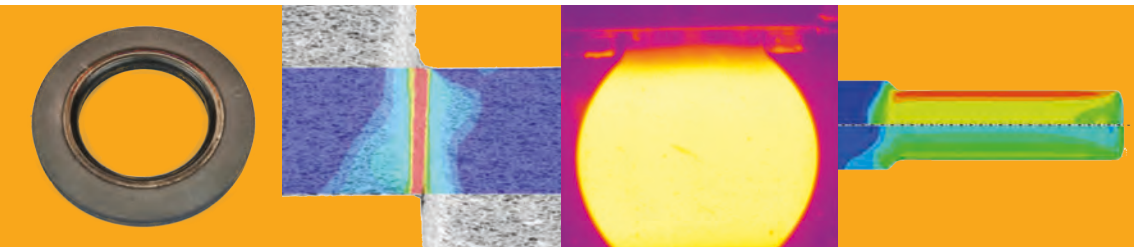


Tätigkeitsbericht

21



Tätigkeitsbericht

21

Impressum

Institut für Umformtechnik und Leichtbau
Technische Universität Dortmund
Baroper Str. 303
44227 Dortmund
Telefon +49 (0) 231 755 2660
Telefax +49 (0) 231 755 2489
www.iul.eu

Prof. Dr.-Ing. Matthias Kleiner
Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya

Copyright © Institut für Umformtechnik und Leichtbau

Redaktion
Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya

Redaktionsassistentz
Nina Hänisch

Lektorat
Jeanette Brandt
Nina Hänisch
Finja Kuschel
Karen Wahlers

Layout
Patrick Cramer

Inhalt

1	Lehre	1
1.1	Lehrveranstaltungsangebot	1
1.2	Master of Science in Manufacturing Technology (MMT)	4
1.3	Dissertationen	6
2	Forschung	13
2.1	Forschungsgruppen und -center	14
2.1.1	SFB/Transregio 188 – Schädigungskontrollierte Umformprozesse	14
2.1.2	ReCIMP – Research Center for Industrial Metal Processing	18
2.1.3	ReGAT – Research Group on Additive Technology	21
2.1.4	Forschungsgruppe Angewandte Mechanik	24
2.2	Abteilung Massivumformung	26
2.2.1	Beeinflussung der Schädigungsentwicklung beim Kaltfließpressen	27
2.2.2	Modellintegration für die Prozesssimulation	28
2.2.3	Einfluss des mehrachsigen Bauschingereffektes in der Kaltmassivumformung	29
2.2.4	Verbundfließpressen von fließgepressten Halbzeugen	30
2.2.5	Verfahren zur Fertigung von Verbundbauteilen durch eine Kombination aus Tiefziehen und Fließpressen	31
2.2.6	Stranggepresste Bleche aus Aluminiumspänen	32
2.2.7	Analyse eines neuen Verfahrens zum kontinuierlichen Strangpressen unter Anwendung der Ähnlichkeitstheorie	33
2.2.8	Herstellung flanschförmiger Bauteile durch Fließpressen verbundstranggepresster Halbzeuge	34
2.2.9	Linienförmiges Fügen von Profilverbundsystemen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen	35
2.2.10	Entwicklung eines effizienten physikalisch basierten Modellierungsansatzes zur Vorhersage der Mikrostruktur in Strangpressprozessen	36

2.2.11	Verbundprojekt: Konzepte für die ressourceneffiziente und sichere Produktion von Leichtbaustrukturen (KORESIL)	37
2.2.12	Analyse der belastungspfadabhängigen Schädigungs- und Mikrostrukturentwicklung zur numerischen Auslegung von Blechmassivumformprozessen	38
2.2.13	Prototypenentwicklung einer Maschine zur Durchführung von equibiaxialen Druckversuchen zur Werkstoffcharakterisierung für die Umformtechnik	39
2.3	Abteilung Profil- und Blechumformung	40
2.3.1	Kinematisches Profilbiegen mit partieller Erwärmung des Querschnitts	41
2.3.2	Wirkmedienbasiertes Profilformen und kinematisches Biegen im kontinuierlichen Prozess mittels gradiertem Temperaturfeld	42
2.3.3	Eigenschaftsgeregelte mehrstufige Warmblechumformung	43
2.3.4	Funktionalisierung additiv gefertigter Presshärtewerkzeuge mittels Glattwalzen	44
2.3.5	Entwicklung eines Modells zur Vorhersage der Geometrieänderungen bei der Federherstellung auf Basis der Plastizitätstheorie unter Berücksichtigung der Wärmebehandlung	45
2.3.6	Schädigungsbeeinflussung bei der Biegeumformung	46
2.3.7	Vorbereitung einer Prüfvorschrift für den ebenen Torsionsversuch	47
2.3.8	Passives Presshärten von Rohren mittels granularer Medien	48
2.3.9	Prozessentwicklung und Technologietransfer eines kombinierten Umformverfahrens zur Herstellung gradiertem Profile für Leichtbauanwendungen (ProLeit)	49
2.3.10	Analyse des Einsatzpotentials walzplattierter MnB-Cr-Stahlverbunde für das Presshärten	50
2.3.11	Gestaltvorhersage und -verbesserung beim Umformen und Zusammenbau von nicht-runden Rohren	51
2.3.12	Vorhersage der Wandstärkenausdünnung beim Rotationszugbiegen von Rohren	52
2.3.13	Erweiterte Formänderung durch temperaturunterstütztes Biegen unterhalb der Rekristallisationstemperatur	53
2.3.14	Umformbarkeitsgrenzen von modernen hochfesten Stählen	54

2.4	Abteilung Sonderverfahren	55
2.4.1	Automatisiertes Bestücken und zerstörungsfreies Prüfen von Rohr-Fitting-Verbindungen (AutoFit)	56
2.4.2	Umformung additiv gefertigter Sandwichblechverbunde mit optimierten Kernstrukturen	57
2.4.3	Reduzierung des Treppenstufeneffekts bei aus Blechlamellen geschichteten Werkzeugen mittels additiver und umformtechnischer Nachbearbeitung	58
2.4.4	Entwicklung und Herstellung optimierter Spulenwindungen für die elektromagnetische Umformung unter Einsatz additiver Verfahren	59
2.4.5	Verbesserung des Einsatzverhaltens inkrementell umgeformter Bauteile durch gezielte Eigenspannungsinduktion	60
2.4.6	Einsatz und Analyse des adiabatischen Scherschneidens	61
2.4.7	Umformen mittels örtlich variabel vaporisierender Aktuatoren	62
2.4.8	Grundlagenuntersuchungen und Verfahrensentwicklung zur Herstellung belastungsangepasster Bauteile mittels inkrementeller Blechmassivumformung (iBMU)	63
2.4.9	Inkrementelle Blechmassivumformung unter Anwendung thermisch gesteuerter Gradierungsmechanismen	64
2.4.10	Umformbarkeit von Hochtemperatur-Edelstählen	65
2.4.11	Green Manufacturing – Emissionsanalyse einer industriellen Prozesskette zur Warmumformung von Blechbauteilen	66
2.4.12	Blechmassiv-Warmumformung belastungsangepasster Zahnstangen	67
3	Weitere Aktivitäten	73
3.1	Auszeichnungen	73
3.2	Veranstaltungen	74
3.3	Mitwirkung in nationalen und internationalen Organisationen: Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya	78
3.4	Mitwirkung in nationalen und internationalen Organisationen: Prof. Dr.-Ing. Matthias Kleiner	82
4	Internationaler Austausch	87
5	Technische Ausstattung	93



6	Kooperationen	Mittelteil
7	Abgeschlossene Arbeiten	Mittelteil
8	Ausgewählte Veröffentlichungen und Vorträge	Mittelteil
9	Mitarbeiter/-innen	Mittelteil

Geleitwort

Sehr verehrte Leserinnen und Leser,

in unserem Vorwort des vergangenen Jahres hatten wir die Hoffnung formuliert, in absehbarer Zeit zu einer vor-epidemischen Normalität zurückkehren zu können. Nun sind wir von der Realität gefordert, uns in Geduld zu fassen – einer Tugend, die der akademischen Welt durchaus nicht fremd ist: Forscherinnen und Forscher beweisen in ihrer akademischen Ausbildung ein hohes Maß an Ausdauer und auch im Forschungsalltag ist meist Beharrlichkeit gefragt. Geduld ist damit aber nicht nur passives Verweilen, sondern manifestiert sich auch in geduldigem Handeln. So wird das IUL weiter geduldig daran arbeiten, ein verlässlicher Kontakt für Studierende und Partnerinnen und Partner des Instituts zu sein, indem wir alle zu ergreifenden Corona-Maßnahmen transparent kommunizieren und besonnen und flexibel alle Freiheiten und Möglichkeiten nutzen, die im Pandemiegeschehen möglich sind. Vorrangiges Ziel wird es auch im Jahr 2022 sein, Lehre und Betreuung für die Studierenden in optimaler Qualität zu garantieren und die Forschungsarbeiten am Institut auf exzellentem Niveau fortzuführen. Lesen Sie doch mehr zu den erzielten Ergebnissen im Forschungskapitel dieses Tätigkeitsberichtes.

Die Pandemie produziert fraglos furchtbare menschliche und gesellschaftliche Dramen. Sie ist herausfordernd und schwierig für alle Hochschulmitglieder. Als markante Zäsur bietet sie allerdings in Bezug auf den universitären Alltag auch die Chance, etablierte Routinen zu hinterfragen und Neues zu wagen. So nutzen wir wie selbstverständlich neue Arbeitskonzepte und die Digitalisierung der Lehre und Verwaltung schreitet erzwungenermaßen schneller als jemals gedacht voran.

Es motiviert zudem, dass der hohe Einsatz honoriert wird. So erhielt Matthias Kleiner für seine herausragenden Beiträge zur ingenieurwissenschaftlichen Forschung und im Wissenschaftsmanagement die erste ingenieurwissenschaftliche Ehrendoktorwürde „Dr.-Ing. E.h.“ der Leuphana Universität Lüneburg.

Für unsere Expertise in Bezug auf digitale und hybride Veranstaltungskonzepte haben wir von den Studierenden ein sehr positives Feedback erhalten. Dank kurzfristig durchgeführter Digitalkonzepte konnten auch Großveranstaltungen wie die „International Conference on High Speed Forming 2021 (ICHSF)“ oder das „8. Dortmunder Kolloquium zur Rohr- und Profilmformung (DORP)“ stattfinden. Beide Veranstaltungen kamen bei den Teilnehmenden hervorragend an. Auch einige Aufenthalte von Gastforschenden konnten wir

in 2021 realisieren und somit unser internationales Netzwerk sogar persönlich pflegen. Beiträge zu den Veranstaltungen und Forschungsaufenthalten finden Sie in den entsprechenden Kapiteln des vorliegenden Berichtes.

Dies alles ist natürlich nur möglich gewesen durch den außerordentlich hohen Einsatz aller IUL-Mitarbeitenden, für den wir uns an dieser Stelle sehr herzlich bedanken. Unser Dank gilt zudem allen Personen und Einrichtungen, die das IUL unterstützen. Lassen Sie uns gemeinsam zuversichtlich auf das Jahr 2022 blicken, das für das IUL ein besonderes sein wird, denn das IUL feiert 50 Jahre Dortmunder Umformtechnik.



Das 50-jährige Jubiläum möchten wir zum Anlass nehmen, den überaus erfolgreichen Werdegang der Dortmunder Umformtechnik gebührend an zwei aufeinander folgenden Tagen zu feiern: Im Rahmen eines wissenschaftlichen Kolloquiums präsentieren internationale Gäste aus der Forschungsgemeinschaft Anfang September 2022 aktuelle Impulse und Innovationen für die Umformtechnik. Und am Folgetag betrachten wir in einer Feierstunde gemeinsam mit zahlreichen Ehemaligen und Freundinnen und Freunden des Instituts die spannende 50-jährige Vergangenheit und Zukunft der Umformtechnik in Dortmund.

Übrigens: Das Jubiläumsjahr mit seinen Festivitäten war für uns die ideale Gelegenheit für einen Relaunch der IUL-Webseite. Schauen Sie doch mal vorbei: **www.iul.eu**.



A. Erman Tekkaya



Matthias Kleiner

Lehre

01

1 Lehre

1.1 Lehrveranstaltungsangebot

Das Institut für Umformtechnik und Leichtbau bietet Vorlesungen und Labore in den Bachelor- und Masterstudiengängen Logistik, Wirtschaftsingenieurwesen und Maschinenbau an. Zusätzlich werden u. a. Lehramts-, Informatik- und Physikstudierende unterrichtet, welche die angebotenen Vorlesungen im Rahmen eines Nebenfachs belegen. Den Studierenden wird dabei das notwendige Wissen im Bereich der Umformtechnik vermittelt, welches sie für einen beruflichen Einstieg in die industrielle Praxis oder für eine wissenschaftliche Laufbahn benötigen. Seit dem Wintersemester 2019/2020 gilt folgende Vorlesungsstruktur nach der Neugestaltung der Prüfungsordnung:

	1. Semester / Winter	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Fertigungslehre</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Überblick, Grundlagen, Halbzzeuge, Verfahren/Maschinen</td> </tr> </table>		Fertigungslehre		Überblick, Grundlagen, Halbzzeuge, Verfahren/Maschinen	
Fertigungslehre							
Überblick, Grundlagen, Halbzzeuge, Verfahren/Maschinen							
Bachelor	5. Semester / Winter	<table border="1"> <tr> <td>Umformende Fertigungstechnologie</td> </tr> <tr> <td>Erw. Grundlagen, Plastizitätstheorie, Verfahren/Maschinen</td> </tr> </table>	Umformende Fertigungstechnologie	Erw. Grundlagen, Plastizitätstheorie, Verfahren/Maschinen	<table border="1"> <tr> <td>Materialcharakterisierung in der Umformtechnik (Labor)</td> </tr> <tr> <td>Theorie, Experimente, Auswertung</td> </tr> </table>	Materialcharakterisierung in der Umformtechnik (Labor)	Theorie, Experimente, Auswertung
	Umformende Fertigungstechnologie						
Erw. Grundlagen, Plastizitätstheorie, Verfahren/Maschinen							
Materialcharakterisierung in der Umformtechnik (Labor)							
Theorie, Experimente, Auswertung							
	6. Semester / Sommer	<table border="1"> <tr> <td>Methoden zur Analyse von Prozessen und WZ-Maschinen</td> </tr> <tr> <td>Grundlagen der Umformmaschinen</td> </tr> </table>	Methoden zur Analyse von Prozessen und WZ-Maschinen	Grundlagen der Umformmaschinen	<table border="1"> <tr> <td>Simulation in der Umformtechnik</td> </tr> <tr> <td>Anwendung der FEM in der Massiv- und Blechumformung</td> </tr> </table>	Simulation in der Umformtechnik	Anwendung der FEM in der Massiv- und Blechumformung
Methoden zur Analyse von Prozessen und WZ-Maschinen							
Grundlagen der Umformmaschinen							
Simulation in der Umformtechnik							
Anwendung der FEM in der Massiv- und Blechumformung							
Master	1. Semester / Sommer	<table border="1"> <tr> <td>Umformtechnik I</td> </tr> <tr> <td>Vertiefung der Verfahren, Prozesskette</td> </tr> </table>	Umformtechnik I	Vertiefung der Verfahren, Prozesskette	<table border="1"> <tr> <td>Analytische u. exp. Methoden in der Umformtechnik</td> </tr> <tr> <td>Modellierung von umformtechnischen Verfahren</td> </tr> </table>	Analytische u. exp. Methoden in der Umformtechnik	Modellierung von umformtechnischen Verfahren
	Umformtechnik I						
Vertiefung der Verfahren, Prozesskette							
Analytische u. exp. Methoden in der Umformtechnik							
Modellierung von umformtechnischen Verfahren							
	2. Semester / Winter	<table border="1"> <tr> <td>Umformtechnik II</td> </tr> <tr> <td>Sonderverfahren der Umformtechnik</td> </tr> </table>	Umformtechnik II	Sonderverfahren der Umformtechnik	<table border="1"> <tr> <td>Advanced Simulation Techniques in Metal Forming II</td> </tr> <tr> <td>Nichtlineare FEM</td> </tr> </table>	Advanced Simulation Techniques in Metal Forming II	Nichtlineare FEM
Umformtechnik II							
Sonderverfahren der Umformtechnik							
Advanced Simulation Techniques in Metal Forming II							
Nichtlineare FEM							

Vorlesungsstruktur am Beispiel des Studiengangs Maschinenbau mit Profil Produktionstechnik

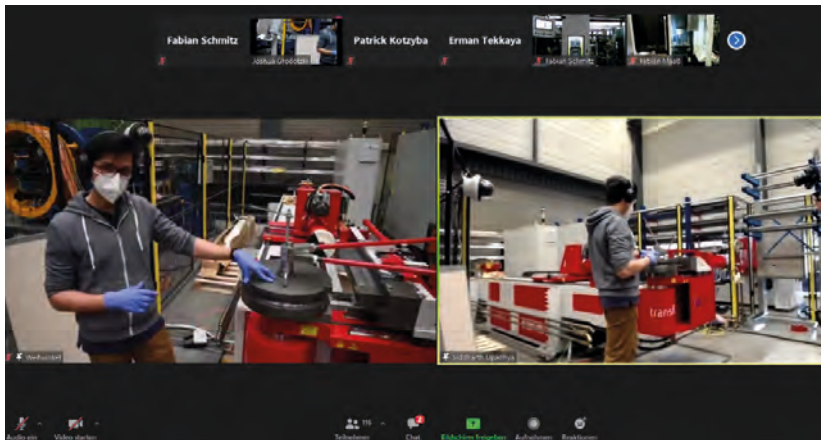
Weitere Lehrveranstaltungen des Instituts im Jahr 2021 waren:

- Eigenschaftsorientierte Halbzeugherstellung
- Ringvorlesung Umformtechnik
- Fachlabor A im Masterstudium Maschinenbau
- Fachlabor B im Bachelorstudium Wirtschaftsingenieurwesen

Folgende Lehrveranstaltungen bietet das IUL im internationalen Masterstudiengang „Master of Science in Manufacturing Technology“ (MMT) auf Englisch an:

- Forming Technology I – Bulk Forming
- Forming Technology II – Sheet Metal Forming
- Advanced Simulation Techniques in Metal Forming
- Additive Manufacturing
- Aluminium – Basic Metallurgy, Properties, Processing and Applications
- Laboratory Work – Material Characterization in Forming Technology

Da auch im Jahr 2021 die Lehrveranstaltungen pandemiebedingt größtenteils digital stattfinden mussten, wurde auch die Hallenvorlesung des Wintersemesters 2020/21 erstmals via Live-Stream durchgeführt. IUL-Mitarbeiter/-innen führten Versuche in der Kennwertermittlung, dem Rotationszugbiegen,



Ausschnitt aus der digitalen Hallenvorlesung am IUL

der inkrementellen Blechumformung und im adiabatischen Scherschneiden durch und kommentierten detailliert ihr Vorgehen. Die 100 teilnehmenden Studierenden konnten über eine Videokonferenzsoftware zu jedem Zeitpunkt Fragen stellen und das Gesehene kommentieren. Dank der allmählichen Lockerungen der Corona-Maßnahmen können Lehrinhalte seit dem Wintersemester 2021/22 wieder vermehrt in Präsenz stattfinden.

Im Jahr 2021 haben sich folgende Lehrbeauftragte an den Lehrveranstaltungsangeboten des Instituts beteiligt:

- Prof. J. Hirsch, Aluminium Consulting, Königswinter, Germany
- Prof. J. Sehr, Ruhr-Universität Bochum
- Dr. G. Georgiadis, Excelix Ltd.
- Dr. K.-F. Karhausen, Speira GmbH
- Dr. J. Ostrowski, Quaker Houghton
- Dr. S. Gies, Danieli Germany GmbH
- Dr. L. Kwiatkowski, OTTO FUCHS KG
- A. Roßbach, SMS Group GmbH

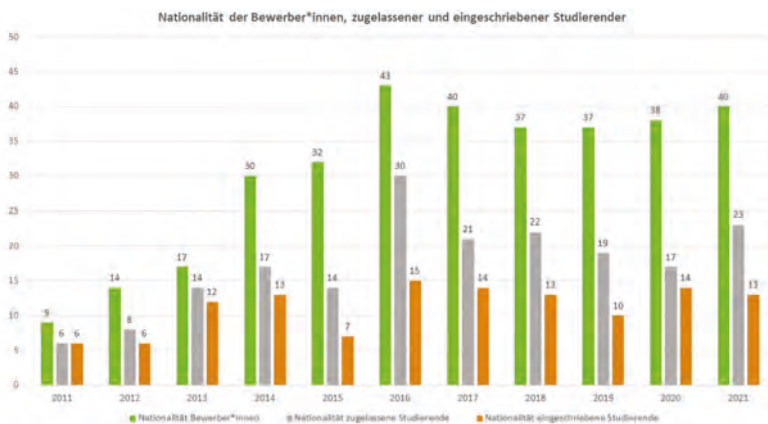
Weitere Informationen sind unter www.iul.eu/lehre zu finden.

1.2 Master of Science in Manufacturing Technology (MMT)

Koordination

Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya
Frigga Göckede B. B. A.
Kerstin Barton M. A.
Siddhant Goyal M. Sc.

Der im Jahr 2011 gestartete viersemestrige englischsprachige Masterstudiengang „Master of Science in Manufacturing Technology“ (MMT) im Bereich Produktions- und Fertigungstechnik konnte für den Studienstart zum Wintersemester 2021/22 erneut ein hohes internationales Interesse verzeichnen. Aus nahezu 800 Bewerbungen aus 40 Nationen wurden 57 exzellente Studierende für den Studienstart an der TU Dortmund ausgewählt. 28 von ihnen haben ihr Studium an der Fakultät Maschinenbau begonnen, darunter fünf weibliche Studierende. Damit weist der Jahrgang 2021/22 einen überdurchschnittlichen Frauenanteil auf. Im Rahmen der vom DAAD organisierten Kooperation mit der Türkisch-Deutschen Universität in Istanbul hat ein Student sein MMT-Studium aufnehmen können.



Entwicklung der Diversität im MMT-Programm

Um die Diversität in diesem internationalen Studiengang weiterhin auszuweiten, wurden seitens des Koordinatoren-Teams die Herkunftsländer der Studierenden und der Interessent/-innen analysiert und daraufhin Maßnahmen ergriffen, Studieninteressierte aus weiteren Ländern über den MMT zu informieren. Im Rahmen dieser Maßnahmen wurden in Kooperation mit dem DAAD Newsletter verschickt und Anzeigen auf den DAAD-Länderseiten geschaltet, um auf das Programm und die Bewerbungsfrist aufmerksam zu machen. Darüber hinaus wurde ein Marketingplan erarbeitet, der schrittweise umgesetzt werden soll und in dessen Rahmen auch sozialen Medien

stärker für die Werbung von Studieninteressierten genutzt werden sollen.

Nach einem erfolgreichen Testlauf soll künftig für jede Kohorte nach zwei Semestern eine Art „Halbzeit-Analyse“ angeboten werden, bei der die Studierenden Feedback zur ersten Hälfte ihres Studiums machen können und die notwendigen Informationen für die anstehenden zwei Semester, insbesondere zu Labor-, Projekt- und Masterarbeit erhalten. Das regelmäßige, persönliche Feedback der Studierenden wird ausgewertet und zur Optimierung der Lehr- und Studienbedingungen an die Lehrstühle weitergetragen. In Zusammenarbeit mit Dezernat 4 und der Prüfungsverwaltung wurde darüber hinaus die MMT-Prüfungsordnung überarbeitet und an das neue Hochschulgesetz angepasst.

Die anhaltende Pandemie hat auch den Studienstart 2021/22 erneut stark beeinflusst. Da in einigen Ländern offizielle Behörden und Institutionen noch immer nicht im Normalbetrieb arbeiten, konnten nicht alle zugelassenen Bewerber/-innen zum Start des Wintersemesters nach Dortmund anreisen. Daraufhin wurde in Absprache mit den einzelnen Lehrstühlen entschieden, die Lehre des MMT-Programms auch im Wintersemester 2021/22 digital zu gestalten. Um den Studierenden, die ihr Studium digital aus ihren Heimatländern beginnen, dennoch einen bestmöglichen Start an der Fakultät Maschinenbau zu bereiten, hat die MMT-Koordination eine virtuelle Welcome Week mit verschiedenen Aktivitäten für die neue Kohorte organisiert. Zum Auftakt hieß Professor Tekkaya als Leiter des Studienprogramms den neuen Jahrgang per Videokonferenz herzlich willkommen. Dabei hatten auch die Studierenden die Möglichkeit, erste Kontakte untereinander zu knüpfen. Tags darauf veranstaltete die MMT-Koordination einen Workshop zum Leben und Studieren in Dortmund. Die Studierenden erfuhren hier Details zum deutschen Hochschulsystem und konnten nützliche Tipps und Tricks für den Studienalltag mitnehmen. In der anschließenden Q&A-Session hatten die neuen MMT-Studierenden die Möglichkeit, Fragen zum Studium und Leben in Deutschland zu stellen. Per Video und Chat entstand ein reger Austausch zwischen den Studierenden und der MMT-Koordination. An Tag drei der Welcome Week hatten die Studierenden bei einer digitalen Schnitzeljagd die Möglichkeit, sich untereinander zu vernetzen und durch Teamwork ihre interkulturellen Kompetenzen zu erweitern.

In Kooperation mit dem Referat Internationales wurde ein Informationsvideo gedreht, welches sowohl auf den Kanälen des Referats Internationales als auch auf der MMT-Homepage veröffentlicht wurde. Dank die Mithilfe einiger eingeschriebener und ehemaliger MMT-Studierender können internationale Studieninteressierte durch das Video einen Einblick in die spezifischen Anforderungen und Charakteristika des Studienganges MMT erhalten.

Für weitere Informationen: **www.mmt.mb.tu-dortmund.de**

1.3 Dissertationen

Wernicke, Sebastian

Inkrementelle Blechmassivumformung
belastungsangepasster Funktionsbauteile

Dortmunder Umformtechnik, Band 112

Reihe

Shaker Verlag, 2021

Verlag

Mündl. Prüfung

2. Februar 2021

Berichter

Prof. Dr.-Ing. A. E. Tekkaya

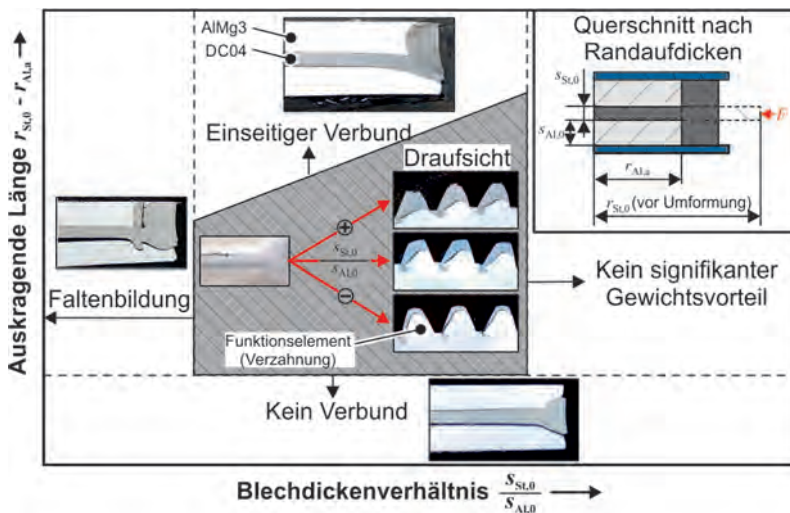
Mitberichter

Prof. Dr.-Ing. P. Steinmann

(Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg)

Die inkrementelle Blechmassivumformung (iBMU) stellt einen innovativen Ansatz zur ressourceneffizienten Herstellung belastungsangepasster Funktionsbauteile dar. Im Rahmen dieser Arbeit wird untersucht, ob die kinematische Flexibilität der iBMU eine Bauteilfertigung über unterschiedliche Formänderungshistorien ermöglicht. Mittels FEM werden prozessspezifische Formänderungsverteilungen bei der Einstellung der Wandstärke sowie der Ausformung der Funktionselemente identifiziert. Ferner wird analysiert, ob die Formänderungshistorien zur gezielten Einstellung der Bauteileigenschaften genutzt werden können. Abschließend wird ein Konzept zur Hybridisierung der Bauteile entwickelt und untersucht, wodurch eine umformtechnische Paarung von Leichtmetallen und höherfesten Werkstoffen zur ausgeprägteren Gradierung der Bauteileigenschaften genutzt werden kann (vgl. Bild).



Verbund in Abhängigkeit der Auskraglänge und des Blechdickenverhältnisses bei hybridisierten Funktionsbauteilen

Heibel, Sebastian

Reihe

Verlag

Mündl. Prüfung

Berichter

Mitberichter

Schädigung und Versagensverhalten

hochfester Mehrphasenstähle

Dortmunder Umformtechnik, Band 114

Shaker Verlag, 2021

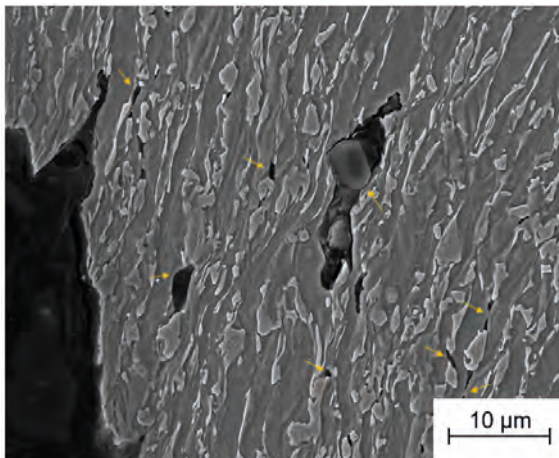
25. März 2021

Prof. Dr.-Ing. A. E. Tekkaya

Prof. Dr.-Ing. S. Münstermann

(RWTH Aachen University)

Die höheren Festigkeiten von Mehrphasenstählen gehen mit einer reduzierten Duktilität einher. Insbesondere die heterogene Mikrostruktur von Dualphasenstählen neigt zur Schädigungsevolution und beeinflusst das Formänderungsvermögen. Im Gegensatz zu den Dualphasenstählen mit ihrer heterogenen Mikrostruktur zeigen Complexphasenstähle, dass eine homogenere Mikrostruktur zu einer hohen Schädigungstoleranz und hohen lokal ertragbaren Dehnungen führt. Es wird herausgearbeitet, dass in der Blechumformsimulation eine Berücksichtigung der mikrostrukturellen Schädigung durch Poren im Sinne einer Reduktion des tragenden Querschnitts auf makroskopischer Skala nicht notwendig ist. Zur Verbesserung der Versagensprognose eignen sich Modellbruchkurven invers kalibrierter Schädigungsmodelle oder Bruchkriterien. Aus Werkstoffbruchkurven abgeleitet wird die wahre Dickendehnung bei Bruch als Maß zur Charakterisierung des Formänderungsvermögens und damit einhergehend der Schädigungstoleranz qualifiziert. Dies ermöglicht zusammen mit der wahren Gleichmaßdehnung die Bewertung des duktilen Schädigungs- und Versagensverhaltens.



Beispiel für die Schädigungsevolution eines DP600 an einer schergeschnittenen Kante

Mennecart, Thomas

Reihe

Verlag

Mündl. Prüfung

Berichter

Mitberichter

In-situ-Hybridisierung von Faser-Metall
Laminaten

Dortmunder Umformtechnik, Band 115

Shaker Verlag, 2022

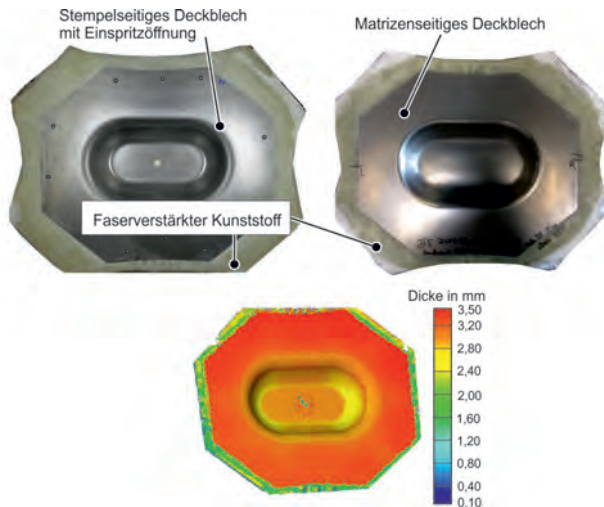
6. Dezember 2021

Prof. Dr.-Ing. A. E. Tekkaya

Prof. Dr.-Ing. N. Ben Khalifa

(Leuphana Universität Lüneburg)

Im Flugzeugbau wird zur Herstellung von Faser-Metall-Laminaten (FML) das Autoklavverfahren genutzt. Es existieren gleichzeitig Forschungsaktivitäten für eine großserientaugliche Produktion von FML, für die ein bereits umgeformtes Blech oder bereits vorkonsolidierte Fasermatten benötigt werden. Es bestehen jedoch Herausforderungen hinsichtlich der Umformbarkeit bzw. Herstellung solcher Bauteile. Innerhalb dieser Dissertation wird ein neuartiges Verfahren gezeigt, mit dem FML durch Nutzung von nicht zuvor umgeformtem oder vorkonsolidiertem Material hergestellt werden können. Die Bauteilherstellung geschieht dabei im Wesentlichen in nur einem Prozessschritt. Hierfür wird der Einfluss der Fasermatten auf die Umformung der Bleche untersucht. Neben der Prozessentwicklung und einer FML-gerechten Werkzeugentwicklung konnten im Rahmen der Untersuchungen auch schon Bauteile erfolgreich hergestellt werden. Zudem wurde ein Prozessverständnis erlangt und Erkenntnisse für eine mögliche Bestimmung eines Prozessfensters abgeleitet.



Bauteile hergestellt mit der In-situ-Hybridisierung inkl. Dickenverteilung

Forschung

02

2 Forschung

Die Mitarbeitenden (36 Wissenschaftler/-innen, 11 technische und administrative Mitarbeiter/-innen sowie mehr als 50 studentische Hilfskräfte) am Institut für Umformtechnik und Leichtbau leisten mit ihrer Forschung einen wichtigen Beitrag zur klimafreundlichen Gestaltung der Fertigungstechnik. Sie entwickeln gänzlich neue Methoden wie das Strangpressen von Blechen aus Metallspänen und die Einstellung ausgezeichneter Eigenschaften von Produkten über neue Regelungskonzepte. Hierzu erforschen die Mitarbeitenden Prüf- sowie Simulationsverfahren und bringen sie zur Anwendungsreife. Das Strangpressen von Profilen aus Spänen spart bereits 47 % der Energie und 55 % des CO₂-Ausstoßes gegenüber der Herstellung aus Sekundäraluminium. Die umfangreiche Erfahrung des IUL-Teams floss 2021 auch in eine Zusammenarbeit mit der Wirtschaftsförderung Dortmund: Die erarbeitete Studie zur Stärkung des Innovations- und Wirtschaftsstandorts Westfalen hat gesellschaftliche Bedeutung über die Fachgrenzen hinaus. Eine Herzensangelegenheit der Institutsleitung ist auch die tatkräftige Gestaltung von gemeinschaftlichen Forschungsvorhaben mit nationalen und internationalen Partner/-innen aus Forschung und Industrie.

Die Beteiligung an den zwei Sonderforschungsbereichen TRR 188 und TRR 73 (jeweils Standortsprecherschaft) sowie an den zwei in diesem Jahr verlängerten Schwerpunktprogrammen SPP 2013 und SPP 2183 sind Ausdruck dieser intensiven Vernetzung. Neben den drei Abteilungen „Massivumformung“,

„Profil- und Blechumformung“ sowie „Sonderverfahren“ besteht die in der Grafik dargestellte Institutsstruktur aus den drei abteilungsübergreifenden Einheiten „Research Center for Industrial Metal Processing“ (ReCIMP), „Research Group on Additive Technology“ (ReGAT) und der „Forschungsgruppe Angewandte Mechanik“. Die abteilungsspezifischen Forschungsschwerpunkte und Forschungsprojekte sind nachfolgend detailliert beschrieben.



Institutsstruktur

2.1 Forschungsgruppen und -center

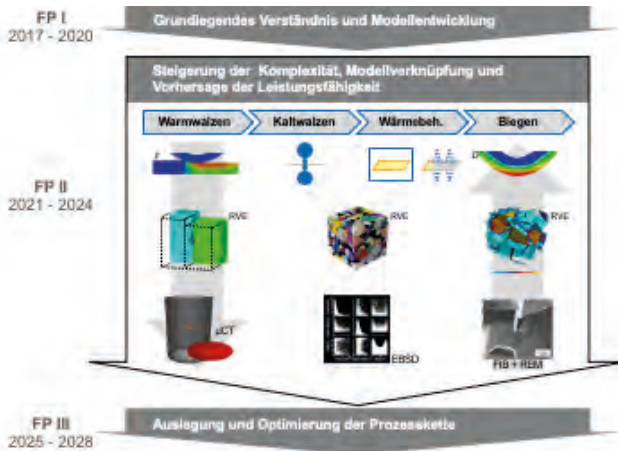
2.1.1 SFB/Transregio 188 – Schädigungskontrollierte Umformprozesse

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	TRR 188/2-2021
Stellvertretender Sprecher und Standortsprecher	Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya

Im Januar 2021 begann die zweite Förderperiode des von der RWTH Aachen und der TU Dortmund gemeinsam initiierten Sonderforschungsbereichs. Seit 2017 fördert die DFG die Forschung zu Werkstoffschädigungen, die sich während der Umformung ausbilden. Die Forschungshypothese des SFB/Transregio 188 ist, dass die durch die Umformung verursachte Schädigung die Leistungsfähigkeit der Bauteile maßgeblich beeinflusst und dass die Leistungsfähigkeit erhöht werden kann, indem die Schädigung kontrolliert eingestellt wird. Dementsprechend ist das übergeordnete Gesamtziel des TRR 188, die Mechanismen der Werkstoffschädigung bei der Umformung zu verstehen, die Schädigungsevolution quantitativ vorherzusagen und die Schädigungszustände im Hinblick auf die Bauteilleistungsfähigkeit gezielt einzustellen. Der Leitgedanke des TRR 188 „Schädigung ist kein Versagen“ bedeutet, dass die duktile Schädigung in der Umformtechnik nicht nur ein Maß für den Abstand von der Versagensgrenze („formability“) ist, sondern die Leistungsfähigkeit in der Anwendung („usability“) maßgeblich beeinflusst. Wird die Schädigungsentwicklung bei der Bauteil- und Prozessauslegung berücksichtigt, können Umformteile mit maßgeschneiderter und garantierter Leistungsfähigkeit realisiert werden.

Die Ergebnisse der ersten Förderperiode belegen die Umsetzbarkeit dieser Vision. Es wurde erstmalig nachgewiesen, dass die Höhe der im Umformprozess akkumulierten Werkstoffschädigung bereits vor dem Eintreten eines Versagensfalls die Leistungsfähigkeit der Produkte beeinflusst und damit eine nicht zu vernachlässigende Größe für die Bauteileigenschaften darstellt. Der alleinige Einfluss der Schädigung auf die Leistungsfähigkeit konnte durch eine gezielte Parameterisolierung gezeigt werden. Zum anderen konnte an ausgewählten Blech- und Massivumformverfahren gezeigt werden, dass das Schädigungsniveau in einem Bauteil bei gleichem Werkstoff und gleicher Ausgangs- und Zielgeometrie über die gezielte Wahl des Prozessdesigns kontrolliert werden kann und dass ein steigender Umformgrad nicht zwangsläufig zu einer höheren Schädigung führt. Zur Quantifizierung der Schädigung

und der wirkenden Mechanismen wurden effiziente Charakterisierungs- methoden neu- bzw. weiterentwickelt. Damit konnten u. a. die Aktivierungsener- gien für die identifizierten Schädigungsmechanismen ermittelt und erste Maßnahmen für ein Werkstoffdesign mit verbesserter Schädigungstoleranz erarbeitet werden. Für die Vorhersage der Schädigung wurden erste Model- lierungsansätze von der Mikro- bis zur Makroskala entwickelt und anhand experimenteller Daten validiert.



Entwicklungsperspektive zweite Förderperiode

An der Bearbeitung der komplexen, fachübergreifenden Forschungsfragen waren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Fertigungstechnologie und den Werkstoffwissenschaften, der Mechanik sowie der Mess- und Prüftechnik beteiligt. Projektübergreifende Arbeitskreise zu den zentralen Querschnittsthemen „Effiziente Schädigungscharakterisierung“, „Leistungsfähigkeit“, „Validierung“ und „Schädigungsdefinition“ förderten den fachlichen Austausch und die Teambildung. Zusätzlich erhielt der TRR 188 wichtige Impulse und Anregungen für die Forschungsarbeiten durch einen Industrie- kreis, dem Werkstoff- und Halbzeughersteller/-innen, Unternehmen aus der Blech- und Massivumformung, Bauteilanwender/-innen sowie Unternehmen aus den Bereichen Software und Messtechnik angehören. Einige Forschungs- ansätze werden mittlerweile im Rahmen von Transferprojekten im Hinblick auf eine spätere Anwendung in der industriellen Praxis weiterentwickelt. Zugleich bietet der TRR 188 den wissenschaftlichen Mitarbeitenden hervor- ragende Möglichkeiten zur Weiterqualifikation. Neben dem Abschluss vieler studentischer Arbeiten und mehrerer Dissertationen ist hier besonders her- vorzuheben, dass eine Nachwuchswissenschaftlerin und zwei Nachwuchs- wissenschaftler einen Ruf auf eine Professur erhalten haben.

Die grundlegenden Ergebnisse und Erkenntnisse der ersten Förderperiode werden in der nun begonnenen zweiten Phase auf komplexere Bauteilgeometrien und Prozessfolgen angewandt (vgl. Bild) und im Hinblick auf anwendungsorientierte Demonstratoren weiterentwickelt. Als zusätzlicher Aspekt wird die temperaturunterstützte Umformung bzw. Wärmebehandlung mitberücksichtigt. Dabei wird die etablierte Betrachtung von zwei Prozessketten und zugehöriger gängiger Werkstoffkonzepte weitergeführt sowie die Einteilung der Teilprojekte in die drei Bereiche „A: Prozesstechnologie“, „B: Charakterisierung“ und „C: Modellierung“. Ebenso werden die projektübergreifenden Arbeitskreise in leicht modifizierter Form und das wissenschaftliche Serviceprojekt fortgeführt. Letzteres bereitet die entwickelten Schädigungsmodelle zur Finite-Elemente-Simulation in kommerziellen Programmen auf und stellt Softwarewerkzeuge für die Prozesssimulation und Parameteridentifikation bereit.

Komplexere Bauteile erfordern Prozessketten aus anderen und aus mehreren Umformschritten, sodass im Projektbereich A die Schädigungsentwicklung unter Lastpfaden, bei denen sich neben dem hydrostatischen auch der deviatorische Spannungsanteil stark ändert, untersucht wird. Zusätzlich muss bei der Warmumformung sowie bei den zwischen- und nachgelagerten Wärmebehandlungsschritten die Mikrostrukturentwicklung betrachtet werden. Wie im Projektbereich B aufgezeigt, hat diese einen zusätzlichen Einfluss auf die Schädigungsevolution und damit auf die Leistungsfähigkeit der Bauteile. Darüber hinaus wird die Interaktion von duktilen und zyklischen Schädigungsmechanismen im Projektbereich B umfassend untersucht, um den Zusammenhang zwischen duktil eingebrachter Initialschädigung und resultierender Bauteilleistungsfähigkeit auch für den Fall einer Ermüdungsbeanspruchung des umformtechnisch hergestellten Bauteils mit möglichst hoher Genauigkeit beschreiben zu können. Im Projektbereich C werden die in der ersten Phase erarbeiteten Schädigungsmodelle weiterentwickelt, um Prozessketten ganzheitlich simulieren und im Hinblick auf die Bauteilleistungsfähigkeit optimieren zu können. Somit ergeben sich für die zweite Förderperiode folgende Ziele:

- Vertiefung des Verständnisses über die Schädigung, ihrer Mechanismen und die Mechanismeninteraktion
- Erhöhung der Komplexität durch neue Umformprozesse, Betrachtung des Temperatureinflusses (Charakterisierung, Warmumformung, Wärmebehandlung) und der mehrskaligen Modellierung
- Verstärkung der Verknüpfung zwischen den Prozessen, den wirkenden Mechanismen und den resultierenden Werkstoffeigenschaften

- Separation der Effekte Verfestigung, Eigenspannung, Mikrostrukturentwicklung und Schädigung bei komplexen Bauteilen und erhöhter Temperatur
- Quantifizierung der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von Schädigungs- und Mikrostruktureinflüssen

Die Bearbeitung der Teilprojekte erfolgt am Standort Dortmund durch das Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL), das Institut für Mechanik (IM) und das Fachgebiet Werkstoffprüftechnik (WPT) aus der Fakultät Maschinenbau sowie durch den Lehrstuhl Baumechanik (BM) aus der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen. An der RWTH Aachen (Sprecherhochschule) kommen die Teilprojektleiterinnen und -leiter aus dem Institut für Bildsame Formgebung (IBF), dem Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK) und dem Institut für Metallkunde und Materialphysik (IMM) aus der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik sowie dem Werkzeugmaschinenlabor (WZL) aus der Fakultät für Maschinenwesen und dem Gemeinschaftslabor für Elektronenmikroskopie (GFE). Auch das Institut für Angewandte Materialien – Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM) der Fakultät für Maschinenbau am KIT Karlsruhe und das außeruniversitäre Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH (MPIE) in Düsseldorf sind am TRR 188 beteiligt.

2.1.2 ReCIMP – Research Center for Industrial Metal Processing

Leitung Dr.-Ing. Sebastian Wernicke

Die seit nunmehr acht Jahren etablierte Kooperation mit dem internationalen Automobilzulieferer Faurecia wurde auch im Jahr 2021 erfolgreich fortgesetzt. In dem „Research Center for Industrial Metal Processing“ (ReCIMP) kooperiert das IUL mit den Faurecia-Sparten „Automotive Seating“ und „Clean Mobility“ in vielfältigen Projekten im Bereich innovativer Metallumformverfahren. Übergeordnete Zielsetzung jedes Projekts ist die Verbesserung und Vertiefung von Grundlagenwissen der betrachteten Prozesse und Prozessketten. Außerdem liegt ein Schwerpunkt auf der Identifikation und Untersuchung neuer wissenschaftlicher Forschungsrichtungen im Bereich Fertigungstechnik. Die Kooperation mit anderen Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen zum Aufbau eines Kompetenznetzwerks ist dabei ein willkommener Nebeneffekt. Außerdem fördert die Kooperation des Instituts mit Faurecia auch eine praktische Zusammenarbeit an den verschiedenen Standorten des Unternehmens.

Strukturell sind die einzelnen ReCIMP-Projekte den folgenden sechs Schwerpunktbereichen zugeordnet:

- Erweiterung der Formänderungsgrenzen
- Charakterisierung hochfester Stahlgüten
- alternative Produktionsmethoden
- Flexible Produktion
- Leichtbaustrukturen
- Verarbeitung von Rohrhalbzeugen

Die Projektbearbeitung erfolgt dabei themenspezifisch durch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der verschiedenen IUL-Abteilungen. Das Advisory Board des ReCIMP diskutiert regelmäßig die Fortschritte in den einzelnen Projekten sowie die Gesamtausrichtung des Forschungszentrums. Die Abbildung auf der folgenden Seite gibt einen Überblick über die im Jahr 2021 bearbeiteten Projekte.

Unterstützung erfahren die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter durch zahlreiche studentische Hilfskräfte und Studierende, die Projekt- oder Abschlussarbeiten in den Projekten anfertigen. Seit Gründung des Forschungszentrums waren bereits weit mehr als 65 Studierende in ReCIMP-Projekten involviert; für mehrere aktuelle wissenschaftliche Angestellte des IUL war eine Abschlussarbeit in ReCIMP der Einstieg in die wissenschaftliche Karriere. Allein im Jahr 2021 wurden fünf Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten im For-

schungszentrum verfasst. Besonders wirkungsvoll zeigt sich die Kooperation, wenn aus den zunächst innerhalb des Forschungszentrums bearbeiteten Forschungsthemen grundlegende Fragestellungen und Forschungsfelder für drittmittelgeförderte Forschungsprojekte entstehen – wie bereits mehrfach geschehen in den letzten Jahren.

Erweiterung der Formänderungsgrenzen	Erweiterte Formänderung durch temperaturunterstütztes Biegen unterhalb der Rekristallisationstemperatur
	Verbesserung des Einsatzverhaltens inkrementell umgeformter Bauteile durch gezielte Eigenspannungsinduktion
Charakterisierung hochfester Stahlgüten	Globale und lokale Duktilitätsanalyse von hochfesten Stählen und rostfreien Edelstählen
	Umformbarkeit von Hochtemperatur-Edelstählen
Alternative Produktionsmethoden	Einsatz und Analyse des adiabatischen Scherschneidens
	Green Manufacturing
Flexible Produktion	Analyse der Gestaltabweichung bei nicht-runden Katalysatoren Gestaltvorhersage und Verbesserung beim Weiten von nicht-runden Rohren
Leichtbaustrukturen	Blechmassiv-Warmumformung belastungsangepasster Zahnstangen
Verarbeitung von Rohralbzeugen	Vorhersage der Wandstärkenausdünnung beim Rotationszugbiegen
	Passives Presshärten von Rohren mittels granularer Medien
	Standardisierte Charakterisierung von Rohrmaterial

Laufende Projekte Abgeschlossene Projekte

Im Jahr 2021 bearbeitete Forschungsthemen

Im Bereich der Charakterisierung moderner Stahlwerkstoffe wurden im Jahr 2021 die Untersuchungen zur Bewertung der globalen und lokalen Umformbarkeit fortgesetzt. Je nach Fertigungsprozesskette ist eine der beiden Eigenschaften wichtiger als die andere. Allerdings gibt es auch Fälle, in denen gerade ein ausgewogenes Verhältnis der globalen und lokalen Umformbarkeit von Interesse ist. Zur Beurteilung der Umformbarkeit werden dabei Grenzformänderungskurven und Bruchformänderungsdiagramme genutzt. Arbeiten in diesem Projekt zielen auf eine schnellere und wirtschaftlichere Ermittlung dieser Kenngrößen mittels analytischer Ansätze. Im Projekt

„Umformbarkeitsgrenzen von modernen hochfesten Stählen“ werden dabei diverse Stahlgüten für Anwendungen aus den Bereichen der „Sitztechnologie“ und des „Abgasstrangs“ untersucht (vgl. Kap. 2.3.14).

Anlässlich der zunehmenden politischen Bestrebungen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen wurden im Jahr 2021 Untersuchungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen in umformtechnischen Prozessketten fortgeführt. Im Projekt „Green Manufacturing“ wurden am Beispiel umformtechnischer Prozessketten die Emissionen der Teilprozesse aufgeschlüsselt und das jeweilige Einsparpotenzial ermittelt. Für diese Teilprozesse konnte ein analytischer Berechnungsansatz entwickelt werden, welcher eine Vorhersage der zu erwartenden CO₂-Emissionen bereits bei der Bauteil- und Prozessauslegung ermöglicht. Darüber hinaus werden in diesem Projekt Konzepte zur Materialeinsparung und Energierückgewinnung entwickelt (vgl. Kap. 2.4.11). Neben Blechhalbzeugen werden insbesondere im Abgasbereich Rohrhalfzeuge eingesetzt. Aus Gründen der optimalen Bauraumausnutzung kommen dabei vermehrt nicht-runde Rohre zum Einsatz. Im Projekt „Gestaltvorhersage und -verbesserung beim Umformen und Zusammenbau von nicht-runden Rohren“ wurde ein numerisches Modell des Umformprozesses entwickelt und für verschiedene Geometrien experimentell validiert. Ziel war es, die weitere Gestaltänderung durch das Einfüllen einer sensiblen Keramikkomponente sowie die Lastverteilung, welche auf diese wirkt, vorherzusagen (vgl. Kap. 2.3.11).

In den Projekten zur „Umformbarkeit von Hochtemperatur-Edelstählen“ (vgl. Kap. 2.4.10) und der „Vorhersage der Wandstärkeausdünnung beim Rotationszugbiegen von Rohren“ (vgl. Kap. 2.3.12) stehen die umformtechnischen Herausforderungen im Vordergrund, welche aus der Substitution austenitischer Stahlgüten durch ferritische Güten hervorgehen. Das 2021 initiierte Projekt zur „Erweiterte[n] Formänderung durch temperaturunterstütztes Biegen unterhalb der Rekristallisationstemperatur“ fokussiert die Vermeidung von Rissen während des Biegens schergeschnittener Blechkannten. Derartige Risse treten insbesondere bei höherfesten Stählen auf und sind im Bereich der sicherheitsrelevanten Sitzkomponenten unbedingt zu vermeiden (vgl. Kap. 2.3.13). Auch bei dem zeitgleich gestarteten Projekt „Blechmassiv-Warmumformung belastungsangepasster Zahnstangen“ liegt der Fokus auf einer thermisch beeinflussten Prozessführung. Diese Technologie ermöglicht zukünftig weitere Gewichts- und Materialeinsparungen im Bereich von Sitzkomponenten. Schwerpunkt der Untersuchungen ist die Reduzierung der thermomechanischen Werkzeugbelastung sowie die Optimierung der Halbzeugauslegung (vgl. Kap. 2.4.12).

2.1.3 ReGAT – Research Group on Additive Technology

Kontakt Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Ramona Hölker-Jäger
Stephan Rosenthal, M. Sc.

Immer komplexer werdende Produkte, konkurrierende Fertigungsverfahren und Werkstofflösungen, kürzere Produktentwicklungs- und Produktlebenszykluszeiten und die zunehmende Bedeutung von ressourcen- und energieeffizienten Fertigungsverfahren motivieren die Arbeitsgruppe „Research Group on Additive Technology“ (ReGAT), die sich mit der Kombination aus Umformtechnik und additiver Fertigung beschäftigt, an hybriden Werkstoffen, Bauteilen und Prozessen und Prozessintegrationen zu forschen und diese zu entwickeln.

Aktuelle Forschungen beschäftigen sich mit der Entwicklung von additiv hergestellten Halbzeugen für die umformtechnische Weiterverarbeitung sowie der Nutzung additiver Fertigungsverfahren zur Werkzeugherstellung oder als Bestandteil der umformtechnischen Fertigungskette.

Für die Verarbeitung von Metallpulver stehen dem IUL zwei additive Fertigungsmaschinen zur Verfügung (vgl. Bild 1):

- ein 5-Achs-Fräszentrum mit integrierter Einheit zum Laserpulverauftragsschweißen (DMG Mori Lasertec 65 3D Hybrid) und
- eine im Pulverbett arbeitende Maschine zum Selektiven Laserschmelzen (SLM) (DMG Mori Lasertec 30 SLM).

Zur Fertigung von Prototypen und Anschauungsobjekten aus Kunststoff kann das IUL auf drei FDM-basierte 3D-Drucker zurückgreifen. Das 5-Achs-Fräszentrum mit integrierter Einheit zum Laserauftragsschweißen von Metallpulver, welches die additive Fertigung und frästechnische Nachbearbeitung vereint, wurde im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsprojekts („Verfahrenskombination aus inkrementeller Blechumformung und Laserpulverauftragsschweißen zur Fertigung von Leichtbauteilen“, 385276922) um die Möglichkeit der inkrementellen Blechumformung erweitert. Somit ist es möglich, drei Fertigungsverfahren (umformtechnisch, additiv, subtraktiv) in einer Aufspannung zu vereinen und anwendungsspezifisch Bauteile herzustellen. Dabei lassen sich Edelstahl und Werkzeugstahl additiv verarbeiten – oder auch hybride Werkstoffkonzepte durch Materialmischungen umsetzen. Aktuelle Forschungsarbeiten, bei denen die Lasertec 65 3D Hybrid eingesetzt wird, untersuchen neuartige Werkzeugkonzepte für die Umformtechnik. Das von der DFG geförderte Grundlagenprojekt (417202720) beschäftigt sich mit der „Funktionalisierung additiv gefertigter Presshärtewerkzeuge mittels

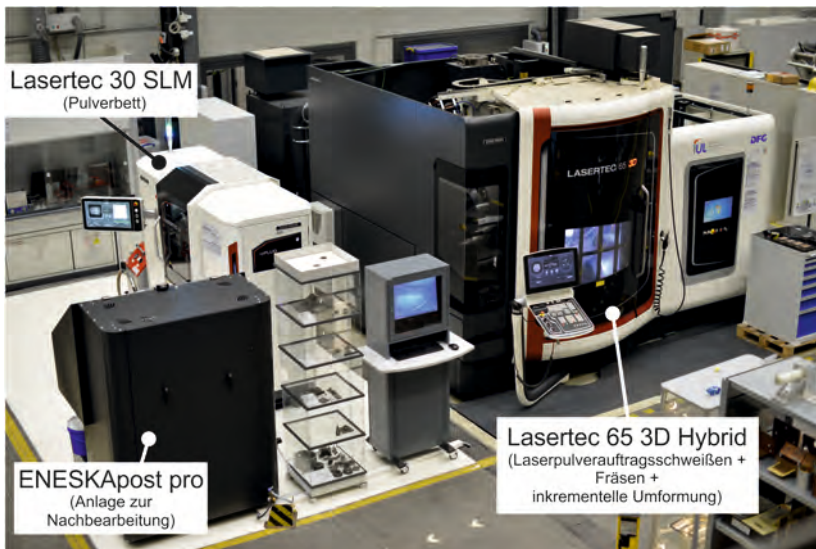


Bild 1: Maschinen zur additiven Fertigung auf Basis von Metallpulver am IUL

Glattwalzen“. Die Fertigung der Werkzeuge mittels Laserpulverauftragsschweißens (LPA) ermöglicht eine oberflächennahe Positionierung der Kühlkanäle und die nach dem LPA raue Oberfläche lässt sich durch anschließendes Glattwalzen einbrennen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Rauheit durch Glattwalzen in Abhängigkeit der Prozessparameter (z. B. Werkstoff, Walzdruck) um 35 % - 75 % reduziert werden kann. Dabei werden Druckeigenstressungen, welche mit höheren Walzdrücken ansteigen, induziert. Bei der Gestaltung der Kühlkanäle, die geometrisch komplexer sein können gegenüber den rein spanend hergestellten Kanälen, ist es erforderlich, einen Kompromiss zwischen der additiven Herstellbarkeit und dem Oberflächenanteil, welcher effektiv zum Wärmehaushalt an der Werkzeugoberfläche beiträgt, zu erzielen. Zur Fertigung der Kühlkanäle werden offene Kühlkanalstrukturen in ein Vollmaterial gefräst und anschließend mittels LPA verschlossen (vgl. Bild 2, Kühlkanal in Tropfenform).

In einem weiteren Grundlagenprojekt unter Einsatz der Lasertec 65 3D Hybrid werden Strategien erarbeitet, um den Treppenstufeneffekt bei aus Blechlamellen geschichteten Werkzeugen zu reduzieren (426515407). Dies geschieht mittels einer Kombination aus additiver Fertigung und umformtechnischer Nachbearbeitung durch oberflächliches Glattwalzen. So lassen sich schnell und kostengünstig auch komplexe Werkzeuge mit innenliegenden Kühlkanälen herstellen.

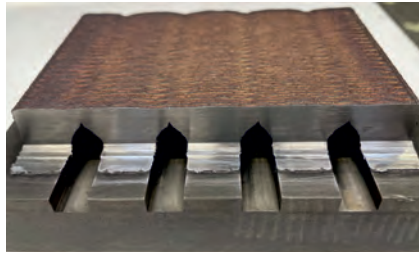
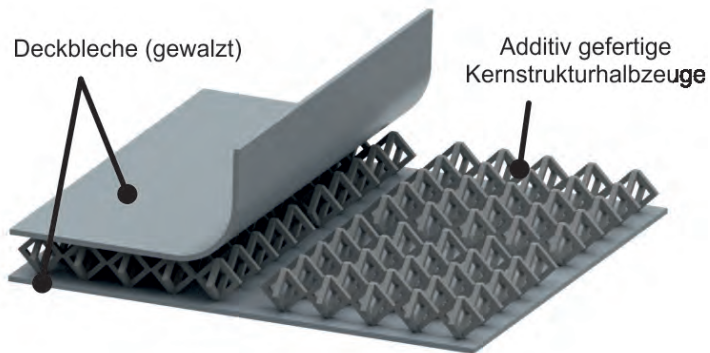


Bild 2: Subtraktiv (spanend) und additiv hergestellter Kühlkanal in Tropfenform

Die im Pulverbett arbeitende Maschine zum Selektiven Laserstrahlschmelzen (SLM) ermöglicht die Herstellung hochfunktionaler metallischer Bauteile mit filigranen Geometriedetails. In dem aktuell von der DFG bewilligten Fortsetzungsantrag (317137194) wird die Auslegung von im Pulverbettverfahren hergestellten Sandwichhalbzeugen mit für die Umformtechnik optimierten Kernstrukturen untersucht (vgl. Bild 3). Durch die nachgelagerte Umformung der Halbzeuge lässt sich die Produktivität der Prozesskette je nach Bauteilkomplexität um bis zu 360 % steigern, die Bauraumrestriktionen additiver Fertigungsmaschinen überwinden und im Kern ein hohes Maß an Leichtbau und Funktionsintegration erzielen.

Zur Erweiterung der Nachbearbeitungsmöglichkeiten (z. B. Fräsen, Schleifen,



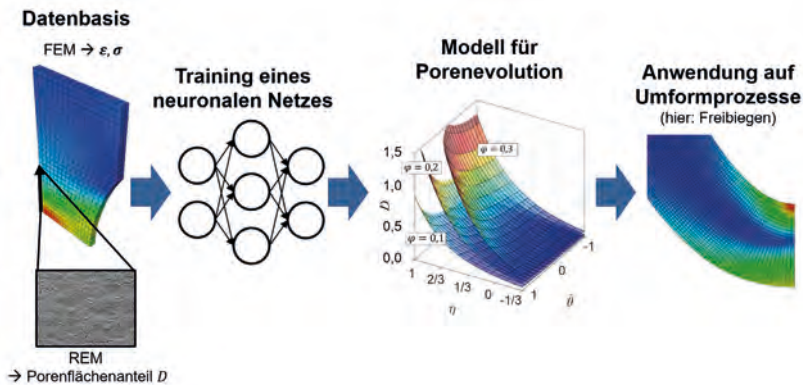
Trennen, Polieren) von additiv gefertigten Bauteilen wurde Ende des Jahres
Bild 3: Additiv gefertigte Sandwichstruktur

2020 eine neue Anlage mit integrierter Absaugung und Nutzung von Nachbearbeitungswerkzeugen beschafft, die in diesem Jahr in Betrieb genommen wurde. Damit wird eine sichere und effiziente Arbeit im Umfeld der additiven Fertigung gewährleistet.

2.1.4 Forschungsgruppe Angewandte Mechanik

Ansprechpartner Dr.-Ing. Till Clausmeyer

Die Forschungsgruppe Angewandte Mechanik bündelt die Kompetenz des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau in den Bereichen analytische Ansätze, Materialcharakterisierung, Materialmodellierung und Simulation für umformtechnische Anwendungen. Die in diesen Feldern tätigen Mitarbeitenden tauschen sich zu diesen Forschungsthemen aus und entwickeln gemeinsam neue mechanische und mikrostrukturelle Charakterisierungsmethoden. Die Entwicklung und Anwendung der genannten Methoden erfolgt dabei für die am IUL vorhandenen Umformverfahren der Massiv-, Blech- und Profilmumformung sowie der umformtechnischen Sonderverfahren. Die Anschaffung einer Weiler-Condor-VS2-Drehmaschine und eines 3D-Profilometer VR-5200 der Firma Keyence stärken die Kompetenzen der Forschungsgruppe in der Probenfertigung und Oberflächenmessung.



Prinzipische: Vorhersage der Porenfläche mittels künstlicher neuronaler Netzwerke beim Biegen

Erfolgreiche Bewilligungen, bei denen die von der Forschungsgruppe unterstützten Methoden eine wichtige Rolle spielen, umfassen ein DFG-Projekt zur Eigenschaftsregelung in der Warmumformung, ein EFRE-Projekt zur Entwicklung eines biaxialen Druckprüfstands sowie ein AiF-Projekt zur Modellierung der Mikrostruktur beim Strangpressen, insbesondere bei den neu entwickelten Verfahren zur Parameteridentifikation. Die Arbeiten präsentieren die Mitarbeitenden der Forschungsgruppe der Öffentlichkeit in Zeitschriften, Vorträgen und auf Konferenzen. Dadurch erhalten die Mitarbeitenden z. B. von den Kolleginnen und Kollegen der „International Academy for Production Engineering“ (CIRP) wichtige Impulse. Im Rahmen der „CIRP General Assem-

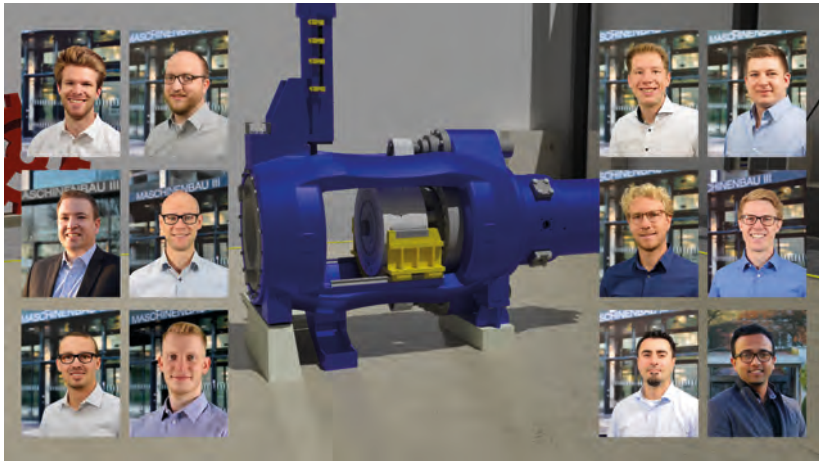
bly“ stellte Felix Kolpak ein neues Prüfverfahren für Bleche vor. Durch eine geeignete Auswertung des Fließpressens werden Fließkurven mit wahren Dehnungen über 1 ermittelt. Das Verfahren bietet auch die Möglichkeit, Fließkurven für Folgebelastungen zu bestimmen.

Weitere wichtige Zeitschriftenbeiträge behandeln ein entwickeltes Softwarepaket zur Parameteridentifikation unter Berücksichtigung umfangreicher Felddaten wie Dehnungen und Verteilungen des Porenvolumens, insbesondere für die Schädigung. Als Ergebnis der Zusammenarbeit (IUL-Autoren: Schowtjak, Clausmeyer, Tekkaya) mit dem Institut für Mechanik der TU Dortmund steht das Softwarepaket ADAPT als Open-Source-Code zur Verfügung. In einer weiteren Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen der Computational Mechanics Research Group (CMRG) von Prof. Kaan Inal an der University of Waterloo in Kanada sagten die IUL-Autoren Alexander Schowtjak, Jan Gerlach, Till Clausmeyer und Prof. A. Erman Tekkaya den Porenflächenanteil bei Biegeoperationen mit künstlichen neuronalen Netzwerken akkurat und schneller als mit konstitutiven Modellen voraus.

2.2 Abteilung Massivumformung

Leitung André Schulze M. Sc.

Der Schwerpunkt der Abteilung Massivumformung liegt in der Untersuchung der Verfahren Fließpressen und Strangpressen. Es werden sowohl grundlagentechnische Fragestellungen als auch innovative Prozess- und Verfahrensvarianten untersucht. Grundlegend wird der Einfluss anisotroper Verfestigung sowie der Einfluss der umforminduzierten Schädigung auf das Einsatzverhalten von fließgepressten Bauteilen untersucht. Für die Vorhersage der Schädigungsevolution beim Fließpressen und der Mikrostrukturentwicklung beim Strangpressen werden Methoden und Modelle entwickelt. Die Prozessentwicklung zielt auf Leichtbau und Ressourcenschonung ab. Durch die Verfahren Verbundfließpressen und Tiefzieh-Verbundfließpressen lassen sich leichte und belastungsangepasste Bauteile realisieren. Beim Strangpressen wird die Gradierung der mechanischen Eigenschaften über den Profilquerschnitt und das direkte Recycling von Aluminiumspänen zu Blechen und deren umformtechnische Weiterverarbeitung untersucht. Ein Verfahren zum kontinuierlichen Strangpressen wird anhand eines Modellwerkstoffs ausgelegt und analysiert.



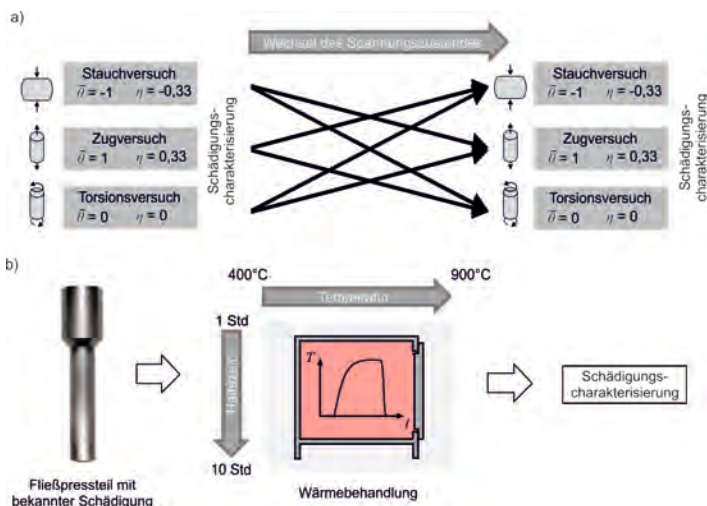
Die Mitarbeiter der Abteilung Massivumformung vor der virtuellen Strangpresse

2.2.1 Beeinflussung der Schädigungsentwicklung beim Kaltfließpressen

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
SFB/TRR 188 • Teilprojekt A02
Robin Gitschel M. Sc.

Während der Umformung von Metallen entstehen und wachsen Poren auf mikroskopischer Ebene. Diese werden als Schädigung bezeichnet und beeinflussen das Einsatzverhalten hergestellter Bauteile. In der ersten Förderperiode des Projekts wurde nachgewiesen, dass durch schädigungskontrollierte Massivumformprozesse Bauteile mit erhöhter Leistungsfähigkeit produziert werden können. Dazu wurde gezielt der hydrostatische Spannungszustand während der Umformung variiert. Das Ziel der zweiten Förderperiode ist es, diesen Nachweis erstens hinsichtlich des Einflusses einer Änderung des deviatorischen Spannungszustandes und zweitens hinsichtlich des Einflusses einer i. d. R. unvermeidlichen Wärmebehandlung zwischen Umformschritten oder nach einer Umformung zu erbringen. Diese Einflüsse werden zunächst in grundlagenorientierten Versuchen untersucht, bevor anschließend anwendungsnahe Kaltumformteile untersucht werden, die in mehreren Stufen mit den Umformverfahren Napf-Rückwärts-Fließpressen, Hohl-Vorwärts-Fließpressen, Abstreckgleitziehen, Stauchen und mit zusätzlicher Wärmebehandlung hergestellt werden.



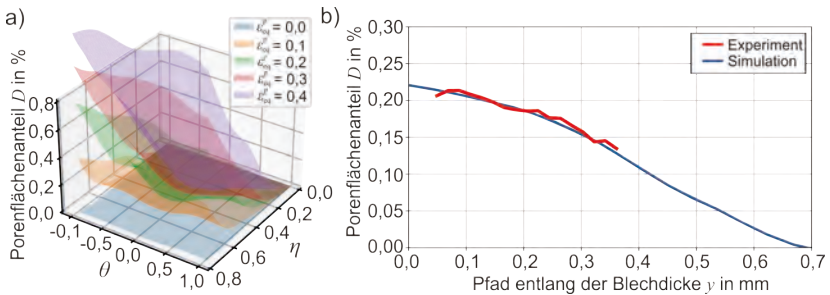
a) Versuche zum Einfluss von Spannungszustandswechseln und b) von Wärmebehandlungen auf die Schädigung

2.2.2 Modellintegration für die Prozesssimulation

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
SFB/TRR 188 • Teilprojekt S01
Jan Gerlach M. Sc.

Im SFB/TRR 188 sollen die Mechanismen der Schädigung verstanden und vorhergesagt werden, um Umformprozesse optimal auszulegen. Im Hinblick auf die Produkteigenschaften ist eine akkurate Vorhersage der Porenanteile essenziell. Aus diesem Grund wurde ein Modell entwickelt, das die Schädigungsevolution auf Basis von experimentellen Daten vorhersagt und sich nicht, wie es bei konstitutiven Materialmodellen üblich ist, auf Annahmen stützt. Als experimentelle Daten werden Messungen der Porenflächenanteile mittels Rasterelektronenmikroskop verwendet. Begleitend dazu werden mit FE-Simulationen die Spannungs- und Dehnungszustände berechnet. Für die Vorhersage der Schädigung werden künstliche neuronale Netze verwendet. Die Schädigungsentwicklung wird dafür als Funktion des Lastzustands im Sinne des Umformgrades, der Triaxialität und des normierten Lode-Parameters definiert. Der sogenannte Schädigungsloкус stellt den Porenanteil in Abhängigkeit des Lastzustands dar (vgl. Bild a). Die Anwendung für das Freibiegen liefert qualitativ und quantitativ gute Ergebnisse (vgl. Bild b).



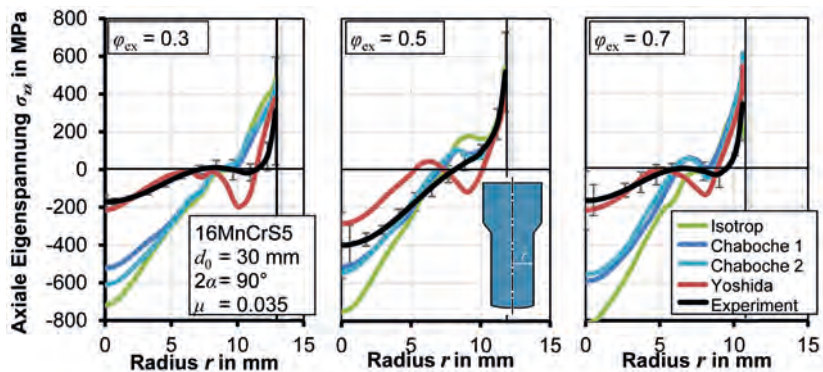
a) Schädigungsloкус, b) Validierung anhand des Freibiegens

2.2.3 Einfluss des mehrachsigen Bauschingereffektes in der Kaltmassivumformung

Projektträger Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
 Projektnummer 418815343
 Kontakt Felix Kolpak M. Sc.

Im Bereich der Kaltmassivumformung kommen zur Fertigung komplexer Bauteile oft mehrstufige Umformprozesse zum Einsatz, bei denen einzelne Werkstoffbereiche teils mehrfach umgeformt werden. In einigen Fällen tritt dabei eine lokale Lastumkehr auf, die anisotrope Verfestigungsphänomene bewirkt. Die konventionelle Annahme isotroper Verfestigung hat damit Fehler bei der Vorhersage von Prozesskräften und Bauteileigenschaften zur Folge, deren Ausmaß bis dato nicht bekannt war.

Es wurden experimentelle Methoden entwickelt, die eine Charakterisierung anisotroper Verfestigungseffekte bis zu Umformgraden von $\varphi = 1,6$ erlauben. Die Verfahren wurden für drei Stähle und eine Aluminiumlegierung erfolgreich angewendet. Durch die Verwendung und Modifizierung des Yoshida-Uemori-Verfestigungsmodells konnten alle anisotropen Verfestigungsphänomene mit hoher Genauigkeit über den relevanten Umformgradbereich abgebildet und die Vorhersagequalität von Umformsimulationen bezüglich der Bauteileigenschaften und Prozesskräfte deutlich gesteigert werden (vgl. Bild).



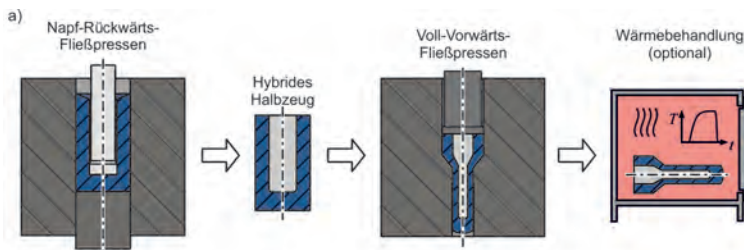
Numerisch ermittelte Eigenspannungsverteilung in fließgepressten Wellen und Vergleich mit Experimenten

2.2.4 Verbundfließpressen von fließgepressten Halbzeugen

Projektträger
Projektnummer
Kontakt
Projektstatus

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
270149504
Robin Gitschel M. Sc.
abgeschlossen

Das Verbundfließpressen ermöglicht die Herstellung von Werkstoffverbunden durch Kaltfließpressen. Dabei kommt das Napf-Rückwärts-Fließpressen zur Herstellung von Halbzeuggeometrien zum Einsatz. In einem anschließenden Prozessschritt wird das Napfhalbzeug zusammen mit einem Fügepartner in Form eines Kerns durch Voll-Vorwärts-Verbundfließpressen gefügt (vgl. Bild a). Durch die Kombination von Werkstoffen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften können der Leichtbaugrad gesteigert oder Funktionen integriert werden. Durch experimentelle sowie numerische Untersuchungen konnten allgemeine Gestaltungsrichtlinien zur erfolgreichen Herstellung von Verbundwellen abgeleitet werden. Da in der Kaltmassivumformung häufig Wärmebehandlungen zwischen oder nach der Umformung stattfinden, wurden Wärmebehandlungskonzepte für Stahl-Aluminium-Verbundwellen untersucht. Bei langen Haltezeiten oberhalb der Schmelztemperatur des Kerns kann dieser gezielt durch das Aufschmelzen entfernt werden, sodass wärmebehandelte Hohlwellen hergestellt werden können (vgl. Bild b).



Prozessfolge:
1. Napf-Rückwärts-Fließpressen
2. Einlegen des Aluminiumkerns
3. Voll-Vorwärts-Fließpressen (zweistufig)
4. Voll-Vorwärts-Fließpressen
5. Wärmebehandlung und Ausschmelzen des Kerns

Mantelwerkstoff: C15
Kernwerkstoff: EN AW-6060
(Kern durch Wärmebehandlung entfernt)

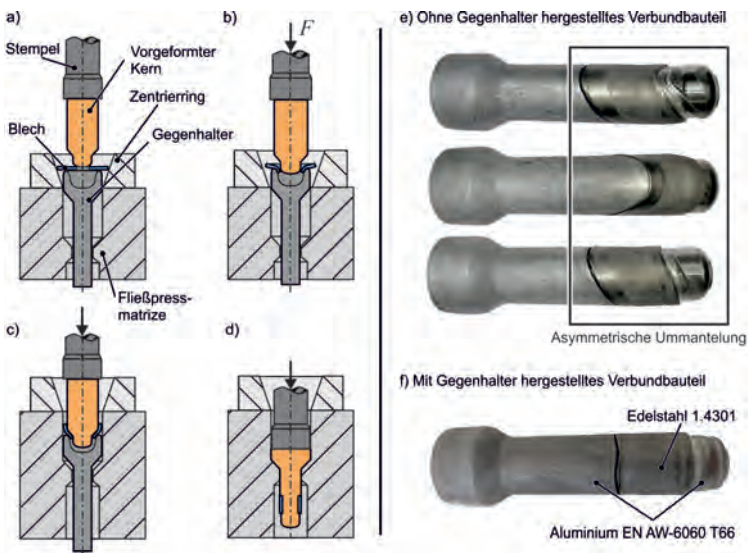
a) Prozessroute Verbundfließpressen, b) hohle Demonstratorwelle

2.2.5 Verfahren zur Fertigung von Verbundbauteilen durch eine Kombination aus Tiefziehen und Fließpressen

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
289596321
Johannes Gebhard M. Sc.

Das Tiefzieh-Verbundfließpressen ist die Kombination aus Tiefziehen und Voll-Vorwärts-Fließpressen in einem Prozessschritt. Damit können Verbundbauteile aus einem Leichtmetallkern und einem Stahlmantel hergestellt und die Vorteile unterschiedlicher Werkstoffe zielgerichtet miteinander kombiniert werden. In der zweiten Phase des Forschungsvorhabens wird das Produktspektrum durch das Erhöhen des maximalen Ziehverhältnisses durch Zwischen-glühen und Tiefziehen im Weiterzug erweitert und das gezielte Ummanteln eines beliebigen Absatzes untersucht. Für die gezielte Ummantelung eines definierten Absatzes wird ein gelochtes Blech aufgeweitet, um den entsprechenden Absatz gezogen und zusammen mit dem Kern fließgepresst. Geringe lokale Änderungen der Reibung sowie Rundheitsfehler des Bleches oder die Exzentrizität des Aufbaues führen zu instabilem Aufweiten und verhindern den Prozesserfolg. Durch einen neuen Gegenstempel kann der Prozess stabilisiert (vgl. Bild a-d) und die Wiederholbarkeit deutlich gesteigert werden. Bild f zeigt ein Bauteil mit freiem Absatz und partieller Ummantelung.



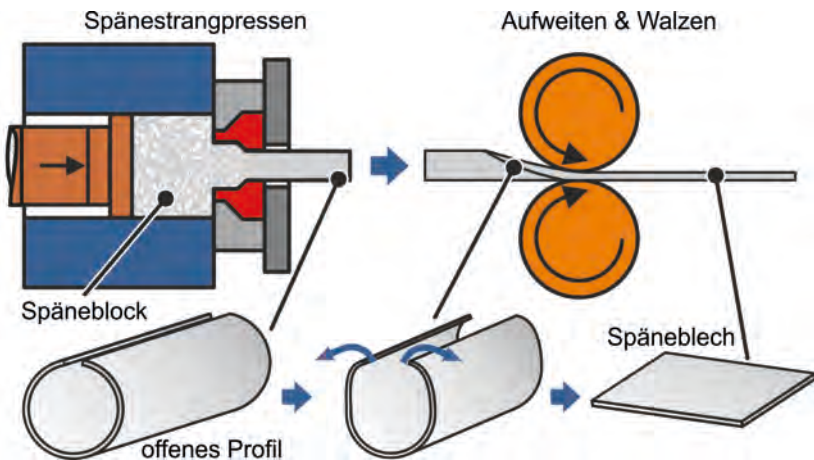
a-d) Prozessroute mit Gegenstempel, e) ungleichmäßig und f) gleichmäßig ummanteltes Bauteil

2.2.6 Stranggepresste Bleche aus Aluminiumspänen

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
437426733
André Schulze M. Sc.

Die direkte Verarbeitung von Aluminiumspänen zu Halbzeugen und Produkten ist eine energie- und ressourcenschonende Recyclingmethode im Vergleich zum konventionellen Wiedereinschmelzen. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Herstellung von Blechen aus Aluminiumspänen sowie die Untersuchung der umformtechnischen Weiterverarbeitung. Die spänebasierten Bleche werden durch eine neue Prozesskette realisiert, die aus dem Spänestrangpressen zu einem offenen, zylindrischen Profil und dem Aufweiten und anschließenden Walzen besteht. Die Ergebnisse aus Zugversuchen und mikrostrukturellen Untersuchungen zeigen vergleichbare mechanische Eigenschaften mit Blechen aus herkömmlichen, gegossenen Blöcken. Die umformtechnische Weiterverarbeitung der spänebasierten Bleche wird durch die Herstellung von Biegebauteilen und tiefgezogenen Näpfen analysiert. Zwischen den gebogenen Bauteilen bzw. den tiefgezogenen Näpfen aus Spänen und denen aus Gusswerkstoff sind keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihrer Eignung für weitere plastische Umformvorgänge festzustellen.

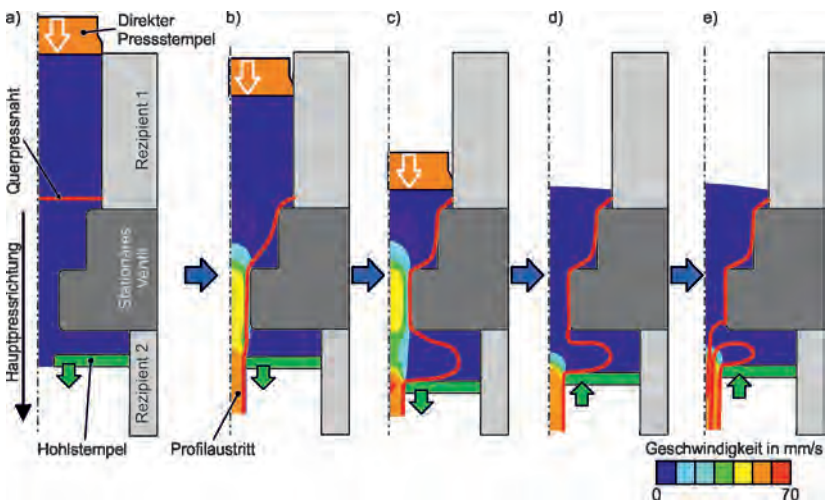


Prozesskette zur Herstellung spänebasierter Aluminiumbleche

2.2.7 Analyse eines neuen Verfahrens zum kontinuierlichen Strangpressen unter Anwendung der Ähnlichkeitstheorie

Projektträger Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
 Projektnummer 437724884
 Kontakt Johannes Gebhard M. Sc.

Das kontinuierliche Strangpressen ist die Kombination aus direktem und indirektem Strangpressen, welche den unterbrechungsfreien Profilaustritt mit konstanter Geschwindigkeit ermöglicht. Die beiden Verfahren werden durch ein Ventil miteinander verbunden, welches den Werkstofffluss in Pressrichtung zulässt und entgegen der Pressrichtung verhindert. Dadurch ist es möglich, die übliche Totzeit beim Blockladen durch indirektes Pressen zu überbrücken und den Profilaustritt aufrechtzuerhalten. Da derzeit keine Anlage zum kontinuierlichen Strangpressen existiert, wird das Verfahren mit numerischen Methoden und Modellversuchen abgebildet. Das Ventil kann stationär oder beweglich ausgelegt werden und hat jeweils einen anderen Einfluss auf den Stofffluss. Das bewegliche Ventil ist vergleichbar mit einem Kammerwerkzeug und verursacht zusätzliche Längspressnähte. Ein statisches Ventil mit symmetrischem Durchbruch sorgt für eine starke Verwirbelung der Querpressnaht. Das Bild zeigt die Lage der Querpressnaht für einen Presszyklus, bestehend aus direktem (vgl. Bild a-c) und indirektem (vgl. Bild d und e) Pressen.

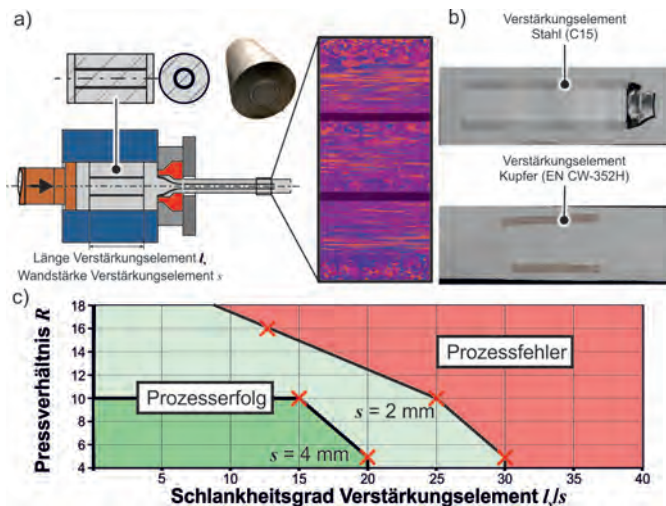


Zyklus des kontinuierlichen Strangpressens, a-c) direktes Pressen, d und e) indirektes Pressen

2.2.8 Herstellung flanschförmiger Bauteile durch Fließpressen verbundstranggepresster Halbzeuge

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	404239924
Kontakt	Patrick Kotzyba M. Sc.
Projektstatus	abgeschlossen

Das Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Prozessroute aus Verbundstrangpressen mit rohrförmigen Verstärkungselementen und anschließendem Querfließpressen zur Erzeugung von flanschförmigen Bauteilen. Während der Strangpressprozess (vgl. Bild a) am IUL durchgeführt wurde, übernahm das Institut für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart die Weiterbearbeitung der Halbzeuge mittels Querfließpressen. Zunächst wurden Hybridprofile aus der Kombination EN-AW 6060 als Matrixwerkstoff und EN AW-7075 als Verstärkungselement stranggepresst. Das Prozessfenster wurde durch sehr hohe Durchmesser der Verstärkungselemente begrenzt, da es dort zum Kontakt mit der Scherzone kommt. Einen Einfluss auf den Prozesserfolg hat die Länge der Verstärkungselemente bei Stahl und Kupfer. Überschreitet diese Länge einen kritischen Wert, erfährt das Verstärkungselement hohe Zugspannungen. In der Folge kommt es zu einem Versagen des Rohres. Die Durchmesser der Rohre dürfen bei diesen beiden Werkstoffen den Durchmesser der Matrize nicht überschreiten.

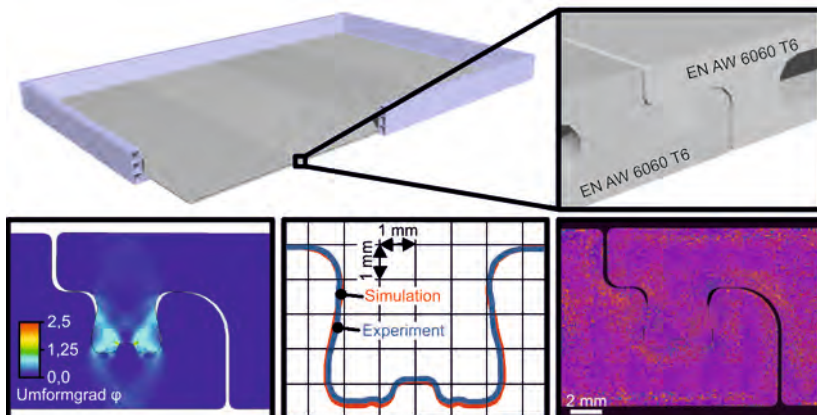


a) Prozessablauf, b) Profilquerschnitte mit Stahl und Kupfer als Verstärkungselemente, c) Prozessfenster Aluminium - Stahl

2.2.9 Linienförmiges Fügen von Profilverbundsystemen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen

Projektträger AiF/Stiferverband Metalle
Projektnummer 21048 N
Kontakt Florian Kneuper M. Sc.

In Zusammenarbeit mit dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügechnik (LWF) der Universität Paderborn wird die Entwicklung und Umsetzung eines neuartigen Strangpressprofilkonzeptes zur Herstellung von Profilverbundsystemen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen für Batteriekästen erforscht. Durch eine simulationsgestützte Profilgeometrieentwicklung werden drei Profilgeometrien ermittelt, die eine gute Verbindungsausbildung (u. a. großer Hinterschnitt) sowie hohe Kräfte bei typischen Lastfällen wie Scherzug- und Biegebelastung zeigen. Im Fügeprozess werden die Profile umformtechnisch innerhalb eines Pressenhubes miteinander verbunden. Erste Fügeversuche zeigen nur geringe geometrische Abweichungen in der Verbindungsausbildung gegenüber der Simulation (vgl. Bild). Durch eine Variation der Strangpressparameter sowie durch eine geeignete (lokale) Abkühlstrategie soll die Festigkeit der Profile gradiert werden, um die Verbundeigenschaften zu verbessern. Für die hergestellten Profilverbundsysteme wird anschließend die resultierende Dichtheit untersucht.

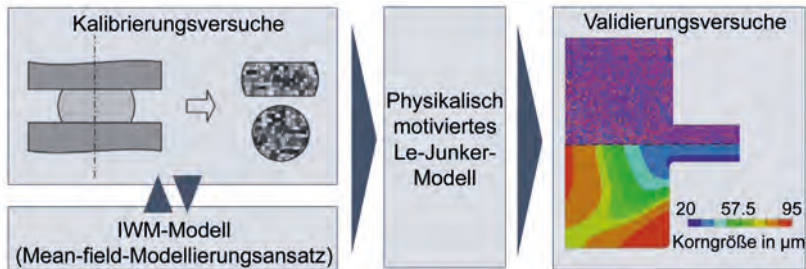


Linienförmige Fügeverbindung: Umformgrad in der Fügezone, Konturvergleich und Mikrostrukturaufnahme

2.2.10 Entwicklung eines effizienten physikalisch basierten Modellierungsansatzes zur Vorhersage der Mikrostruktur in Strangpressprozessen

Projektträger	AiF/Stifterverband Metalle
Projektnummer	21682 N
Kontakt	Jan Gerlach M. Sc.

Während des Strangpressens beeinflusst die große plastische Formänderung sowie Erholungs- und Rekristallisationsprozesse das Korngefüge und damit die mechanischen Eigenschaften des Profils. Um die Produkteigenschaften vorherzusagen, muss daher auch die Mikrostrukturentwicklung abgebildet werden. Dies motiviert das Projektziel, einen praxistauglichen Ansatz zur Vorhersage des Korngefüges mithilfe von numerischer Simulation zu entwickeln. Für diesen Zweck wird das physikalisch motivierte Le-Junker-Modell aufgrund seines schnellen Laufzeitverhaltens verwendet. Das Modell beinhaltet sowohl mikrostrukturabhängige als auch temperaturabhängige Modellparameter und wird anhand von experimentell ermittelten Daten aus Stauchversuchen sowie numerisch erzeugten Daten aus einem physikalisch begründeten Modell des Fraunhofer IWM in Freiburg kalibriert (vgl. Bild). Die Validierung des Le-Junker-Modells erfolgt durch experimentell ermittelte Mikrostrukturdaten aus Strangpressversuchen.

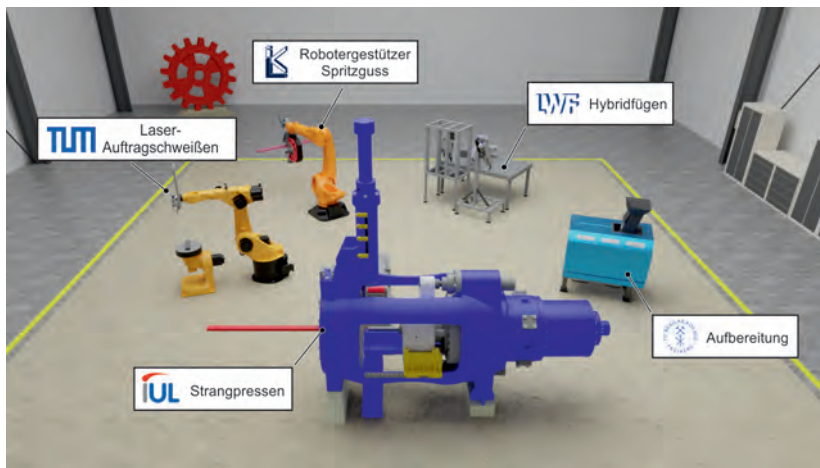


Schematischer Ablauf der Modellentwicklung

2.2.11 Verbundprojekt: Konzepte für die ressourceneffiziente und sichere Produktion von Leichtbaustrukturen (KORESIL)

Projektträger	BMBF/PTKA
Projektnummer	02P20Z004
Kontakt	Joshua Grodotzki M. Sc.

Das im Frühjahr 2021 gestartete Verbundprojekt KORESIL vereint die Expertisen des IUL mit denen des Instituts für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK, TU Dresden), des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb, TU München), des Laboratoriums für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF, Universität Paderborn) sowie des Instituts für Aufbereitungsmaschinen (IAM, TU Bergakademie Freiberg) zur Analyse eines geschlossenen Prozesskreislafs. Beginnend in Dortmund, wo ein Batteriekasten-Profil aus Spänen stranggepresst wird, werden am iwB sowie ILK anschließend Strukturelemente aus Metallen und Polymeren aufgebracht. Das LWF fügt und entfügt dann mehrere Profile mit Deckblechen, bevor am IAM das eigentliche Recycling stattfindet und die Rohstoffe wieder an die Standorte verteilt werden, um die Prozesskette erneut zu durchlaufen. Flankiert wird diese technische Säule des Projektes von einer digitalen Abbildung der gesamten Prozesskette. Diese soll sowohl virtuell als auch augmentiert genutzt werden, um soziotechnische Analysen sowie Schulungsmaßnahmen durchführen zu können.




















Virtuelle Abbildung der KORESIL-Prozesskette

2.2.12 Analyse der belastungspfadabhängigen Schädigungs- und Mikrostrukturentwicklung zur numerischen Auslegung von Blechmassivumformprozessen

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	SFB/TR 73 • Teilprojekt C4
Kontakt	Florian Gutknecht M. Sc.
Projektstatus	abgeschlossen

Gemeinsam mit dem Institut für Werkstoffkunde (IW) an der Leibniz Universität Hannover wurde in den vergangenen zwölf Jahren die Entwicklung von Poren und Mikrorissen während der Umformung und der Einfluss auf die anschließende Bauteilqualität untersucht. Hierzu wurden verschiedene Ansätze zur Bestimmung der Werkstoffschädigung miteinander verglichen sowie neue Verfahren zur Werkstoffcharakterisierung entwickelt. Diese konnten u. a. genutzt werden, um mikromechanisch motivierte Materialparameter wie z. B. Porennukleation in den Schädigungsmodellen zu bestimmen. Darüber hinaus konnte ein analytisches Modell für das Versagen bei Scherung aus der Blechebene (Mode III) entwickelt werden. Die numerischen Schädigungsmodelle sind um ein neues Bruchkriterium ergänzt worden, welches sich mit wenigen Versuchen kalibrieren lässt und vergleichsweise einfach implementiert werden kann (vgl. Bild). Untersuchungen an Umformprozessen haben ergeben, dass ein Schädigungsmodell für die Blechmassivumformung eine Reduktion des Porenvolumens berücksichtigen muss.

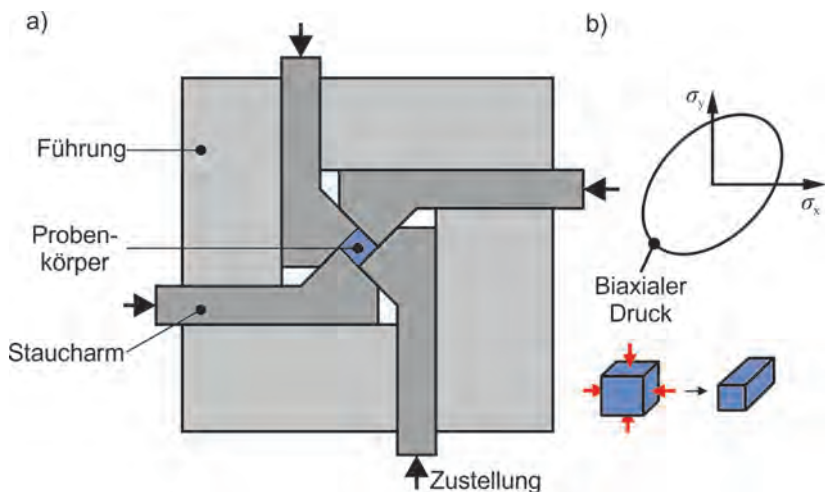
	Charakterisierungstests		Lokales Eindrücken		Ziehen/Stauchen
					
	Bruch		Bruch		Porenanteil
	Ort	Zeitpunkt	Ort	Zeitpunkt	Tendenz
Gurson-Modell					
Lemaitre-Modell					N/V
neues Bruchkriterium					

Bewertung der Genauigkeit verschiedener Schädigungsmodelle hinsichtlich des Auftretens von Versagen

2.2.13 Prototypenentwicklung einer Maschine zur Durchführung von equibiaxialen Druckversuchen zur Werkstoffcharakterisierung für die Umformtechnik

Projektträger	BMWi
Projektnummer	03THWNW002
Kontakt	Patrick Kotzyba M. Sc.

Das übergeordnete Projektziel ist die Fertigung und Montage, Inbetriebnahme und Validierung einer funktionsfähigen Maschine zur Durchführung von equibiaxialen Druckversuchen zur Werkstoffcharakterisierung. Die Funktionsweise beruht auf der vom IUL zum Patent angemeldeten Erfindung „Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung von Stauchversuchen an Probenkörpern zur Charakterisierung von Werkstoffen sowie entsprechender Probenkörper“ (AKZ: DE 102019001442). Das grundlegende Funktionsprinzip ist in Bild a dargestellt. Die Vorrichtung erlaubt eine zweiseitige Umformung würfel- oder quaderförmiger Proben durch Aufbringung eines zweiseitigen, also biaxialen Druckspannungszustandes. Im Vergleich zu den konventionellen Werkstoffcharakterisierungsverfahren wie dem Zug- und Stauchversuch führt der günstige Spannungszustand, der sich bei Verwendung der neuen Maschine einstellt, zu einem erhöhten Umformvermögen der zu untersuchenden Werkstoffproben. Dadurch soll die experimentelle Aufnahme von Fließkurven bis zu hohen Umformgraden ermöglicht werden.



a) Prinzipskizze der biaxialen Druckprüfmaschine, b) Spannungs- und Verformungszustand beim biaxialen Stauchversuch

2.3 Abteilung Profil- und Blechumformung

Leitung Felix Kolpak M. Sc.

Die Schwerpunkte der Abteilung für Profil- und Blechumformung liegen in der Entwicklung neuer Verfahren zur flexiblen Umformung von Rohren, Profilen und Blechen sowie in der Werkstoffcharakterisierung bei hohen Formänderungen und Temperaturen.

In diesem Jahr wurde erstmals eine neue Maschine zum Walzgleitziehen erprobt. Das Verfahren ermöglicht die flexible lokale Querschnittsverringung von Aluminium-Rohren bei lediglich geringer Abnahme der Rohrwanddicke. Zukünftig soll das Verfahren zur wirtschaftlichen Fertigung komplexerer Profilquerschnitte und unter Verwendung höherfester Werkstoffe genutzt werden. Weiterhin wurde eine neue Maschine zum Federwinden in Betrieb genommen. In dem zugehörigen Projekt wird der Einfluss der Umformung und Wärmebehandlung auf die Eigenspannungsentstehung der gefertigten Federn untersucht und die neuen Erkenntnisse für die Bildung eines analytischen Ansatzes genutzt (vgl. Bild).

Im Bereich der Grundlagenforschung wird der Einfluss mehrstufiger Biegeoperationen auf die umformtechnisch induzierte Schädigung erforscht. Bei der temperaturunterstützten Umformung werden aktuell die Eigenschaftsregelung im Folgeverbund, die umformtechnische Bearbeitung additiv gefertigter Presshärtewerkzeuge und das Profilbiegen mit partieller Erwärmung untersucht.

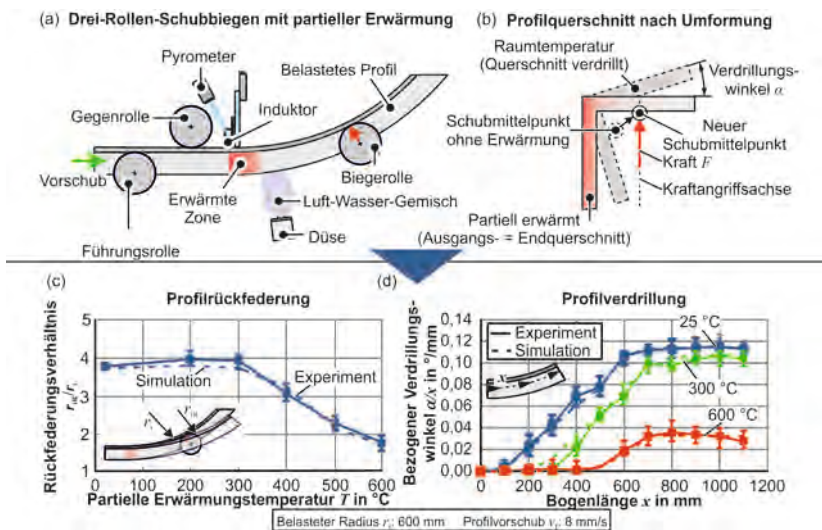


P. Rethmann, Mitarbeiter der Abteilung Profil- und Blechumformung, zeigt den neuen Versuchsaufbau zum Federwinden

2.3.1 Kinematisches Profilbiegen mit partieller Erwärmung des Querschnitts

Projektträger Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
 Projektnummer 408302329
 Kontakt Eike Hoffmann M. Sc.

In dem Projekt wird die Eignung partieller Erwärmung von asymmetrischen Profilen zur Reduktion von Geometrieabweichungen beim Biegen untersucht. Liegt beim konventionellen Biegen von Profilen mit Asymmetrie zur Kraftangriffssachse der Schubmittelpunkt nicht auf der Kraftangriffssachse, so verdreht das Profil. Um dies zu vermeiden, werden die Profile partiell induktiv erwärmt (vgl. Bild a). Durch die thermische Entfestigung in einem der Schenkel wird die Lage des Schubmittelpunktes verändert. Die Verlagerung des Schubmittelpunktes zur Kraftangriffssachse reduziert den Torsionshebelarm und damit die Verdrehung (vgl. Bild b). Für das geometrische Ergebnis sind Umformtemperatur und die Auswahl des erwärmten Schenkels relevant. Bisher wurde das Verhalten beim Biegen von L-Profilen mit partieller Erwärmung bis 600 °C untersucht. Im Vergleich mit konventionell gebogenen Profilen konnte dabei eine Reduktion der Rückfederung von maximal 56 % (vgl. Bild c) und eine Reduktion der Profilverdrehung von maximal 76 % erreicht werden (vgl. Bild d).



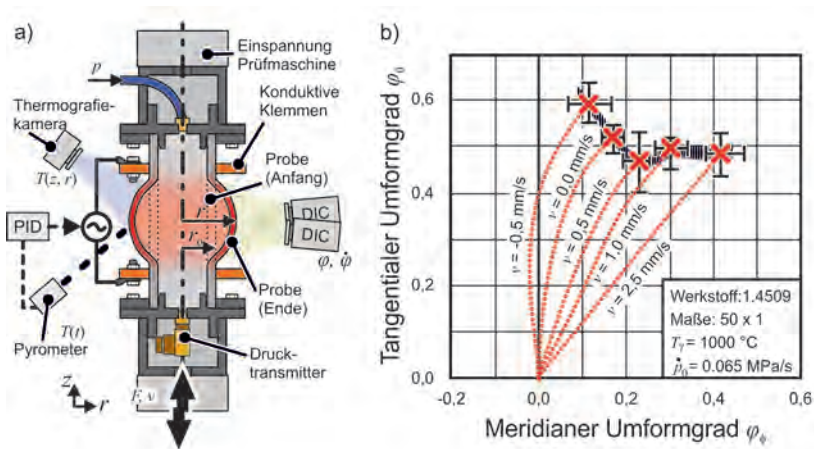
a) Prozessprinzip, b) Profilquerschnitt nach Umformung, c) Profilrückfederung, d) Profilverdrehung

2.3.2 Wirkmedienbasiertes Profilformen und kinematisches Biegen im kontinuierlichen Prozess mittels gradiertem Temperaturfeld

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

BMW/ZIM-ZF
ZF4101119US9
Mike Kamaliev M. Sc.

Die Warmumformung findet zunehmend Anwendung für die Formgebung von geschlossenen Profilen. Die Werkstoffcharakterisierung steht dabei vor neuen Herausforderungen hinsichtlich z. B. der Versagensprognose. Um die Grenzformänderungen bei erhöhten Temperaturen aufzunehmen, wird am IUL der „Hot-Tube-Bulge-Test“ untersucht. Dabei werden Rohre beidseitig abgedichtet, auf Umformtemperatur T_y erwärmt und isotherm bis zum Bersten durch einen zunehmenden Innendruck p umgeformt (vgl. Bild a). Mittels DIC-Systemen werden die Dehnungen erfasst und im Anschluss ausgewertet. Um unterschiedliche Dehnpfade bis zum Riss zu erzielen und so verschiedene Versagensstadien abzubilden, wird der experimentelle Aufbau durch einen axialen Nachschub v überlagert. Durch bisher fehlende Normungen zur Auswertung, werden eigene Versagenskriterien definiert. Die resultierenden Dehnpfade sind nicht mit denen genormter Versuche (z. B. Nakajima) vergleichbar, sondern gelten für eine freie Ausformung durch Innenhochdruck. Eine exemplarische FLC für einen ferritischen Edelstahl 1.4509 bei 1000 °C zeigt Bild b.

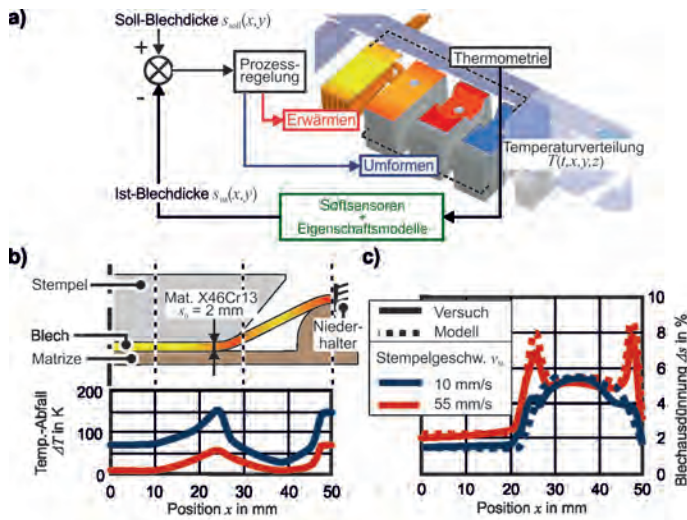


a) Verwendeter Versuchsaufbau, b) ermittelte Grenzformänderung bei 1000 °C, inklusive Dehnpfade

2.3.3 Eigenschaftsgeregelte mehrstufige Warmblechumformung

Projektträger Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
 Projektnummer 424334660 (SPP 2183)
 Kontakt Juri Martschin M. Sc.

Bei der mehrstufigen Warmblechumformung resultieren die finale Mikrostruktur und Bauteilgeometrie aus der thermomechanischen Historie. Mit dem Ziel, diese Eigenschaften zu regeln, werden im Vorhaben regelungsorientierte Eigenschaftsmodelle entwickelt. Zugrunde gelegt wird eine Prozesskette, bei der eine Blechplatte in einem Folgeverbundwerkzeug zunächst induktiv erwärmt und anschließend mehrstufig warmumgeformt sowie hierbei abgeschreckt wird (vgl. Bild a). Zur echtzeitfähigen Bestimmung der Blechsausdünnung beim Streckziehen in einer solchen Stufenfolge wird ein elementbasiertes zeitdiskretes Modell entwickelt. Dieses Modell wird mit einem Softsensor gekoppelt, der basierend auf Thermometriedaten in jedem Zeitschritt der Berechnung die Temperaturverteilung in der Blechplatte vorgibt. Zur ersten Validierung des Modells wird der Temperaturabfall (vgl. Bild b) beim isoliert betrachteten Warmstreckziehen im Versuch ermittelt und der Modellierung übergeben. Ein Vergleich der mit dem Modell bestimmten Blechsausdünnung zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem Versuch (vgl. Bild c).



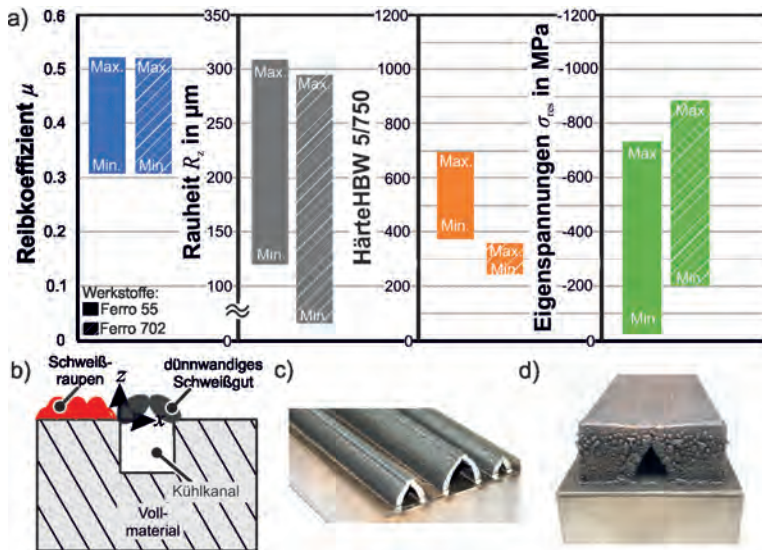
a) Regelkreis und Folgeverbundwerkzeug, b) Streckziehstufe mit Temperaturabfall, c) Blechsausdünnung im Versuch und Modell

2.3.4 Funktionalisierung additiv gefertigter Presshärtewerkzeuge mittels Glattwalzen

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
417202720
Anna Komodromos M. Sc.

Das Presshärten kommt in der Blechumformung zum Einsatz, um u. a. die Festigkeitserhöhung durch das Abschrecken zu nutzen. Hierzu werden Kühlkanäle, die meist mittels spanender Verfahren hergestellt werden, in die Werkzeuge integriert. Die Fertigung der Presshärtewerkzeuge mithilfe des Laserpulverauftragsschweißens (LPA) soll eine oberflächennahe Positionierung der Kanäle ermöglichen. Hierzu werden zunächst die Eigenschaften der additiv gefertigten Oberflächen in Bezug auf Rauheit, Härte, Reibung und Eigenspannungen charakterisiert (vgl. Bild a). Die nach dem LPA sehr raue Oberfläche wird anschließend durch Glattwalzen eingeebnet. Dabei werden Druckeigenspannungen, welche mit höheren Walzdrücken ansteigen, induziert. Zur Fertigung der Kühlkanäle werden offene Kühlkanalstrukturen in ein Vollmaterial gefräst und anschließend durch LPA verschlossen (vgl. Bild b-d). Bei der Gestaltung der Kühlkanäle ist es erforderlich, einen Kompromiss zwischen der additiven Herstellbarkeit und dem Oberflächenanteil, welcher effektiv zum Wärmehaushalt an der Werkzeugoberfläche beiträgt, zu erzielen.

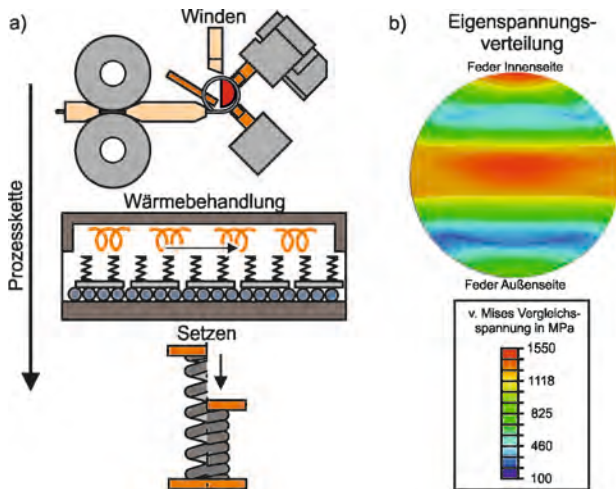


a) Oberflächeneigenschaften, b-d) Additive Kühlkanalfertigung: Schema und Vorversuche

2.3.5 Entwicklung eines Modells zur Vorhersage der Geometrieänderungen bei der Federherstellung auf Basis der Plastizitätstheorie unter Berücksichtigung der Wärmebehandlung

Projektträger AiF/IGF
 Projektnummer IGF 21490 N
 Kontakt Philipp Rethmann M. Sc.

Die Herstellung von Schraubendruckfedern erfolgt in einer Prozesskette aus Winden, Wärmebehandeln und Vorsetzen (vgl. Bild a). Bei der Umformung des Federdrahts im Windeautomat werden dabei Eigenspannungen erzeugt (vgl. Bild b). Die thermisch induzierte Absenkung der Fließspannung bei der folgenden Wärmebehandlung bewirkt einen teilweisen Abbau dieser Eigenspannungen und eine Änderung der Federmaße. Im abschließenden Schritt des Vorsetzens erfolgt eine plastische Belastung der Feder, sodass die Länge abnimmt und Torsionseigenspannungen eingebracht werden. Großen Einfluss auf die Eigenspannungen und die Formänderungen haben die Werkstoffeigenschaften der Federdrähte, die prozessnah durch Zug- und Torsionsversuche ermittelt werden. Auf der Basis von experimentellen und numerischen Untersuchungen der Teilprozesse wird ein (halb)-analytisches Prozessmodell entwickelt, mit dem die Beschreibung der Geometrieänderungen möglich ist. Dieses Modell kann zur Unterstützung des Einrichtprozesses von Federwindeautomaten eingesetzt werden.



a) Prozesskette zur Herstellung von Druckfedern, b) Eigenspannungsverteilung im Drahtquerschnitt (Simulation)

2.3.6 Schädigungsbeeinflussung bei der Biegeumformung

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
SFB/TRR 188 • Teilprojekt A05
Philipp Lennemann M. Sc.

Zur Herstellung von Biegeteilen aus hochfesten Stahlwerkstoffen werden Prozesse wie Frei- und Gesenkbiegen oder Rollformen eingesetzt. Die Ergebnisse der ersten Förderperiode zeigen, dass die Schädigung beim Blechbiegen vom Dualphasenstahl DP800 maßgeblich vom Spannungszustand während der Umformung abhängt. Die Reduktion der Schädigung führt zu einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Biegeteilen in Form von aufgenommener Kerbschlagarbeit, Steifigkeit und Ermüdungsfestigkeit.

Das übergeordnete Ziel der laufenden zweiten Förderperiode ist es, die Interaktion der Schädigungsmechanismen bei veränderlichen hydrostatischen und deviatorischen Spannungspfaden im DP800 zu verstehen und die Schädigung zu kontrollieren. Hierzu wird die Prozesskette der Profilherstellung betrachtet, bei der ein gerades Profil durch Rollformen oder durch Freibiegen hergestellt wird und anschließend durch 3-Rollen-Schubbiegen oder Rotationszugbiegen gekrümmt wird. Im Bereich der Warmblechumformung werden zudem die schädigungskritischen Einflüsse beim Presshärten von 22MnB5 identifiziert.

Mehrstufige Blechumformung

Freibiegen



Rollformen



3-Rollen-Schubbiegen



Rotationszugbiegen



DP800

Warmblechumformung

Reine Kaltumformung



Warmumformung und Wärmebehandlung



Kaltumformung und Wärmebehandlung



22MnB5

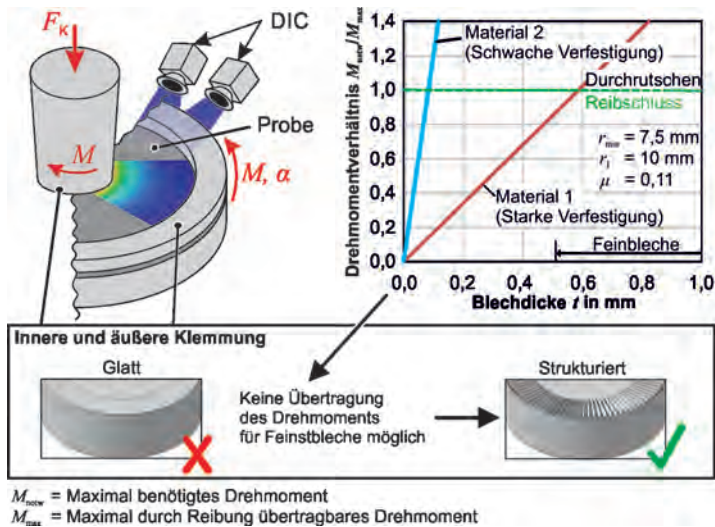
Versuche zur Schädigungsuntersuchung in der mehrstufigen Blechumformung und Warmblechumformung

2.3.7 Vorbereitung einer Prüfvorschrift für den ebenen Torsionsversuch

Projektträger AiF/FOSTA
 Projektnummer 21137N/P 1320
 Kontakt Fabian Stiebert M. Sc.

Für die numerische Auslegung von Prozessen in der Blechumformung werden Materialkennwerte bis zu hohen Umformgraden benötigt, die in bereits etablierten Prüfverfahren wie dem Zugversuch nicht exakt ermittelt werden können. Vorangegangene Forschungsarbeiten zeigten, dass der ebene Torsionsversuch für die Ermittlung dieser Kennwerte gut geeignet ist. In diesem Projekt werden unterschiedliche Einflüsse auf die Prüfergebnisse im ebenen Torsionsversuch (ETV) untersucht und für die Erstellung einer Prüfvorschrift zusammengefasst. Ziel ist es, den ETV als Standard-Prüfverfahren zu etablieren.

Im Rahmen von Untersuchungen der Klemmflächen konnte gezeigt werden, dass die Drehmomentübertragung zwischen Stempel und Blech für Feinbleche ($t = 0,5\text{--}3\text{ mm}$) mit glatten Klemmflächen nicht möglich und eine Strukturierung notwendig ist (vgl. Bild). Darüber hinaus wurde der Einfluss unterschiedlicher Strukturierungen auf die Homogenität der auftretenden Dehnungen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass radiale, quer zur Belastungsrichtung ausgerichtete Riffel eine homogene Umformung zur Folge haben.



Betrachtung der Klemmflächen zur Drehmomentübertragung im ebenen Torsionsversuch

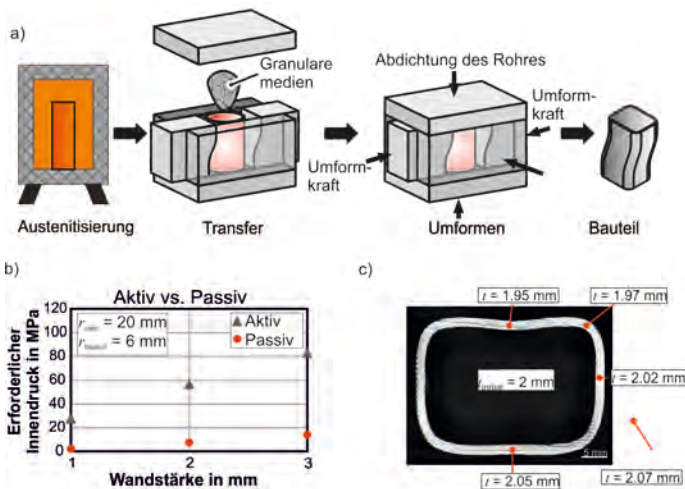
2.3.8 Passives Presshärten von Rohren mittels granularer Medien

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
427196185
Siddharth Upadhy M. Sc.

Der Einsatz granularer Medien wie Zirkoniumdioxid oder Quarz zur Aufbringung von Innendruck ermöglicht aufgrund der hohen Temperatur- und Druckbeständigkeit die Verfahrenskombination von Hydroumformung und Presshärten. Die aktive Variante der Verfahrenskombination wurde bereits erfolgreich umgesetzt und untersucht. Aufgrund der nicht-hydrostatischen Druckverteilung im Medium ist die Länge des umformbaren Bereichs stark beschränkt.

Um diesen Nachteil zu überwinden, wurde eine passive Verfahrensvariante entwickelt, die auch aktuell noch untersucht wird. Im Gegensatz zum aktiven Verfahren bauen hier die formgebenden Werkzeuge den erforderlichen Umformdruck auf. Das granulare Medium hat eine rein passive Stützfunktion und verhindert das Einfallen der Rohrwände. Die erforderlichen Innendrucke betragen weniger als 15 % des aktiven Verfahrens und die Wandstärke ist über das gesamte Bauteil homogen, was dem Leichtbau zugutekommt. In den nächsten Schritten wird ein Werkzeug zur Realisierung des Verfahrens entwickelt und weitere Untersuchungen zu den Prozess- und Produkteigenschaften durchgeführt.

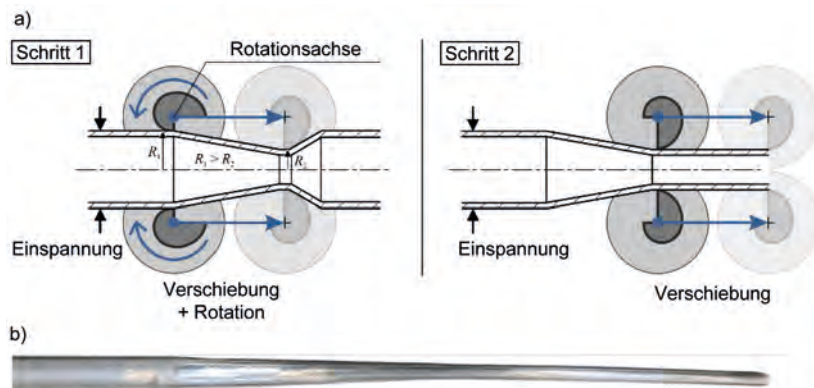


a) Schematische Verfahrensdarstellung, b) erforderlicher Eckumformdruck, c) Querschnitt des Bauteils

2.3.9 Prozessentwicklung und Technologietransfer eines kombinierten Umformverfahrens zur Herstellung gradiertem Profile für Leichtbauanwendungen (ProLeit)

Projektträger	BMWi
Projektnummer	03LB2015B
Kontakt	Niklas Hoenen M. Sc.

Zusammen mit der Otto Fuchs KG und der MSG Maschinenbau GmbH wird das vom BMWi geförderte Projekt mit dem Ziel durchgeführt, ein Konzept für den sogenannten Walzgleitziehprozess zu entwickeln. Ziel des Prozesses ist es, durch eine Kombination von Walzen mit nichtkonstantem Ziehspalt und Rohrziehen eine lokale Reduzierung oder Veränderung des Querschnittes von stranggepressten Profilen zur Gewichtsreduzierung zu erreichen (vgl. Bild). Das Projekt umfasst die Entwicklung und Erprobung eines Maschinenkonzeptes sowie die analytische und numerische Modellierung zur Vorhersage der Geometrie und der Prozessgrenzen. Im Rahmen des Projekts wird auch die Möglichkeit untersucht, das Verfahren auf erweiterte Profilquerschnitte sowie höherfeste Werkstoffe wie Aluminiumlegierungen der 7000er-Serie oder Stahl anzuwenden. Schließlich soll die durch die umfassenden Analysen gewonnene Wissensbasis die Erzeugung einer Datenbank erlauben, welche es in Kombination mit analytischen Modellen ermöglicht, die Produktgeometrie und andere Eigenschaften vorherzusagen.

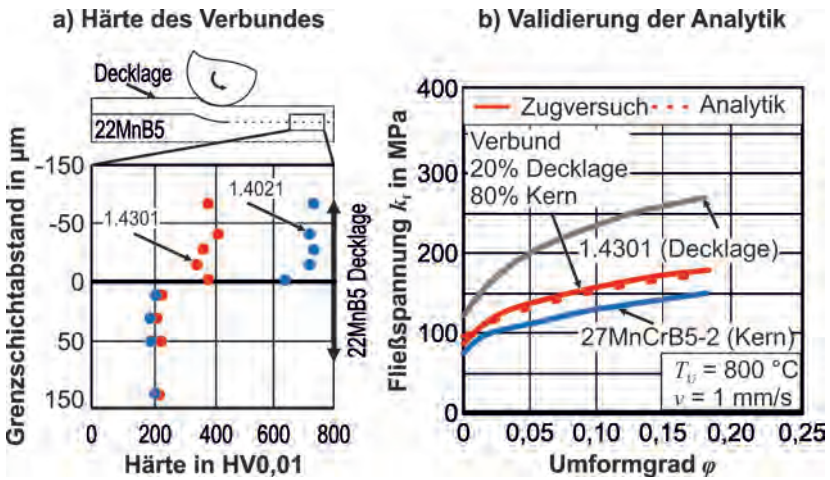


a) Walzgleitziehprozess, b) umgeformtes Rohr (erste Ergebnisse)

2.3.10 Analyse des Einsatzpotentials walzplattierter MnB-Cr-Stahlverbunde für das Presshärten

Projektträger Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
 Projektnummer 444548865
 Kontakt Markus Stenei M. Sc.

Das Presshärten wird zur Herstellung von hochfesten Bauteilen eingesetzt. Aufgrund der hohen Prozesstemperaturen muss der zu verarbeitende Stahl zum Schutz vor Verzunderung beschichtet werden. Als alternative Oxidationsprävention wird in diesem Verbundprojekt zusammen mit dem IBF der RWTH Aachen die Herstellbarkeit und umformtechnische Anwendbarkeit von Cr-Mn-Stahlverbunden untersucht. Der Edelstahl gewährt einen Oxidationsschutz und ermöglicht eine kostengünstigere und schnellere Aufheizung. Als Decklage wird ein martensitischer (1.4021) sowie ein austenitischer Edelstahl (1.4301) untersucht. Der gemessene Härteverlauf der hergestellten Verbunde ist in Bild a dargestellt. Zur Vorhersage der resultierenden Verbundfließspannung wurden analytische Modelle vorgestellt und mit experimentellen Werten validiert (vgl. Bild b). Diese Modelle dienen im weiteren Projektverlauf zur Auslegung von Stahlverbunden mit verschiedenen Schichtdickenverhältnissen. Hierbei steht die Eignung der neuen Stahlverbunde zur Anwendung als Halbzeug für nachfolgende Umformprozesse im Fokus.

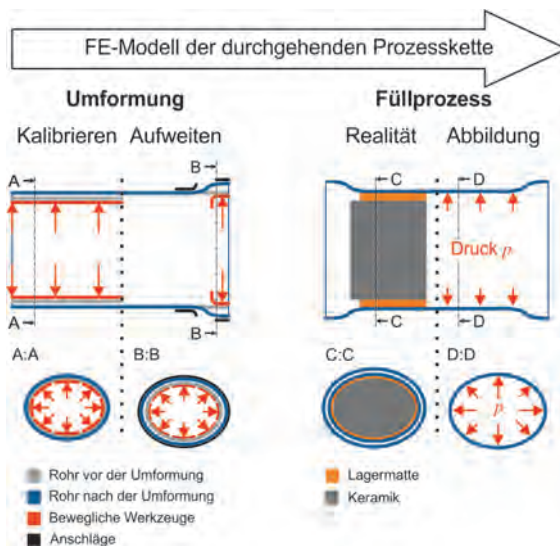


a) Härtemessung des Verbundes, b) Validierung der Analytik

2.3.11 Gestaltvorhersage und -verbesserung beim Umformen und Zusammenbau von nicht-runden Rohren

Projektträger ReCIMP
 Kontakt Markus Stenei M. Sc.
 Projektstatus abgeschlossen

Bei der Reduzierung von CO₂-Emissionen hat eine Verringerung der Ausschussquote bei der Herstellung eine hohe Priorität. Hierzu wurden im Rahmen dieses Projekts die umformtechnische Prozesskette (Kalibrieren und Aufweiten, vgl. Bild) und die Verformung aufgrund des Füllvorgangs mit einer ummantelten Keramik (vgl. Bild) von nicht-runden Abgaskomponenten numerisch analysiert. Eine Herausforderung hierbei war es, unbekannte bzw. variable Prozessparameter in der Simulation angemessen zu berücksichtigen. Die Prozessabbildung wurde dahingehend entwickelt, dass die mechanische Umformung in der FEM-Software die resultierende Gestalt in erforderlicher Güte vorhersagt. Zur Abbildung des Füllvorgangs wurde aufgrund der großen Fertigungstoleranzen eine Simulation mit einem Ersatzdruck entwickelt. Dieser kann aus gegebenen Messdaten und mithilfe eines eigens geschriebenen Programmes in der FEM-Software aufgeprägt werden. Der Einfluss des Füllvorgangs konnte durch diesen Ansatz mit der gewünschten Genauigkeit vorhergesagt werden.



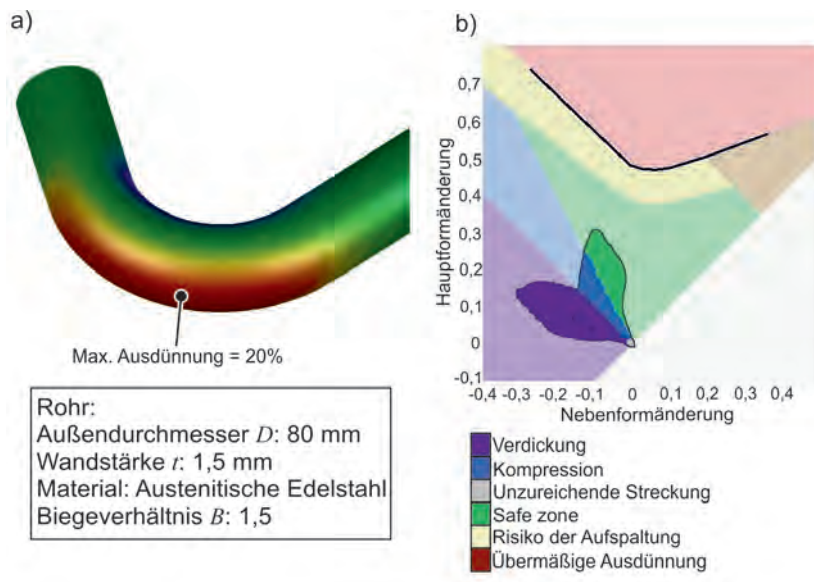
Durchgängige Vorhersage der Gestalt während der Prozesskette

2.3.12 Vorhersage der Wandstärkeausdünnung beim Rotationszugbiegen von Rohren

Projektträger
Kontakt

ReCIMP
Manish Chowdary Ghattamaneni M. Sc.

Austenitischer Edelstahl bietet gegenüber ferritischem Edelstahl eine hervorragende Umformbarkeit. Allerdings produziert die Herstellung austenitischer Edelstähle in etwa doppelt so hohe CO₂-Emissionen. Die Substitution der Stahlgüte ist damit eine Maßnahme zur signifikanten Reduzierung der CO₂-Emissionen beim Rotationszugbiegen von Abgaskomponenten. Im Rahmen dieses Projekts werden experimentelle und numerische Untersuchungen durchgeführt, um das Ausdünnverhalten beider Werkstoffe zu analysieren (vgl. Bild a). Außerdem werden die Formänderungspfade untersucht (vgl. Bild b). Auf der Grundlage dieser Analyse wird ein analytisches Modell zur Vorhersage der Wandstärkeausdünnung entwickelt. Das damit abzubildende Prozessfenster umfasst eine große Anzahl verschiedener geometrischer Parameterkombinationen, sodass die resultierende Ausdünnung bei der Prozessauslegung vorhergesagt werden kann.



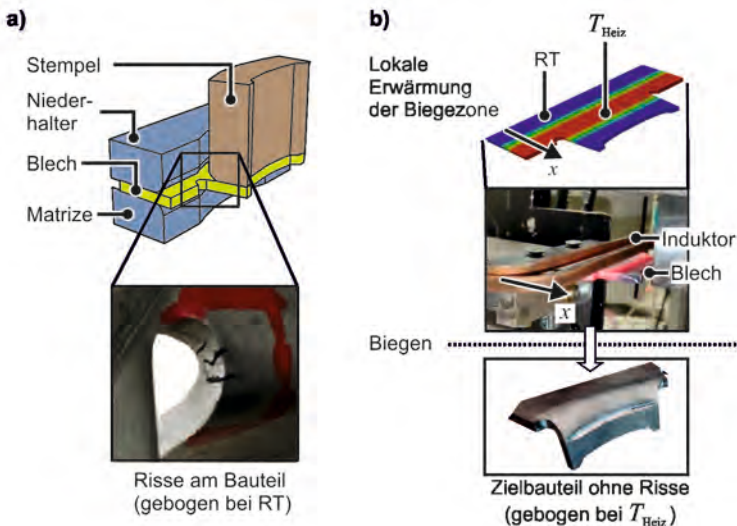
a) Bestimmung der Wandstärkeausdünnung, b) Untersuchung der Umformbarkeit

2.3.13 Erweiterte Formänderung durch temperaturunterstütztes Biegen unterhalb der Rekristallisationstemperatur

Projektträger
Kontakt

ReCIMP
Manish Chowdari Ghattamaneni M. Sc.

Das Formänderungsvermögen von metallischen Werkstoffen ist begrenzt. Gängige Praxis ist es, durch das Warmumformen oberhalb der Rekristallisationstemperatur das Formänderungsvermögen zu erweitern. Ein wesentlicher Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass die initiale Mikrostruktur durch das Erwärmen verändert wird. Hierdurch weichen die Eigenschaften des zuvor erwärmten Materials von denen des Ausgangsmaterials ab. Ziel dieses Projektes ist es, beim Biegen von presshärzbaren Mangan-Bor-Stahlblechen durch eine Temperaturunterstützung unterhalb der Rekristallisationstemperatur die Formänderungsgrenzen zu erweitern, ohne dabei eine unerwünschte Veränderung der initialen Mikrostruktur hervorzurufen. Hierdurch soll es dann weiterhin möglich sein, die Bauteile im Anschluss an den Biegeschritt zu härten. Bei der untersuchten Bauteilgeometrie entstehen beim Biegen bei Raumtemperatur (RT) am Außenbogen Risse (vgl. Bild a). Zur Vermeidung dieser Risse wird dem Biegeschritt eine lokale Erwärmung der Biegezone auf die Temperatur T_{Heiz} mit einem Induktor vorgeschaltet (vgl. Bild b).



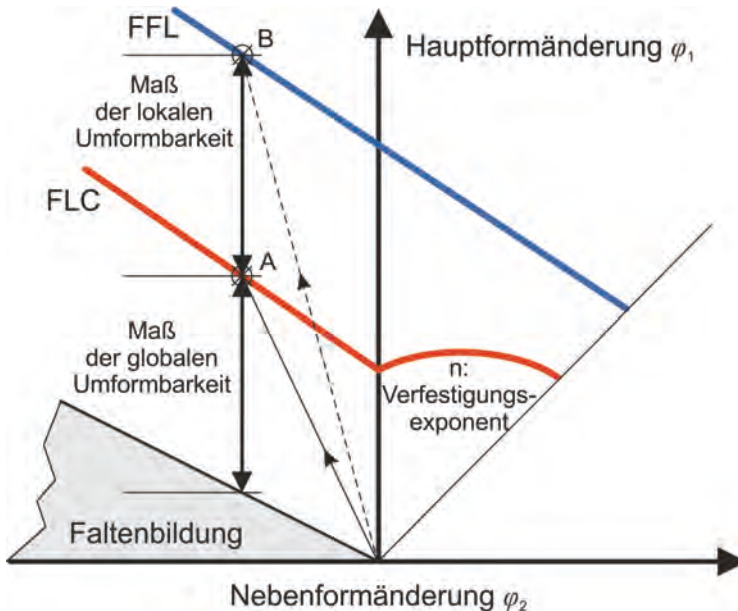
a) Aufbau des Biegewerkzeugs und Risse am Bauteil, b) induktive Erwärmung vor dem Biegen sowie späteres Zielbauteil

2.3.14 Umformbarkeitsgrenzen von modernen hochfesten Stählen

Projektträger
Kontakt

ReCIMP
Siddharth Upadhy M. Sc

Die Identifizierung von Methoden zur Charakterisierung der Umformbarkeit moderner hochfester Stähle bildet den Kernpunkt der Arbeit in diesem Projekt. Grenzformänderungskurven (FLC) und Bruchformänderungsdiagramme (FFLD) bilden die wichtigsten Werkzeuge zur Beurteilung der Grenzen der globalen bzw. lokalen Umformbarkeit. Um diese Grenzen zu ermitteln, sind üblicherweise eine Reihe verschiedener Versuche mit unterschiedlichen Probengeometrien erforderlich. Analytische Modelle ermöglichen eine wirtschaftliche und zeiteffiziente Bestimmung dieser Grenzen. Im Rahmen der geplanten Arbeiten soll die Robustheit eines von Faurecia neu entwickelten FLC-Modells untersucht und seine Anwendbarkeit für verschiedene Stahlgüten ermittelt werden. Der Einfluss der Methode zur Bestimmung des Einschnürungspunktes bei einer FLC ist ein weiterer Untersuchungsaspekt. Parallel dazu wird die Möglichkeit erforscht, FFLD durch einfache Tests wie Zug- oder Scherversuche zu bestimmen und die Zuverlässigkeit der so ermittelten Grenze experimentell zu validieren.

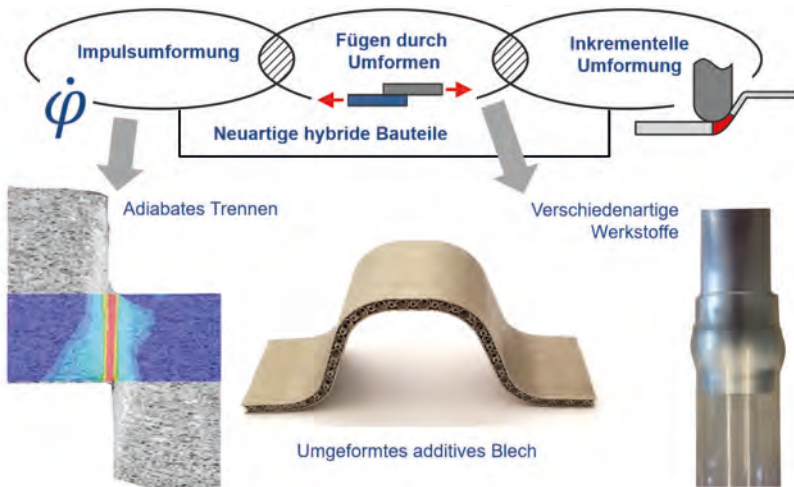


Grenzen der globalen (FLC) und lokalen (FFL) Umformbarkeit im Formänderungsraum

2.4 Abteilung Sonderverfahren

Leitung Marlon Hahn M. Sc.

In der Abteilung Sonderverfahren werden Prozesse erforscht und etabliert, deren Innovationsgrad über die Betrachtung konventioneller Umformverfahren hinausgeht. Dies ermöglicht etwa höhere Formänderungen oder eine gesteigerte Flexibilität. Vor einer industriellen Anwendung ist zunächst ein tiefgreifendes Prozessverständnis zu erlangen. Dafür werden experimentelle, numerische und analytische Methoden genutzt. Im Fokus stehen u. a. verschiedene Zeitskalen. So stehen quasistatische inkrementelle Verfahren mit reduzierten Prozesskräften hochdynamischen Verfahren mit kurzzeitig hohen lokalen Prozesskräften gegenüber. Hybride Fertigungsansätze gehören ebenfalls zum Portfolio. Dies bezieht sich sowohl auf die Werkzeugtechnik, als auch auf das Fügen artfremder Werkstoffe oder auf neue Halbzeugstrukturen mit erhöhter Gestaltungs- und Funktionsvielfalt. Dabei spielt der Einsatz additiver Verfahren im Sinne der Umformtechnik eine wachsende Rolle. In den jeweiligen Fachgebieten pflegen derzeit neun Wissenschaftler einen intensiven, fruchtbaren Austausch mit anderen nationalen und internationalen Arbeitsgruppen.

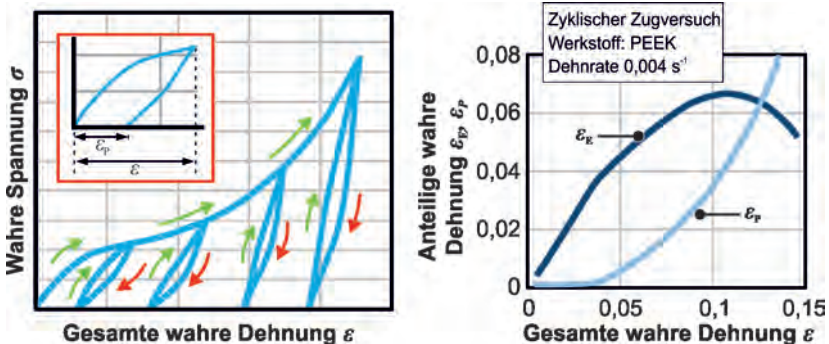


Innovative Prozesse der Abteilung Sonderverfahren

2.4.1 Automatisiertes Bestücken und zerstörungsfreies Prüfen von Rohr-Fitting-Verbindungen (AutoFit)

Projektträger	BMWi/DLR
Projektnummer	20W1905C
Kontakt	Florian Weber M. Sc.

In dem Verbundprojekt arbeitet das Institut für Umformtechnik und Leichtbau seit Juli 2020 zusammen mit den Firmen PFW Aerospace, Steitz Präzisionstechnik und dem Fraunhofer IZFP. Durch umformtechnisches Fügen wird ein metallisches Rohr (AA6061 T6) mit einem thermoplastischen Fügepartner (PEEK) gefügt. Zur Prozessauslegung der zur Anwendung kommenden Verfahren des Innenhochdruckfügens und des elektromagnetischen Expansionsfügens bedarf es einer statischen und dynamischen Materialcharakterisierung. Die Materialparameter des AA6061 T6 werden anhand von einachsigen Zugversuchen sowie invers, mithilfe des elektromagnetischen Ringexpansionsversuchs, bestimmt. Für die Bestimmung des Materialverhaltens des PEEK werden u. a. zyklische Zugversuche durchgeführt, welche den Übergang vom elastischen zum plastischen Dehnungsbereich festlegen. Es zeigt sich, dass bei einer wahren Dehnung von 0,038 die plastischen Dehnungsanteile im PEEK signifikant zunehmen. Darüber hinaus kommt es bei einer Gesamtdehnung von 11 % zu einem Abbau elastischer Dehnungsanteile (vgl. Bild).

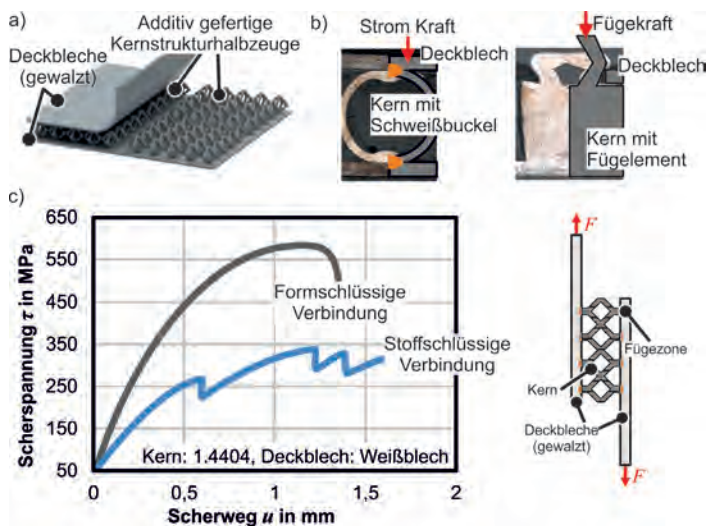


Schema des zyklischen Zugversuchs und experimentell bestimmte elastische und plastische Dehnungen

2.4.2 Umformung additiv gefertigter Sandwichblechverbunde mit optimierten Kernstrukturen

Projektträger Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
 Projektnummer 317137194
 Kontakt Stephan Rosenthal M. Sc.

In Kooperation mit dem Institut für Produkt Engineering der Universität Duisburg-Essen werden Sandwichblechverbunde mit für eine Umformung optimierten Kernstrukturen entwickelt. Der additiv gefertigte Kern wird mit gewalzten Deckblechen verbunden und ermöglicht die Herstellung lastangepasster Halbzeuge zur Überwindung der Bauraumrestriktionen der additiven Fertigung. Für die Verbundherstellung werden formschlüssige und stoffschlüssige Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung für eine anschließende Umformoperation mittels Scherversuchen charakterisiert. Die stoffschlüssige Verbindung erfolgt durch lokales Verschweißen von Buckeln und Deckblech mit kurzen Hochstromimpulsen. Dabei spielt besonders die Identifikation der Prozessparameter eine zentrale Rolle. Die Erzeugung einer formschlüssigen Verbindung geschieht über eine Zapfenverbindung mit für die Umformung optimierten Zapfengeometrien. Scherversuche zeigen eine zugunsten der formschlüssigen Verbindung höhere Festigkeit (vgl. Bild). Durch eine Verbesserung des Schweißprozesses soll auch die stoffschlüssige Verbindung in ihrer Performance steigen.

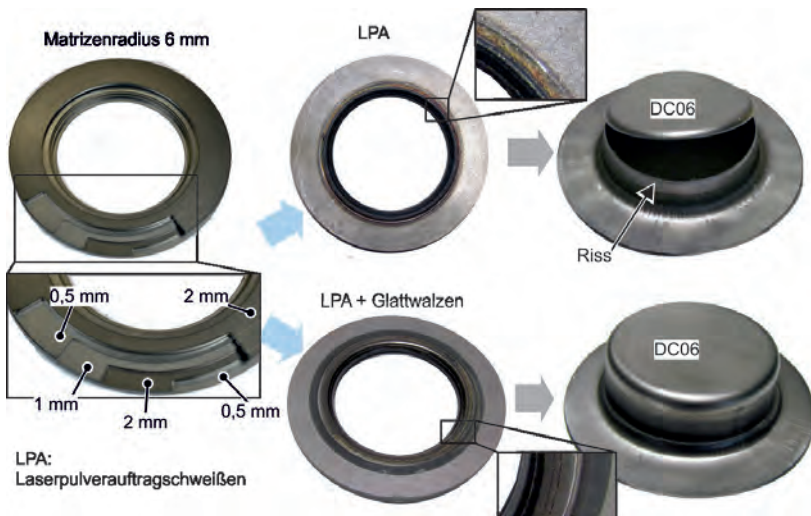


a) Großflächige Halbzeuge, b) stoff- und formschlüssige Verbindung, c) Scherfestigkeit der Verbindungsarten und Scherzugversuch

2.4.3 Reduzierung des Treppenstufeneffekts bei aus Blechlamellen geschichteten Werkzeugen mittels additiver und umformtechnischer Nachbearbeitung

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	426515407
Kontakt	Hamed Dardaei Joghann M. Sc.

Mit dem Ziel der Werkzeugauslegung wird ein auf der Balkentheorie basierendes semi-analytisches Modell für laminierte Blechwerkzeuge entwickelt. Es werden Festigkeit und Härte der einzelnen Kehlnähte an unterschiedlichen Blechdicken untersucht. Danach werden die auftretenden „Treppenstufen“, die aufgrund der Schichtung der Blechlamellen variieren können, durch Laserpulverauftragschweißen mit unterschiedlichen Aufbaustrategien und Prozessparametern aufgefüllt und die Oberfläche, Härte und Eigenspannung der Schweißnähte sowie der Einfluss der Anfangstemperatur des Substrats auf die mechanischen Eigenschaften der Schweißnähte untersucht. Die Rauheit der Oberflächen wird durch inkrementelles Glattwalzen eingeebnet. Die Ergebnisse werden anschließend auf ein Tiefziehwerkzeug übertragen (vgl. Bild). Neben dem Energieverbrauch werden auch die Bearbeitungszeit, die CO₂-Emissionen und die Produktionskosten des kombinierten Verfahrens im Vergleich zur konventionellen Herstellungsmethode ermittelt und bewertet. Abschließend wird das gewonnene Know-how auf einen komplexen Demonstrator übertragen.

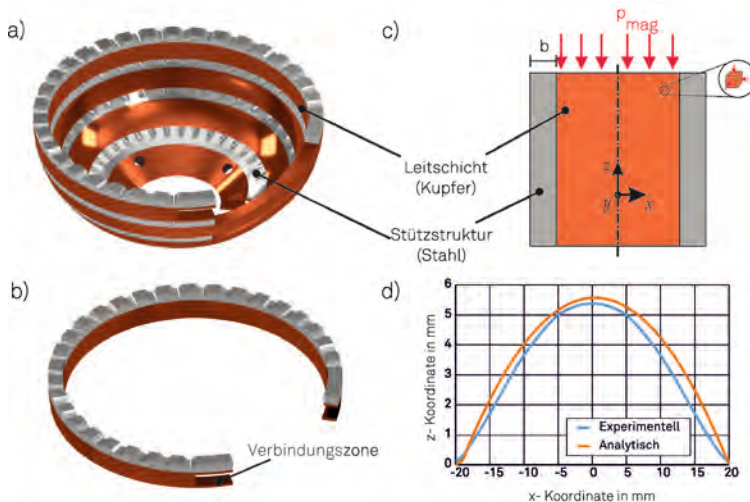


Herstellung des Tiefziehwerkzeuges durch hybride Fertigung mit einer Tiefziehtiefe von 21 mm und einem Tiefziehverhältnis von 1,9

2.4.4 Entwicklung und Herstellung optimierter Spulenwindungen für die elektromagnetische Umformung unter Einsatz additiver Verfahren

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	259797904
Kontakt	Siddhant Prakash Goyal M. Sc.
Projektstatus	abgeschlossen

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der TU Berlin wurde das Projekt mit dem Ziel durchgeführt, hybride, (multi-metallische) additiv hergestellte Spulen für die elektromagnetische Umformung für eine Erhöhung der Werkzeugstandzeit zu erforschen. Der Schwerpunkt der Forschung am IUL lag auf der Untersuchung von Parametern, die die Standzeit erhöhen, z. B. Hybridspulen (vgl. Bild a, b und c). Aufgrund der komplexen Geometrie der Hybridspulen wurde eine montagebasierte Lösung entwickelt, die zusätzliche Flexibilität bei der Verwendung bietet. Weiterhin konnte die Spulenleiterplastifizierung durch Stahlstützstrukturen an den Seiten gemindert werden. Dadurch entsteht ein hydrostatischer Druck in der Spule (vgl. Bild c). Weiterhin wurde eine semi-analytische Berechnungsmethode erarbeitet, die den Auslegungsaufwand mittels numerischer Simulationen für komplexe Mehrwindungsspulen reduziert. Aus Experimenten wurde die Geometrie der Spule und des Werkstücks vermessen und mit der effizienten Berechnungsmethode verglichen (vgl. Bild d).

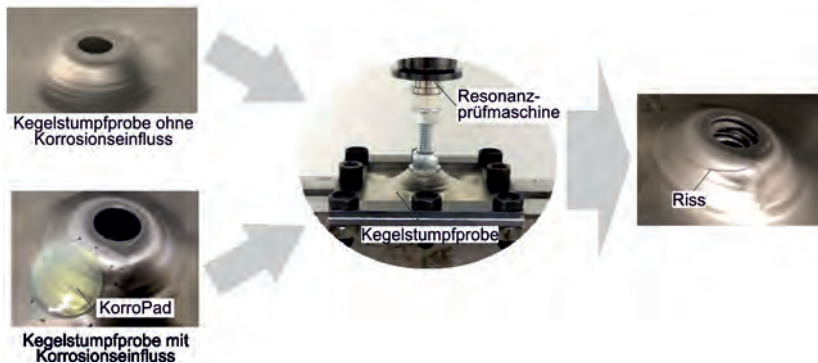


a) Montagebasierte Hybridspule, b) Einzelring, c) Stützstrukturen, d) Vergleich Experiment/Berechnung (Blechwerkstück)

2.4.5 Verbesserung des Einsatzverhaltens inkrementell umgeformter Bauteile durch gezielte Eigenspannungsinduktion

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	372803376 (SPP 2013)
Kontakt	Fabian Maaß M. Sc.

Die Kooperation mit der Professur Werkstoff- und Oberflächentechnik der TU Chemnitz im Rahmen des Schwerpunktprogramms 2013 hat in der dritten Förderperiode die Vorhersage der Eigenschaftsverbesserung von Bauteilen durch umformtechnisch induzierte Eigenspannungen zum übergeordneten Ziel. Das flexible Umformverfahren Single Point Incremental Forming (SPIF) wird dazu genutzt, gezielt Eigenspannungen in Bauteile einzubringen. Eine in der letzten Förderperiode entwickelte Prozessenerweiterung ermöglicht es, durch die gezielte Zug- und Druckspannungsüberlagerung den Eigenspannungsbetrag und Eigenspannungsvorzeichen definiert einzustellen. Im Rahmen der Kooperation wird der wechselseitige Einfluss der Eigenspannungen auf die Korrosion im Fertigungsprozess und den Betrieb der Bauteile experimentell analysiert (vgl. Bild) sowie ein numerisches Prognosemodell der Gestaltfestigkeit bei vordefiniertem Eigenspannungszustand aufgebaut. Die erzielten Erkenntnisse sollen genutzt werden, um die Betriebsfestigkeit zyklisch belasteter Bauteilbereiche unter Korrosionseinfluss zu erhöhen.



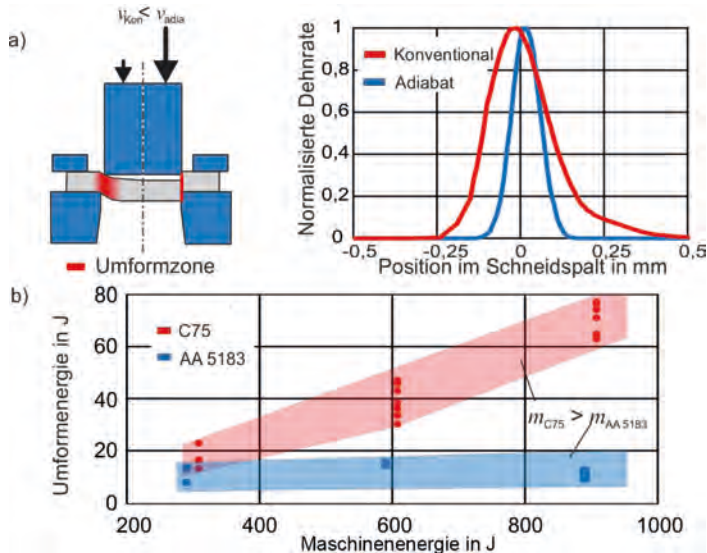
Vergleichende Gestaltfestigkeitsprüfung mit in-situ-Korrosionseinfluss

2.4.6 Einsatz und Analyse des adiabatischen Scherschneidens

Projektträger
Projektnummer
Kontakt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
428780322
Fabian Schmitz M. Sc.

Beim adiabatischen Scherschneiden wird durch die höhere Prozessgeschwindigkeit im Vergleich zum konventionellem Scherschneiden das Material lokal umgeformt (vgl. Bild a). Aufgrund der kurzen Dauer des Kraftstoßes ($t \approx 0,2$ ms) ist die Wärmeleitung nicht aktiv und begünstigt eine temperaturbedingte Entfestigung des Materials im Schneidspalt. Durch zeitlich hoch aufgelöste Beschleunigungs- und Kraftmessungen werden die Energieflüsse, insbesondere die Umwandlung der kinetischen Energie des Stempels in dissipierte plastische Arbeit des Werkstoffes (Umformenergie), während des Prozesses ermittelt. Die für das adiabatische Scherschneiden notwendige Umformenergie steigt mit der Prozessgeschwindigkeit an. Für Materialien mit einer niedrigen Dehnratensensitivität m flacht das Verhältnis ab (vgl. Bild b). Wird zudem ein adiabatisches Scherband erzeugt, steigt die dissipierte plastische Arbeit des Werkstoffes deutlich an. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaft (LWW) der TU Chemnitz bearbeitet.



a) Vergleich der Dehnungslokalisierung, b) Einfluss der Dehnratensensitivität auf die Umformenergie

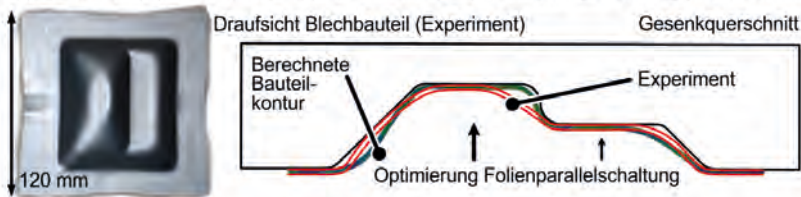
2.4.7 Umformen mittels örtlich variabel vaporisierender Aktuatoren

Projektträger Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer 391967465
Kontakt Marlon Hahn M. Sc.
Projektstatus abgeschlossen

Der innerhalb weniger Mikrosekunden entstehende Verdampfungsdruck bei einer Kondensatorbankentladung über dünne Aluminiumfolien (Aktuatoren) wurde für eine flexible Blechumformung genutzt. Im Fokus des Projekts stand die Erarbeitung und experimentelle Validierung einer multiphysikalischen Modellierung und Simulation für diesen neuartigen Prozess, um eine prädiktive Prozessgestaltung sowie ein erhöhtes Prozessverständnis zu ermöglichen. Dafür wurden je nach Aufwand (absteigend, vgl. Tabelle unten) verschiedene, miteinander kombinierbare Ansätze gewählt. Insbesondere waren die nicht-linearen elektrischen Eigenschaften des Aktuators im festen, flüssigen und gasförmigen Zustand sowie die dehnratenabhängige Fließspannung des Blechwerkstoffes (1 mm dicker DC01 Stahl, vgl. Bild) zu berücksichtigen. In näherungsweisen Ergebnissen liegen bauteilindividuelle Druckverteilungen vor, welche über die zuvor bestimmten Anlagenparameter zusammen mit der Folienschaltung und -geometrie realisiert werden konnten.

Elektrische Energieeinbringung in Aktuator w [MJ/kg]		Mechanische Umformung mit Druck p [GPa]	
(Prozesszeit, $t = 0$)		(Berstpunkt t_b)	
		(Ende t_e)	
3D-thermisch-elektrisch, FEM (implizit-Ansys)	<i>Sequenzielle 1-mal-Kopplung:</i> $p_b^{EOS*}(w_b)$	3D-SPH-FEM, Aktuator-Blech-Interaktion (explizit-Autodyn)	
analytisch-iterativ (Temperaturabhängigkeit eliminiert, nur für quaderförmige Aktuatoren)		3D-FEM, definierter Impuls (explizit-Abaqus, Druckoptimierung)	
<i>Nichtlinearer Widerstand</i>		2D-symm., reinplastisches Kettenmodell (eigener Code)	
		<i>Dehnratenabhängigkeit</i>	

*Equation of state (Folie), SPH: Smoothed Particle Hydrodynamics, FEM: Finite Element Method

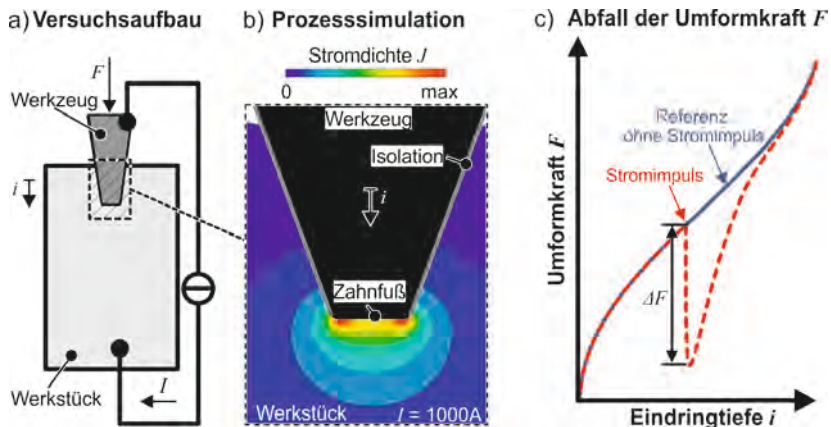


Erforschte Berechnungsmöglichkeiten und ausgewähltes Experiment

2.4.8 Grundlagenuntersuchungen und Verfahrensentwicklung zur Herstellung belastungsangepasster Bauteile mittels inkrementeller Blechmassivumformung (iBMU)

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	SFB/TR 73 • Teilprojekt A4
Ansprechpartner	Dr.-Ing. Sebastian Wernicke
Projektstatus	abgeschlossen

Das übergeordnete Projektziel war die umformtechnische Herstellung geometrisch komplexer Funktionsbauteile aus Blechen mittels inkrementeller Umformoperationen. Nach dem Aufdicken des Randes erfolgte eine Kalibrierung von Formelementen. Zentrale Fragestellung war, ob die unterschiedlichen Prozesskinematiken der iBMU und die damit einhergehenden Dehnpfade zur gezielten Beeinflussung der mechanischen Bauteileigenschaften genutzt werden können. Numerische Untersuchungen zeigten, dass prozessübergreifend zyklische Lastwechsel auftreten. Experimentelle Härtemessungen ergaben, dass das werkstoffseitige Verfestigungspotenzial, welches bei monotoner Belastung zu beobachten ist, nicht umgesetzt werden kann. Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt lag auf der Reduktion der enormen Werkzeugbelastung mittels elektrischer Stromimpulse (vgl. Bild a). Lokal isolierte Umformwerkzeuge ermöglichen hohe elektrische Stromdichten innerhalb der Umformzone (vgl. Bild b) und damit eine temporäre Reduktion der Umformkraft F von über 50 % ohne Verlust der eingebrachten Kaltverfestigung (vgl. Bild c).

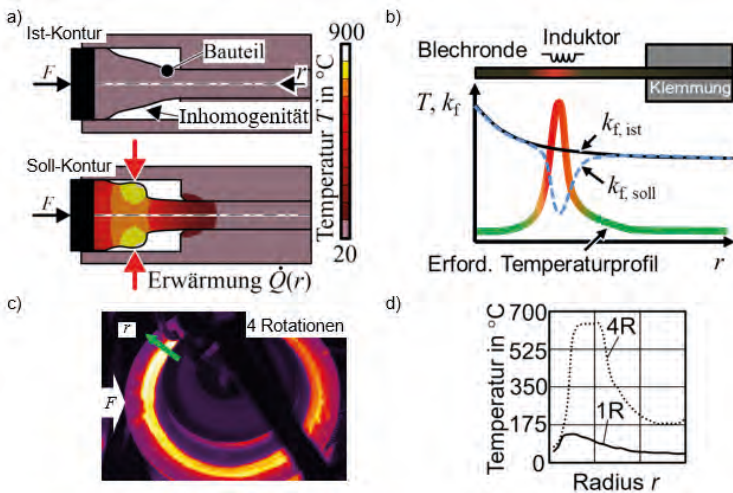


a) Schema Verzahnen mit Stromdurchflutung, b) resultierende Stromdichteverteilung, c) Kraftreduktion

2.4.9 Inkrementelle Blechmassivumformung unter Anwendung thermisch gesteuerter Gradierungsmechanismen

Projektträger	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Projektnummer	SFB/TR 73 • Teilprojekt T04
Kontakt	Stephan Rosenthal M. Sc.
Status	abgeschlossen

Thema des Transferprojektes war die Erweiterung der inkrementellen Blechmassivumformung (iBMU) für die Warmblechumformung. Ziel war die lokale Beeinflussung der Fließspannung durch lokale Erwärmung (vgl. Bild a). Durch einen analytischen Ansatz konnte die Machbarkeit dieser Technologie aufgezeigt werden. Dieser liefert das erforderliche Temperaturprofil zur lokalen Herabsetzung der Fließspannung (vgl. Bild b). Dadurch lässt sich eine Homogenisierung des Werkstoffflusses erreichen. Während des Projektes stellte sich die Erwärmungsumsetzung als sehr herausfordernd dar. Ansätze zur konduktiven, induktiven, kombinierten Erwärmung und kryogener Abkühlung sowie Lasererwärmung liegen an der Grenze des technisch Machbaren. Der erforderliche Temperaturgradient von $\Delta T = 850 \text{ °C}$ über einer Breite von 5 mm ist aktuell aufgrund der Wärmeleitfähigkeit des Materials nicht erreichbar (vgl. Bild c-d). Die Bearbeitung erfolgte in Kooperation mit den Firmen Winkelmann Powertrain Components, thyssenkrupp Hohenlimburg, Faurecia Autositze und voestalpine High Performance Metals Deutschland.



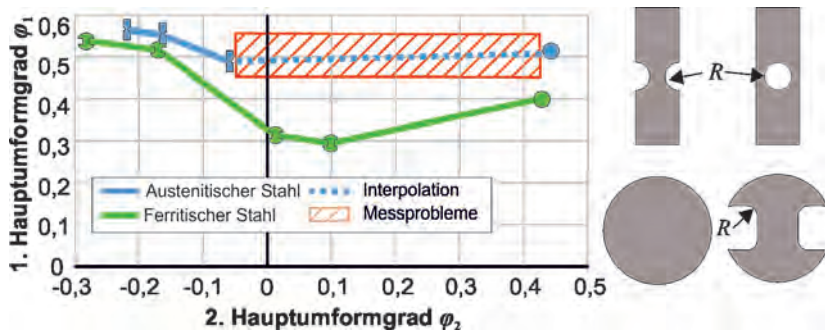
a) Aufdicken bei iBMU, b) nötige Temperaturverteilung, c) erwärmte Probe, d) Temperaturfeldmessung

2.4.10 Umformbarkeit von Hochtemperatur-Edelstählen

Projektträger
Kontakt

ReCIMP
Florian Weber M. Sc.

Der Schwerpunkt dieses Projektes ist die Beantwortung der Frage, welche gegenwärtig eingesetzten austenitischen Stahlsorten durch ferritische Hochtemperaturstähle substituiert werden können. Letztere haben ein schlechteres Umformvermögen bei signifikant geringeren CO₂-Emissionen. Als Maßstab der Umformbarkeit werden dabei experimentell Grenzformänderungskurven mittels Nakajima- und gekerbten Zugversuchen bestimmt. Für die Werkstoffe mit hoher Umformbarkeit zeigt der Nakajima-Versuch eine begrenzte Anwendbarkeit. Bei Geometrien mit einem eingebrachten Radius führt ein Nachfließen des Werkstoffes zu Reißen außerhalb des Gültigkeitsbereiches, sodass zukünftige Untersuchungen eine Optimierung der Probengeometrie vorsehen. Darüber hinaus ist das Probenherstellungsverfahren und dessen Einfluss auf die Rissentstehung Bestandteil der Untersuchungen.



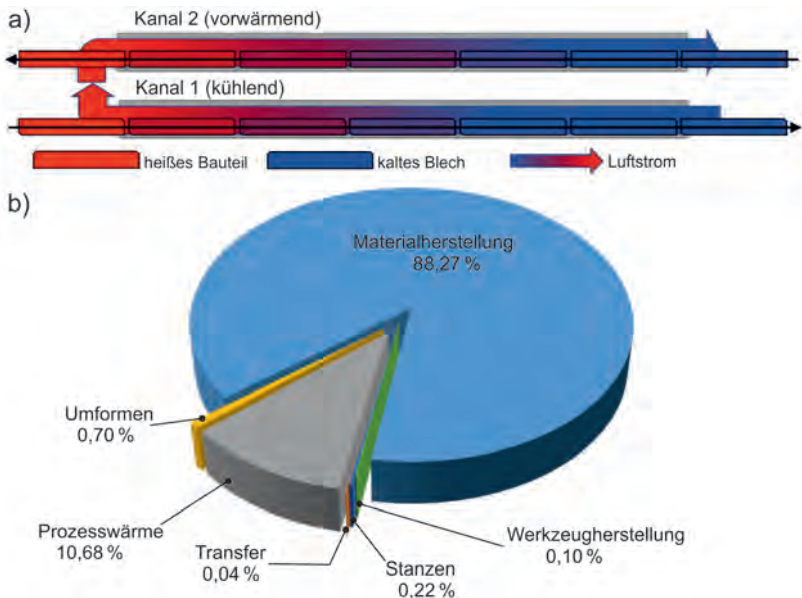
Experimentell ermittelte Grenzformänderungskurven und verwendete Probengeometrien

2.4.11 Green Manufacturing – Emissionsanalyse einer industriellen Prozesskette zur Warmumformung von Blechbauteilen

Projektträger
Kontakt

ReCIMP
Manish Chowdary Ghattamaneni M. Sc.

Dieses Projekt untersucht die Möglichkeiten zur Reduktion von CO₂-Emissionen entlang umformtechnischer Prozessketten. Im ersten Teil des Projektes erfolgte eine Emissionsanalyse entlang einer Blechmassiv-Warmumformprozesskette. Mit der Identifikation aller Teilprozessschritte und der entsprechenden CO₂-Emissionen erfolgte eine Analyse möglicher CO₂-Einsparmaßnahmen. Nach der Materialherstellung entfällt der zweitgrößte CO₂-Anteil auf die Prozesswärme (vgl. Bild). Dementsprechend wurden zunächst die Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung untersucht und für unterschiedliche Konzepte wie einen Gegenstromwärmeübertrager (vgl. Bild) berechnet. Dabei werden warme Bauteile zur Vorwärmung kalter Halbzeuge genutzt. Ein zudem entwickelter analytischer Ansatz ermöglicht die Vorhersage der bauteilspezifischen CO₂-Emissionen. Weitere Untersuchungen fokussieren die Möglichkeiten zur Verringerung von Stanzresten, welche einen Großteil der gesamten CO₂-Emissionen verursachen.



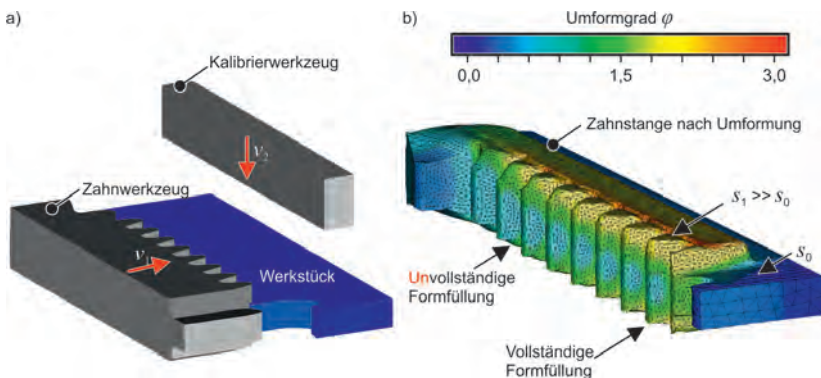
a) Konzept zur Wärmerückgewinnung, b) Anteile teilspezifischer CO₂-Emissionen beim Blechmassiv-Warmumformen einer Zahnstange

2.4.12 Blechmassiv-Warmumformung belastungsangepasster Zahnstangen

Projektträger
Kontakt

ReCIMP
Dr.-Ing. Sebastian Wernicke

Eine Möglichkeit zur Herstellung belastungsangepasster Funktionsbauteile bietet die vergleichsweise junge Technologie der Blechmassivumformung. Durch Anwendung von Massivumformverfahren auf Blechhalbzeuge kann dabei eine lokale Blechdickenzunahme realisiert werden. Dies ermöglicht eine Gewichts-, Material- und somit CO_2 -Einsparung gegenüber Bauteilen mit homogener Wandstärkenverteilung. Ziel dieses Projektes ist die Blechmassiv-Warmumformung presshärtbarer Stähle, wodurch Funktionselemente wie Verzahnungen nach einem anschließenden Abschreckvorgang zugleich die Zielhärte erreichen. Die wesentliche Herausforderung besteht dabei in der numerischen Materialflussanalyse zur Optimierung der Platinengeometrie. Dabei gilt es, eine Faltenbildung wie auch unvollständige Formfüllung zu vermeiden. Neben der Platinenoptimierung erfolgt eine numerische Sensibilitätsanalyse zur Verringerung der Prozessparameter hinsichtlich der Prozessenergie und Werkzeugbelastung. Die fortlaufenden Arbeiten fokussieren die weitere Reduzierung der thermomechanischen Werkzeugbelastungen mittels numerisch optimierter Kühlkanäle.



a) Prozessablauf beim Blechmassivumformen einer Zahnstange, b) Formänderungsverteilung nach der Umformung

02

Forschung

Wir bedanken uns für die Förderung unserer
Forschungsvorhaben bei:



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch



Deutsche
Forschungsgemeinschaft

·faurecia

KARL KÖLLE STIFTUNG

03

Weitere Aktivitäten

Weitere Aktivitäten

03

03

Weitere Aktivitäten

3 Weitere Aktivitäten

3.1 Auszeichnungen

Leuphana Universität Lüneburg verleiht Ehrendokortitel an Prof. Matthias Kleiner

Im Rahmen des „Dies Academicus 2021“ wurde Prof. Kleiner am 7. Juli 2021 der erste ingenieurwissenschaftliche Ehrendokortitel „Dr.-Ing. E.h.“ der Leuphana Universität verliehen. Der IUL-Institutsleiter ist seit 2014 gewählter Präsident der Leibniz-Gemeinschaft und für die Wahrnehmung des Amtes durch die TU Dortmund beurlaubt. Er erhielt die Ehrendoktorwürde der Fakultät Wirtschaftswissenschaften für seine herausragenden Beiträge zur ingenieurwissenschaftlichen Forschung und im Wissenschaftsmanagement. Die Laudation hielt Prof. Ben Khalifa, Institutsleiter am Institut für Produkt- und Prozessinnovation der Leuphana Universität und Alumnus des IULs. Prof. Tekkaya gratulierte vor Ort in Lüneburg stellvertretend für das ganze IUL-Team.



Foto: Leuphana
Prof. Kleiner bei seiner Dankesrede im Rahmen der Verleihung des Ehrentitels (links) mit Prof. Spoun, Präsident der Leuphana

3.2 Veranstaltungen

8. Dortmunder Kolloquium zur Rohr- und Profilumformung

Das achte Dortmunder Kolloquium zur Rohr- und Profilumformung (DORP) fand am 29. September 2021 erstmalig als digitale Veranstaltung statt. Themenschwerpunkte der Veranstaltung waren die vernetzte Produktion von Rohr- und Profilbauteilen, das temperaturunterstützte Biegen sowie Sensorik und Aktorik zur Erfassung und Ausregelung von Biegefehlern. Mehr als 65 Teilnehmer/-innen und elf Vorträge, davon sieben aus der Industrie und vier aus der Wissenschaft, bildeten ein Forum zum Austausch. Die Vorträge konnten in sog. Breakout-Sessions intensiv diskutiert werden, wodurch auch im digitalen Format ein lebhafter Dialog innerhalb der Community ermöglicht wurde. Als besonderes Highlight präsentierte das IUL im Rahmen eines Vortrags zukunftsweisende Technologien zum Biegen von hochfesten Profilen mit Temperaturunterstützung und mit Druckspannungsüberlagerung (vgl. Bild). Dabei wurde die Durchführung von Versuchen sowie eine Führung durch das Experimentierfeld live übertragen. Die Tagungsreihe wird mit dem neunten DORP im Jahr 2023 in Präsenz fortgesetzt.



Bilder der live übertragenen Experimente und der digitalen Führung durch das Experimentierfeld des IUL beim achten DORP

International Conference on High Speed Forming – ICHSF

Vom 13. bis zum 15. Oktober 2021 fand die neunte „International Conference on High Speed Forming“ (ICHSF) statt, die vom IUL und von der Ohio State University organisiert wurde. Dabei handelte es sich um eine pandemiebedingt verschobene Online-Ersatzveranstaltung der eigentlichen Präsenzveranstaltung 2020 in Dortmund. Über 50 nationale und internationale Wissenschaftler/-innen und Industrie-Teilnehmer/-innen aus Deutschland, China, Amerika, Frankreich, Portugal, Schottland, England, Indien, Japan, Belgien und Südkorea sorgten zu den Themen „Forming and Joining“, „Innovations“, „Process Design and Measurement“ und „Characterisation“ für einen regen Austausch in sechs Sessions. 24 Live-Präsentationen wurden über die drei Konferenztage abgehalten und zusätzlich in separaten Breakout-Sessions diskutiert. Zudem wurden mit einer sehr positiven Rückmeldung erstmals drei ausgewählte Keynote-Vorträge in die Konferenz integriert. Dr. Mostafa Hassani von der Cornell University, USA, hielt einen grundlagenorientierten Vortrag zur konstitutiven Materialmodellierung und Parameterbestimmung über ein sehr breites Dehnratenspektrum. Dr. Gilles Avrillaud von der Firma Bmax, Frankreich, zeigte die Entwicklungsschritte für Hochgeschwindigkeitsverfahren in aktuellen, innovativen Anwendungen auf. Und Prof. Brad Kinsey von der University of New Hampshire, USA, referierte über physikalische Phänomene und Betrachtungsweisen in der Impulsumformung. Die Beiträge der Konferenz sind öffentlich auf der Eldorado-Plattform der TU Dortmund verfügbar. Die nächste Konferenz der Reihe soll 2023 erneut in Dortmund und in alter Tradition mit voller physischer Präsenz der Teilnehmer/-innen stattfinden.



Tag der offenen Tür der TU Dortmund

Am 30. Oktober 2021 fand unter Einhaltung der aktuellen Corona-Schutzmaßnahmen der diesjährige Tag der offenen Tür an der TU Dortmund statt. In Kooperation mit dem Institut für Spanende Fertigung (ISF) und dem Lehrstuhl für Werkstoffprüftechnik (WPT) bot das IUL Hallenführungen mit Maschinenführungen sowie eine interaktive Schmiedeshow an. Zu jeder vollen Stunde wurden die Besucher/-innengruppen von wissenschaftlichen Mitarbeitenden durch die Labore der Institute geführt, wo eine große Auswahl an spanenden, umformenden und additiven Produktionsmaschinen sowie Hochgeschwindigkeitsmaschinen vorgestellt und teilweise mithilfe aufregender Kurzversuche demonstriert wurde. Zusätzlich hatten die Besucher/-innen

die Möglichkeit, vor der Experimentierhalle an einer Schmiedeshow teilzunehmen und gemeinsam mit den Schmiedern der EVENT.SCHMIEDE aus Solingen Nägel zu schmieden. Besonders für die jüngeren Besucher/-innen war dies ein besonderes Schauspiel und eine Möglichkeit, handfeste Umformpraxis zu erleben.



Besucher/-innengruppe in der IUL-Experimentierhalle
Foto: Oliver Schaper/TU Dortmund

Treffen des IUL-Industriebeirats

Der Industriebeirat des IUL, bestehend aus Vertreter/-innen diverser Industrieunternehmen und Verbände, traf sich wie bereits im vergangenen Jahr am 26.02.2021 online. So konnte trotz bestehender Kontaktbeschränkungen ein Austausch über aktuelle Entwicklungen am Institut und in den Unternehmen erfolgen. Mit dem nun bereits 20. Treffen ist der Industriebeirat des IUL längst zu einer festen Institution geworden. Durch den regelmäßigen Austausch im Gremium erhalten die Unternehmen Einblick in die aktuellen Forschungsprojekte des Instituts und liefern wertvollen Input für zukünftige Projekte. Aktuell sind 22 Firmen und Verbände feste Mitglieder im Beirat. Im Fokus der Diskussion stand diesmal die Flexibilisierung in der Umformtechnik. In einem Vortrag stellte Prof. Tekkaya Forschungsschwerpunkte des Instituts vor, die sich mit dieser Thematik befassen. Insbesondere inkrementelle Umformverfahren sowie die additive Fertigung, aber auch das Tiefzieh-Verbundfließpressen und das Drehmomentüberlagerte räumliche Profilbiegen sind hier zu

nennen. Seitens der Industrie- und Verbandsvertreter/-innen bestand außerdem ein großes Interesse an den Themen „Simulation in der Umformtechnik“, „digitaler Zwilling“ und „künstliche Intelligenz“.

Auch das zunächst in Präsenz geplante 21. Treffen des Industriebeirats am 19.11.2021 wurde kurzfristig aufgrund steigender Inzidenzwerte in Form einer Online-Konferenz abgehalten. Schwerpunkt der Veranstaltung war das Thema „Green Manufacturing“. Die Umformtechnik stellt dabei bereits ein effizientes Herstellverfahren dar. Der CO₂-Fußabdruck umformtechnisch hergestellter Bauteile ist zu einem überwiegenden Teil auf den Materialeinsatz zurückzuführen. Um diesen zu reduzieren, werden am IUL innovative Ansätze für direktes Recycling wie das Spänestrangpressen, der gezielte Einsatz von Umformverfahren zur Steigerung der Leistungsfähigkeit und neue Charakterisierungsverfahren erforscht.

Des Weiteren hat sich das IUL an folgenden Veranstaltungen beteiligt, die teilweise auch einem nichtwissenschaftlichen Publikum aus unterschiedlichen Zielgruppen zugänglich waren:

- Dortmunder Hochschultage • 20. Januar
- Girls*Day 2021 • 22. April
- SchnupperUni • 9.-11. August

3.3 Mitwirkung in nationalen und internationalen Organisationen: Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya

Mitarbeit in Forschungsgremien

- acatech – Mitglied der „Deutschen Akademie der Technikwissenschaften“
- AGU – Mitglied der „Wissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft Umformtechnik“
- CIRP – Fellow der „International Academy for Production Engineering“
- DGM – Mitglied der „Deutschen Gesellschaft für Materialkunde“
- EuraSEM – Ratsmitglied der „European Society of Experimental Mechanics“
- FOSTA – Mitglied des Kuratoriums der „Forschungsvereinigung Stahlanwendungen e. V.“
- GCFG – Mitglied der „German Cold Forging Group“
- I²FG – Vorsitzender und Mitglied der „International Impulse Forging Group“
- ICFG – Mitglied der „International Cold Forging Group“
- ICTP – Beratendes Mitglied des Standing Advisory Boards der „International Conference on Technology of Plasticity“
- JSTP – Mitglied der „Japan Society for Technology of Plasticity“
- Kuratoriumsmitglied der „KARL-KOLLE-Stiftung“
- Mitglied im „DGM-Regionalforum Rhein-Ruhr“
- Vize-Präsident des deutschen Konsortiums der Türkisch-Deutschen Universität
- WGP – Mitglied der „Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik“

Zeitschriften/Schriftleitung

- Editor-in-Chief, „Advances in Industrial and Manufacturing Engineering (AIME)“ (Elsevier)
- Mitglied Advisory Board, „Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb – ZWF“ Mitglied Editorial Board, „Automotive Innovation“ (Springer)
- Mitglied Editorial Board, „CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology“ (Elsevier)

- Mitglied Editorial Board, „Journal of Production Processes and Systems“
- Mitglied Gutachtergremiums, „Heat Treatment and Materials“ (HTM) (Carl-Hanser)
- Mitglied International Advisory Committee, „International Journal of Material Forming“ (Springer)
- Mitglied Scientific Editorial Board, „Computer Methods in Materials Science“
- Mitglied Scientific Editorial Board, „International Journal of Precision Engineering and Manufacturing“ (Springer)
- Mitglied Scientific Editorial Board, „Results in Engineering“ (Elsevier)
- Mitglied Scientific Editorial Board, „Romanian Journal of Technical Sciences – Applied Mechanics“
- Stellvertretender Editor, „Elsevier Series in Plasticity of Materials“
- Vorsitzender Editorial Committee, „CIRP Annals“ (Elsevier)

Weitere Mitgliedschaften

- Mitglied des Advisory Committee, „The 13th International Conference on the Technology of Plasticity“ (ICTP 2021), Columbus, USA
- Mitglied des „CIRP Communication Committee“
- Mitglied des Scientific Committee, „International Deep Drawing Research Group 2021“ (IDDRG), Lorient, Frankreich
- Mitglied des Scientific Committee, „The 12th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Metal Forming Processes“ (NUMISHEET 2021), Toronto, Kanada
- Mitglied des Scientific Committee, „The 31th CIRP Design Conference 2021“, Enschede, Niederlande
- Vorsitzender der „CIRP Task Force on Future Publishing“
- Vorsitzender des Scientific Committee, „The International Conference on High Speed Forming 2021“ (ICHSF21)

Gutachtertätigkeiten in wissenschaftlichen Gremien

- AiF – Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V.
- ANR – French National Research Agency
- CIRP – Internationale Akademie für Produktionstechnik
- DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft, Mitglied im Fachkollegium 401 (Produktionstechnik)
- ESF College of Expert Reviewers
- ICFG – International Cold Forging Group
- KIT – Karlsruhe Institute of Technology
- Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China
- The Ohio State University, USA
- The University of Sheffield
- University of Bath
- University of Cyprus
- Worcester Polytechnic Institute

Für Zeitschriften

- Acta Materialia
- Advanced Manufacturing Technology
- Applied Mathematical Modelling
- Archive of Applied Mechanics
- ASME – Journal of Manufacturing Science and Engineering
- CIRP Annals – Manufacturing Technology
- Computational Materials Science
- Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering
- Energy Reports
- Engineering Applications of Artificial Intelligence
- Engineering Computations
- Engineering Fracture Mechanics
- Engineering with Computers
- Forschung im Ingenieurwesen
- HTM Journal of Heat Treatment and Materials

- International Journal for Numerical Methods in Engineering
- International Journal of Advanced Manufacturing Technology
- International Journal of Damage Mechanics
- International Journal of Machine Tools and Manufacture
- International Journal of Material Forming
- International Journal of Materials and Product Technology
- International Journal of Mechanical Engineering Education
- International Journal of Mechanical Sciences
- International Journal of Mechanics and Materials
- International Journal of Precision Engineering and Manufacturing
- International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology
- International Journal of Solids and Structure
- Journal Material Characterization – An International Journal on Materials Structure and Behavior
- Journal of Applied Mathematical Methods
- Journal of Computational and Applied Mathematics
- Journal of Manufacturing Processes
- Journal of Manufacturing Science and Engineering
- Journal of Materials Processing Technology
- Journal of Mechanical Engineering
- Journal of Pressure Vessel Technology
- Journal of Production Engineering
- Manufacturing Letters
- Materials
- Materials & Design
- Materials and Manufacturing Processes
- Materials Science and Engineering A
- Mechanics of Materials
- Simulation Modelling Practice and Theory
- Steel Research International
- Strain: An International Journal for Experimental Mechanics
- Surface and Coatings Technology
- The International Journal of Advanced Manufacturing Technology
- ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb

3.4 Mitwirkung in nationalen und internationalen Organisationen: Prof. Dr.-Ing. Matthias Kleiner

Wissenschaftliche Akademien

- Academia Europaea
- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
- CIRP – The International Academy for Production Engineering
- Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina
- Europäische Akademie der Wissenschaften und Künste
- Indian National Science Academy
- Russian Academy of Engineering
- Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

Wissenschaftliche Beiräte und Kuratorien

- Global Learning Council, Vorsitz
- STS Council und -Board – STS-Forum Science and Technology in Society, Japan
- Mitglied im Aufsichtsrat der „Futurium gGmbH“
- Advisory Committee Japan Science and Technology Agency (JST) Tokyo
- Kuratorium des Max Planck-Instituts für Zellbiologie und Genetik Dresden
- Internationaler Beirat zur Begleitung der Weiterentwicklung und Vernetzung der Kompetenzzentren für KI-Forschung in Deutschland, Vorsitz
- Member of International Advisory Board of Moonshot R&D at Japan Science and Technology Agency (JST) Tokyo
- Kommission zur Evaluation der Promotionszentren an Hessischen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (Vorsitz)

Beiräte Hochschulen

- Hochschulrat der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Vorsitz (bis April 2021)
- Kuratorium der Technischen Universität Berlin
- Kuratorium der Julius Maximilian-Universität Würzburg
- International Advisory Board Faculty of Engineering, Twente University
- Aufsichtsrat der Jacobs University Bremen gGmbH (bis September 2021)

Beiräte Stiftungen

- Kuratorium der Telekom-Stiftung
- Wissenschaftlicher Beirat der Fritz Thyssen-Stiftung
- Wissenschaftlicher Beirat der Exzellenzinitiative Johanna Quandt – Stiftung Charité, Vorsitz
- Wissenschaftlicher Beirat der Werner Siemens-Stiftung, Schweiz

Fachliche Vereinigungen

- AGU – Arbeitsgemeinschaft Umformtechnik
- WGP – Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik
- Kuratorium der Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)

Gutachter- und Gremientätigkeiten

- Tang Prize International Advisory Board, Taipei
- Jurymitglied für den Deutschen Innovationspreis
- Jurymitglied Georg von Holtzbrinck Preis für Wissenschaftsjournalismus
- Kuratorium Deutscher Zukunftspreis des Bundespräsidenten

Beiräte Unternehmen

- Beirat der ALHO Holding
- Beirat der Siepmann Werke
- Beirat der Winkelmann Group

Internationaler Austausch



04

Internationaler Austausch

4 Internationaler Austausch

Prof. Paulo A. F. Martins

Prof. Paulo Martins vom „Instituto Superior Técnico“ der Technischen Universität von Lissabon besuchte von Oktober bis November 2021 das IUL. Während seines Aufenthalts beschäftigte sich Prof. Martins mit vielfältigen Forschungsfragen. Während er im Rahmen der universitären Lehre Konzepte zur systematischen Analyse und Restrukturierung umformtechnischer Curricula entwickelte, erarbeitete er für den Prozess des Rotationszugbiegens ein analytisches Modell, welches die Wanddickenänderung während der Umformung von Edelstahlrohren präzise vorhersagt. Darüber hinaus unterstützte er durch seine tiefgreifende Expertise bei der Umformung thermoplastischer Werkstoffe das IUL-Team bei der Prozessauslegung zum Innenhochdruckfügen von Metallen und Polymeren.



Prof. Paulo A. F. Martins

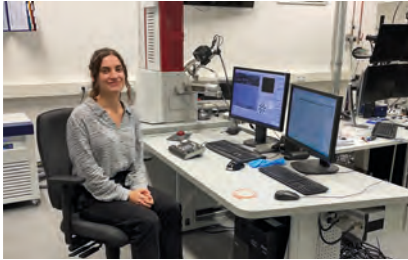
Elizabeth Mamros

Elizabeth Mamros, Promotionsstudentin von der University of New Hampshire aus der Gruppe von Prof. Brad Kinsey und Prof. Jinjin Ha, besucht als Gastwissenschaftlerin von Juni 2021 bis Juli 2022 das IUL. Während ihres Forschungsaufenthalts in der Abteilung Sonderverfahren beschäftigt sich Frau



Elizabeth Mamros vor der Versuchsanlage zur inkrementellen Blechumformung (IBU)

Mamros mit unterschiedlichen Prozessvarianten der inkrementellen Blechumformung. Der Fokus ihrer Prozessanalyse liegt in der Kontrolle des Dehnpfades zur gezielten Einstellung von Produkteigenschaften unter Berücksichtigung der Phasentransformation von Edelstahlwerkstoffen. Ein Ziel ist die Analyse und Modellierung der Phasentransformation während der Umformung. Die grundlegenden Mechanismen werden am Verfahren des Single Point Incremental Formings untersucht. Darüber hinaus kommen Konzepte zur spannungsüberlagerten inkrementellen Blechumformung zum Einsatz, um die Dehnpfade während der Umformung gezielt zu beeinflussen. Weitergehende Untersuchungen werden von Frau Mamros mit dem am IUL entwickelten „Multitool“ zur inkrementellen Blechumformung durchgeführt.



Austauschstudentin Clémence Pinot bei der Untersuchung spänebasierter Profile am Rasterelektronenmikroskop

Clémence Pinot

Für das Wintersemester 2021/22 besuchte Clémence Pinot vom École Centrale Nantes in Frankreich das IUL. Im Rahmen ihres wissenschaftlichen Praktikums in der Abteilung für Massivumformung untersuchte Frau Pinot den Einfluss des Sauerstoffs auf die Oxidation von Aluminiumspänen und -profilen während des Spänestrangpressens. Der ressourcenschonende Prozess dient zum direkten Recycling von Aluminiumspänen zu Profilen ohne den energieintensiven Schritt des Wiedereinschmelzens. Ziel war die Ermittlung der Auswirkungen der Parameter Homogenisierungstemperatur und -zeit auf die Bildung unterschiedlicher Phasen wie Aluminiumoxid oder Magnesiumoxid, die wiederum die Verschweißung der Späne während des Prozesses beeinflussen. Die Untersuchungen wurden metallografisch durch Lichtmikroskop- und Rasterelektronenmikroskopaufnahmen durchgeführt. Durch die gewonnenen Erkenntnisse können die ablaufenden physikalischen Vorgänge während der Verschweißung der Aluminiumspäne erklärt und der Prozess hinsichtlich einer verbesserten Verschweißung ausgelegt werden.

Antoine de Percin

Im Wintersemester 2021/22 unterstützte Antoine de Percin das IUL-Team im Bereich „Virtual and Augmented Reality“ (VR/AR). Der Masterstudent studiert an der Auswahluniversität CentraleSupélec, Gif-sur-Yvette, Frankreich, all-

gemeines Ingenieurwesen. Schon im Zuge seiner Studienarbeit hat er sich mit der Entwicklung von „AR serious games“ befasst. Seine Fähigkeiten setzt er daher unterstützend im KORESIL-Projekt des IUL ein. In diesem Projekt wird ein vollständiger Stoffkreislauf mit insgesamt fünf Bearbeitungsschritten untersucht. Ein wichtiger Projektteil ist zudem die Entwicklung virtueller und augmentierter Lehr- und Lernumgebungen. Hierzu werden die eingesetzten Maschinen und Materialien zunächst virtualisiert, sodass Lernende mit dieser Prozesskette virtuell interagieren können. Die Brücke zur Interaktion von realen und virtuellen Objekten wird anschließend über eine AR-Brille realisiert. Herr Percin hat neben der visuellen Aufbereitung eine Vielzahl verschiedener Funktionen implementiert, die es den Nutzenden ermöglicht, die virtuelle bzw. augmentierte Realität zu manipulieren bzw. zu beeinflussen.



Austauschstudent Antoine de Percin bei der Untersuchung der selbstentwickelten Lernumgebung mittels AR-Brille

Ausflugsangebot für Gäste

Am 19. Oktober konnten die internationalen Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler im Zuge einer Fahrradtour Ruhrgebietsatmosphäre live genießen. Besucht wurde unter anderem der PHOENIX-See, das zu einem modernen Technologiepark entwickelte Gelände des ehemaligen Hochofenwerks Phoenix-West in Dortmund-Hörde und der Botanische Garten Rombergpark.



Prof. Paulo Martins (Portugal), Robin Gitschel (IUL), Elizabeth Mamros (USA), Clémence Pinot (Frankreich), Antoine de Percin (Frankreich), Dr. Ramona Hölker-Jäger (IUL) und Prof. A. Erman Tekkaya (IUL) (v. l. n. r.)

Technische Ausstattung

05

05

Technische Ausstattung

5 Technische Ausstattung

Pressen

- C-Gestell-Exzenterpresse, 630 kN, PDR 63/250 der Fa. Schuler
- Hydraulische Ziehpresse, 10 MN, dreifach wirkend, BZE 1000-30.1.1 der Fa. Müller-Weingarten
- Hydraulische Ziehpresse, 1000 kN, HPSZK 100-1000/650 der Fa. HYDRAP
- Hydraulische Ziehpresse, 2600 kN, dreifach wirkend, HZPUI 260/160-1000/1000 der Fa. SMG
- Maschine zum adiabatischen Scherschneiden, 1 kJ, AdiaClip der Fa. MPM Émalec
- Stanz- und Umformautomat mit Servoantrieb, 4000 kN, MSD2-400 der Fa. Schuler
- Strangpresse, 10 MN (Direkt), rundungsgerecht, Fa. SMS-Meer
- Strangpresse, 2,5 MN, LPA250t der Fa. Collin

Weitere Umformmaschinen

- 5-Achs-Fräsmaschine, DMU 50 der Fa. DMG MORI
- Anlage zur elektromagnetischen Umformung, 1,5 kJ (rekuperationsfähig), Eigenbau IUL
- Anlage zur elektromagnetischen Umformung, 32 kJ, Magneform 7000 der Fa. Maxwell
- Anlage zur elektromagnetischen Umformung, 6 kJ, SMU 0612 FS der Fa. Poynting
- Blechwalzwerk mit zwei Arbeitswalzen, Typ BW 200 der Fa. Mühlacker
- CNC-Rotationszugbiegemaschine, DB 2060-CNC-SE-F der Fa. Transfluid Maschinenbau
- Dreiwalzen-Rundbiegemaschine, RZM 108-10/5.5 der Fa. FASTI
- Drückmaschine, APED 350NC der Fa. Leifeld
- Federwindemaschine, FUL42 der Fa. Wafios
- Gesenkbiegemaschine, 1300 kN, TrumaBend V 1300X der Fa. Trumpf
- Hydraulische Stanzmaschine, 220 kN, TruPunch 5000 der Fa. Trumpf
- Maschine zum inkrementellen Profillumformen, Eigenbau IUL
- Maschine zum inkrementellen Rohrumformen, IRU2590 der Fa. Transfluid Maschinenbau

- Mehrachspresse, fünf Bewegungsachsen mit bis zu 100 kN, Prototyp der Fa. Schnupp
- Profilbieger mit Drucküberlagerung durch Walzen, Eigenbau IUL
- Rollformmaschine RAS 24.10 der Fa. Reinhardt Maschinenbau
- Schwenkbiegemaschine, FASTI 2095 der Fa. FASTI
- TSS-3D-Profilbiegemaschine, Eigenbau IUL

Maschinen zur additiven Fertigung

- FDM-basierte 3D-Drucker zur Kunststoffverarbeitung (2x Ultimaker 3, 1x Ultimaker 3 Extended, 1x Creality Ender 5)
- Kombinations-5-Achs-Fräsmaschine mit Einheit zum Pulver-Laser-Auftragsschweißen, Lasertec 65 3D der Fa. Sauer/DMG MORI
- Pulverbettmaschine zur additiven Fertigung, Lasertec 30 SLM der Fa. DMG MORI

Prüfmaschinen

- Blechumformprüfmaschine, 1000 kN, BUP1000 der Fa. ZwickRoell
- Blechumformprüfmaschine, 200 kN, 142/20 der Fa. Erichsen
- Ebener Torsionsversuchsstand, Eigenbau IUL
- Plastometer, 1 MN, Eigenbau IUL
- Rauheitsmessgerät MarSurf XR1 und GD26 der Fa. Mahr
- Servohydraulisches Prüfsystem mit HT-Widerstandsheizsystem bis 1200 °C und Schutzgas Vakuumkammer, LFV-100-HH der Fa. Walter + Bai
- Universal-Prüfmaschinen (1x 10 kN Erichsen, 1x 100 kN ZwickRoell, 4x 250 kN ZwickRoell)

Messtechnik und Elektronik

- 2D Laser-Wegmesssystem, scanCONTROL 3012-50/BL der Fa. Micro-Epsilon
- 3D-Koordinatenmessgerät, PRISMO VAST 5 HTG der Fa. Zeiss (in Kooperation mit dem Institut für Spanende Fertigung, TU Dortmund)
- 3D-Profilometer, VR-5200 der Fa. Keyence
- 3D-Video-Messsystem, A250 der Fa. Optomess

- 3MA-II Prüfsystem der Fa. Fraunhofer IZFP
- Dichtemessgerät, IMETER V6 der Fa. MSB Breitwieser MessSysteme
- Dickenmessgerät, CL 304 der Fa. Krautkrämer
- Digitales Speicheroszilloskope mit 4 Messkanälen (HDO6104A und Waverunner 104 MX der Fa. LeCroy, TDS420A der Fa. Tektronix)
- Druckmesssystem mittels taktiler Dünnschicht-Drucksensoren, I-Scan System der Fa. Tekscan
- Eigenspannungsmessung mittels Bohrlochmethode und DMS-Messungen, Milling Guide RS-200 der Fa. Micro-Measurements
- Eigenspannungsmessung mittels Bohrlochmethode und elektronischer Specklemuster Interferometrie (ESPI), Prism der Fa. Stresstech
- Frequenzbereichsreflektometer, orts- und zeitaufgelösten Temperatur- oder Dehnungsmessung, ODiSI-B10 der Fa. Polytec
- Großkammer-REM, Mira XI der Fa. Visitec (in Kooperation mit dem Institut für Spanende Fertigung und dem Lehrstuhl für Werkstofftechnologie, TU Dortmund)
- Härteprüfer, Diatestor 2 RC/S der Fa. Wolpert
- Infrarot-Messaufnehmer, PYROSKOP 273 C
- Laserbasiertes Photon-Doppler-Velocimeter zur Messung hoher Bauteilgeschwindigkeiten
- Laser-Extensometer für Universalprüfmaschinen, laserXtens 2-120 HP/TZ der Fa. ZwickRoell
- Laser-Surface-Velocimeter (LSV) zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung
- Optische 3D-Bewegungsanalyse, 1x PONTOS 4M der Fa. GOM
- Optische 3D-Digitalisierer, 2x ATOS Triple Scan und 1x TRITOP der Fa. GOM
- Optische 3D-Verformungsanalyse., 3x ARAMIS (2x 5M + 1x 4M + 1x 2M) und 1x ARGUS der Fa. GOM
- Polarisationsfähiges Auflichtmikroskop, Axio Imager.M1m der Fa. Zeiss
- Pyrometer, Nahinfrarot und Multiwellenlänge, 3 Stk. (Metis M308, Metis M316 und Metis M318) der Fa. Sensortherm
- REM/SEM-EDX Tischgerät: Coxem EM-30 PLUS der Fa. RJL Micro & Analytic
- Röntgendiffraktometer zur Eigenspannungsmessung, Xstress 3000 der Fa. Stresstech
- Ultraschall Wanddicken-Messgerät, 38DLPLus der Fa. Olympus

- Wärmebildkamera, thermolMAGER TIM M-1 der Fa. Micro- Epsilon
- Wärmebildkamera, VarioCam HD head 680 S der Fa. Infratec

Sonstiges

- Ätz- und Polierstation, LectroPol-5 der Fa. Struers
- CNC-Drehmaschine, NEF 400 der Fa. DMG MORI
- Einmessgestell, HP-4-2082 der Fa. Boxdorf
- Elektropoliergerät, Kristall 650 der Fa. Stresstech
- Gleichspannungsstromquelle, LAB/HP 4020 der Fa. ET-System
- Hochfrequenz-Generator, 10 kW, Axio 10/450 der Fa. Hüttinger
- Hochleistungs-Metallkreissägemaschine, AL 380 der Fa. Häberle
- Horizontal-Gehrungsbandsäge, HBS 265 DG der Fa. Klaeger
- Hydraulikaggregat und Druckübersetzer bis 4000 bar (3x)
- Hydrostatische Glattwalzwerkzeuge, HG13 und HG6 der Fa. Ecoroll
- Industrieroboter, 3x 6-Achsen-Roboter (KR 5 sixx R650, KR 90 R3700 prime K und KR 30-3) der Fa. KUKA
- Laser-Bearbeitungszentrum, LASERCELL TLC 1005 der Fa. Trumpf
- Mittelfrequenz-Generator, 40 kW mit Koax-Trafo, TruHeat 3040 und 7040 der Fa. Trumpf
- Nachbearbeitungszelle für additive Fertigung, ENESKApostpro der Fa. Joke Technology
- Nasstrennschleifmaschine Discotom-100 der Fa. Struers (in Kooperation mit dem Institut für Spanende Fertigung)
- Planband-Schleifmaschine, PB-1200-100S der Fa. Baier
- Rollnahtschweißmaschine, UN 63 pn der Fa. Elektro-Schweißtechnik Dresden
- verschiedene Maschinen zur spanenden Bearbeitung
- Zugprobenschleifmaschine, PSM 2000 der Fa. Schütz + Licht
- Zugprobenstanze, 1200 kN, ZS1200CN der Fa. Schütz + Licht



Kooperationen | Cooperations

06

Kooperationen | Cooperations

Auf diesem Wege möchten wir uns für die vielfältige Zusammenarbeit im Jahr 2021 bedanken, ohne die unser gemeinsamer Erfolg nicht möglich wäre.

Industriebeirat des IUL | IUL Industrial Advisory Board

Das Gremium des Industriebeirates vermittelte auch im Jahr 2021 wichtige Impulse hinsichtlich des industriellen Forschungsbedarfes. An dieser Stelle möchten wir uns für diese wertvolle Zusammenarbeit bedanken.

In 2021, the Industrial Advisory Council provided yet again significant input regarding the need for research from an industrial point of view. We would like to take this opportunity to express our gratitude for this valuable cooperation.

- Gerhard Bürstner, Ing.-Büro Gerhard Bürstner
- Marius Fedler, Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft NRW GmbH
- Dr. Frank O. R. Fischer, Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe – Glas/Keramik
- Patrick Großhaus, Egon Grosshaus GmbH & Co. KG
- Rainer Hank, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG
- Dr. Jens Heidenreich, PHOENIX FEINBAU GmbH & Co. KG
- Wolfgang Heidrich, Aluminium Deutschland e. V.
- Jörg Höppner, Verband Metallverpackungen e. V.

At this point we would like to express our gratitude to the large number of various cooperation partners in 2021 which have added to our joint success.

- Dr. Stefan Keller, Speira GmbH
- Dr. Lutz Keßler, ThyssenKrupp Steel Europe AG
- Dr. Lukas Kwiatkowski, Otto Fuchs KG
- Prof. Gideon Levy, TTA – Technology Turn Around
- Hans Mulder, Tata Steel Research & Development Product Application Centre
- Franz-Bernd Pauli, Franz Pauli GmbH & Co. KG
- Rainer Salomon, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA)
- Dr. Hendrik Schafstall, simufact engineering GmbH
- Dr. Eduard Schenuit, Zwick GmbH & Co. KG
- Prof. Karl Schweizerhof, DYNAmore GmbH
- Dr. Hosen Sulaiman, Faurecia Autositze GmbH
- Mario Syhre, GKN Driveline Deutschland GmbH
- Adolf Edler von Graeve, KIST Kompetenz- und Innovationszentrum für die StanzTechnologie Dortmund e. V.
- Patrick Vonmüllenen, Feintool Technologie AG

Universitäre Kooperationen auf nationaler Ebene | University cooperations at national level

- Fachgebiet Metallische Werkstoffe, Institut für Werkstoffwissenschaften und -technologien, Technische Universität Berlin
- Fachgebiet Werkstoffprüftechnik, Technische Universität Dortmund
- Fachhochschule Südwestfalen
- Gemeinschaftslabor für Elektronenmikroskopie, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Institut für Angewandte Materialien – Werkstoffkunde, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Institut für Bildsame Formgebung, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Institut für Eisenhüttenkunde, Lehr- und Forschungsgebiet für Werkstoff- und Bauteilintegrität, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Institut für Kunststoffverarbeitung, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Institut für Mechanik der Bauwissenschaften, Universität Duisburg-Essen
- Institut für Mechanik, Technische Universität Dortmund
- Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen, Technische Universität Darmstadt
- Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart
- Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, Technische Universität Berlin
- Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, Universität Paderborn
- Lehrgebiet Konstruktions- und Fertigungstechnik, Hochschule Hamm-Lippstadt
- Lehrstuhl Baumechanik, Technische Universität Dortmund
- Lehrstuhl Fertigungstechnik, Universität Duisburg-Essen
- Lehrstuhl für Konstruktion und Fertigung, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen, Technische Universität München
- Lehrstuhl für Umformtechnik, Universität Siegen
- Lehrstuhl für Werkstofftechnologie, Technische Universität Dortmund
- Lehrstuhl Hybrid Additive Manufacturing, Ruhr-Universität Bochum
- Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH, Düsseldorf
- Professor für Baumechanik, Universität der Bundeswehr München
- Professor für Theoretische Elektrotechnik und Numerische Feldberechnung, Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg
- Professor Virtuelle Fertigungstechnik, Technische Universität Chemnitz
- Professor Werkstoffwissenschaft, Technische Universität Chemnitz

- wbk Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie
- Werkzeugmaschinenlabor, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Universitäre Kooperationen auf internationaler Ebene | University cooperations at international level

- Department of Materials Science and Engineering, The Ohio State University, Ohio, USA
- Department of Mechanical Engineering, Gifu University, Gifu, Japan
- Department of Mechanical Engineering, Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Portugal
- Department of Mechanical Engineering, Section of Manufacturing Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark
- Department of Mechanical Engineering, University of New Hampshire, New Hampshire, USA
- Department of Mechanical Science and Engineering, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan
- École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM), ParisTech, Paris, France
- George W. Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Tech, Georgia, USA
- Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est, Paris, France
- KAIST – Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Republic of Korea
- Laboratory of Microstructure Studies and Mechanics of Materials, Arts et Métiers ParisTech (Metz campus), France
- Mechanical Engineering College of Tongji University, Jiading Campus, Shanghai, China
- Nagoya University, Nagoya, Japan
- School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang, China
- Türkisch-Deutsche Universität, Istanbul, Turkey

Nationale und internationale Kooperationen im industriellen Umfeld I Industrial cooperations at national and international level

- Airbus Helicopters
- Alfred Konrad Veith GmbH & Co. KG
- alutec metal innovations GmbH & Co. KG
- apt Extrusions GmbH & Co. KG
- AUDI AG
- AutoForm Engineering Deutschland GmbH
- Autoliv Inc.
- Baoshan Iron & Steel Co. Ltd.
- Benteler International AG
- Bilstein GmbH & Co. KG
- BMW AG
- BÖHLER-UDDEHOLM Deutschland GmbH
- borit Leichtbau-Technik GmbH
- CARL BECHEM GMBH
- CENIT AG
- Centroplast Engineering Plastics GmbH
- C-TEC Constellium Technology Center
- Daimler AG
- data M Sheet Metal Solutions GmbH
- Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel GmbH & Co. KG
- DYNAmore GmbH
- EiringKlinger AG
- F. W. Bröcklmann Aluminiumwerk GmbH & Co. KG
- Faurecia Group
- Festo SE & Co. KG
- FLORA Wilh. Förster GmbH & Co. KG
- Franz Pauli GmbH & Co. KG
- Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG
- FRIMO Group GmbH Composites & Tooling Technologies
- Gebr. Wielpütz GmbH & Co. KG
- Gerhardt Alu Technik GmbH
- Goekeler Messtechnik GmbH
- GSU Schulungsgesellschaft für Stanz- und Umformtechnik mbH
- HAI Extrusion Germany GmbH
- Heggemann AG
- HELLA GmbH & Co. KGaA
- HMT Höfer Metall Technik GmbH & Co. KG
- HoDforming GmbH
- HUECK Extrusion GmbH & Co. KG
- Hydro Aluminium Deutschland GmbH
- inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH
- Johnson Controls Hilchenbach GmbH
- Kirchoff Automotive GmbH

- Kistler Instrumente AG
- KODA Stanz- und Biegetechnik GmbH
- Kunststoff-Institut Lüdenscheid (KIMW GmbH)
- MATEM Partnerschaft Dr. Gese & Oberhofer
- MK Metallfolien GmbH
- Mubea Unternehmensgruppe
- NETZSCH – Pumpen & Systeme GmbH
- Otto Fuchs KG
- Outokumpu Nirosta GmbH
- Poynting GmbH
- PWF Aerospace GmbH
- S+C Extrusion Tooling Solutions GmbH
- Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH
- Salzgitter Mannesmann Precision Tubes GmbH
- Schnupp GmbH & Co. Hydraulik KG
- Schondelmaier GmbH Presswerk
- Schuler AG
- Schwarze-Robitec GmbH
- simufact engineering gmbh
- SMS Meer GmbH
- SSAB Svenskt StåLAB
- Steitz Präzisionstechnik GmbH
- STURM GmbH
- Tata Steel
- thyssenkrupp Federn und Stabilisatoren GmbH
- thyssenkrupp Rasselstein GmbH
- thyssenkrupp Steel Europe AG
- TM Lasertechnik GmbH
- transfluid Maschinenbau GmbH
- Trimet Aluminium SE
- TRUMPF Hüttinger GmbH + Co. KG
- TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG
- Viessmann Werke GmbH & Co. KG
- voestalpine AG
- voestalpine High Performance Metals Deutschland GmbH
- Vosloh AG
- wefa Westdeutsche Farben GmbH
- Welser Profile Deutschland GmbH
- Wilke Werkzeugbau GmbH & Co. KG
- WILO SE
- Zapp Precision Metals GmbH
- ZWEZ – CHEMIE GmbH

In addition, several companies with disclosure agreements.

Verbände | Associations

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.
- AGU – Arbeitsgemeinschaft Umformtechnik
- AIF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V.
- Aluminium Deutschland e. V.
- Aluminium-Leichtbaunetzwerk
- ASM International
- CIRP – The International Academy for Production Engineering
- DAAD – Deutscher Akademischer Austauschdienst e. V.
- DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft
- DGM – Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V.
- EFB – Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V.
- FGM – Fördergesellschaft Metallverpackungen mbH
- FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V.
- FSV – Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V.
- GCFG – German Cold Forging Group e. V.
- I²FG – International Impulse Forming Group e. V.
- IBU – Industrieverband Blechumformung e. V.
- ICFG – International Cold Forging Group
- IDDRG – International Deep Drawing Research Group
- IMU – Industrieverband Massivumformung e. V.
- ITA – International Tube Association
- VDFI – Verband der deutschen Federindustrie e. V.

Stiftungen | Foundations

- KARL-KOLLE-Stiftung
- Stifterverband Metalle e. V.
- VolkswagenStiftung
- Wilo-Foundation





Abgeschlossene Arbeiten | Completed Theses

07

Abgeschlossene Masterarbeiten¹ | Completed Master of Science Theses²

Adams, Tom

Tekkaya, A. E.; Kamaliev, M.

Anwendungsorientierte Charakterisierung von Chromstählen für die Warmumformung

Application-oriented characterization of chromium steels for hot forming

Gerlach, Jan

Tekkaya, A. E.; Schowtjak, A.

Vorhersage der Schädigungsevolution mittels künstlicher neuronaler Netzwerke

Prediction of damage evolution using artificial neural networks

Bosse, Gerrit

Tekkaya, A. E.; Kamaliev, M.

Bestimmung der Grenzformänderungsdiagramme nichtrostender Stahlröhre bei erhöhten Temperaturen

Determination of forming limit diagrams of stainless steel tubes at elevated temperatures

Ghattamaneni, Manish C.

Tekkaya, A. E.; Hahn, M.

Untersuchung des Aufprall-Lichtblitzes bei der Verschweißung zweier metallischer Bauteile mittels elektromagnetischer Umformung unter Berücksichtigung verschiedener Parameter des Fügeaufbaus

Investigation of impact light flash during welding of two metallic components by means of electromagnetic forming for different process parameters

Bürstner, Fabio M.

Tekkaya, A. E.; Traphöner, H.

Analyse und Weiterentwicklung des ebenen Torsionsversuchs mit resistiver Probenerwärmung

Analysis and improvement of the in-plane torsion test with resistive specimen heating

Guajardo Araluce, Roberto

Sehrt, J. T. (RUB); Komodromos, A.

Untersuchung einer pyrometerbasierten Temperaturregelung beim Laserpulverauftragsschweißen von Ti-6Al-4V

Investigation of pyrometer-based temperature control in directed energy deposition processing of Ti-6Al-4V

Frige, Alexander D.

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

Beurteilung der mechanischen Leistungsfähigkeit additiv hergestellter Sandwichstrukturen

Mechanical performance of additively manufactured sandwich structures

1 Originaltitel ist fett gedruckt.

2 Original title written in bold.

Hassan, Kardo

Tekkaya, A. E.; Grodotzki, J.

Performancevergleich additiv und umformtechnisch gefertigter Bauteile mit topologieoptimierter Zwischenform
Performance-focused comparison of parts manufactured using additive and forming technologies including topology-optimized intermediate configurations

Hennes, Julian

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

Herstellung hybrider Sandwichblechverbunde mit additiv gefertigtem Kern mittels Widerstandsschweißen
Manufacturing of hybrid sandwich sheets with additively manufactured core by resistance welding

Hübers, Mathias

Tekkaya, A. E.; Hoffmann, E.

Experimentelle Charakterisierung des Biegens von asymmetrischen Profilen bei halbwarmer, partieller Querschnittserwärmung

Experimental characterization of bending of asymmetric profiles with semi-hot, partial cross-sectional heating

Kaya, Deniz

Tekkaya, A. E.; Gutknecht, F.

Entwicklung eines Werkzeuges zur Erzeugung eines senkrechten Dehnpfadwechsels in der Blechmassivumformung

Development of a tool for the generation of an orthogonal strain-path change in sheet-bulk metal forming

Kilicaslan, Baki

Tekkaya, A. E.; Traphöner, H.

Bewertung von Kompensationsstrategien zur Reduzierung des Rücksprungverhaltens beim Umformen ultrahochfester Mehrphasenstähle

Evaluation of compensation strategies to reduce springback behavior when forming ultra-high-strength multi-phase steels

Kleinhorst, Lars

Tekkaya, A. E.; Maaß, F.

Analyse von Eigenspannungen in Bauteilen hergestellt durch zuspannungsüberlagerte inkrementelle Blechumformung

Residual stress analysis of tensile stress-superposed incrementally formed components

Kupka, Nick A.

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

Untersuchung elektro-plastischer Effekte bei der kontinuierlichen Ausformung von Funktionselementen durch inkrementelle Blechmassivumformung

Investigation on electro-plastic effects during continuous forming of functional elements by plate forging

Miederhoff, Phil

Tekkaya, A. E.; Komodromos, A.

Analytische und numerische Untersuchungen additiv gefertigter und glattgewalzter Werkzeugoberflächen für das Presshärten

Analytical and numerical investigations of additively manufactured and ball-burnished tool surfaces for hot stamping

Mohanandararaju, Veerendra K.

Tekkaya, A. E.; Hahn, M.

Entwicklung und Analyse von Aufbau und Vorgehensweise für dünne Werkzeuge mit einer Abstützung durch scherverzährende Fluide in der Hochgeschwindigkeitsumformung

Development and analysis of a testing device and procedure for thin tools backed by a shear thickening fluid in high speed forming

Najafi Koopas, Rasoul

Tekkaya, A. E.; Schmitz, F.

Untersuchung der Beeinflussung mechanischer Eigenschaft-ten durch die mechanische Bearbeitung an Bauteiloberflächen mittels mikromechanischer Simulationen

Investigation of the influence of mechanical properties due to mechanical processing at component surfaces using micro-mechanical simulations

Orejarena Osorio, Nicolás

Tekkaya, A. E.; Dardaei Joghhan, H.

Bewertung verschiedener Strategien zur Reduzierung des Treppenstufeneffekts bei laminierten Bauteilen durch koaxiales Laserpulverauftragschweißen

Evaluation of different strategies for reducing the staircase effect of laminated parts by coaxial laser powder deposition

Osmanoglu, Emre

Tekkaya, A. E.; Gitschel, R.

Heißschmiedesimulation eines Bauteils aus 304L

Hot forging process simulation of a part made of 304L

Paßmann, Lukas

Tekkaya, A. E.; Kamaliev, M.

Numerische Modellierung des Temperaturgestützten-In-nenhochdruck-Profilumformens

Numerical modeling of temperature-assisted profile forming

Pavani, Monica

Tekkaya, A. E.; Goyal, S.

Numerische und experimentelle Analyse der elektromagnetischen Eckenumformung mit Hybridleitern

Numerical and experimental analysis of electromagnetic corner forming using hybrid conductors

Reihani Masouleh, Alborz

Tekkaya, A. E.; Stennei, M.

Analyse der Prozessgrenzen neuer Werkstoff- und Bauteil-konzepte für das Presshärten

Analysis of the process limits of new material and component concepts for press hardening

Rethmann, Philipp

Tekkaya, A. E.; Martschin, J.

Untersuchung des Streckbiegens und Tiefziehens mit

Wärmebehandlung zur Herstellung von Hutprofilen aus

X46Cr13 in mehrstufigen Werkzeugen

Investigation of stretch bending and deep drawing with heat treatment for the production of hat-shaped profiles from

X46Cr13 in multi-stage tools

Sauerwald, Philipp

Tekkaya, A. E.; Maaß, F.

Analyse von Eigenspannungen in Bauteilen hergestellt

durch spannungsüberlagerte inkrementelle Blechumformung

Residual stress analysis of tensile stress-superposed

incrementally formed components

Singethan, Norman

Tekkaya, A. E.; Lennemann, P.

Charakterisierung des Kaltbiegeverhaltens vorvergüteter

Rohre

Characterization of a cold bending process of pre-hardened

tubes

Stücka, Roman Y.

Tekkaya, A. E.; Komodromos, A.

Untersuchung additiv gefertigter Kühlkanäle in Presshärte-

werkzeugen

Investigation of additively manufactured cooling channels in

hot stamping tools

Umesh, Shravana

Tekkaya, A. E.; Wernicke, S.

Entwicklung und Analyse von Kühlkanälen in Umformwerk-

zeugen für die Blechmassivumformung von Zahnstangen

Development and analysis of cooling channels within the

forming tools in the plate forging of a gear rack

Wigger, Henrik

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

Entwicklung eines formschlüssigen Fügeverfahrens zur

Herstellung von hybriden Sandwichverbundbauteilen

Development of a joining-by-forming process to manufacture hybrid sandwich sheets

Winoto, Bill F.

Tekkaya, A. E.; Dardaei Joghban, H.

Entwicklung eines semi-analytischen Modells für laminierte

Umformwerkzeuge unter Prozessbelastungen

Development of semi-analytical model for laminated

forming tools under process forces

Abgeschlossene Bachelorarbeiten | Completed Bachelor of Science Theses

Beckmann, Simon

Tekkaya, A. E.; Gitschel, R.

Anwendbarkeit von konventionellen Wärmebehandlungsstrategien beim Verbundfließpressen

Applicability of conventional heat treatment strategies in composite cold extrusion

Dobrowolski, Fabian

Tekkaya, A. E.; Komodromos, A.

Einfluss einer erweiterten Reibungsmodellierung beim direkten Presshärten

Effect of an advanced friction modeling for direct hot stamping

Cakan, Berkan

Tekkaya, A. E.; Schowtjak, A.

Analyse von Porencharakteristika auf die effektiven Materialeigenschaften

Analysis of void characteristics on the effective material behaviour

Eisenbach, Moritz; Gersting, Marlin

Tekkaya, A. E.; Schowtjak, A.

Prozessoptimierung in der Umformtechnik basierend auf künstlichen neuronalen Netzen mit Anwendung auf die Schädigung beim Rollformen

Process optimization in metal forming based on artificial neural networks with application to damage analysis in roll forming

Caspari, Fabian

Tekkaya, A. E.; Kotzyba, P.

Untersuchung des Verbundstrangpressens mit Verstärkungselementen unter der Verwendung von Aluminiumwerkstoffen

Investigation of composite hot extrusion with reinforcements using aluminum materials

Engels, Luca

Tekkaya, A. E.; Kolpak, F.

Fließkurvenermittlung mittels fließpresster Blechproben

Determination of flow curves by utilization of cold extruded sheet metal specimens

Damm, Jannis

Tekkaya, A. E.; Stiebert, F.

Analyse des Einflusses der Fertigungstoleranzen von Nutproben auf die Prüfergebnisse im ebenen Torsionsversuch

Analysis of the influence of manufacturing tolerances of grooved specimens on test results in the in-plane torsion test

Ewering, Felix

Tekkaya, A. E.; Lennemann, P.

Rollierplattieren – Herstellung von Verbundrohren durch temperaturgestütztes Rollieren

Flow-forming-plating – Manufacturing of composite tubes by temperature-assisted flow-forming

Gerlach, Torben

Tekkaya, A. E.; Gitschel, R.

Prozessgrenzen beim Fließpressen einer Stahl-Magnesium-Verbundwelle

Process limits in cold extrusion of steel-magnesium composite shafts

Hainmann, Till S.

Tekkaya, A. E.; Wernicke, S.

Emissionsanalyse einer industriellen Prozesskette zur Warmumformung von Blechteilen

Analysis of emissions in an industrial hot forming process chain for the manufacture of sheet metal components

Hamm, Jakob

Tekkaya, A. E.; Dardaai, H.

Untersuchung und Beurteilung der Strategien zur Verbindung lamellarer Stahlbauteile durch einzelne Schweißnähte mittels Laserpulverauftragschweißen

Investigation and evaluation of strategies for joining laminated steel parts by single welds using laser powder cladding

Kasperek, Fabian O.

Tekkaya, A. E.; Gebhard, J.

Untersuchung und Konstruktion eines Modells zum kontinuierlichen Strangpressen

Investigation and design of a model for continuous bar extrusion

Olgar, Cem

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

Materialcharakterisierung additiv hergestellter Halbzeuge aus Edelstahl - Untersuchung der Skaleneffekte

Material characterization of additively manufactured parts made from stainless steel – investigation of scale effects

Pantel, Nils

Tekkaya, A. E.; Wernicke, S.

Steigerung der Energieeffizienz beim Blechmassiv-Warmumformen eines Zahnprofils mittels numerischer Prozessanalyse

Enhancement of the energy efficiency in sheet-bulk hot forming of a gear profile based on numerical process analysis

Wimmelmeier, Felix

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

Tiefziehen additiv gefertigter Sandwichbleche mit strukturierten Kernen

Deep drawing of additively manufactured sandwich sheets with a structured core

Abgeschlossene Projektarbeiten | Completed Project Theses

Azadi Tinat, Mohammad R.

Tekkaya, A. E.; Schmitz, F.
Simulation des adiabatischen Trennens mit SPH (Smooth particle hydrodynamics)

Simulation of adiabatic blanking with smooth particle hydrodynamic

Lashkari, Mohammedjavad

Tekkaya, A. E.; Goyal, S.
Studie über den Fließdruck bei der elektromagnetischen Impuls-Eckenfüllung

Study of the yield pressure in electromagnetic impulse corner filling

Beckmann, Simon

Tekkaya, A. E.; Kolpak, F.
Herstellung hohler Wellen durch Verbundfließpressen mit verlorenem Kern
Production of hollow shafts by composite extrusion with lost core

Marin, Gabriel

Tekkaya, A. E.; Komodromos, A.
Analyse der Eigenspannungen von durch Laserpulverauftragsschweißen und Glattwalzen hergestellten Werkzeugstahl-Oberflächen

Analysis of residual stresses of tool steel surfaces manufactured by direct energy deposition and ball burnishing

Hainmann, Till

Tekkaya, A. E.; Maaß, F.
Einrichtung eines Versuchsaufbaus zur Zugspannungsüberlagerung in der inkrementellen Blechumformung
Experimental setup for tensile stress-superposed incremental forming

Najafi Koopas, Rasoul

Tekkaya, A. E.; Clausmeyer, T.
Experimentelle Untersuchung und numerische Simulation der Wärmebehandlung ultradünner Streifen mit der Finite-Element-Methode

Experimental investigation and numerical simulation of ultrathin strip heat treatment using the finite element method

Hojenski, Christian

Tekkaya, A. E.; Komodromos, A.
Analyse des Reibverhaltens additiv gefertigter und glattgewalzter Oberflächen für Presshärtewerkzeuge
Analysis of the friction behavior of additively manufactured and ball-burnished surfaces for hot stamping tools

Neshanth, Paskaran; Reese, Niklas

Tekkaya, A. E.; Dardaai Joghhan, H.

Erstellung einer Berechnungsmethode für die produktions-technische Bewertung von Fertigungskombinationen mit Schicht-Laminat-Verfahren und Laserpulverauftragschweißen

Development of a calculation method for the production-technical evaluation of manufacturing combinations with metal layer laminate processes and laser powder cladding

Ogunsolu, Oluseyi

Tekkaya, A. E.; Goyal, S.

Numerischer Ansatz zur Optimierung von Hybridleitern bei der elektromagnetischen Umformung

Numerical approach for optimization of hybrid conductors in electromagnetic forming

Olgar, Cem

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

Materialcharakterisierung additiv hergestellter Halbzeuge aus 316L

Material characterization of additively manufactured 316L parts

Orejarena Osorio, Nicolás

Tekkaya, A. E.; Grodotzki, J.

Tiefzieh- und Gesenkschmiedesimulationen in Abaqus

Deep drawing and closed die forging simulation in Abaqus

Pavani, Monica

Tekkaya, A. E.; Goyal, S.

Design einer montagebasierten Spule für die Eckenfüllung mit elektromagnetischer Umformung

Design of assembly-based coil for corner filling using electromagnetic forming

Schrage, Olaf

Tekkaya, A. E.; Marttschin, J.

Untersuchung des Warmkragenziehens von X46Cr13

Blechmaterial

Investigation of hot hole-flanging of X46Cr13 sheet material

Sureshkumar, Pushkaran

Tekkaya, A. E.; Marttschin, J.

Numerische Untersuchung des Warmkragenziehens von X46Cr13-Blechmaterial in einem Folgeverbundwerkzeug

Numerical study of hot-hole flanging of X46Cr13 sheet material in a progressive die

Sundarajan, Praveen K.

Tekkaya, A. E.; Marttschin, J.

Numerische Modellierung des Presshärtens von X46Cr13-Blechmaterial

Numerical modeling of press hardening of X46Cr13 sheet

Wimmelmeier, Felix

Tekkaya, A. E.; Rosenthal, S.

**Konstruktion von einem modularen Werkzeugsatz für die
Umformung von Sandwichblechen**

Construction of a modular tool for forming of sandwich
sheets





Ausgewählte Veröffentlichungen und Vorträge |
Selected Publications and Lectures

08



Zeitschriftenbeiträge | For SCI-Journals

- Gutknecht, F., Traphöner, H., Clausmeyer, T., Tekkaya, A. E., 2021.** Characterization of Flow Induced Anisotropy in Sheet Metal at Large Strain. *Experimental Mechanics*, DOI: 10.1007/s11340-021-00776-9.
- Hahn, M., Tekkaya, A. E., 2021.** Part-Optimized Forming by Spatially Distributed Vaporizing Foil Actuators. *International Journal of Material Forming* 14 (6), pp. 1391–1401.
- Hoffmann, E., Meya, R., Tekkaya, A. E., 2021.** Reduction of Warping in Kinematic L-Profile Bending Using Local Heating. *Metals* 11 (7), DOI: 10.3390/met11071146.
- Kolpak, F., Hering, O., Tekkaya, A. E., 2021.** Consequences of Large Strain Anisotropic Work-hardening in Cold Forging. *International Journal of Material Forming* 14, pp. 1463–1481.
- Kolpak, F., Traphöner, H., Hering, O., Tekkaya, A. E., 2021.** Large Strain Flow Curves of Sheet Metals by Sheet Extrusion. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 70 (1), pp. 247–250.
- Maaß, F., Dobecki, M., Hahn, M., Reimers, W., Tekkaya, A. E., 2021.** Gezielte Steuerung der Bauteileigenspannungen durch inkrementelle Blechumformung. *Forschung im Ingenieurwesen* 85 (3), pp. 807–816.
- Maaß, F., Hahn, M., Tekkaya, A. E., 2021.** Adjusting Residual Stresses by Flexible Stress Superposition in Incremental Sheet Metal Forming. *Archive of Applied Mechanics* 91 (8), pp. 3489–3499.
- Maqbool, F., Maaß, F., Buhl, J., Hahn, M., Hajjivafard, R., Walther, F., Tekkaya, A. E., Bambach, M., 2021.** Targeted Residual Stress Generation in Single and Two Point Incremental Sheet Forming (ISF). *Archive of Applied Mechanics* 91 (8), pp. 3465–3487.
- Martschin, J., Meya, R., Kloser, D., Meurer, T., Tekkaya, A. E., 2021.** Control-Oriented Characterization of Product Properties during Hot Hole-Flanging of X46Cr13 Sheet Material in a Progressive-Die. *Metals* 11 (2), DOI: 10.3390/met11020349.

- Rosenthal, S., Hahn, M., Tekkaya, A. E., Platt, S., Kleszczynski, S., Witt, G., 2021.** Speeding up Additive Manufacturing by Means of Forming for Sheet Components with Core Structures. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology*, DOI: 10.1007/s40684-021-00384-x.
- Schowtjak, A., Schulte, R., Clausmeyer, T., Ostwald, R., Tekkaya, A. E., Menzel, A., 2021.** ADAPT – A Diversely Applicable Parameter Identification Tool: Overview and Full-Field Application Examples. *International Journal of Mechanical Sciences* 213, DOI: 10.1016/j.jimeccsi.2021.
- Schulze, A., Hering, O., Tekkaya, A. E., 2021.** Production and Subsequent Forming of Chip-Based Aluminium Sheets without Remelting. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology*, DOI: 10.1007/s40684-021-00395-8.
- Stiebert, F., Traphöner, H., Meya, R., Tekkaya, A. E., 2021.** Characterization of Flow Curves for Ultra-Thin Steel Sheets with the In-Plane Torsion Test. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 144 (3), DOI: 10.1115/1.4051919.
- Wernicke, S., Hahn, M., Detzel, A., Tillmann, W., Stangier, D., Dias, N. F. L., Tekkaya, A. E., 2021.** Force Reduction by Electrical Assistance in Incremental Sheet-Bulk Metal Forming of Gears. *Journal of Materials Processing Technology* 296, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117194.
- Zhang, C., Lou, Y., Zhang, S., Clausmeyer, T., Tekkaya, A. E., Fu, L., Chen, Q., Zhang, Q., 2021.** Large Strain Flow Curve Identification for Sheet Metals under Complex Stress States. *Mechanics of Materials* 161, DOI: 10.1016/j.mechmat.2021.103997.

Beiträge in Konferenzbänden & weiteren Zeitschriften | Publications in Proceedings and further Journals

- Bambach, M., Beese, A. M., Lin, F., Tekkaya, A. E., 2021.** Editorial: Special Issue AM+ Hybrid Additive Manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology* 294, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117103.
- Gebhard, J., Kotzyba, P., Hering, O., Tekkaya, A. E., 2021.** Introduction of a New Method for Continuous Aluminum Hot Extrusion. In: *Forming the Future – Proceedings of the 13th International Conference on the Technology of Plasticity*, pp. 1021-1032.
- Goyal, S., Lashkari, M., Elsayed, A. M. E., Hahn, M., Tekkaya, A. E., 2021.** Analysis of Proximity Consequences of Coil Windings in Electromagnetic Forming. *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 5 (2), DOI: 10.3390/jmmp5020045.
- Grodzki, J., Upadhy, S., Tekkaya, A. E., 2021.** Engineering Education amid a Global Pandemic. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering* 3, DOI: 10.1016/j.aime.2021.100058.
- Güner, A., Hol, J., Venema, J., Sigvant, M., Dobrowolski, F., Komodromos, A., Tekkaya, A. E., 2021.** Application of an Advanced Friction Model in Hot Stamping Simulations: A Numerical and Experimental Investigation of an A-Pillar Reinforcement Panel from Volvo Cars. In: *Proceedings of the 40th International Deep-Drawing Research Group Conference (IDDRG 2021) (Digital)*.
- Kloeser, D., Martschin, J., Meurer, T., Tekkaya, A. E., 2021.** Reduced Order Modelling for Spatial-Temporal Temperature and Property Estimation in a Multi-Stage Hot Sheet Metal Forming Process. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering* 3, DOI: 10.1016/j.aime.2021.100055.
- Meya, R., Lennemann, P., Rethmann, P., Tekkaya, A. E., 2021.** Analyse und Kontrolle der Schädigungsentwicklung beim Biegen von hochfesten Werkstoffen. In: *Ilmenauer Federntag 2021. Neueste Erkenntnisse zu Funktion, Berechnung, Prüfung und Gestaltung von Federn und Werkstoffen*, pp. 111-122.
- Rosenthal, S., Jost, E., Saldana, C., Clausmeyer, T., Hahn, M., Tekkaya, A. E., 2021.** Combined Computed Tomography and Numerical Modeling for the Analysis of Bending of Additively Manufactured Cellular Sheets. In: *Forming the Future – Proceedings of the 13th International Conference on the Technology of Plasticity*, pp. 2099-2113.

- Schulze, A., Hering, O., Tekkaya, A. E., 2021.** Welding of Aluminium in Chip Extrusion. In: Forming the Future – Proceedings of the 13th International Conference on the Technology of Plasticity, pp. 139-147.
- Traphöner, H., Clausmeyer, T., Tekkaya, A. E., 2021.** Estimation and Prevention of Strain Localization in Shear Tests. In: Forming the Future – Proceedings of the 13th International Conference on the Technology of Plasticity, pp. 691-707.
- Weber, F., Gebhard, J., Gitschel, R., Goyal, S., Kamaliev, M., Wernicke, S., Tekkaya, A. E., 2021.** Joining by Forming – A Selective Review. Journal of Advanced Joining Processes 3, DOI: 10.1016/j.jajp.2021.100054.
- Zhang, C., Lou, Y., Clausmeyer, T., Tekkaya, A. E., 2021.** Cyclic Loading Tests Based on the In-Plane Torsion Test for Sheet Metal. In: Forming the Future – Proceedings of the 13th International Conference on the Technology of Plasticity, pp. 635-645.

Vorträge | Presentations

- Clausmeyer, T., Gerstein, G., Gutknecht, F., Nürnberg, F., 2021.** Analysis of Cross-Hardening by High Resolution Orientation Imaging. The 13th International Conference on the Technology of Plasticity, 25.-30.07.2021, virtual conference.
- Gitschel, R., Hering, O., Tekkaya, A. E., 2021.** Damage Evolution in Cold Forging. 54th ICFG Plenary Meeting, 13.-15.09.2021, virtual conference.
- Goyal, S., Lashkari, M., Hahn, M., Tekkaya, A. E., 2021.** Analytical-Based Modeling for Electromagnetic Sheet Metal Forming with Multi-Turn Coils. 9th International Conference on High-Speed Forming, 13.-15.10.2021, virtual conference.
- Grodzki, J., Rosenthal, S., Tekkaya, A. E., 2021.** Konzepte für die ressourceneffiziente Produktion am Beispiel des Spä-
nstrangpressens. Veranstaltungsreihe des Greentech.Ruhr Netzwerks zum Thema Circular Economy, 22.11.2021, Essen,
Germany.
- Hahn, M., Kumar, V., Tekkaya, A. E., 2021.** Impact-Activated Fluid-Solid Tool. Towards More Flexible High Speed Forming.
9th International Conference on High-Speed Forming, 13.-15.10.2021, virtual conference.
- Kneuper, F., Neumann, S., Hering, O., Meschut, G., Tekkaya, A. E., 2021.** Longitudinal Mechanical Joining of Extruded Alumin-
ium Profiles with Increased Tightness Requirements. 2nd International Conference on Advanced Joining Processes,
21.-22.10.2021, virtual conference.
- Lenneemann, P., Meya, R., Hering, O., Kolpak, F., Gitschel, R., Tekkaya, A. E., 2021.** Schädigungsentwicklung in der Kaltmassiv-
und Blechumformung. Fachtagung „Forschung, Energieeffizienz und Technik“, 10.11.2021, Düsseldorf, Germany.
- Schulze, A., Hering, O., Tekkaya, A. E., 2021.** Production of Chip-Based Aluminium Sheets by Hot Extrusion and Rolling.
4th International Conference on Light Materials, 02.-04.11.2021, virtual conference.
- Schowitzjak, A., Hering, O., Meya, R., Tekkaya, A. E., Clausmeyer, T., 2021.** Assessment of Calibration Strategies and Model
Predictions for Damage in Formed Components. The 13th International Conference on the Technology of Plasticity,
25.-30.07.2021, virtual conference.

Schmitz, F., Rakshit, T., Hahn, M., Clausmeyer, T., Tekkaya, A. E., 2021. Prediction of Adiabatic Blanking Process Properties with Temperature Dependent Fracture Criterion. 9th International Conference on High-Speed Forming, 13.-15.10.2021, virtual conference.

Buchbeiträge | Books

Tekkaya A. E., 2021. Metal Forming. In: Grote, K. H., Hefazi, H. (Eds): Springer Handbook of Mechanical Engineering. Springer Handbooks. Springer, pp. 357-408.





Mitarbeiter | Staff

09

Professoren | Professors

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Matthias Kleiner
(beurlaubt)
0231 755 2680
matthias.kleiner@udo.edu



Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. A. Erman Tekkaya
0231 755 2681
erman.tekkaya@iul.tu-dortmund.de

Sekretariat | Office

Dipl.-Dolm. Jeanette Brandt
0231 755 2660
jeanette.brandt@iul.tu-dortmund.de



Nina Hänisch M. A.
0231 755 5846
nina.haenisch@iul.tu-dortmund.de

Oberingenieur/-innen | Chief Engineers



Dr.-Ing. Till Clausmeyer
Oberingenieur Forschung
0231 755 8429
till.clausmeyer@iul.tu-dortmund.de



Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Ramona Hölker-Jäger
Oberingenieurin Lehre
0231 755 6915
ramona.hoelker@iul.tu-dortmund.de



Dr.-Ing. Heinrich Traphöner
Oberingenieur Technik und Finanzen
0231 755 8439
heinrich.traphoener@iul.tu-dortmund.de

Abteilungsleiter | Heads of Department



Marlon Hahn M. Sc.
Abteilungsleiter Sonderverfahren
0231 755 8415
marlon.hahn@iul.tu-dortmund.de



Felix Kolpak M. Sc.
Abteilungsleiter Profil- und Blechumformung
0231 755 8433
felix.kolpak@iul.tu-dortmund.de



André Schulze M. Sc.
Abteilungsleiter Massivumformung
0231 755 2654
andre.schulze@iul.tu-dortmund.de

Abteilung Massivumformung | Bulk Metal Forming



André Schulze M. Sc.
Abteilungsleiter Massivumformung
0231 755 2654
andre.schulze@iul.tu-dortmund.de



Johannes Gebhard M. Sc.
0231 755 4751
johannes.gebhard@iul.tu-dortmund.de



Jan Gerlach M. Sc.
0231 755 8483
jan.gerlach@iul.tu-dortmund.de



Robin Gitschel M. Sc.
0231 755 8453
robin.gitschel@iul.tu-dortmund.de



Joshua V. Grodotzki M. Sc.
0231 755 7852
joshua.grodotzki@iul.tu-dortmund.de



Florian Kneuper M. Sc.
0231 755 8441
florian.kneuper@iul.tu-dortmund.de



Patrick Kotzyba M. Sc.
0231 755 2630
patrick.kotzyba@iul.tu-dortmund.de



Tanmoy Rakshit M. Sc.
0231 755 7174
tanmoy.rakshit@iul.tu-dortmund.de



Alexander Schowtjak M. Sc.
0231 755 8476
alexander.schowtjak@iul.tu-dortmund.de



Dipl.-Inform. Alessandro Selvaggio
0231 755 7228
alessandro.selvaggio@iul.tu-dortmund.de

Abteilung Profil- und Blechumformung | Profile and Sheet Metal Forming



Felix Kolpak M. Sc.
Abteilungsleiter Profil- und Blechumformung
0231 755 8433
felix.kolpak@iul.tu-dortmund.de



Sigrid Hess M. Sc.
(in Elternzeit)



Eike Hoffmann M. Sc.
0231 755 6926
eike.hoffmann@iul.tu-dortmund.de



Mike Kamaliev M. Sc.
0231 755 8440
mike.kamaliev@iul.tu-dortmund.de



Anna Komodromos M. Sc.
0231 755 8420
anna.komodromos@iul.tu-dortmund.de



Philipp Lennemann M. Sc.
0231 755 8434
philipp.lennemann@iul.tu-dortmund.de



Juri Martschin M. Sc.
0231 755 8437
juri.martschin@iul.tu-dortmund.de



Markus Stennei M. Sc.
0231 755 8431
markus.stennei@iul.tu-dortmund.de



Fabian Stiebert M. Sc.
0231 755 2402
fabian.stiebert@iul.tu-dortmund.de



Siddharth Upadhya M. Sc.
0231 755 7430
siddharth.upadhya@iul.tu-dortmund.de

Abteilung Sonderverfahren | Non-Conventional Processes



Marlon Hahn M. Sc.
Abteilungsleiter Sonderverfahren
0231 755 8415
marlon.hahn@iul.tu-dortmund.de



Hamed Dardaei M. Sc.
0231 755 7851
hamed.dardaei@iul.tu-dortmund.de



Manish Chowdary Ghattamaneni M. Sc.
0231 755 8451
manish.ghattamaneni@iul.tu-dortmund.de



Siddhant Goyal M. Sc.
0231 755 7431
siddhant.goyal@iul.tu-dortmund.de



Fabian Maaß M. Sc.
0231 755 2607
fabian.maass@iul.tu-dortmund.de



Stephan Rosenthal M. Sc.
0231 755 6441
stephan.rosenthal@iul.tu-dortmund.de

Fabian Schmitz M. Sc.
0231 755 8498
fabian.schmitz@iul.tu-dortmund.de



Florian Weber M. Sc.
0231 755 2608
florian.weber@iul.tu-dortmund.de

Dr.-Ing. Sebastian Wernicke
0231 755 7429
sebastian.wernicke@iul.tu-dortmund.de



Projektierung | Project planning



Dr.-Ing. Heinrich Traphöner
Abteilungsleiter Projektierung
0231 755 8439
heinrich.traphoener@iul.tu-dortmund.de



Dipl.-Des. (FH) Patrick Cramer
0231 755 2456
cramer.patrick@iul.tu-dortmund.de



Simone Hausche
0231 755 2034
simone.hausche@iul.tu-dortmund.de



Dr.-Ing. Frauke Maevus
0231 755 8193
frauke.maevus@iul.tu-dortmund.de

Technische Mitarbeiter | Technical Staff



Dr.-Ing. Heinrich Traphöner
Abteilungsleiter
0231 755 8439
heinrich.traphoener@iul.tu-dortmund.de



Ilias Demertzidis
0231 755 6606
ilias.demertzidis@iul.tu-dortmund.de



Werner Feurer
0231 755 2609
werner.feurer@iul.tu-dortmund.de



Dipl.-Ing. (FH) Andreas Herdt
0231 755 7288
andreas.herdt@iul.tu-dortmund.de



Dirk Hoffmann
0231 755 6605
dirk.hoffmann@iul.tu-dortmund.de



Sven Lukies
0231 755 6062
sven.lukies@iul.tu-dortmund.de

Dipl.-Ing. (FH) Michael Prüfert
0231 755 6924
michael.pruefert@iul.tu-dortmund.de



Steffen Strotzer
0231 755 7289
steffen.strotzer@iul.tu-dortmund.de



Frank Volk
0231 755 5247
frank.volk@iul.tu-dortmund.de



2021 ausgeschieden | Staff who left in 2021



Florian Gutknecht M. Sc.



Dr.-Ing. Oliver Hering



Dr.-Ing. Rickmer Meyra

