



(v.l.n.r.) Holger Basten, Geschäftsführer des Landesbetriebs Liegenschafts- und Baubetreuung; Prof. Martin Aeschlimann, wissenschaftlicher Sprecher LASE; MP Alexander Schweitzer; Prof. Malte Drescher, Präsident der RPTU; Prof. Jan Aurich, wissenschaftlicher Sprecher LPME; Ministerialdirektorin Katharina Heil.
Foto: Reiner Voß / view / RPTU

TU RP | FBK INFOBRIEF

LEHRSTUHL FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND BETRIEBSORGANISATION

Forschungsbau LPME

Laboratory for Ultra-Precision and Micro Engineering (LPME) eingeweiht

Am 6. Dezember 2024 war es so weit. Der Forschungsbau LPME wurde offiziell eingeweiht. Unter den Gästen waren der Ministerpräsident des Landes Rheinland-Pfalz Alexander Schweitzer, der Präsident der RPTU Kaiserslautern-Landau Malte Drescher und der Geschäftsführer des Landesbetriebs für Liegenschafts- und Baubetreuung Holger Basten. Im Anschluss an die Grußworte und Reden sammelten die Gäste Einblicke in unsere Forschung zum Mikrofräsen und zum Einsatz künstlicher Intelligenz in Zerspanungsprozessen. Mit der Einweihungsfeier endet ein neunjähriger Belohnungsaufschub, der 2015 mit dem Vorschlag an das Wissenschaftsministerium des Landes Rheinland-Pfalz für einen Forschungsbau zu Ultrapräzisions- und Mikrotechnologien begann. LPME wurde von 2020–2023 gebaut und Ende Dezember 2023 an die RPTU übergeben. Seit Juni 2024 wird in LPME gearbeitet.

In LPME erforschen zehn Arbeitsgruppen aus Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Informatik und Physik gemeinsam interdisziplinär die Gesetzmäßigkeiten der Ultrapräzisions- und Mikrotechnologien. Sie schaffen damit die Grundlagen für spätere industrielle Anwendungen wie reibungsminimierte Maschinenelemente, individualisierte Mikroprodukte für die Medizintechnik und hochauflösende Optiken. Einen zentralen Bestandteil der Forschung bilden die Ultrapräzisions- und Mikrofertigung, langjährige Forschungsschwerpunkte des FBK. Wir erforschen in LPME Verfahren

zur Mikrostrukturierung von Oberflächen und zur ultrapräzisen Herstellung von Komponenten aus verschiedenen Werkstoffklassen. Alle betrachteten Verfahren haben eines gemeinsam: Sie sind im Bereich der Einzelfertigung anwendbar, besonders geeignet aber für die individualisierte Massenfertigung. Betrachtet werden die spanende Mikro- und Ultrapräzisionsbearbeitung, die Laserablation und die additive Mikrofertigung.

Für die Forschungsarbeiten in LPME wurden vom FBK fünf neue Großgeräte beschafft: ein Rasterelektronenmikroskop, ein ultra-präzises 5-Achs-Bearbeitungszentrum, eine Rundschleifmaschine, eine Mikro-Laserbearbeitungsanlage und eine Anlage zum Laserstrahlschmelzen kleinster Bauteile. Das Rasterelektronenmikroskop wird um eine Mikrofräsapparatur erweitert, um die Spanbildung beim Mikrospanen unter realen Bedingungen beobachten zu können. So können die Spanbildung verstanden und allgemeingültige Modelle für die Spanbildung beim Mikrospanen aufgestellt werden. Mit dem 5-Achs-Bearbeitungszentrum können die Verfahren Mikrofräsen, -schleifen und -bohren sowie erstmals am FBK auch Hobeln umgesetzt werden. Mit dem Hobeln können sehr hohe Oberflächenqualitäten erreicht werden. Zudem ist es mit dem neuen Großgerät möglich, Kombinationen aus verschiedenen spanenden Fertigungsverfahren zu untersuchen, um geometrisch anspruchsvolle Bauteile präzise herstellen zu können. An einer Rundschleifmaschine werden Bau-

teile mit speziell profilierten Schleifscheiben großflächig mikrostrukturiert und untersucht, wie Randzoneneigenschaften schleifend hergestellter Komponenten gezielt positiv für den späteren Einsatz beeinflusst werden können. Die Laserablation mit Pulsdauern im Femto-Sekundenbereich wird an einer Mikro-Laserbearbeitungsanlage realisiert. Die Laserablation wird für die Mikrostrukturierung von Oberflächen genutzt und um Komponenten wie z. B. Werkzeuge für das Mikrofräsen mit spannend nicht herstellbaren Geometrien oder bearbeitbaren Werkstoffen prototypisch herzustellen. Im Bereich der additiven Mikrofertigung wird untersucht, wie Komponenten mit Strukturen mit Auflösungen im zweistelligen axialen und lateralen Mikrometerbereich additiv anforderungsgerecht hergestellt werden können.

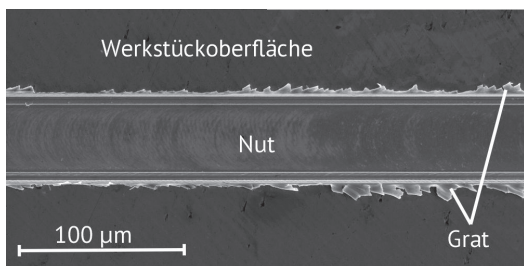
Einen Großteil der LPME-Nutzfläche von 3.266 qm nehmen Labore ein. Die Labore erfüllen überwiegend hohe Anforderungen an die Schwingungsruhe. Zudem sind die Labore temperatur- und luftfeuchtigkeitsregelt, um die für die Herstellung und Charakterisierung im Bereich der Mikro- und Ultrapräzisionsbearbeitung erforderlichen laborseitigen Rahmenbedingungen zu gewährleisten. Wir freuen uns auf die gemeinsame Forschung in LPME.

Kontakt

Dr.-Ing. Marco Zimmermann
E-Mail: marco.zimmermann@rptu.de
Telefon: 0631 205-2872

Neues DFG-Projekt im Bereich der Mikrozerspanung gestartet

Untersuchung der Möglichkeiten zur Gratminimierung beim Mikrofräsen



Durch Mikrofräsen erzeugte Nut mit Grat

Durch Mikrofräsen können mikrostrukturierte Oberflächen in verschiedensten Materialien erzeugt werden. Eine mögliche Anwendung für Bauteile mit mikrostrukturierten Oberflächen sind Bioreaktoren, die beispielsweise für das Züchten von Mikroorganismen eingesetzt werden. Die Fertigung derartiger Strukturen ist mit Mikroschafffräsern auf biokompatiblen Materialien wie Reintitan und Edelstahl möglich. Eine Herausforderung bei der Herstellung definierter Mikrostrukturen aus diesen Materialien ist jedoch deren Neigung zur Gratbildung, die aus dem duktilen Verhalten dieser Materialien resultiert. Das nachträgliche Entgraten ist in der Mikrozerspanung zeitaufwendig, kostenintensiv und kann zur Beschädigung der erzeugten Strukturen führen. Aus diesen Gründen empfiehlt sich, bereits im Fräsprozess der Bildung solcher Grate entgegenzuwirken. Grundsätzlich ist bei einer spanenden Bearbeitung eine Reduzierung der Gratbildung durch eine ge-

eignete Wahl der Prozessparameter und eine angepasste Werkzeuggeometrie möglich. Für Werkzeugdurchmesser von 50 µm und weniger sind diese Zusammenhänge bisher noch nicht bekannt. Eine einfache Herunterskalierbarkeit der bei der Zerspanung auftretenden Effekte von größeren auf kleinere Werkzeugdurchmesser ist in der Mikrozerspanung aufgrund von Größeneffekten nicht möglich. Des-

halb ist für kleine Werkzeugdurchmesser die Abhängigkeit der Gratbildung von den Prozessparametern und der Werkzeuggeometrie aus Studien mit größeren Werkzeugen nicht zuverlässig ableitbar. Diese Wissenslücke soll durch das neue Projekt geschlossen werden, in dem Mikrofräser mit Durchmessern von 50 µm verwendet werden. Das sich daraus ergebende Ziel des Projektes ist, geeignete Prozess- und Werkzeugparameter zu identifizieren, mit denen sich die Gratbildung auf Reintitan und Edelstahl für Mikrofräser mit einem Durchmesser von 50 µm minimieren lässt.

Variiert werden der Drallwinkel des Fräasers, der Sturzwinkel der Spindel und die Schnittgeschwindigkeit. Die für die Versuchsreihen benötigten Mikrofräswerkzeuge mit verschiedenen Drallwinkeln werden am FBK in mehreren Schritten durch Schleifprozesse hergestellt. Die Wahl der Drallwinkel wird hierbei durch die Fertigbarkeit an den vorhan-

denen Maschinen begrenzt. Mit den hergestellten Mikrofräsern wird der Einfluss des Drallwinkels, des Sturzwinkels und der Schnittgeschwindigkeit auf die Gratbildung bei der Zerspanung untersucht. Hierzu werden Vollnuten in das jeweilige Material gefräst. Die Nutlängen werden ausreichend kurz gewählt, um einen Einfluss des Werkzeugverschleißes auf das Versuchsergebnis zu minimieren. Zusätzlich wird der Werkzeugverschleiß überwacht. Zur Erfassung der Grate wird eine automatisierbare Messmethodik entwickelt. Eine ansonsten erforderliche manuelle Auswertung ist zu stark anwenderabhängig und führt zu schlecht reproduzierbaren Ergebnissen. Die entwickelte Methodik beinhaltet die 3D-Messung der Gratgeometrie und die Definition von Kenngrößen zu ihrer quantitativen Bewertung. Auf der Grundlage der durchgeführten Versuchsreihen wird am Ende des Projekts ein erweitertes Verständnis davon erlangt, wie sich die Gratbildung durch die Fräsergeometrie und die Schnittparameter beeinflussen lässt. Dieses Wissen ermöglicht die Entwicklung einer geeigneten Frässtrategie zur Gratreduzierung beim Mikrofräsen von Reintitan und Edelstahl mit Fräserdurchmessern von 50 µm.

Kontakt

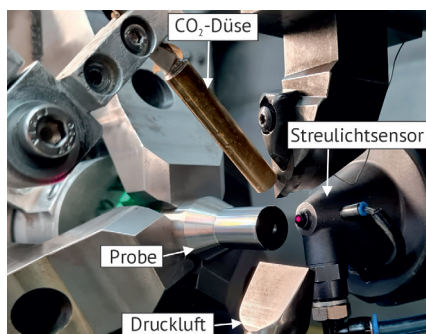
Dipl.-Ing. Maximilian Vierling

E-Mail: maximilian.vierling@rptu.de

Telefon: 0631205-3475

Abschluss des SPP 2086 "Oberflächenkonditionierung in der Zerspanung"

Gezielte Einstellung der Randschichteigenschaften beim kryogenen Hartdrehen



Versuchsaufbau beim kryogenen Hartdrehen

Am FBK wurde das Teilprojekt „Gezielte Oberflächenkonditionierung von 100Cr6 beim kryogenen Hartdrehen durch modellbasierte Prozessvorsteuerung und Prozessregelung“ nach einem Förderzeitraum von sechs Jahren planmäßig beendet. In enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Messtechnik & Sensorik (MTS) und dem Lehrstuhl für Werkstoffkunde (WKK) wurde untersucht wie sich gezielt Eigenschaften in der Randschicht beim Drehen von 100Cr6 einstellen lassen. In der ersten Förderperiode wurden Regressionsmodelle entwickelt, die die Schnittparameter, den CO₂-Massenstrom und Störgrößen mit den Rand-

schichteigenschaften wie z.B. Rauheit, Eigenspannungen und Austenitgehalt korrelierten. Mithilfe der kryogenen Kühlung und einem hohen CO₂-Massenstrom ließen sich besonders einfache hohe Druckeigenspannungen induzieren. Außerdem wurde festgestellt, dass insbesondere niedrige Vorschübe und Schnittgeschwindigkeiten Druckeigenspannungen in den äußersten 80 µm der Randschicht begünstigten. Diese wirken sich positiv auf die Ermüdungslebensdauer aus, da sie risserschließend wirken und dadurch die Ausbreitung von Mikrorissen behindern. Die Rauheit konnte mithilfe eines optopneumatischen Streulichtensors in situ abgeschätzt werden. Dieser Aspekt wurde vom MTS näher untersucht. Bei der Randschichtcharakterisierung durch verschiedenste Methoden wie Röntgenbeugung, Rasterelektronenmikroskopie, Härteprüfung und Ermüdungsversuche wurde das FBK durch das WKK unterstützt.

In der zweiten Förderperiode wurde sich auf die Erweiterung der Regressionsmodelle mit besonderem Augenmerk auf sehr geringe Schnitttiefen und Vorschübe fokussiert. Im Zuge dessen wurde eine Mindestspannungsdicke zwischen 10 und 25 µm ermittelt. Darunter tritt unerwünschtes „Pflügen“ der Schneide durch den Werkstoff auf. Die Druckeigenspannungen konnten nicht weiter erhöht wer-

den. Zudem wurde ein Regelsystem mit integrierter Softsensorik für die gezielte Einstellung der Randschichteigenschaften bei konsekutiven Drehoperationen entwickelt. Der Regelkreis legt basierend auf den gewünschten Randschichteigenschaften und dem Input aus den in situ-Messdaten des Streulichtensors die Schnittparameter für den zweiten Schnitt fest. So können z.B. niedrige Rauheiten gepaart mit hohen Druckeigenspannungen in der Randschicht erreicht werden. Im ersten Schnitt stellt das Modell hauptsächlich die Eigenspannungen durch den Vorschub und die Schnittgeschwindigkeit ein. Im zweiten Schnitt wird die gewünschte Oberflächengüte durch eine sehr geringe Schnitttiefe und geringen Vorschub erreicht. So tragen die Projektergebnisse dazu bei, dass die Randschichteigenschaften während des Prozesses gezielt eingestellt werden können.

Kontakt

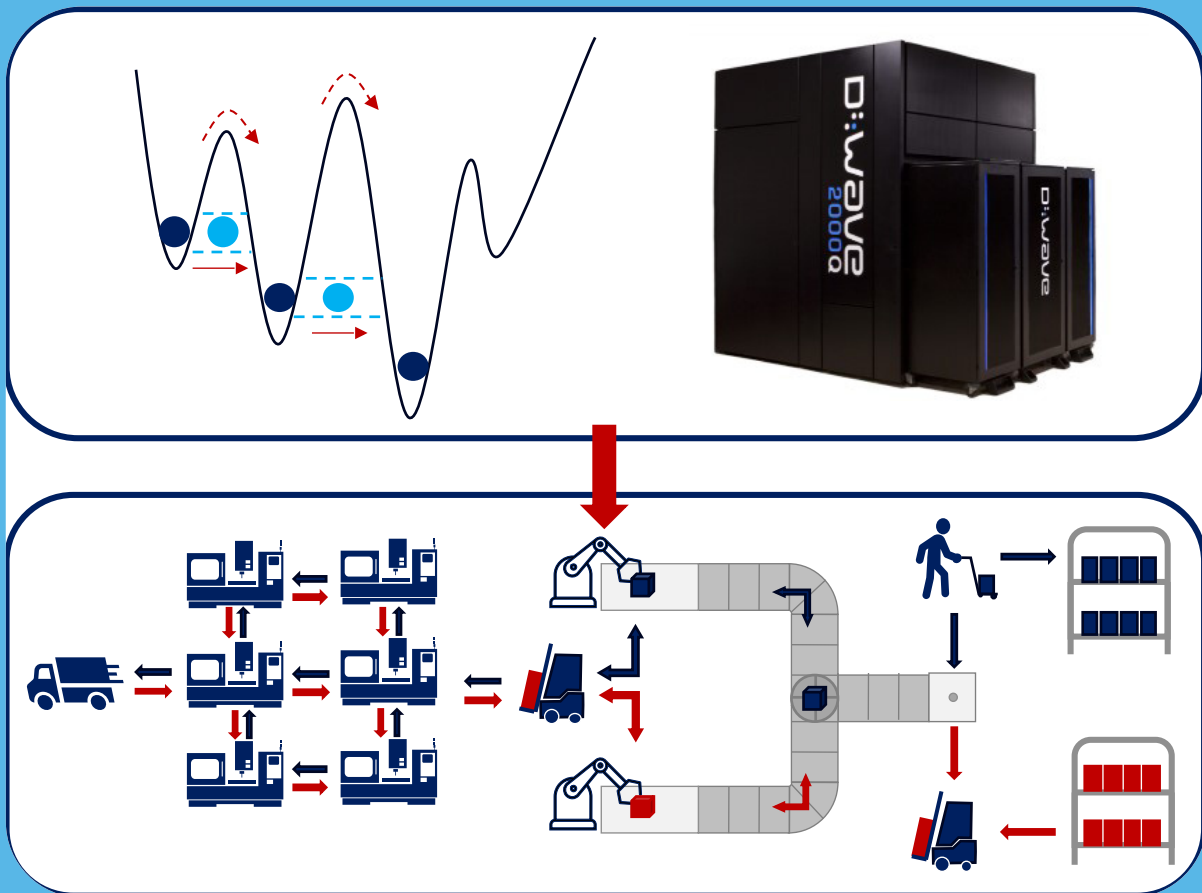
Felix Grossmann, M.Sc.

E-Mail: felix.grossmann@rptu.de

Telefon: 0631205-3387

RLP-Projekt gestartet

Nutzung von Quanten-Annealing für die Materialflussplanung in der Serienfertigung



Integration QA in Materialflussplanung

In der Produktionsplanung und -steuerung führen die zunehmende Produktvielfalt und unvorhersehbare Faktoren, wie eine schwankende Kundennachfrage und Lieferkettenstörungen, zu einem steigenden Bedarf an flexiblen Materialflusssystemen. Diese sind erforderlich, um die Anpassungsfähigkeit und Ausfallsicherheit von Produktionssystemen zu erhöhen. Die im Zuge von Industrie 4.0 steigenden Anforderungen an Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Produktionssysteme stellen eine zentrale Herausforderung für die Materialflussplanung in der Serienfertigung dar. Ziel der Materialflussplanung ist es, die Produktion vielfältiger Produkte mit hohem Durchsatz sicherzustellen und sich gleichzeitig an Marktveränderungen, wie etwa eine schwankende Nachfrage, anzupassen. Folglich handelt es sich bei Materialflussplanungen um komplexe Optimierungsprobleme, die mit rechnergestützten Verfahren möglichst effizient und präzise gelöst werden müssen.

Die aktuell genutzten rechnergestützten Verfahren, sogenannte Heuristiken, stoßen häufig an ihre Grenzen, insbesondere aufgrund hoher Berechnungszeiten und der eingeschränkten Möglichkeit, mehrere Zielgrößen, wie die Reduzierung der Transportkosten und Steigerung des Durchsatzes, gleichzeitig zu optimieren. Eine deutlich effizientere Methode stellt das Quanten-Annealing (QA) dar, dessen Anwendungspotenziale zur Optimierung von Produktionsprozessen wie beispielsweise der Reihenfolgeplanung bereits demonstriert wurden. QA bezeichnet eine Technologie, die verschiedene quantenmechanische Effekte nutzt, um komplexe Optimierungsprobleme effizient zu lösen. Quanten-Annealer gehören dabei zur Klasse der Quantencomputer.

Im Austausch mit einem projektbegleitenden Ausschuss mehrerer rheinland-pfälzischer KMU wird die Nutzung von QA zur Materialflussplanung in der Serienfertigung er-

forscht. Ziel ist es, durch die Nutzung von QA in der Materialflussplanung die Wirtschaftlichkeit und Reaktionsfähigkeit der Produktionssysteme zu steigern. Hierbei werden zunächst die Anforderungen und Optimierungsziele gemeinsam erarbeitet. Auf der Grundlage repräsentativer Anwendungsszenarien unterschiedlicher Komplexität erfolgt die Modellierung QA-kompatibler mathematischer Optimierungsprobleme. Die Bewertung der Leistungsfähigkeit des QA-Ansatzes basiert auf Vergleichen mit bestehenden Heuristiken. Außerdem wird ein Software-Prototyp entwickelt, anhand dessen die praktische Anwendbarkeit des QA-Systems für industriennahe Anwendungsszenarien untersucht werden soll.

Kontakt

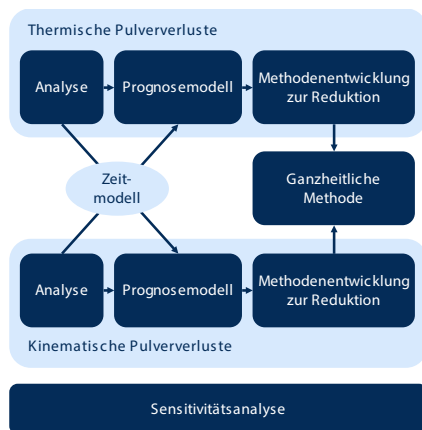
Dipl.-Ing. Jannik Gayer.

E-Mail: jannik.gayer@rptu.de

Telefon: 0631 205-4283

KSB-Stiftung bewilligt zweite Förderperiode

Untersuchung und Optimierung der Materialeffizienz des Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißens



Projektstruktur

Das Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (HS DED-LB) ist eine additive Fertigungstechnologie, bei der sich im Vergleich zum konventionellen Laserauftragschweißen (DED-LB) der Pulver- und Laserfokus oberhalb der Substratoberfläche befindet. Dadurch wird das Pulver bereits vor dem Auftreffen auf die Substratoberfläche aufgeschmolzen. Dies ermöglicht höhere Vorschubgeschwindigkeiten und Materialauftragsraten, wodurch Prozesszeiten reduziert werden.

Die additive Fertigung wird häufig als besonders ressourceneffiziente Technologie bezeichnet, da weitestgehend nur das für die Endkontur erforderliche Ausgangsmaterial benötigt wird. Die Materialeffizienz ist jedoch für jedes additive Fertigungsverfahren individuell. Beim DED-LB treten thermisch bedingte Pulververluste durch Effekte wie das Verdampfen von Pulverpartikeln auf. Aufgrund der hohen Vorschubgeschwindigkeiten beim HS DED-LB entstehen besonders hohe kinematisch bedingte Pulververluste durch die Vor- und Nachlaufstrecken zum Beschleunigen und Abbremsen der Bauplattform. Da die Herstellung von Pulver für die additive Fertigung energie- und kostenintensiv ist, führt nicht aufgetragenes Pulver zu erheblichen ökologischen Nachteilen und erhöhten Bauteilkosten. Eine Optimierung der Materialeffizienz bietet somit das Potenzial, die Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu steigern.

Ziel der ersten Förderperiode war die systematische Untersuchung der physikalischen und thermodynamischen Mechanismen, die zu Pulververlusten beim HS DED-LB führen. Hierbei wurden Materialeffizienzen zwischen 4% und 67% ermittelt. Wichtige Einflussfaktoren auf thermisch bedingte Pulververluste sind der Pulvermassenstrom, die Laserleistung, der Trägergas- und der Schutzgasvolumenstrom. Eine gute Abstimmung dieser Parameter kann die thermisch bedingten Pulververluste reduzieren. Die kinematisch bedingten Pulververluste nehmen mit steigender Vorschubgeschwindigkeit und längeren Vor- und Nachlaufstrecken zu, da die Prozesszeit, in der kein Materialauftrag erfolgt, erhöht wird. Als Grundlage für spätere Optimierungen wurde ein Modell zur Prognose der kinematischen Materialeffizienz entwickelt. Basierend auf den Prozessparametern werden die Schichtdicken und Prozesszeiten prognostiziert. Indem sowohl die effektive Prozesszeit mit aktivem Materialauftrag als auch die Gesamtprozesszeit inklusive der Phasen ohne Materialauftrag prognostiziert werden, kann die kinematische Materialeffizienz berechnet und direkt bei der Erstellung des Scanpfades berücksichtigt werden. Die im ersten Projektjahr gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Modelle bilden die Grundlage für die zweite Förderperiode. Ziel ist die Steigerung der Materialeffizienz von HS DED-LB unter Berücksichtigung der Bauteilqualität. Zunächst wird eine Methode zur Vorhersage der thermisch bedingten Pulververluste entwickelt. Für die Grundlage zur Reduzierung der kinematisch bedingten Pulververluste erfolgt die Modellierung der Bauplattformkinematik. Anschließend werden die beiden Modelle zur gemeinsamen Reduktion thermisch und kinematisch bedingter Pulververluste vereint. Darauf aufbauend werden die Auswirkungen einer besseren Materialeffizienz auf ökonomische und ökologische Kenngrößen quantifiziert und analysiert.

Kontakt

Maik Schürmann M.Sc.
E-Mail: maik.schuermann@rtpu.de
Telefon: 0631 205-3369

Veröffentlichungen

J. Platz, J. Steiner-Stark, B. Kirsch, J.C. Aurich: Fertigung funktional gradierter Materialien auf porösen Metallen durch Laserauftragschweißen. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 119/7-8 (2024): S. 515-519. 10.1515/zwf-2024-1092

P. Schworm, X. Wu, M. Klar, J.C. Aurich: Multi-objective rescheduling of job shop scheduling problems in manufacturing using Quantum Annealing. Manufacturing Letters 42 (2024): S. 5-10. 10.1016/j.mfglet.2024.09.066

T.K. Khan, P. Schworm, M.F. Glatt, C. Ugoji, A. Ebert, J.C. Aurich: Engaging human-centered design to maintain part manufacturing under reduced workforce restrictions. Production Engineering (2024): S. 733-750. 10.1007/s11740-024-01275-1

M. Klar, P. Schworm, X. Wu, P. Simon, M. Glatt, B. Ravani, J.C. Aurich: Transferable multi-objective factory layout planning using simulation-based deep reinforcement learning. Journal of Manufacturing Systems 74 (2024): S. 487-511. 10.1016/j.jmsy.2024.04.007

F. Zell, A. Lange, B. Kirsch, J.C. Aurich: Analysis of the vibration characteristics of an air bearing spindle to identify and control the magnitude of the radial run-out with an active magnetic bearing. Proceedings of the 24th international conference of the euspen (2024): S. 449-452. ISBN: 978-1-9989991-5-6

Lange, N. Altherr, F. Zell, B. Kirsch, J.C. Aurich: Modelling and control of turbine-driven spindles for micro machining with constant feed per tooth. Proceedings of the 24th international conference of the euspen (2024): S. 463-466. ISBN: 978-1-9989991-5-6

Kieren-Ehse, F. Zell, B. Kirsch, J.C. Aurich: Influence of drilling depth and feed per tooth on burr formation when micro drilling. Proceedings of the 24th international conference of the euspen (2024): S. 303-304. ISBN: 978-1-9989991-5-6

A. Mukherjee, J. Mertes, M. Glatt, J.C. Aurich: Voice User Interface based control for Industrial machine tools. Procedia CIRP 121 - Proceedings of the 11th CIRP Global Web Conference (2024): S. 121-126. 10.1016/j.procir.2023.09.238

Neue Mitarbeitende



Vanessa Kutz, M.Sc. arbeitet seit Februar 2025 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am FBK. Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeit liegt im Bereich der Nachhaltigkeit in der Produktion.



Dipl.-Ing. Max Vierling arbeitet seit November 2024 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich Mikro- und Ultrapräzisionsbearbeitung.



Julian Wisser, M.Sc. arbeitet seit November 2024 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich der Additive Fertigung und Zerspanntechnologie.



Lisa-Sameera Dauderer arbeitet seit September 2024 im Support-Team am FBK.

Herausgeber

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

Kontakt

Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation
Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
Postfach 3049
67653 Kaiserslautern

E-Mail: fbk@mv.rtpu.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