine Defekte, zeigten im Einsatz den geringsten Verschleiß, und konnten die qualitativ besten Mikrostrukturen herstellen. Auf Basis dieser Ergebnisse fand eine Einsatzbewertung der Zirkonwerkzeuge (D = 50 µm) im Vergleich zu Hartmetallwerkzeugen in verschiedenen Werkstoffen statt. Dabei konnte bspw. beim Mikrofräsen des Thermoplasts PMMA (Polymethylmethacrylate) ein deutlich reduzierter Werkzeugverschleiß erreicht werden, der mit verbesserten Oberflächenrauheiten der mikrogefrästen Strukturen einherging. Die Abbildung zeigt die verwendeten Werkzeuge nach den Frässversuchen im Detail, wobei der geringere Verschleiß der Keramikwerkzeuge gut zu erkennen ist. Die Übertragung der höheren Verschleißbeständigkeit keramischer Werkzeuge aus der Makrozerspanung konnte somit bei der Mikrobearbeitung von PMMA gezeigt werden.

In weiteren Untersuchungen wurden zudem die Chargenunterschiede der Keramikrohlinge bei verschiedenen Herstellern betrachtet, sowie Parameterstudien durchgeführt. Abhängig vom Zulieferer bzw. deren Sinterprozess konnten um bis zu 250% schärfere Werkzeuge hergestellt werden. Weiter konnten mit höheren Vorschubgeschwindigkeiten der Verschleiß um bis zu 50% reduziert werden sowie die Oberflächenqualität der mikrogefrästen Strukturen verbessert werden. Die Verwendung keramischer Werkzeugsubstrate bietet somit auch in der Mikrozerspanung Potential zur Verschleißreduktion sowie zur Steigerung der Produktivität.

Kontakt
Dipl.-Ing. Tobias Mayer
E-Mail: tobias.mayer@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 – 3473

5G-Vernetzungsveranstaltung am FBK durchgeführt

Branchenvertreter und Experten aus Wissenschaft treffen sich in Kaiserslautern

Präsentation der 5G-fähigen CNC Fräse mit anschließender Diskussion

Am 14. und 15. Juni trafen sich an der TU Kaiserslautern etwa 160 Experten, die im Rahmen des 5G-Innovationsprogrammes des Bundeministeriums für Digitales und Verkehr gemeinsam Anwendungsfälle von 5G erforschen. 5G ermöglicht hohe Datenraten, eine hohe Anzahl vernetzter Geräte sowie eine geringe Latenz bei hoher Verfügbarkeit, wodurch neue industrielle Anwendungsfälle erschlossen werden. Bei der Veranstaltung wurde innerhalb von Vorträgen und Workshops die 5G-Mobilfunktechnologie, Implikationen für die industrielle Anwendung sowie die neusten Forschungsergebnisse hinsichtlich der Leistungsfähigkeit von 5G dargelegt. Teil der Veranstaltung war die Präsentation der an der TU Kaiserslautern erforschten Anwendungsfälle. Hierzu gehört der am FBK entwickelte Demonstrator zur echtzeitfähigen Steuerung und -überwachung einer dreiachsigen CNC Fräsmaschine mittels 5G.

Kontakt
M.Sc. Jan Mertes
E-Mail: jan.mertes@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 4306

EXIST-Gründerstipendium am FBK gestartet

Ausgründung des FBK nimmt den CO_2-Fußabdruck von Produkten ins Visier

In welchem Maße fallen CO_2-Emissionen bei der Herstellung von Produkten an? Hierbei handelt es sich um eine zunehmend wichtige Frage, die es für produzierende Unternehmen aufgrund von Kundenwünschen und politischen Regulatorien zeitnah zu beantworten gilt. Mit dieser Fragestellung befassen sich Mitarbeitende des FBK schon länger, denn das Thema Nachhaltigkeit in der Produktion ist Forschungsfeld am FBK. Erkenntnisse aus diesem Bereich führten 2022 zu einer Ausgründung. Die ehemaligen FBK-Mitarbeiter Lucas Hartmann und Patrick Kölsch erhielten im April 2022 mit ihren Kollegen Viktor Schiller und Alexander David die Bewilligung eines EXIST-Gründerstipendiums. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz fördert das Vorhaben bis März 2023, welches durch das Mentoring von Prof. Aurich eng mit dem Lehrstuhl verbunden ist. In ihrem Startup mit dem Namen greenable entwickeln die Gründer eine Software, um produzierenden Unternehmen die Erstellung des produktspezifischen CO2-Fußabdrucks zu ermöglichen. Die Software wird einfach zu bedienen sein, schnell belastbare Ergebnisse liefern und durch externe Prüfeinrichtungen zertifiziert werden. Zur kundenorientierten Entwicklung ist das Startup auf der Suche nach Unternehmen, die die Software in der Praxis testen. Ziel des Startups ist es, die Software Mitte 2023 am Markt anzubieten. Sie möchten die Software in Ihrem Unternehmen testen? Dann kommen Sie gerne auf uns zu.

Greenable Team: Alexander David, Lucas Hartmann, Viktor Schiller, Patrick Kölsch (v.l.n.r.)

Kontakt
Dr.-Ing. Patrick Kölsch
E-Mail: info@greenable.tech
Telefon: 0631 34377690

Deutsch-Brasilianische Jahreskonferenz von DFG und CAPES

Geförderte Projekte zum Thema Industrie 4.0 präsentieren ihre Fortschritte

Teilnehmer des Deutsch-Brasilianischen Jahrestreffens

Am 6. und 7. Oktober 2022 richtete der FBK das deutsch-brasilianische Jahrestreffen des internationalen Forschungsprogramms „Smart Connected Manufacturing" aus. Das Forschungsprogramm initiierte die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und die brasilianische Initiative zur Förderung von Ausbildungen (CAPES). In den letzten zwei Jahren fanden die Jahrestreffen virtuell statt. Unterstützt durch Impulse aus der Industrie und Vorführungen im Versuchsfeld des FBK mündete das diesjährige Präsenztreffen in einem intensiven wissenschaftlichen Austausch. Als Rahmenprogramm fand eine Führung durch die unterirdischen Gänge von Kaiserslautern sowie eine Abendveranstaltung im Pfalzgrafensaal statt. Teilnehmer waren u. a. der Oberbürgermeister von Kaiserslautern, Herr Dr. Weichel, und der Vizepräsident für Forschung und Technologie der TUK, Herr Prof. Dr. Thiel.

Kontakt
M.Sc. Pascal Langlotz
E-Mail: pascal.langlotz@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 4225

Ausgewählte Veröffentlichungen

J. Mertes, D. Lindenschmitt, M. Amirrezai, N. Tashakor, M. Glatt, C. Schellenberger, S.M. Shah, A. Karnoub, C. Hobelsberger, L. Yi, S. Götz, J.C. Aurich, H.D. Schotten: *Evaluation of 5G-capable framework for highly mobile, scalable human-machine interfaces in cyber-physical production systems. Journal of Manufacturing Systems 64 (2022): S. 578-593.*

J. Hartig, B. Kirsch, J.C. Aurich: *Analysis of the grinding wheel wear and machining result during cutting edge preparation with elastic bonded grinding wheels. Journal of Manufacturing Processes 75 (2022): S. 181-202.*

L. Yi, P. Langlotz, M. Hussong, M. Glatt, F. J. P. Sousa, J. C. Aurich: *An integrated energy management system using double deep Q-learning and energy storage equipment to reduce energy cost in manufacturing under real-time pricing condition: A case study of scale-model factory. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 38 (2022): S. 844-860.*

J. Platz, M. Schmidt, K. Gutzeit, B. Kirsch, J.C. Aurich: *Additive Fertigung von 17-4 PH Edelstahl durch Hochgeschwindigkeitslaserauftragschweißen. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 117/7-8 (2022): S. 456-460.*

M. Klar, M. Hussong, P. Ruediger, L. Yi, M. Glatt, J.C. Aurich: *Scalability investigation of Double Deep Q Learning for factory layout planning. Procedia CIRP 107 - Proceedings of the 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems (2022): S.161-166*

K. Gutzeit, G. Bulun, G. Stelzer, B. Kirsch, J. Seewig, J.C. Aurich: *Investigation of the surface integrity when cryogenic milling of Ti-6Al-4V using a sub-zero metalworking fluid. Procedia CIRP 108 – Proceedings of the 6th CIRP Conference on Surface Integrity (2022): S. 25-30.*

P. Langlotz, M. Klar, L. Yi, M. Hussong, F. Sousa, J.C. Aurich: *Concept of hybrid modeled digital twins and its application for an energy management of manufacturing systems. Procedia CIRP 112 - Proceedings of the 15th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (2022): S. 549-554*

T. Mayer, S. Kieren-Ehses, B. Kirsch, J.C. Aurich: *Micro milling of brass and commercially pure titanium with all-ceramic micro end mills made from four different ceramic tool substrates. Proceedings of the 22nd euspen International Conference (2022): S. 455-458.*

J. Hartig, B. Kirsch, S. Diederichs, E. Kerscher, Jan C. Aurich: *Entwicklung von PVD-Schutzschichten zur Leistungssteigerung galvanisch gebundener Hochleistungsschleifscheiben. Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren - Verfahren und Maschinen 70 (2022): S. 148-165.*

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