

RP TU | FBK INFOBRIEF

LEHRSTUHL FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND BETRIEBSORGANISATION

Von DFG und CAPES gefördertes Deutsch-Brasilianisches Forschungsprojekt geht in zweite Förderphase

Untersuchung der Anwendbarkeit hybrider digitaler Modelle für Produktionssysteme unter variierenden Modelleingangsgrößen

Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der brasilianischen Partnerorganisation CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; Deutsch: Koordinierungsstelle für die Verbesserung des Hochschulpersonals) im Rahmen des Forschungsverbundes Brazilian-German Collaborative Research Initiative in Manufacturing Technology (BRAGECRIM) geförderte Kooperationsprojekt, an dem das FBK und Forschungspartner der Universität Rio Grande do Norte in Natal arbeiten, hat zum Ziel, eine Vorgehensweise zur Integration hybrider Modelle in Produktionssysteme zu entwickeln. Hybride Modelle werden dabei als Kombination physikbasierter (z.B. Finite Elemente Methode) und datengetriebener Modelle (z.B. Methoden des maschinellen Lernens) verstanden. Beide Modellierungsarten haben Vorzüge, die sich bei zielgerichteter Zusammenführung gegenseitig ergänzen und die Schwächen der jeweils anderen Modellierungsart reduzieren können. So zeichnen sich physikbasierte Modelle unter anderem durch die Nutzung von Expertenwissen und ihre Erklärbarkeit aus. Datengetriebene Modelle sind in der Lage, Muster und Trends in Vergangenheits- und Echtzeitdaten zu erkennen. Verschiedene Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass hybride Modelle bessere Ergebnisse bei der Prognose, Überwachung und Analyse von Produktionsprozessen und -systemen lie-

fern können als physikbasierte oder datengetriebene Modelle allein. So bieten hybride Modelle produzierenden Unternehmen z.B. die Möglichkeit, das Energiemanagement im Produktionssystem zu verbessern, Maschinenausfälle hinsichtlich der Ursache zu analysieren oder die Materialbearbeitung auf Prozessebene zu optimieren. Das aktuelle Forschungsprojekt schließt unmittelbar an ein Vorgängerprojekt an, in dem mit den gleichen Kooperationspartnern bereits die Spezifikation, Komponentenverknüpfung und Implementierung hybrider Modelle untersucht wurden. In der zweiten Förderphase werden die Anwendungsfälle und Erkenntnisse aus der ersten Phase auf neue Anwendungsfälle übertragen, in denen eingeschränkte Modellinputs vorliegen. Das bedeutet, dass sowohl in der Phase der Modellentwicklung als auch während des Modellbetriebs eine Diskrepanz zwischen den benötigten und verfügbaren Inputs vorliegt. Produzierende Unternehmen, die noch am Anfang ihrer digitalen Transformation stehen oder hybride Modelle z.B. als Teil digitaler Zwillinge integrieren, müssen Lösungen zur Überbrückung von beschränkten Modellinputs finden. Ein niedriger Digitalisierungsgrad kann dazu führen, dass keine ausreichende Datenbasis für den zielgerichteten Einsatz hybrider Modelle vorhanden ist. Im Projekt werden daher anhand von drei Anwendungsfällen Methoden zur Beschreibung der verfüg-

baren und der benötigten Modellinputs sowohl für die Modellentwicklung als auch den -betrieb der physikbasierten, datengetriebenen und hybriden Modelle entwickelt. Die Beschreibung ermöglicht die Identifikation, Analyse und Ableitung zielgerichteter Lösungen zur Überbrückung der Diskrepanzen in den Modellinputs. Ziel des Projektes ist die Abstraktion der Erkenntnisse aus den Anwendungsfällen zur Entwicklung einer allgemeinen Vorgehensweise, die es Industrieunternehmen ermöglicht, mit Hilfe der entwickelten Methoden hybride Modelle in ihrem Produktionssystem zu integrieren.

Kontakt

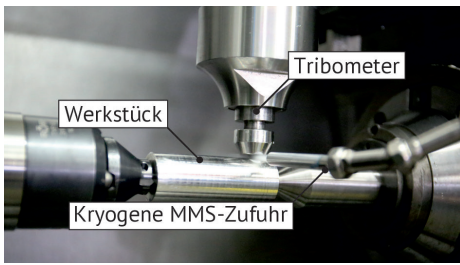
M. Sc. Marcel Wagner

E-Mail: marcel.wagner@rptu.de

Telefon: 0631 205 - 3323

Transferprojekt des SFB 926 gestartet

Ressourceneffiziente Oberflächenkonditionierung durch den Einsatz einer kryogenen Minimalmengenschmierung



Versuchsaufbau zur tribologischen Charakterisierung der Kühlstrategie

Die Härte innerhalb der Werkstückrandschicht beeinflusst maßgeblich das Einsatzverhalten hochbelasteter Bauteile. Zur Erhöhung der Randschichthärte werden der formgebenden spanenden Bearbeitung daher häufig mechanische Verfestigungsprozesse (bspw. Kugelstrahlen, Festwalzen) nachgelagert. So können im Falle metastabiler austenitischer Stähle signifikante Randschichtverfestigungen in Folge einer verformungsinduzierten Martensitbildung realisiert werden. Ein zusätzlicher Bearbeitungsschritt zur Erhöhung der Randschichthärte ist jedoch mit einem Mehraufwand und zusätzlichen Kosten verbunden. Zur Verkürzung der Prozesskette wurde am

FBK im Rahmen des SFB 926 ein kryogener Drehprozess entwickelt. Dieser ermöglicht eine Integration der Oberflächenkonditionierung in den formgebenden Zerspanprozess, wodurch eine Verlängerung der Lebensdauer sowie eine höhere Verschleißbeständigkeit der Bauteile erzielt werden konnte. Da die verformungsinduzierte Martensitbildung bei tiefen Temperaturen begünstigt wird, ist eine ausreichende Kühlleistung für eine erfolgreiche Oberflächenkonditionierung nötig. Dies wird durch hohe CO₂-Massenströme realisiert, wodurch ein hoher Verbrauch bzw. signifikante Kosten entstehen, die eine weitere Verbreitung der Oberflächenkonditionierung durch kryogenes Drehen insbesondere im industriellen Umfeld hemmt.

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit wird innerhalb des Transferprojekts des SFB 926 der Einsatz einer kryogenen Minimalmengenschmierung (MMS) untersucht, um eine ressourceneffiziente Oberflächenkonditionierung zu ermöglichen. Durch die zusätzliche Schmierwirkung durch die MMS wird die entstehende Reibung und somit die Wärmeentwicklung im Drehprozess redu-

ziert. Dies reduziert die benötigte Kühlleistung der kryogenen Kühlung zur Abfuhr der entstehenden Wärme, wodurch Ressourcen und letztendlich Kosten eingespart werden können.

Die kryogenen MMS-Strategien zur Oberflächenkonditionierung beim Drehen werden in enger Zusammenarbeit mit der Fuchs Schmierstoffe GmbH, als Hersteller geeigneter MMS-Öle, und der Knoll Maschinenbau GmbH, als Anlagenhersteller für kryogene MMS-Systeme, entwickelt. Zum Start des Projekts werden zunächst Öle zur Anwendung innerhalb einer kryogenen MSS identifiziert. Anhand tribologischer Analogieversuche wird die Kühl- und Schmierwirkung in Abhängigkeit der verwendeten Öle und der Zufuhrstrategie des kryogenen MMS-Systems untersucht. Die entwickelten kryogenen MMS-Strategien werden anschließend beim Drehen mit dem Ziel eingesetzt, eine Verbesserung der Oberflächenmorphologie bei gleichzeitig geringem Ressourcenaufwand zu realisieren.

Kontakt

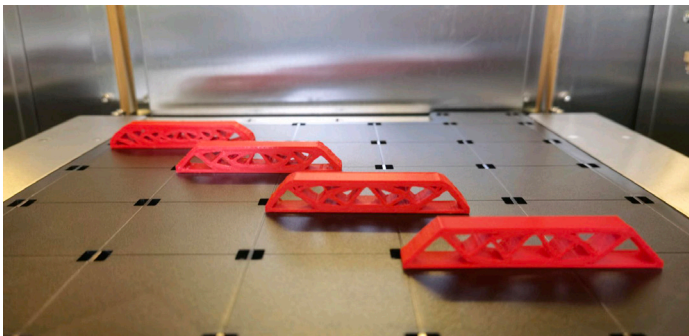
M.Sc. Kevin Gutzeit

E-Mail: kevin.gutzeit@rptu.de

Telefon: 0631 205 – 3472

Projektabschluss im IRTG 2057: Ökodesign für die additive Fertigung

Ein Ansatz für die energieeffizienzorientierte Produktgestaltung in der additiven Fertigung



Topologisch optimierte Brücken mit unterschiedlichen Massenreduzierungen

Der Energieaufwand additiver Fertigungsverfahren trägt erheblich zu den umweltbezogenen Auswirkungen im Produktlebenszyklus bei. Daher stellt die Bewertung und Verbesserung der Energieeffizienz additiver Fertigungsverfahren während der Produktgestaltung eine wichtige Aufgabe dar. Im Rahmen des Internationalen Graduiertenkollegs IRTG 2057 „Physical Modelling for Virtual Manufacturing Systems and Processes“ werden am FBK in Zusammenarbeit mit Forschern der University of California in Davis Methoden zur energieeffizienzorientierten Produktgestaltung für additive Fertigungsverfahren untersucht. Dazu werden Energiemodelle, die den Energieaufwand eines additiven Fertigungsverfahrens abschätzen, entwickelt und in einen Optimierungsansatz integriert. Da-

durch kann im Zusammenwirken mit einer topologischen Optimierung sichergestellt werden, dass die generierte neue Produktgestalt eine möglichst energieeffizient additiv gefertigt werden kann.

Das Ergebnis des Projekts ist ein Ansatz, der aus drei Bestandteilen besteht. Der erste Teil umfasst die strukturelle topologische Optimierung, welche die Generierung einer Materialanordnung mit optimaler mechanischer Festigkeit für eine gegebene Ausgangsgeometrie und die vorliegenden Randbedingungen (z. B. Belastungen) ermöglicht. Der zweite Bestandteil ist ein Energiemodell, das den Energieaufwand zur Herstellung der jeweiligen Geometrie mittels additiver Fertigungsverfahren abschätzt. Der dritte Teil des Ansatzes nutzt die Methode des „Multi-Player Competition Algorithmus“. Hierbei handelt es sich um ein iteratives Optimierungsverfahren, mit dem die geometrische Bauteilvariante mit dem geringsten Energieaufwand ausgewählt werden kann. Der Multi-Player Competition Algorithmus wird verwendet, um iterativ die topologische Optimierung und die Bewertung der Energieaufwände in einem Berechnungsverfahren durchzuführen.

Der entwickelte Ansatz wurde anhand zweier Fallstudien und des additiven Fertigungsverfahrens „Material Extrusion“ validiert. Bei diesen beiden Fallstudien handelt es sich um zwei Brückenmodellen von unterschiedlicher Länge und Höhe. In den Anwendungsfällen wurden Energieeinsparungen von 3,9% bzw. 5,8% festgestellt.

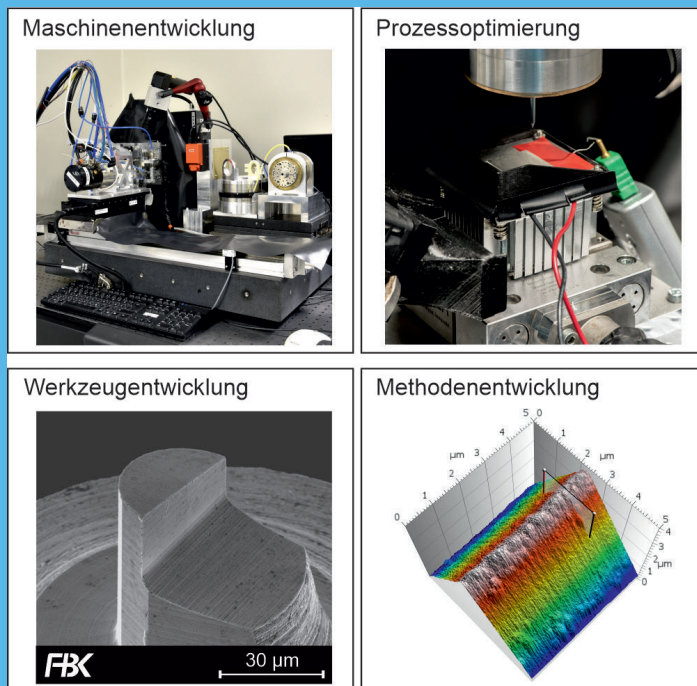
Kontakt

Dr.-Ing. Li Yi | E-Mail: li.yi@rptu.de

Telefon: 0631 205 – 3369

Projekt des Sonderforschungsbereichs 926 abgeschlossen

Geometrische Strukturierung von Bauteiloberflächen durch Mikrofräsen



Untersuchungsschwerpunkte des Teilprojekts B01 im SFB 926

Das Teilprojekt B01 des Sonderforschungsbereichs 926 endet nach insgesamt 12 Jahren Projektlaufzeit. Im Rahmen des DFG geförderten Projekts wurden Bauteiloberflächen aus Reintitan durch Mikrofräsen (Werkzeugdurchmesser $\leq 50 \mu\text{m}$) strukturiert. Ziel des Projektes war es, das Mikrofräsen mit Fokus auf dem Werkzeugverschleiß und dessen Einfluss auf den Prozess, die Oberflächenmorphologie und die Prozessergebnisgrößen zu untersuchen und so das Prozessverständnis und die Funktionsfähigkeit von mikrostrukturierten Oberflächen zu steigern.

Die Untersuchungen umfassten dabei die Themengebiete Maschinenentwicklung, Werkzeugentwicklung, Prozessoptimierung und die Entwicklung von Mess- und Aus-

wertemethoden. Zu Beginn des Projekts wurde eine Desktop-Werkzeugmaschine, das Mikrofräszentrum, in modularer Bauweise entwickelt, welches die Anforderungen für das Mikrofräsen mit sehr kleinen Werkzeugen erfüllt. Hierzu zählen eine geringe Rundlaufabweichung der Spindel, eine hohe Achsgenauigkeit und gute Dämpfungseigenschaften. Das Mikrofräszentrum wurde im Laufe der Projektlaufzeit um ein Konfokalmikroskop und ein Rasterkraftmikroskop erweitert. Diese bieten die Möglichkeit die mikrogefräste Struktur bewerten zu können, ohne das Werkstück oder Werkzeug ausspannen zu müssen und somit den Verschleiß von ultrakleinen Mikrofräsern erstmals prozessintermittierend messen zu können.

Neben der Werkzeugmaschine ist das Werkzeug selbst ein wichtiger Bestandteil, um eine prozesssichere Herstellung von Mikrobauteilen oder mikrostrukturierten Oberflächen zu gewährleisten. Die Forschung auf diesem Gebiet lag zum einen in der Optimierung der Mikrofräsergeometrie. Das Ergebnis war ein hinsichtlich Spanbildung und -abfuhr, Steifigkeit oder Schneidengeometrie optimiertes Werkzeug. Zum anderen wurden verschiedene Werkzeugbeschichtungen untersucht. Dabei zeigten sich die besten Ergebnisse hinsichtlich Werkzeugverschleiß und Oberflächenqualität durch eine Beschichtung mit TiB_2 .

Ein weiterer Schwerpunkt des Projekts lag darin, die Leistungsfähigkeit und das Verständnis des Mikrofräsen weiter zu erhöhen. Beispielsweise wurde der Einfluss des Vorschubs pro Zahn, des Sturzwinkels der Spindel, der Schnittgeschwindigkeit oder der kristallographischen Orientierung des Werkstückmaterials auf das Bearbeitungsergebnis untersucht. Zusätzlich wurde das Verständnis über den Einfluss von Kühlschmierstoffen bzw. Kühlschmierstrategien beim Mikrofräsen geschaffen.

Im Rahmen des Projekts wurde ein fundiertes Wissen über das Mikrofräsen von Reintitan in unterschiedlichsten Bereichen erworben, wodurch die Standzeit der Mikrofräser, die Qualität der gefertigten Strukturen und somit die Effizienz des Prozesses erheblich gesteigert werden konnte.

Kontakt

Dipl.-Ing. Sonja Kieren-Ehse
E-Mail: sonja.kieren-ehses@rptu.de
Telefon: 0631 205-5961

Dritte Konferenz bildet Abschluss des IRTG 2057



Abschlusskonferenz des IRTG 2057

Die dritte und finale Konferenz der International Research Training Group - IRTG 2057 über "Physical Modeling for Virtual Manufacturing Systems and Processes" fand diese Woche in den Asilomar Conference

Grounds in Monterey, Kalifornien statt. Gemeinsam mit der University of California, Davis und der University of California, Berkeley wurden Themen des Maschinenbaus, des Scientific Computing und der Physik diskutiert. Die Beiträge befassten sich mit übergreifenden Themen der Modellierung und Visualisierung von produktionstechnischen Systemen auf Prozess-, Maschinen- und Fabrikebene. Die Hauptbeiträge der Konferenz kamen von Doktoranden der dritten und letzten Kohorte, ergänzt durch Vorträge von geladenen Gästen. Die leb-

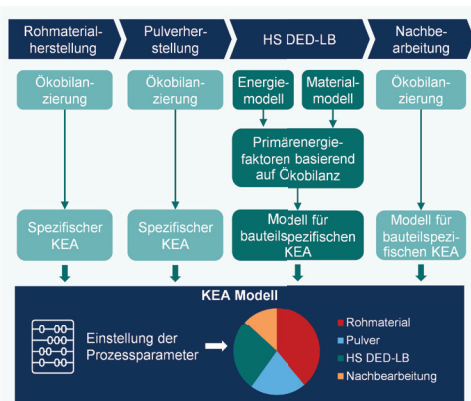
haften Diskussionen führten zu einem interdisziplinären Austausch, neuen Ideen und Kooperationen, die auch über das IRTG 2057 hinaus Bestand haben werden.

Kontakt

PD Dr.-Ing. habil. Benjamin Kirsch
E-Mail: benjamin.kirsch@rptu.de
Telefon: 0631 205-770

Projektabschluss im IRTG 2057

Ein Modell zur Prognose des Energiebedarfs des Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißens



Projektübersicht

Das Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (HS DED-LB) ist eine vergleichsweise junge additive Fertigungstechnologie für metallische Werkstoffe. Der Name leitet sich aus den hohen Prozessgeschwindigkeiten und den damit verbundenen wesentlich kürzeren Prozesszeiten ab. Diese werden durch einen im Vergleich zum konventionellen Laserauftragschweißen verschobenen Pulver- und Laserfokus erreicht, die sich ca. 1 cm oberhalb der Substratoberfläche befinden. Hierdurch wird der aufzutragende pulverförmige Werkstoff bereits vor dem Auftreffen auf das Substrat geschmolzen, was höhere Vorschubgeschwindigkeiten und Materialauftragsraten ermöglicht. Dies führt einerseits zu geringen Prozesszeiten, wodurch das Verfahren großes Potenzial für industrielle Anwendungen bietet, andererseits bedingt dies jedoch einen hohen Energiebedarf. Um die Umweltauswirkungen von HS DED-LB durch eine energie- und ressourceneffiziente Prozessgestaltung zu reduzieren, war das Ziel des nun abgeschlossenen Projekts die Analyse sowie Modellierung der Material- und Energiebedarfe der Prozesskette des HS DED-LB.

Zur Entwicklung des Prognosemodells für das HS DED-LB wurde der Energiebedarf des betrachteten Fertigungssystems sowie seiner Subsysteme analysiert. Darauf aufbauend wurde ein Modell entwickelt, das die Prognose des Energiebedarfs in Abhängigkeit des auf der Bauteilgeometrie

basierenden Scanpfads und der gewählten Prozessparametereinstellungen ermöglicht. Gleichzeitig können aufgrund des großen Detaillierungsgrads des Modells die resultierende anteilige Zusammensetzung des durch die jeweiligen Subsysteme verursachten Energiebedarfs sowie die Auswirkungen von verschiedenen Prozessparameterkombinationen auf den Energiebedarf analysiert werden. Aufgrund der modularen und parametrisierbaren Struktur kann das Prognosemodell auf andere HS DED-LB-Systeme übertragen und spezifisch angepasst werden. Das entwickelte Energieprognosemodell wurde gemeinsam mit den entsprechenden Stoffflüssen in den kumulierten Energieaufwand übertragen, um eine Vergleichsgrundlage des Energiebedarfs mit dem Materialbedarf zu schaffen und beide Flüsse integriert zu betrachten.

Ergänzend zu dem HS DED-LB-Prozess wurden auch die vorgelagerten Prozesse der Rohstoffherstellung des exemplarisch betrachteten Edelfstahls 316L, der darauffolgenden Pulverherstellung mittels Gasverdüsung, sowie die Nachbearbeitung des additiv hergestellten Bauteils betrachtet. Diese Prozessschritte wurden basierend auf dem spezifischen Energie- und Materialbedarf modelliert und mit dem Modell des HS DED-LB verknüpft. Alle Prozessschritte haben einen signifikanten Anteil am Energiebedarf, sodass für eine umfassende Bewertung des Verfahrens und zur Reduktion der Umweltauswirkungen alle Prozessschritte berücksichtigt und integriert betrachtet werden müssen.

Das Projekt war Bestandteil des Internationalen Graduiertenkollegs IRTG 2057 „Physical Modelling for Virtual Manufacturing Systems and Processes“ und wurde in Kooperation mit Forschenden an der University of California in Davis bearbeitet.

Kontakt

M.Sc. Svenja Ehmsen

E-Mail: svenja.ehmsen@rptu.de

Telefon: 0631 205-5448

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@rptu.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

Veröffentlichungen

K. Gutzeit, G. Bulun, G. Stelzer, B. Kirsch, J. Seewig, J.C. Aurich: Sub-zero milling of Ti-6Al-4V—impact of the cutting parameters on the resulting forces, tool wear, and surface quality. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 126 (2023): S. 3367-3381.

S. Ehmsen, L. Yi, B. Linke, J.C. Aurich: Reusable unit process life cycle inventory for manufacturing: high speed laser directed energy deposition. *Production Engineering - Processes* (2023).

K. Klauer Dobrowolski, M. Eifer, B. Kirsch, J. Seewig, J.C. Aurich: Ball end micro milling of material measures: wear behavior in field use. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 128 (2023): S. 611-623.

P. Schworm, X. Wu, M. Glatt, J.C. Aurich: Solving flexible job shop scheduling problems in manufacturing with Quantum Annealing. *Production Engineering - Production Management* (2022).

F. Grossmann, B. Kirsch, J. C. Aurich: Maßhaltigkeit trotz kryogener Kühlung. *VDI-Z Sonderteil Werkzeugmaschinen* 165/01-02 (2023): S. 26-28.

M. Klar, M. Glatt, J.C. Aurich: Performance comparison of reinforcement learning and metaheuristics for factory layout planning. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 45 (2023): S. 10-25.

T. Mayer, A. Lange, A. Schulz, B. Kirsch, J.C. Aurich: Development of an angular position detection method to accurately characterize high speed spindles without encoders. *Proceedings of the 23rd euspen International Conference* (2023): S. 215-219.

S. Ehmsen, M. Glatt, J.C. Aurich: Influence of process parameters on the power consumption of high-speed laser directed energy deposition. *Procedia CIRP* 116 - 30th CIRP Life Cycle Engineering Conference (2023): S. 89-94.