

Jahresbericht 2007

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. P. Groche

Institut für Produktionstechnik und
Umformmaschinen, TU Darmstadt

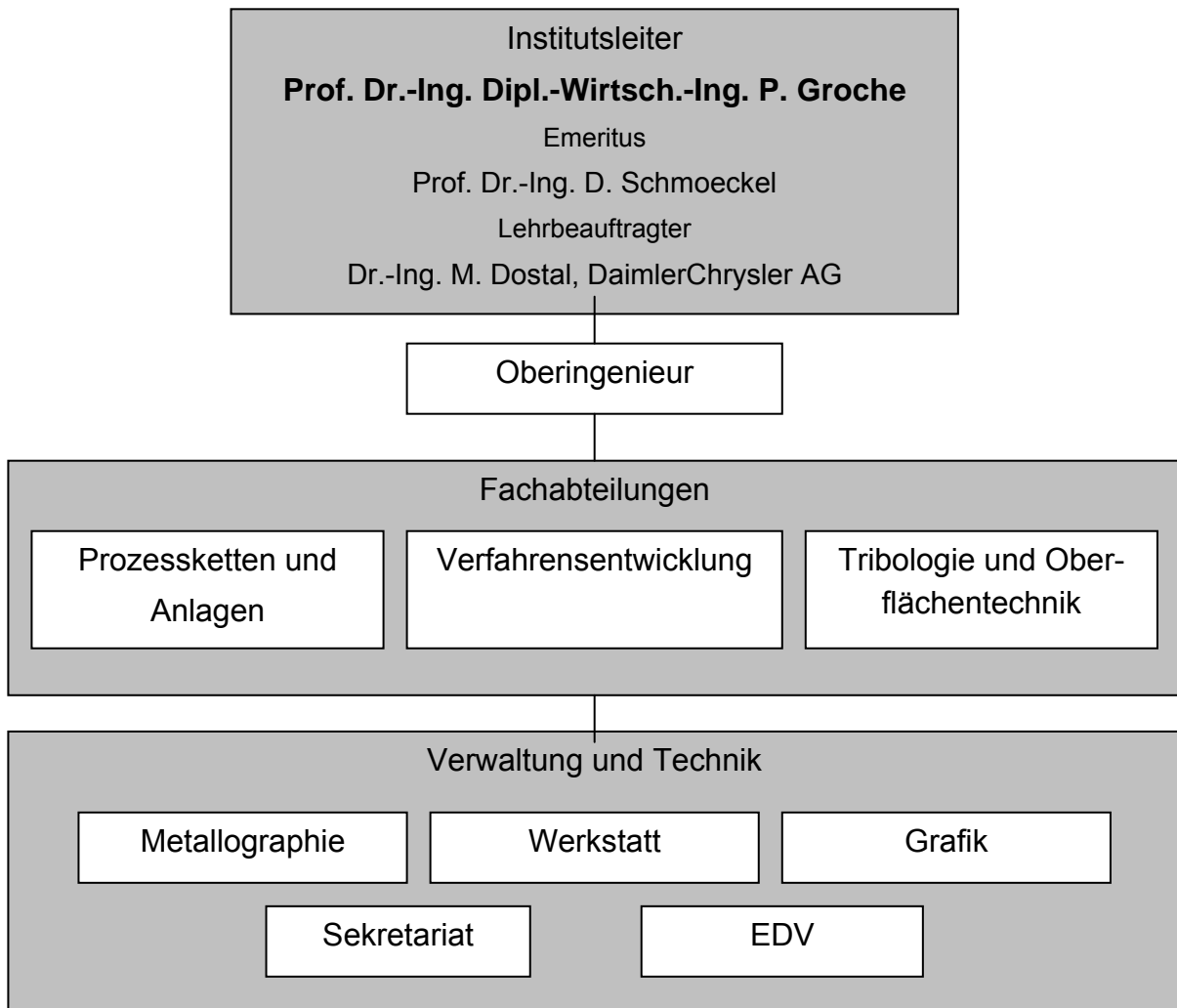
Petersenstraße 30
64287 Darmstadt
Tel.: 06151-16 3056
Fax: 06151-16 3021

INHALT

1	INSTITUTSPROFIL	2
1.1	ORGANISATIONSSTRUKTUR	2
1.2	PERSONALSTRUKTUR	2
2	LAUFENDE FORSCHUNGSARBEITEN	3
2.1	PROZESSKETTEN UND ANLAGEN	3
2.2	VERFAHRESENTWICKLUNG	11
2.3	TRIBOLOGIE UND OBERFLÄCHENTECHNIK	18
3	ABGESCHLOSSENE ARBEITEN	25
3.1	HABILITATIONEN UND DISSERTATIONEN	25
3.1.1	<i>Habilitationen</i>	25
3.1.2	<i>Dissertationen</i>	25
3.2	STUDIEN UND DIPLOMARBEITEN	26
3.2.1	<i>Studienarbeiten</i>	26
3.2.2	<i>Diplomarbeiten</i>	28
4	VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE	29
5	VERANSTALTUNGEN	32
6	STUDENTENZAHLN	33

1 Institutsprofil

1.1 Organisationsstruktur



1.2 Personalstruktur

Professoren und Lehrbeauftragte:	3
Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen:	21
Mitarbeiter in Verwaltung und Technik:	9
Studentische Hilfskräfte:	30

2 Laufende Forschungsarbeiten

2.1 Prozessketten und Anlagen

An innovative manufacture process concept for a flexible and cost effective production of the vehicle body in white: Profile Forming (Berner, S.)

Die europäische Automobilindustrie ist einer der weltweit größten und einflussreichsten Industriezweige. Um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu bewahren und auf den steigenden Druck von Markt und Politik reagieren zu können, ist sie gezwungen:

- Produktionskosten zu senken
- Entwicklungszeiten zu kürzen
- Individuelle Kundenwünsche zu befriedigen
- Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen zu reduzieren.

Zusätzlich zu diesen Herausforderungen besteht das Bestreben, die Lieferzeiten deutlich zu reduzieren. Dies hat unter anderem zur Konsequenz, dass die produzierende Zulieferindustrie gezwungen wird, kostengünstige und flexibel auf Kundenwünsche einstellbare Verfahren zu entwickeln.

PROFORM ist ein europäisches Forschungsprojekt, in dem Automobilhersteller, Zulieferer, Werkzeug- und Anlagenbauer zusammen mit Universitäten und Forschungsinstituten neue Fertigungskonzepte für Karosserie- und Strukturbauteile entwickeln, die den genannten Anforderungen gerecht werden. Das Konzept basiert auf der Verknüpfung von drei aufstrebenden Fertigungsverfahren

- Walzprofilieren
- Laserumformen
- und elektromagnetisches Umformen

in einer Fertigungslinie. Innerhalb des Projektes werden die drei Umformverfahren untersucht und durch die Verwendung von multifunktionalen Materialien und Nano- und Mikrotechnologien optimiert.

Am PtU wird im Rahmen dieses Projektes das flexible Walzprofilieren betrachtet. Mittels dieses am PtU Darmstadt entwickelten Verfahrens ist es möglich, Profilbauteile mit über der Längsachse veränderlichen Querschnitten durch Walzprofilieren herzustellen. Zur Untersuchung des Verfahrens wird in diesem Rahmen eine Anlage bestehend aus mehreren flexiblen Walzprofiliergerüsten aufgebaut. Augenmerk wird auf die Verknüpfung der einzelnen Umformstufen und die geometrische Erweiterung von flexibel profilierten Bauteilen gelegt. Durch den Aufbau der gesamten Prozess-

kette des flexiblen Walzprofilierens können Einflussfaktoren von Prozess, Anlage und Halbzeug auf das gefertigte Werkstück betrachtet und analysiert werden. Ziel ist es, hieraus den Gesamtprozess weiterzuentwickeln und zu optimieren, um so steigenden Anforderungen an die Profilqualität gerecht zu werden.

Prozessketten-Benchmarking in Betrieben der Umformtechnik (Götz, P.)

Umformtechnische Betriebe wie Stanzereien oder Walzprofilierbetriebe sind einem hohen Produktions- und Innovationsdruck ausgesetzt. Aufgrund eingeschränkter Ressourcen bei solchen KMUs gelingt es selten, die eigenen Prozesse selbständig objektiv zu untersuchen, zu bewerten und Verbesserungspotenzial zu erkennen.

Ziel des Projektes ist es, mit Hilfe des Benchmarkingansatzes die gesamte Prozesskette in Stanz- und Profilierbetrieben zu analysieren und objektiv zu bewerten. Dies soll den beteiligten Unternehmen ermöglichen, ein detailliertes Bild der eigenen Leistungsfähigkeit zu erhalten und die eigene Prozesskette nachhaltig zu verbessern.

Nach dem zugrunde liegenden Konzept wird die Gesamtprozesskette in einzelne Prozesse zerlegt, die getrennt voneinander untersucht werden. Hierzu werden die Abläufe bei den teilnehmenden Betrieben vor Ort durch das Benchmarking-Team dokumentiert. Aufgrund dieser Daten wird die Referenz-Prozesskette erstellt, die sich aus den Idealzuständen der einzelnen Prozesse zusammensetzt. Die Beurteilung der Betriebe erfolgt im Vergleich zur Referenz-Prozesskette – Abweichungen werden anhand einer zehnstufigen Skala dargestellt. Diese Abweichungen entsprechen dem Verbesserungspotenzial, das für jeden Teilprozess gegenüber dem Idealzustand besteht.

Ergänzt wird diese qualitative Beurteilung durch die Auswertung von Kennzahlen aus den Bereichen Personal, Qualitätssicherung, Werkzeugbau, Produktionsprozess sowie Kosten- und Ertragsstruktur. Diese Kennzahlen werden von den Benchmarking-Teilnehmern anhand eines Fragebogens erfasst und vom PtU ausgewertet. Alle Teilnehmer erhalten einen spezifischen Bericht, der neben der Beschreibung des Idealzustandes der gesamten Prozesskette die aktuelle Leistungsfähigkeit des jeweiligen Betriebs im Vergleich zur Referenzprozesskette und zum Teilnehmerfeld umfasst. Selbstverständlich werden alle Daten soweit anonymisiert, dass kein Teilnehmer Rückschlüsse auf betriebsinterne Informationen eines anderen Teilnehmers ziehen kann.

Mittlerweile wurden durch das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) an der TU Darmstadt in Zusammenarbeit mit mehr als 20 Unternehmen der Stanz- und Profiliertechnik Benchmarking-Projekte durchgeführt. Auf dem bewährten Konzept basierend soll das Projekt in einem erweiterten Teilnehmerkreis fortgesetzt werden.

Analyse unterschiedlicher Herstellungsverfahren längsnahtgeschweißter Rohre mit Optimierung für das Innenhochdruck-Umformen; Hydrotest (v. Breitenbach, G.)

Walzprofilierte, längsnahtgeschweißte Rohre bieten im Vergleich zu nahtlos gezogenen Rohren wirtschaftliche Vorteile. Das Verhalten von durch Walzprofilieren hergestellten Rohren in Bezug auf das IHU hängt wesentlich von der Rohreinformstrategie ab. Die Eigenschaften des flachen Spaltbandes werden bei der Rohreinformung maßgeblich verändert. Diese beeinflussen das Verhalten des Rohrhalbzeugs bei der Ausformung durch Innendruck sowie die erreichbare Prozesssicherheit im IHU-Prozess.

Ziel ist es, den Rohreinformprozess walzprofiliertes, längsnahtgeschweißter Rohre in Hinblick auf nachfolgende IHU-Prozesse zu optimieren. Hierzu sollen relevante Parameter einzelner Rohreinformstrategien sowie deren Einfluss auf die resultierenden Rohreigenschaften bestimmt werden. Weiterhin ist vorgesehen, eine zuverlässige Methodik zur Beurteilung der Eignung von rohrförmigen Halbzeugen für das IHU zur Verfügung zu stellen.

Mehrere reale Einformgeometrien längsnahtgeschweißter Rohre werden mit Hilfe numerischer Methoden untersucht. Veränderungen der Eigenschaften des Spaltbandes bei der Rohrherstellung, wie z.B. Wanddickenunterschiede und Kaltverfestigungsverteilungen, sind somit hinsichtlich ihrer Ursachen und Auswirkungen analysierbar. In experimentellen Untersuchungen werden sowohl die geometrischen Eigenschaften (z.B. Wanddickenverteilung über den Rohrumfang) als auch die mechanischen Eigenschaften (z.B. Aufweitverhalten im Rohrberstversuch) der entsprechenden Rohre bestimmt. Die so gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen Rückschlüsse auf die Zusammenhänge zwischen Rohreigenschaften und den Prozessparametern der Rohrherstellung.

Das Verhalten von rohrförmigen Halbzeugen beim IHU kann durch die geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Halbzeuges charakterisiert werden. Durchgeführte experimentelle Untersuchungen zeigen, dass die Wanddickenverteilung einen maßgeblichen Einfluss auf die Dehnungsverteilung bei der freien Aufweitung des Rohres im Berstversuch hat. Simulationen und ergänzende Härtemessungen geben Aufschluss über Kaltverfestigungsverteilungen und ihre Auswirkung auf das Aufweitverhalten der rohrförmigen Halbzeuge. Kaltverfestigungen und Wanddickenunterschiede beeinflussen maßgeblich das Aufweitverhalten der Rohrhalbzeuge.

Lebensdauerorientierte Festigkeitsauslegung von Umformwerkzeugen zur Innenhochdruck-Umformung (Elsenheimer, D.)

IHU – Werkzeuge stellen geometrisch im Allgemeinen komplexe Systeme dar, die während ihrer Nutzung einer hohen Anzahl von Belastungszyklen ausgesetzt sind. Um einen fehlerfreien Betrieb der Werkzeuge gewährleisten zu können, ist eine dauerhafte Auslegung zwingend erforderlich. Dazu wird im Werkzeugbau entweder auf Erfahrungswissen oder auf allgemeingültige Auslegungsrichtlinien für Maschinenelemente (z.B. FKM-Richtlinie) zurückgegriffen. Angepasste Auslegungsrichtlinien zur Lebensdauervorhersage von IHU-Werkzeugen unter Berücksichtigung der speziellen Belange wie Werkzeuggeometrie, -werkstoff, Oberflächenzustände und Belastungskollektive liegen nicht vor. Aus diesem Grund besteht bei solchen Werkzeugen einerseits die Gefahr von Produktionsausfällen durch Werkzeugversagen (z.B. Gravurbruch) oder andererseits von Überdimensionierung und dadurch unnötiger Größe, hohem Gewicht und hohen Kosten.

Gesamtziel des in 2007 abgeschlossenen Forschungsvorhabens war eine systematisierte, anwenderorientierte Auslegungsstrategie bezüglich der Lebensdauer von Werkzeugen für die Innenhochdruck – Umformung.

Nach einer Recherche zu aktuell verwendeten Auslegungsmethoden in fertigen Betrieben wurde ein repräsentatives IHU-Gesenk in seiner Gesamtheit von Gesenken und Gesenkträgern mittels numerischer Simulation eines Prozesshubes auf seinen Spannungszustand analysiert. Basierend auf dem ermittelten Spannungszustand am höchstbeanspruchten Ort wurde eine Probengeometrie konstruiert und realisiert, die bei vereinfachten geometrischen Verhältnissen den Spannungszustand des realen Gesenkes unter Innendruck abbildet.

In umfangreichen Versuchsreihen wurden unter Verwendung dieser Probengeometrie Wöhlerkurven für typische IHU-Werkzeugwerkstoffe und Zustände ermittelt. Die dabei resultierenden Dauerfestigkeiten wurden mit gemäß der FKM-Richtlinie berechneten Werten verglichen. Hieraus wurden Korrekturfaktoren und Richtlinien entwickelt.

SFB 666 – Herstellung verzweigter Bauteile durch integrierte Umform-, Zerspan- und Fügeoperationen (Walter, M.)

Verzweigte Bauteile in Form von Mehrkammerprofilen werden in vielfältigen Bereichen der Technik als Leichtbauelemente eingesetzt. Gegenwärtig werden diese überwiegend durch Strangpressen aus Aluminiumlegierungen hergestellt. Für Stahlwerkstoffe hingegen ist dieses Verfahren nicht wirtschaftlich. Darüber hinaus sind Mehrkammerprofile walzprofilieretechnisch nur durch aufwändige und gewichtserhöhende Materialdopplungen herstellbar. Somit fehlen derzeit innovative Maschinenkonzepte zur Herstellung dieser Profile aus Stahl.

Das neuartige Umformverfahren Spaltprofilieren ermöglicht die Fertigung verzweigter Profile in integraler Bauweise. Die Integration dieses Verfahrens mit weiteren umformenden und fügenden Prozessen sowie Zerspanungsoperationen am Blech in eine Walzprofilieranlage, ist ein Ansatz, um die kontinuierliche Fertigung von Mehrkammerprofilen aus Stahl zu ermöglichen.

Die Verkettung dieser Prozesse ist derzeit nicht Stand der Technik, weshalb eine genaue Untersuchung dieser Prozesskette erforderlich ist. Von besonderem Interesse sind dabei die Wechselwirkungen der Prozesse untereinander sowie die variierenden Prozessketten.

Ziel dieses Projekts ist es, Ein- oder Mehrkammerprofile aus Stahl, durch Integration aller beteiligten Prozesse, auf einer rekonfigurierbaren Anlage in Komplettbearbeitung herzustellen. Dabei ermöglicht eine Variation der Abfolge der Einzelprozesse die Herstellung unterschiedlicher Profiltypen auf ein und derselben Anlage. Zur Ermittlung der optimalen Prozessketten werden Methoden, in Abstimmung auf die jeweils geplante Zielgeometrie, entwickelt.

Im ersten Schritt sind die Analyse aller Einzelprozesse und deren Wechselwirkungen untereinander sowie die Darstellung möglicher Prozessabfolgen und die Interaktion der Einzelprozesse in Modellen notwendig. Daraufhin erfolgt die Entwicklung einer mathematischen Formulierung des Materialflusses unter Berücksichtigung der vorhandenen Prozesse. Daraus erfolgt die Ableitung von Empfehlungen von Prozessreihenfolgen in Abhängigkeit der späteren Profileigenschaften sowie die Entwicklung eines Anlagenkonzepts mit anschließender Herstellung von Profilprototypen.

SFB 666 – Rechnerunterstützte Bauteiloptimierung durch numerische Prozesskettenanalyse (Veleva, D.)

Die Herstellung verzweigter Blechbauteile ohne Dopplungen ist dank des neuen Verfahrens Spaltprofilieren möglich. Durch den Einsatz dieses Verfahrens in einer Pro-

zesskette zur Herstellung von Mehrkammer-Profilen können somit anspruchsvolle Bauteile belastungsgerecht gefertigt werden.

Während der Herstellung eines komplexen Profils entstehen prozessbedingte Eigenschaftsgradienten wie z. B. lokale Verfestigungen, so dass die Annahme eines homogenen Werkstoffs im fertigen Teil nicht mehr gültig ist. Eine zuverlässige Betriebsfestigkeitsanalyse ist somit nur unter Berücksichtigung dieser Veränderungen möglich.

Die Bewertung und Optimierung verzweigter Blechbauteile hinsichtlich der Wechselwirkungen des Herstellprozesses und der Gebrauchseigenschaften kann wirtschaftlich durch numerische Prozesskettensimulationen erfolgen. Ziel ist es daher, die gesamte Prozesskette vom ebenen Blech bis zum eingeformten Bauteil durchgängig zu simulieren, um die Beeinflussung des Herstellprozesses auf die Betriebsfestigkeit zu berücksichtigen.

Im ersten Arbeitsschritt werden alle einzelnen Teilprozesse der gesamten Prozesskette in Simulationen abgebildet und auf relevante Einflussparameter untersucht. Die Ergebnisse einer Umformstufe werden als Eingangsparameter für die Simulation der nachfolgenden Stufe verwendet. Anschließend wird anhand der ganzheitlichen Prozesskettensimulation eine Prozessoptimierung hinsichtlich der Bauteileigenschaften durchgeführt.

Die numerische Analyse der gesamten Prozesskette ermöglicht somit schnell, zuverlässig und mit geringerem Kostenaufwand die Vorhersage der Produkteigenschaften unter Berücksichtigung des Herstellprozesses. Des Weiteren können systematisch und effektiv Parametervariationen zur Erlangung umfassenderer Informationen durchgeführt werden.

Einfluss des dynamischen Übertragungsverhaltens von Stößelführungen auf die Arbeitsgenauigkeit von Umformpressen und Untersuchung des Einflusses von Verspannkräften auf die dynamischen Eigenschaften von Systemen mit Profilschienenführungen (Hofmann, T.)

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird der Einfluss des Übertragungsverhaltens der Stößelführung einer Schnellläuferpresse auf das Genauigkeitsverhalten analysiert. Ziel ist die Bereitstellung eines Mehrkörpersimulationsmodells, das neben Maschinenparametern wie der Masse, der Hubzahl und der Pressenbelastung zusätzlich den Einfluss veränderlicher Lagersteifigkeiten und -dämpfungen berücksichtigt. Ebenso soll die vertikale Ausdehnung und die Anordnung der Führungselemente in das Modell einbezogen werden.

Da das größte Potential für die Beeinflussung der Maschinendynamik in der Entwurfsphase liegt, ist es von entscheidendem Vorteil, dem Konstrukteur schon zu diesem Zeitpunkt ein Hilfsmittel zur Hand zu geben, das eine Abschätzung des dynamischen Verhaltens zulässt. Wenn die Auswirkungen der konstruktiven Festlegungen erst an einem Prototypen festgestellt werden können, ist es häufig zu spät für die möglicherweise erforderlichen konstruktiven Korrekturen.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens tragen damit dazu bei

- die Kosten für spätere Umkonstruktionen zu minimieren,
- den Nutzungsgrad zu steigern und
- die Teilequalität zu erhöhen.

Darüber hinaus sichert die Adaptivität des zu erstellenden Simulationsmodells die Anpassung an verschiedene Analysen und Pressenvarianten, wodurch modular übertragbare Mehrkörpersimulationsmodelle generiert werden können. Die Ergebnisse werden auf die Produkte vieler Pressenhersteller übertragbar sein. Damit kann die Anwendung der gewonnenen Methodik ausgeweitet und zur frühzeitigen Optimierung verschiedener Führungs- bzw. Pressenvarianten verwendet werden.

Über die Bestimmung der für Simulationen relevanten Parameter erfolgen zur Zeit Untersuchungen zur Ermittlung von Einflussmöglichkeiten auf das Schwingungsverhalten. Die Untersuchungsergebnisse dienen der Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen in denen Profilschienenführungen verwendet werden. Eine wesentliche Rolle spielt bei den Untersuchungen die Betrachtung von Vor- und Verspannkräften an den Profilschienenführungen.

Untersuchung zur wirtschaftlichen Herstellung von Profilen im Fahrzeugbau (Götz, P.)

Bei der Entwicklung von profilierten Blechbauteilen sind einerseits ständig steigende Ansprüche der Kunden an die Geometrie der Profile zu berücksichtigen. Andererseits ist bspw. im Automobilbereich ein Trend in Richtung Diversifizierung von Produkten zu beobachten, was zu einer erhöhten Variantenvielfalt bei Bauteilen sowie kleineren Auftrags-/Losgrößen führt. Infolgedessen muss in enger Zusammenarbeit zwischen Entwickler und Anwender erreicht werden, dass durch eine günstige Auslegung der Profile wie auch der Werkzeuge mit geringem Rüstaufwand häufige Produktwechsel wirtschaftlich darstellbar sind.

Ziel des Projekts ist es, einen Leitfaden zu erstellen, in dem aufgezeigt wird, durch welche konstruktiven Maßnahmen eine wirtschaftliche Fertigung von Stahlprofilen möglich ist. Es sollen hierbei die gesamte Profilierprozesskette inklusive Peripheriegeräte sowie die Gestaltung der Rollensätze betrachtet werden.

Schwerpunkte der Untersuchung bilden folgende Aspekte:

- Anlagenkonzepte: Unterschiedliche Anlagenkonzepte werden auf ihre Eignung für die Herstellung von Stahlprofilen im Automobilbereich untersucht. Die Eignung der Anlagen wird im Hinblick auf Flexibilität, Rüstaufwand, Produktionsleistung und Investitions- sowie Betriebskosten bewertet.
- Peripheriegeräte: Neben den Profilieranlagen werden Zusatzmodule wie Stanzeinheiten oder Laseranlagen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen. Es werden Kriterien für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Module unter Berücksichtigung Stückzahlen, der Bauteilgeometrie sowie der -eigenschaften erarbeitet.
- Werkzeugkonzepte: Die Bewertung der unterschiedlichen Werkzeugkonzepte berücksichtigt sowohl die Losgrößen, das Produktspektrum als auch die Materialeigenschaften.

Profilierte Bauteile: Die Wirtschaftlichkeit der profiliertechnischen Fertigung eines Bauteils wird anhand von Einflussfaktoren wie bspw. der Losgröße, der Profiliergeschwindigkeit, der Materialausnutzung oder des Rüstaufwands untersucht. Als Vergleichsmaßstab wird z. B. die Herstellung durch Tiefziehen herangezogen.

Herstellung von Rohren mit flexiblem Wanddickenverlauf durch Walzprofilieren von bandprofilgewalztem Vormaterial (Mirtsch, M.)

Walzprofilierter Hohlprofile, wie z.B. Rohre aus Stahl haben sich in der Vergangenheit in unterschiedlichen Branchen aufgrund der großen Formenvielfalt und des kostengünstigen Herstellungsprozesses etabliert. Studien im Bereich der Verkehrsmittelindustrie belegen, dass in Zukunft Rollprofile voraussichtlich eine weiter zunehmende Bedeutung erlangen werden. Bisher wird für das Walzprofilieren ausschließlich Bandmaterial gleichmäßiger Dicke verwendet. Durch die Verwendung von Vormaterial mit über dem Querschnitt veränderlichen Dicken erschließen sich neue Konstruktions- und Einsatzmöglichkeiten der Stahlwerkstoffe. Der Einsatz lokaler Blechdickenverteilungen ermöglicht das Erweitern von Verfahrensgrenzen nachfolgender Prozesse zum Aufweiten, wie z.B. das Innenhochdruckumformen und den Einsatz partieller Wanddickenverteilung für effizienten Leichtbau. Notwendige Halbzeuge, so genannte Tailor Rolled Strips, können am Institut für Bildsame Formgebung (IBF) der RWTH Aachen mit dem Verfahren Bandprofilwalzen hergestellt werden. Diese zeichnen sich durch ein über die Breite definiertes Dickenprofil aus. Ziel dieses, von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) geförderten, Forschungsvorhabens ist die Herstellung von Rohren mit ungleichen Wanddicken über dem Querschnitt durch Walzprofilieren von bandprofilgewalztem Vormaterial. Das Projekt wird in Zusammenarbeit des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen (TU-Darmstadt) und des Instituts für Bildsame Formgebung

(RWTH Aachen) und mehreren Industriepartnern durchgeführt. Dabei stehen vor allem folgende Aspekte im Vordergrund:

- Weiterentwicklung des Bandprofilwalzens inklusive der Konzeption und Auslegung einer Produktionsanlage
- Entwicklung und Umsetzung einer Walzprofilierstrategie zur Herstellung von Rohren mit veränderlicher Wanddicke über dem Querschnitt
- Überprüfung der Eignung der Rohre zur Innenhochdruck-Umformung

2.2 Verfahrensentwicklung

*Fluidbasiertes flexibles Fügen hohlförmiger Rahmenstrukturen: „HYDROFRAME“
(Elsenheimer, D.; Vogler, F.)*

Rahmenstrukturen aus hohlförmigen Bauteilen besitzen eine hohe Steifigkeit bei niedrigem Gewicht. Die Strukturen werden in aufwendigen Prozessen, meist durch Schweißen hergestellt. Die lange Prozesskette ist dabei ein Kostenfaktor. Die Möglichkeit, Formen und Fügen in einem Schritt zu bewerkstelligen, erlaubt den Verzicht auf Transport, Endenbearbeitung und Positionieren vor dem Fügen.

Durch das prozessintegrierte winklige Fügen von hohlförmigen Bauteilen in einem IHU Prozess können Knoten in einer sehr kurzen Prozesskette hergestellt werden. Die durch IHU realisierbare Formensprache ermöglicht es, neue Knotengeometrien zu verwirklichen. Die Knoten bestehen aus rohrförmigen Halbzeugen, unterschieden in Basis- und Fügebauteile. Die Umformung des Basisbauteils erfolgt in einem IHU Prozess. Dabei bildet sich ein Dom aus, der sich in das Fügebauteil einformt. Es kommt zu einer Überlappung der Bauteile, wodurch nach einer Rückfederung der Bauteile nach der Formgebung ein Pressverband entsteht.

Die Auslegung und Bewertung durch IHF hergestellter Knotenelemente basiert auf experimentellen und numerischen Untersuchungen sowie Festigkeitsprüfungen. Untersuchungen erfolgen mit Stahl- und Aluminiumwerkstoffen, wobei Versuche zur Prozessintegration von Kleben und Löten zur Erhöhung der Verbindungsfestigkeiten vorgesehen sind. Festigkeitsuntersuchungen dienen der Ermittlung von Kennfeldern für Knotengeometrien und Materialien.

In Versuchen konnten erstmals gleichzeitig mehrere Knoten an einem Bauteil erzeugt werden. Die Proben, in diesem Fall aus Aluminium, wiesen durch ihre aufwendige Form ein weiteres Merkmal auf, welches durch geeignete Prozessteuerung erfolgreich abgebildet werden konnte. Grundlagenuntersuchungen mit Bauteilen aus Stahl zeigen die grundsätzliche Integrierbarkeit von Kleb- und Lötvorgängen in den Füge-

prozess auf. Neben der weiteren Untersuchung von Knotengeometrien liegt hierin ein Schwerpunkt der aktuellen Tätigkeiten.

Erhöhung der Prozesssicherheit durch Regelung beim Innenhochdruck-Umformen unverschweißter Bleche (Ertugrul, M.)

Das Innenhochdruck-Umformen (IHU) von Blechen ohne zusätzliche Dichtelemente ist ein wirkmedienbasiertes Umformverfahren zur Fertigung von hohlförmigen Bauteilen. Die Abdichtung und der Materialfluss sind dabei im Wesentlichen von den während der Umformung eingestellten Niederhalterkräften abhängig. Bei nicht-rotationssymmetrischen Bauteilgeometrien kommt es zu einer inhomogenen Verteilung der Blechdicken im Flanschbereich. Zu hohe Schließkräfte bewirken erhöhte Streckziehanteile und frühzeitige Materialeinschnürungen in kritischen Bauteilbereichen. Sind hingegen die Zuhalterkräfte zu niedrig, äußert sich dies in Form von Faltenbildungen durch Materialanhäufung oder Undichtigkeiten des verwendeten Werkzeugsystems. Eine optimale Belastungskurve aus Wirkmediendruck und Pressenschließkraft verläuft somit nahe der Dichtgrenze.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer neuartigen Prozessregelstrategie zur Erhöhung der Prozesssicherheit und der Realisierung einer dichtlinien-nahen Belastungskurve. Hierzu ist ein Sensorsystem erforderlich, das entstehende Undichtigkeiten erkennen und dem Regelkreis als Messgröße zurückführen kann. Auf Basis der Undichtigkeitserkennung wird die Möglichkeit eröffnet, den IHU-Prozess automatisiert im Bereich des optimalen Materialflusses zu halten.

Die Funktion der optischen Undichtigkeitserfassung und eine darauf basierende Regelung des Umformprozesses konnte erfolgreich nachgewiesen werden. Das System zeichnet sich gegenüber einer manuellen Regelung dadurch aus, dass der Prozess automatisiert im optimalen Bereich der Belastungskurve gehalten wird. Die Blechdickenabnahmen in kritischen Bauteilbereichen lassen sich damit deutlich reduzieren bzw. die Prozesssicherheit erhöhen.

Warmumformung von Leichtbauwerkstoffen (Klöpsch, C.)

Eines der Hauptziele der Automobilhersteller bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge ist, das Fahrzeuggewicht abzusenken oder trotz Zusatzausstattung nicht anwachsen zu lassen. Dies erfordert den Einsatz von Leichtbauwerkstoffen und -maßnahmen. Dazu werden vermehrt Aluminiumlegierungen, höherfeste und höchstfeste Stähle eingesetzt. Damit entwickelt sich der reine Stahlkarosseriebau zunehmend zu einem Multimaterial-Design. Da sich jedoch viele dieser Werkstoffe schlechter umformen lassen als konventionelle Tiefziehstähle, sind die konstruktiven Gestaltungsmöglichkeiten beim Einsatz dieser Werkstoffe eingeschränkt. Eine Umformung bei höheren

Temperaturen kann diese umformtechnischen Nachteile mindern oder kompensieren.

Ziel ist einerseits die Gewinnung von Materialkennwerten ausgewählter Werkstoffe bei höheren Temperaturen. Andererseits wird in diesem Projekt die Stabilität des Halbwarm-Tiefziehprozesses unter industriellen Randbedingungen, d.h. bei instationären Temperaturfeldern im Werkstück und realitätsnahen Ziehgeschwindigkeiten, untersucht. Schließlich werden in Hinblick auf eine industrielle Umsetzung auch die benötigten Erwärmungs-, Prozess- und Handlingkonzepte entwickelt.

Zunächst werden Grundlagenuntersuchungen zur Tribologie im halbwarmen Temperaturbereich in Form von Streifenziehversuchen durchgeführt. Anschließend erfolgt die Ermittlung relevanter Werkstoffkenngrößen wie zum Beispiel der Fließkurven in Abhängigkeit von der Umformgeschwindigkeit und der Werkstücktemperatur. Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Grundlagenuntersuchungen durch Ziehversuche an einer Modellgeometrie überprüft (Napfversuche). Die Erkenntnisse der Modellversuche werden abschließend auf eine komplexe Realbauteilgeometrie übertragen und verifiziert.

Es zeigt sich, dass durch eine gezielt eingestellte Temperaturverteilung im Blech eine deutliche Steigerung der Verfahrensgrenze erreicht werden kann. Durch geeignete Wahl der Prozessparameter kann das Grenzziehverhältnis β_{\max} deutlich erhöht oder bei konstantem Ziehverhältnis die erforderliche Ziehkraft reduziert werden.

Effiziente Algorithmen zur Simulation von inkrementellen Umformverfahren (Fritsche, D.)

Derzeit verfügbare FE-Programmsysteme eignen sich nur bedingt zur Modellierung inkrementeller Umformverfahren. Auch wenn ein Prozess numerisch abgebildet werden kann, ist die Simulation meist derart zeitintensiv, dass Parameterstudien zur Auslegung eines neuartigen Prozesses für den industriellen Einsatz zu langwierig sind.

Inkrementelle Verfahren erzeugen durch den partiellen Eingriff der Werkzeuge eine sehr lokale Umformung, während weite Bereiche des Werkstücks unbeeinflusst bleiben. Simulationen inkrementeller Umformprozesse können die Ähnlichkeit der einzelnen Umformschritte bisher nicht nutzen. Hier liegt ein großes Potenzial zur Verkürzung der Rechenzeit.

Am Beispiel von Drück- und Ringwalzprozessen von Stirnradverzahnungen sowie einer Variante des Rundknetens werden Simulationsmodelle entwickelt, die das Potential von neuen Lösungsalgorithmen aufzeigen. Eine effiziente simulationsgestützte Prozessoptimierung dient der weiteren Verbesserung dieser und vergleich-

barer Verfahren der inkrementellen Massivumformung. Hierfür werden vollständig parametrisierte Modelle der Prozesse entwickelt, anhand derer sich die Auswirkungen verschiedener experimenteller und numerischer Konfigurationen studieren lassen.

Zur Implementierung der neuen Ansätze dient das FE-Programmpaket PEP/LARSTRAN, das sich insbesondere durch seine Modifizierbarkeit auszeichnet. Die Verifikation der Simulationsergebnisse erfolgt mit der kommerziellen Software SUPERFORM.

Neben verschiedenen numerischen Kriterien wird der iterative Lösungsprozess untersucht. Durch die Ähnlichkeit der Prozessschritte können genäherte Lösungen angegeben werden, so dass die Simulation deutlich schneller möglich ist.

Die gefundenen Lösungen werden im Versuch realisiert und die Bauteile experimentell untersucht. Schließlich werden die Ergebnisse mit der Simulation verglichen.

SFB 666 – Spaltprofilieren von Blechplatinen (Vucic, D.)

Profile mit verzweigten Querschnitten werden in der Technik in großem Umfang realisiert und angewendet. Als weit verbreitete Beispiele können T- bzw. H-Profile dienen, die sowohl im Bereich des Bauwesens als auch im Automobil- und Apparatebau als Strukturelemente eingesetzt werden. Durch erhöhte Anforderungen in Bezug auf Maßgenauigkeit, Oberflächengüte und Werkstoffeigenschaften ist weiterhin die Nachfrage nach Kaltprofilen stetig steigend.

Stand der Technik bei der Herstellung integral verzweigter Kaltprofile aus Blech sind Walzprofilier- und Gesenkbiegeverfahren. Die Herstellung von eng tolerierten Bauteilen gelingt hierdurch aus Blechplatinen bzw. Coils. Die Realisierung ausreichender Bauteilsteifigkeiten erfordert oftmals zusätzliche Fügeoperationen, wobei gleichzeitig partielle Materialdopplungen integriert werden. Hierbei entstehen technische Problemfelder durch Steifigkeitssprünge und Eigenspannungen im Bereich der Fügestellen. Weitere Probleme offenbaren die Prozesssicherheit und Qualitätskontrolle der Fügeverfahren, so dass in der Serienproduktion oftmals nicht die gewünschte Produktivität erreicht wird.

Weitere Möglichkeiten zur Integralbauweise der beschriebenen Profile ergeben sich durch das Spaltprofilieren von Blechplatinen bzw. -coils. Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist, die Umformung des Werkstücks durch ein Auseinanderfließen des Werkstoffs, folglich durch einen reinen Umformvorgang, zu realisieren. Dies steht im Gegensatz zu den konventionellen Spaltverfahren, bei denen die Rissbildung gewollt herbeigeführt wird. Das Auseinanderfließen des Werkstoffs wird durch stumpfwinklige Spaltwalzen bewirkt. Zusätzlich werden senkrecht zur Blechebene am

Werkstück Hilfswalzen angeordnet, welche dem Spannungszustand in der Umformzone Druckspannungen überlagern. Dadurch wird eine Rissbildung vermieden bzw. das Formänderungsvermögen des Werkstoffs erhöht. Weiterhin wird eine Erhöhung der statischen Betriebsfestigkeit des zu fertigenden Bauteils durch Kaltverfestigung in der Umformzone erreicht.

Die technische Umsetzung des Verfahrens in der Serienproduktion kann auf Walzprofilieranlagen realisiert werden. Hierbei werden ortsfeste Spaltprofiliergerüste in Serie angeordnet, so dass durch mehrere diskrete Umformschritte die gewünschte Endgeometrie erreicht wird.

Das prozesssichere Erreichen großer Spalttiefen in einer kontinuierlichen Fertigungslinie und die Analyse und Optimierung der walzprofilier-technischen Weiterverarbeitung von Spaltprofilen stehen im Vordergrund. Das Erhöhen der Verzweigungsordnung der durch Spaltprofilieren herstellbaren Geometrien soll darüber hinaus neue Konstruktionskonzepte für Profile aus Blech ermöglichen.

SFB 666 – Grundlagen des Spaltbiegens (Ringler, J.)

Integrale Blechprofile mit höherer Verzweigungsordnung können in der heutigen industriellen Anwendung nur eingeschränkt gefertigt werden. Die Verzweigungen werden hauptsächlich durch Materialdoppelungen hergestellt. Oftmals sind auch zusätzliche Fügeoperationen notwendig. Die so gefertigten Bauteile sind daher häufig sowohl technisch als auch wirtschaftlich optimierungsbedürftig. Einige dieser Einschränkungen können durch den Einsatz des Spaltprofilierverfahrens umgangen werden. Da beim Spaltprofilieren das Blech von der Blechkante aus gespalten wird, ist eine Flanschausformung an beliebigen Stellen der Blechoberfläche nicht möglich.

Mit Hilfe des neuartigen Umformverfahrens Spaltbiegen hingegen können mehrfach verzweigte Blechprofile bei verbesserter Materialausnutzung ohne zusätzliche Fügeoperationen gefertigt werden. Als Halbzeug wird hierbei ein Blech verwendet, das abgewinkelt ist. Von der Biegekante ausgehend wird anschließend mit Hilfe einer Spaltwalze ein Flansch ausgeformt.

Durch die Kombination der beiden Verfahren Spaltbiegen und Spaltprofilieren kann an einem Blech eine nahezu beliebige Anzahl Flansche aufgestellt werden. Prinzipbedingte Einschränkungen bezüglich des Ortes der Flanschausbildung bestehen bei diesem Verfahren nicht. Potentielle Anwendungsfelder für diese Technologie sind in der Herstellung von offenen und geschlossenen Trägerprofilen sowie Rohrsystemen zu finden. Durch senkrecht zur Blechebene angeordnete Hilfswalzen werden den wirksamen Spannungen Druckspannungen überlagert und somit Rissbildungen im Werkstück vermieden. Der beschriebene Vorgang wird mit dem Begriff Spaltbiegen bezeichnet. Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 666 werden in diesem Teil-

projekt die Grundlagen des Spaltbiegens ermittelt um das Verfahren später in die kontinuierliche Fertigung verzweigter Bauteile integrieren zu können.

Auslegungsalgorithmen für „flexible“ Walzprofilierprozesse (Zettler, A.)

Mit Hilfe des „flexiblen Walzprofilierens“ ist es möglich, Profile mit veränderlichem Querschnitt in einem kontinuierlichen Prozess herzustellen. Die Machbarkeit konnte für verschiedene Profiltypen im Rahmen von Projekten nachgewiesen werden. Die grundlegenden Einflussparameter und ihre Zusammenhänge gilt es jedoch noch zu untersuchen. Weiterhin fehlen für dieses Umformverfahren bisher fundierte Grundlagenuntersuchungen zu den Auslegungsmethoden. Aktuell ist mit Hilfe von FE-Simulationen und anschließenden Versuchen jede neue Profilgeometrie separat aufwändig zu validieren.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die grundlegenden Einflussparameter des Verfahrens zu ermitteln und Berechnungsmodelle für das flexible Walzprofilieren zu entwickeln, um damit eine schnelle und einfache Auslegung neuer Profiltypen zu ermöglichen.

Basis der Berechnungen sind analytische Modelle der elementaren Plastizitätstheorie. Notwendige vereinfachende Annahmen werden hinsichtlich ihres Einflusses und der Zulässigkeit überprüft. Als Hilfsmittel kommen Finite-Elemente-Simulationen, experimentellen Untersuchungen unter Verwendung des Versuchswerkzeugs und anschließender optischer Vermessung der Bauteile als auch analytische Ansätze artverwandter Verfahren zum Einsatz. Damit sind grundlegende Phänomene wie auch typische Spannungs- und Dehnungsverläufe zu untersuchen und zu quantifizieren. Diese Informationen dienen darüber hinaus als Datenbasis für die zu entwickelnden Berechnungsmodelle. Betrachtet werden dabei neben geometrischen Variablen auch die relevanten bauteilseitigen Werkstoffparameter als auch die werkzeugseitigen Prozessparameter.

Zusammengeführt sind daraus Methoden zur Auslegung eines fehlerfrei herstellbaren flexiblen Profils zu erstellen. Das Ableiten eines Prozessfensters bzw. von Gestaltungsempfehlungen für die betrachteten Parameter wird durch die Berechnungsmodelle erleichtert. Die erarbeiteten Grundlagen sollen vom Ansatz her auf andere CNC-Umformprozesse übertragbar sein.

Erhöhung der Profilgenauigkeit bei höher- und höchstfesten Stählen (Henkelmann, M.)

Bei walzprofilierten Bauteilen wird besonderer Wert auf die Erfüllung der Vorschriften hinsichtlich der Maßgenauigkeiten gelegt. Insbesondere beim Einsatz höher- und höchstfester Stähle muss mit erheblichen Chargenschwankungen gerechnet werden, die sich deutlich hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit der Profile bemerkbar machen. Während des Einformprozesses ist die Auswirkung von Rückfederungseffekten zwischen den einzelnen Biegestufen nicht quantifizierbar, lediglich nach Austritt des Profilstrangs zeigt sich das Ergebnis am Endprodukt. Die im Folgenden einzuleitenden Korrekturmaßnahmen, z. B. das Nacharbeiten und Auswechseln einzelner Rollenwerkzeuge, sind aufwendig und zeitintensiv.

Ziel des Projektes ist das Gewährleisten einer kontinuierlich hohen Maßhaltigkeit der Bauteile beim Walzprofilieren höher- und höchstfester Stähle, die auch bei auftretenden Schwankungen von Blechdicken und Werkstoffeigenschaften eingehalten wird.

Die Vorgehensweise ist wie folgt gegliedert:

- Untersuchung von Versuchsmaterialien hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften und des Rückfederungsverhaltens
- Auslegung, Konstruktion und Fertigung der Rollenwerkzeuge zur Einformung der Referenzgeometrie
- Entwicklung und Konstruktion eines „Kalibriergerüsts“
- Auslegung und Umsetzung eines Regelkreises
- Aufbau der gesamten Versuchsstrecke
- Experimentelle Untersuchungen
- Ergebnistransfer in Partnerunternehmen.

Für die Profilquerschnittserfassung kommt ein Lasertriangulationssystem zum Einsatz. Das Bestimmen des aktuellen Biegewinkels erfolgt durch die Berechnung der Steigung der projizierten Laserlinie mit Hilfe von Regressionsgeraden. Durch eine gezielte Projektion der Laserlinie auf Profilschenkel und -steg kann eine mögliche Verdrehung der Bauteile beim Verlassen der Profilieranlage berücksichtigt werden. Die resultierenden Kenngrößen werden dann mit den Ergebnissen aus der Simulation und den experimentellen Untersuchungen verglichen. Die hieraus ermittelten Korrekturkennwerte werden dem „Intelligenten Gerüst“ in einem kontinuierlichen Regelkreis weitergeleitet und somit ein Profil hergestellt, das die Toleranzen erfüllt.

2.3 Tribologie und Oberflächentechnik

Ökologisch optimierte Kaltmassivumformung (Köhler, M.)

Aufgrund der hohen tribologischen Beanspruchungen kommen in der Kaltmassivumformung hochleistungsfähige Schmierstoffsysteme zum Einsatz, die in der Regel auf einer Zinkphosphatschicht aufbauen. Das Aufbringen und Entfernen der Phosphatschichten ist mit hohem Energieaufwand und erheblichen Umweltbelastungen durch verunreinigte Abwässer verbunden.

Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Realisierung einer zink-phosphatschichtfreien Kaltmassivumformung. Da die Optimierung einer einzelnen Komponente im tribologischen System nicht ausreicht, um eine umweltfreundlichere Fertigung in einem industriellen Umfeld prozesssicher und ökonomisch vertretbar zu realisieren, wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt. Dieser überträgt die Trenn- und Trägerschichtfunktion der Zinkphosphatschicht auf einzelne Komponenten des tribologischen Systems. Dabei ist die Trennschichtfunktion hauptsächlich von den Werkzeugbeschichtungen und die Trägerschichtfunktion von alternativen Drahtbeschichtungen oder Drahtoberflächentexturen zu übernehmen.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf den Umformprozess Verjüngen von niedrig legierten Stahlwerkstoffen im Bereich der Fertigung vom Draht. In experimentellen Laborversuchen kommt der praxisnahe Verjüngerversuch zum Einsatz. Der Fokus liegt hierbei auf der Untersuchung geeigneter Werkzeugbeschichtungen, optimierter Werkstückoberflächen sowie ökologisch unbedenklicher Schmierstoffe. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen werden abschließend in Praxisversuchen verifiziert.

Generierung lokaler, hydrostatischer Druckschmierzustände beim Tiefziehen (Klöpsch, C.)

Der Realisierung von Blechbauteilen mit Tiefziehverfahren sind durch die erreichbaren Ziehverhältnisse Grenzen gesetzt. Zur Erweiterung dieser Formgebungsgrenzen bedient man sich verschiedener Sonderverfahren, wie zum Beispiel dem hydromechanischen Tiefziehen. Durch das Ziehen über einen Flüssigkeitswulst tritt hierbei eine Minimierung der Reibkraft am Ziehring auf, wodurch eine erhebliche Steigerung des Grenzziehverhältnisses gegenüber dem konventionellen Tiefziehen möglich ist.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, sich von dem hohen apparativen Aufwand, welches das hydromechanische Tiefziehen mit sich bringt, zu lösen und ein Verfahren zu entwickeln, um den Effekt des Ziehens über ein Flüssigkeitspolster auch

für das konventionelle Tiefziehen zu nutzen. Über einen lokal in den Ziehring eingebrachten Schmierstofffilm soll ein Druckpolster aufgebaut werden, das zu einer vollständigen Trennung von Blech und Werkzeug führt. Die Reibungsminderung am Ziehring führt damit zu einer Reduktion der zu übertragenden Kräfte. Da die durch den Werkstoff übertragbare Kraft unverändert bleibt, lassen sich im Vergleich zur konventionellen Prozessführung größere Ziehverhältnisse realisieren. Neben einer Erweiterung der Formgebungsgrenzen sind auch Vorteile bezüglich des Werkzeugverschleißes zu erwarten.

Zur Auslegung der Druckkanäle im Ziehring werden zunächst die Werkzeugbelastungen beim Tiefziehen mit Hilfe der FE-Simulation analysiert und wesentliche Einflussgrößen identifiziert. Darauf aufbauend wird ein Werkzeugkonzept entwickelt und in einen Modellprüfstand zum Tiefziehen implementiert, welcher es ermöglicht, im Kontaktbereich Ziehring-Blech einen Schmierstofffilm unter hydrostatischem Druck einzubringen. Durch Parametervariationen werden die Verfahrensgrenzen identifiziert sowie Prozessführungsstrategien und Gestaltungsrichtlinien entwickelt.

Entwicklung eines Reibmodells zur Beschreibung der tribologischen Verhältnisse in der Kaltmassivumformung bei strukturierten Halbzeugoberflächen (Stahlmann, J.)

Moderne FE-Systeme bieten für die Massivumformung weit entwickelte Modellierungs- und Berechnungsalgorithmen. Den komplexen Vorgängen im Tribosystem wird aufgrund der einfachen Reibmodelle nur unzureichend Rechnung getragen. Die Effekte der lokal auftretenden, starken Oberflächenveränderungen durch Einebnung und Reibung, die während der Kaltmassivumformung auftreten, können diese Modelle nicht abbilden. Eine lokale Vernetzung der Werkstückoberfläche mit hinreichend engen Elementstrukturen könnte die Auswirkungen der Strukturierungen am Werkstück erfassen. Jedoch sprengen die dafür notwendigen Rechenoperationen bei weitem die aktuellen Rechnerleistungen.

Im Rahmen des Projektes wird ein halbempirisches Reibmodell entwickelt, das den aktuellen Anforderungen aus der Kaltmassivumformung gerecht wird. Neue Ansätze, wie die Reduktion von Prozesskräften durch gezielte Oberflächenstrukturierung zur Ausbildung von hydrostatischen und dynamischen Schmierstofftaschen werden integriert. Dieses Reibmodell kann in FE-Entwicklungsumgebungen implementiert werden. Während der Entwicklungsphase soll das Reibmodell in der Software MSC-Superform getestet werden.

Das zu entwickelnde Reibmodell basiert auf physikalischen Grundlagen, erfasst alle wesentlichen Einflussparameter, die Auswirkungen auf das tribologische System haben, und soll ohne Ermittlung spezieller Kenngrößen auf andere tribologische Sys-

teme übertragbar sein. Basierend auf der Entwicklung von Reibmodellen für unstrukturierte Probenflächen wird ein Modell für strukturierte Probenoberflächen entwickelt. Für die Ermittlung der Reibwerte unter verschiedenen Prozesszuständen wird die institutseigene Gleitstauchanlage angepasst und erweitert. Hierfür wird die Probe auf der Mantelfläche liegend gestaucht und unter Aufrechterhaltung der Stauchkraft über die Reibplatte gezogen.

Optimierung des Abrieb- und Verschleißverhaltens von Werkzeugoberflächen durch mechanische Randschichtverfestigung (Engels, M.)

In der blechverarbeitenden Industrie kommen verstärkt beidseitig verzinkte Stahlbleche zur Steigerung der Qualität des Langzeit-Korrosionsschutzes zum Einsatz. Gleichzeitig gibt es die Tendenz höher- und höchstfeste Stahlbleche insbesondere für Strukturteile einzusetzen.

Für die wirtschaftlich günstige Umformung kommen häufig Werkzeuge aus globularem Grauguss (GGG70) zum Einsatz. Während des Umformvorganges kann es zu Abrieb der Zinkschicht in den Presswerkzeugen kommen. Eine verminderte Bauteilqualität und verunreinigte, zu Oberflächenfehlern führende Werkzeuge, sind die Folge. Der Einsatz höherfester Stahlbleche kann durch erhöhten Verschleiß zu einer Verringerung der Standzeit der Werkzeuge führen.

Ziel des Projektes ist die Optimierung der Werkzeugoberflächen durch mechanische Oberflächenverfestigung, um so eine Reduktion des Abriebphänomens und des Verschleißes zu erreichen. Die untersuchten Varianten Festwalzen und Festklopfen zeigten in durchgeführten Voruntersuchungen einiges Potential: So ist das Einbringen von Druckeigenstressungen, eine signifikante Absenkung der Rautiefe und oberflächennahe Steigerung der Härte erreichbar, ohne dass eine Wärmebehandlung erfolgen muss. Beide Verfahren können im Formenbau unmittelbar im Anschluss an die letzte Fräsoption in einer Aufspannung vorgenommen werden.

Zunächst sollen in Parameterstudien an bearbeiteten Probekörpern geeignete Verfahrensparameter - Kombinationen des Festwalzens und Festklopfens durch Untersuchung von Härtezunahme, Rauigkeitsreduktion, Oberflächentopographie und weiteren metallografischen Analysen festgelegt werden.

Das Abrieb- und Verschleißverhalten oberflächenverfestigter Ziehwerkzeuge wird experimentell auf der kombinierten Streifenziehmaschine untersucht. Von besonderem Interesse ist dabei, ob Werkzeuge aus GGG70 durch Anwendung der genannten Verfahren optimierbar sind und inwieweit die Ergebnisse auch auf andere Werkzeug- und Werkstück-Materialien übertragbar sind.

Sensorgestützte Werkstoffauslegung und Schichtentwicklung für die Umformtechnik (Nitzsche, G.)

Eine beanspruchungsgerechte Auslegung von Werkzeugwerkstoffen und Werkzeugbeschichtungen gewährleistet eine Verschleißminimierung, wodurch sich die Lebensdauer der Werkzeuge und damit die Wirtschaftlichkeit der Umformprozesse deutlich verbessern lassen. Allerdings sind die heute verwendeten Werkstoffe und Beschichtungen den auftretenden Belastungen nicht gewachsen. Dies ist auf den Trend zur Verarbeitung hoch- und höchstfester Stähle, die zunehmende Bauteilkomplexität, die verstärkte Bedeutung stark adhäsiver Werkstoffe sowie erhöhte Anforderungen an Maßgenauigkeit und Oberflächengüte zurückzuführen. Weiterhin fehlen genaue Kenntnisse über die in der Umformzone vorliegenden mechanischen und thermischen Beanspruchungen.

Aus der dargestellten Problemstellung ergeben sich folgende Teilziele, die zu einer optimierten Auslegung des tribologischen Systems für Prozesse der Blech-, Halbwarm- und Warmmassivumformung führen sollen:

- Identifizierung geeigneter Werkstoff-Beschichtungskombinationen in Abhängigkeit der tribologischen Beanspruchungen für Werkzeuge der Blech- und Massivumformung
- Experimentelle Ermittlung der Beanspruchbarkeit der Dünnschichtsensorik hinsichtlich der im Realprozess vorliegenden mechanischen und thermischen Belastungen
- Experimentelle Analyse der Kontaktnormalspannungs- und Temperaturverteilung in praxisnahen Modellversuchen mittels Dünnschichtsensorik
- Verifizierte Finite-Elemente-Modelle zur Ermittlung der lokalen Werkzeugbeanspruchung und Verifikation der Berechnungsergebnisse mittels Dünnschichtsensorik
- Erkennen des Zusammenhangs zwischen den örtlich und zeitlich aufgelösten Temperaturen in der Kontaktzone und dem resultierenden Werkzeugverschleiß

In Kooperation mit Anwendern und Werkzeugbeschichtern erfolgen die Entwicklung und Optimierung geeigneter Werkzeugwerkstoff- und Werkzeugbeschichtungskombinationen. Hierzu werden Verschleißuntersuchungen an tribologischen Modellprüfständen durchgeführt. Begleitet werden die Experimente durch numerische Beanspruchungsanalysen, die mit Hilfe von Dünnschichtsensoren verifiziert werden.

Einfluss einer Kühlung auf die tribologischen Verhältnisse beim Umformen von Aluminiumblechen (Elsen, A.)

Die Adhäsionsneigung von Aluminiumblechen führt beim Umformen zu Werkzeugverschleiß in Form von Aufschweißungen, wodurch die Prozessstabilität sowie die resultierende Bauteilgüte beeinträchtigt werden. Die Orte der Verschleißinitiierung entsprechen dabei den Orten größter mechanischer und thermischer Beanspruchung. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, das Potenzial sowohl einer lokalen als auch einer globalen Temperaturabsenkung in der Kontaktzone beim Umformen von Aluminium-Legierungen zu ermitteln. Der zu untersuchende Temperaturbereich liegt dabei unterhalb der Raumtemperatur. Die gewonnenen Erkenntnisse über die in diesem Bereich wirkenden metallkundlichen und tribologischen Mechanismen sollen zur Entwicklung einer Methode beitragen, mit der die Entstehung des Adhäsionsverschleißes durch gezielte, lokale Herabsetzung der Temperaturen an verschleißkritischen Stellen verhindert werden kann.

Definierte Oberflächenfeingestalt von Rohren und Profilen für das Innenhochdruck-Umformen (Elsen, A.)

Die tribologischen Bedingungen in der Umformzone werden beim Innenhochdruck Umformen (IHU) maßgeblich von den Topografien der beiden Kontaktpartner beeinflusst und haben somit ausschlaggebenden Einfluss auf das Umformergebnis.

Die Blechoberfläche muss ausreichend Schmierstoff in die Umformzone transportieren und gleichzeitig genügend Schmierstoff zurückhalten, um die Ausbildung hydrostatischer und hydrodynamischer Schmierungseffekte zu ermöglichen. Zur Optimierung des Schmierungszustandes hat sich im Bereich der Blechumformung die Texturierung der Halbzeuge bewährt (z. B. MF, EDT oder PRETEX). Einzelne Erfahrungen aus der Praxis versprechen auch für das IHU verbesserte Umformbedingungen durch Oberflächenstrukturierung (z. B. mittels Stahlkiesstrahlen). Allerdings existieren bisher keine systematischen Untersuchungen, auf deren Basis eine optimale Oberflächentopografie beschrieben werden könnte.

Aufbauend auf den Erfahrungen in der Blechumformung soll eine optimierte Oberflächentextur für das IHU entwickelt werden. Eine direkte Übertragbarkeit der Erkenntnisse aus der Blechumformung ist nicht möglich, da beim IHU im Vergleich zur konventionellen Blechumformung ca. 10- bis 15-fach höhere Kontaktnormalspannungen auftreten.

Im ersten Schritt erfolgt das Einbringen definierter Strukturen in die Halbzeugoberflächen. Hierzu werden Walzen eingesetzt, deren Oberflächen die Negativform der zu erzeugenden Oberflächen-Topografie aufweisen. Zur systematischen Untersuchung werden die Texturen hinsichtlich Topografiestruktur und -tiefe variiert. Im tribologischen Modellversuch sowie im Realbauteil-Versuch erfolgt die Bewertung des Reib- und Umformverhaltens der texturierten Halbzeuge; die Oberflächeneigenschaften werden über geeignete 3D Kenngrößen charakterisiert. Einen wesentlichen Aspekt stellt hierbei die Veränderung der Oberfläche während der Umformung dar.

Die angestrebten Forschungsergebnisse führen zu einer Beurteilung verschiedener Topografiestrukturen und -tiefen von Rohren bzw. Profilen für das IHU im Hinblick auf das Umformverhalten. Für jeden Anwendungsfall, der durch den verwendeten Werkstoff sowie die vorherrschenden Kontaktnormalspannungen charakterisiert wird, können optimierte Oberflächentopografien beschrieben werden. Die Umsetzung verspricht ein erweitertes Produktspektrum, eine höhere Prozessstabilität und gesteigerte Bauteilqualität.

Größeneinflüsse beim Drücken von optischen Bauteilen (Schäfer, R.)

Durch moderne Drückverfahren können rotationssymmetrische Bauteile mit nahezu beliebiger Mantellinie in kleinen bis mittleren Serien kostengünstig hergestellt werden. Für diese Bauteile bestehen neben Anforderungen an die makroskopische Gestalt vielfach auch Produktspezifikationen hinsichtlich der zu erreichenden Oberflächeneigenschaften. Die Realisierung der geforderten Oberflächengüte basiert in der industriell eingesetzten Drücktechnik auch heute noch vorwiegend auf Erfahrungswerten. Die Abhängigkeiten der Oberflächeneigenschaften gedrückter Bauteile von den geometrischen Abmessungen, den Materialeigenschaften sowie den Prozessparametern sind bisher nur ansatzweise erforscht.

Die Analyse der Zusammenhänge zwischen der Oberflächenausbildung gedrückter Bauteile und den Prozessparametern soll zunächst zu einem tieferen Verständnis des Drückprozesses beitragen. Basierend auf den so gewonnenen Erkenntnissen soll eine Möglichkeit geschaffen werden, Drückprozesse geometrisch zu skalieren. Zudem soll die Oberflächengüte des skalierten Bauteils frei einstellbar sein.

Zunächst erfolgt die Ermittlung geeigneter Oberflächenkenngrößen. Durch gezielte Variation der Prozessparameter in experimentellen und numerischen Untersuchungen werden die Zusammenhänge zwischen den spezifischen Größen des Drückprozesses sowie der mikroskopischen Oberflächenfeingestalt untersucht. Die Bildung der Ähnlichkeitsgesetze erfolgt anschließend auf Basis der den Drückprozess signifikant beeinflussenden Parameter.

Optimierung des Abrieb- und Verschleißverhaltens von Werkzeugoberflächen durch mechanische Randschichtverfestigung (Engels, M.)

In der Blechverarbeitenden Industrie kommen verstärkt beidseitig verzinkte Stahlbleche zur Steigerung der Qualität des Langzeit-Korrosionsschutzes zum Einsatz. Gleichzeitig gibt es die Tendenz höher- und höchstfeste Stahlbleche insbesondere für Strukturteile einzusetzen.

Für die wirtschaftlich günstige Umformung kommen häufig Werkzeuge aus globularem Grauguss (GGG70) zum Einsatz. Während des Umformvorganges kann es zu Abrieb der Zinkschicht in den Presswerkzeugen kommen. Eine verminderte Bauteilqualität und verunreinigte, zu Oberflächenfehlern führende Werkzeuge, sind die Folge. Der Einsatz höherfester Stahlbleche kann durch erhöhten Verschleiß zu einer Verringerung der Standzeit der Werkzeuge führen.

Ziel des Projektes ist die Optimierung der Werkzeugoberflächen durch mechanische Oberflächenverfestigung, um so eine Reduktion des Abriebphänomens und des Verschleißes zu erreichen. Die untersuchten Varianten Festwalzen und Festklopfen zeigten in durchgeführten Untersuchungen zum Einfluss der jeweiligen Verfahrensparameter einiges Potential: So ist das Einbringen von Druckeigenstressungen, eine signifikante Absenkung der Rautiefe und oberflächennahe Steigerung der Härte erreichbar, ohne dass eine Wärmebehandlung erfolgen muss. Beide Verfahren können im Formenbau unmittelbar im Anschluss an die letzte Fräsoperation in einer Aufspannung vorgenommen werden.

Das Abrieb- und Verschleißverhalten oberflächenverfestigter Ziehwerkzeuge wird experimentell auf der kombinierten Streifenziehanlage untersucht. Von besonderem Interesse ist dabei, ob Werkzeuge aus GGG70 durch Anwendung der genannten Verfahren optimierbar sind und inwieweit die Ergebnisse auch auf andere Werkzeugmaterialien übertragbar sind.

Mit ausgewählten Parameterkollektiven werden Verschleißversuche durchgeführt. Hierbei kann eine Steigerung des Verschleißschutzes durch die Verfahren der mechanischen Oberflächenverfestigung nachgewiesen werden. Allerdings hält dieser Effekt nicht über die gesamte Dauer des Verschleißversuches an. Nach Versuchsende gemessene Verschleißvolumina und Oberflächenhärten von vorverfestigten und unverfestigten Werkzeugen für den Streifenziehversuch gleichen sich an. Das weitere Vorgehen zielt daher darauf ab, die Verfahren der mechanischen Oberflächenverfestigung mit thermischen Härteoperationen und deutlich verbesserten Ausgangsqualitäten der Oberflächen zu kombinieren.

3 Abgeschlossene Arbeiten

3.1 Habilitationen und Dissertationen

3.1.1 Habilitationen

- keine -

3.1.2 Dissertationen

Breitenbach von, Gerrit

Methode zur Analyse, Bewertung und Optimierung der Prozesskette Profilieren längsnahtgeschweißter Rohre für das Innenhochdruck-Umformen

Fritsche, David

Entwicklung eines Näherungsverfahrens zur beschleunigten Simulation von Prozessen der inkrementellen Massivumformung

Nitzsche, Gernot

Reduzierung des Adhäsionsverschleißes beim Umformen von Aluminiumblechen

Schultheis, Valentin

Oszillierendes Umformen mit direkt angetriebenen Umformmaschinen

Tibari, Khaled

Grundlagen des fluidbasierten Fügens hohlförmiger Rahmenstrukturen bei simultaner Formgebung

Zettler, Arnd-Oliver

Grundlagen und Auslegungsmethoden für flexible Profilierprozesse

3.2 Studien und Diplomarbeiten

3.2.1 Studienarbeiten

Aydogdu, Mehmet-Ali

Modellerstellung und Validierung eines FE-Modells zur Fertigung eines Stuhlseiten-
teils durch Innenhochdruck-Fügen

Bleicher, Christoph

Entwicklung und experimentelle Überprüfung einer Vorrichtung zur Verbesserung der
Domausformung beim Innenhochdruck-Fügen

Böhm, Manuel

Entwicklung von thermo-mechanisch gekoppelten, numerischen Simulationsmodellen
für das Tiefziehen und experimentelle Verifizierung

Dikme, Erhan

Innenhochdruck-Umformen von in Kammern unterteilten Rohren

Engel, Christoph

Untersuchung der optischen in situ-Messtechniken zur Verschleißcharakterisierung
an einem tribologischen Modell-Prüfstand

Gibbert, Stefan

Experimentelle Untersuchung des Steifigkeits- und Dämpfungsverhaltens von Sys-
temen mit Profilschienenführungen mit Hilfe dynamischer Methoden unter be-
sonderer Berücksichtigung der zugrundeliegenden Dämpfungsmechanismen

Götz, Tobias

Anpassung eines Kennzahlensystems für die Anwendung in Profilierbetrieben

Hahn, Markus

Experimentelle Untersuchungen zur Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim
halbwarmen Tiefziehen von Leichtbauwerkstoffen

Hartel, Jürgen

Untersuchung des Verhaltens von Oberflächenstrukturierungen in der Kaltmassiv-
umformung

Hankel, Sebastian

FE-Untersuchung des mehrachsigen Verspannungszustands in Profilschienen-
führungen im Hinblick auf die Entwicklung von Regelungskonzepten zur Optimierung
des dynamischen Verhaltens von Linearmotorpressen

He, Yinan

Konzeption und Konstruktion eines Aktorsystems zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Systemen mit Profilschienenführungen unter Ausnutzung von Verspannungseffekten

Herzog, Frank

Experimentelle Untersuchungen zum Verschleißverhalten tribologischer Systeme der Blechumformung

Huttel, Dominik

Experimentelle Überprüfung der Herstellung von Rohren als Werkstoffverbund aus Draht

Karafilik, Seref

Literaturrecherche und Machbarkeitsanalyse zur integrierten Fertigung funktionaler und formvariabler Strukturen aus ebenen Ausgangsblechen

Kraft, Matthias

Experimentelle Untersuchungen und FEM-Simulationen von ausgewählten Tribosystemen der Kaltmassivumformung

Kroggel, Jan; Macke, Jan

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von sandgestrahlten Halbzeugoberflächen auf die tribologischen Verhältnisse im Verjüngversuch

Lander, Fridolin

Materialbereitstellung nach den Prinzipien der schlanken Produktion am Beispiel der Medium-Dury-Motorenanlage der DaimlerChrysler AG

Mularczyk, Michael

Konstruktive Optimierung eines tribologischen Prüfstandes

Rippl, Christian

Experimentelle Machbarkeitsuntersuchung und Optimierung der Herstellung eines Fahrrad-Steuerrohres mittels Innenhochdruck-Fügen bei hohen Temperaturen

Schmitt, Sebastian

Auslegung und konstruktive Umsetzung eines Tiefziehwerkzeuges für eine rechteckförmige Modellgeometrie

Schuberth, Steffen

Simulationsgestützte Erarbeitung eines Konzeptes zur Herstellung eines Fahrradrahmens mittels Innhochdruck-Fügen

Schwarz, Anton

Entwicklung eines Materialprüfverfahrens zur Charakterisierung von Blechhalbzeugen unter zyklischer Belastung

Völlger, Dirk

Konstruktion eines Berstprüfstandes zur Untersuchung von Rohren für die Innenhochdruck-Umformung (IHU) bei hohen Temperaturen

Wunder, Thimo

Konzeption und Umsetzung einer Vorformoperation für das Innenhochdruck-Fügen

Becker, Roman

Analyse von Fertigungsprozessen der Blechumformung unter besonderer Berücksichtigung der Fertigungskosten

Yu, Lihao

Experimentelle Analyse des Zusammenhangs zwischen Temperatur und Adhäsionsverschleiß beim Tiefziehen von Aluminiumblechen

Hönig, Felix

Entwicklung, Konstruktion und Inbetriebnahme eines Werkzeuges mit Positioniereinrichtung für tribologische Untersuchungen

Zientz, Kristof

Machbarkeitsanalyse und Prozessauslegung zur Herstellung eines Geländerssegmentes mittels Innenhochdruck-Fügen

3.2.2 Diplomarbeiten

Andersohn, Georg

Experimentelle Untersuchungen von Einflussfaktoren auf das Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten von Systemen mit Profilschienenführungen mit Hilfe dynamischer Methoden unter besonderer Berücksichtigung von Lebensdaueraspekten

Beiter, Philip

Analytische, numerische und experimentelle Untersuchung der Einflussparameter auf die Rückfederung bei der Verarbeitung von höher- und höchstfesten Stählen

Dieterich, Frank

Aufbau und Inbetriebnahme eines Regelkreises zur Kompensation von Rückfederungseffekten von höher- und höchstfesten Stählen

Drott, Christoph

Experimental test methods to predict the ability of cold roll formed profiled open sections to undergo additional cold forming operations

Fiedler, Andreas

Verringerung der Streubreite im Härtungsergebnis bei der induktiven Randschicht-härtung für Bauteile in Umformwerkzeugen und in Bearbeitungsmaschinen

Kunz, Alexander

Auswahl und Implementierung eines Instruments zur Produktdefinition im Produktentwicklungsprozess von Werkzeugmaschinen

Mikova, Tzvetana

Entwicklung eines effizienten Mapping-Verfahrens für die Simulation inkrementeller Umformprozesse

Möller, Norman

Erstellung geeigneter Regelalgorithmen für das Drücken und Projizierdrückwalzen mit hydraulischen Umformmaschinen

Thomas, Stefan

Entwicklung eines Kennzahlensystems für das Prozessketten-Benchmarking

Tisje, Ralf

Experimentelle Sensitivitätsanalyse der Hochdruck-Blechumformung

Wang, Lixing

Untersuchung und regelungstechnische Nutzung von Einflussfaktoren auf das dynamische Steifigkeits- und Dämpfungsverhalten von Profilschienenführungen

Will, Daniel

Experimentelle Untersuchungen zur ökologisch optimierten Kaltmassivumformung

Zhun, Zhao

Untersuchung des Steifigkeits- und Dämpfungsverhaltens von Profilschienenführungen unter mehrachsiger Belastung mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente

4 Veröffentlichungen und Vorträge

Groche, P.; Eisen, A.: Oberflächenfeingestalt von Rohren für das IHU - Optimierung der tribologischen Eigenschaften durch strukturierte Oberflächen.

In: VDI Verein Deutscher Ingenieure: wt Werkstattstechnik online. Düsseldorf: Springer VDI Verlag, 10/2007, 10-2007, 812-817.

Groche, P.; Schäfer, R.: Finite Element Calculation of Surface Evolution Considering Grain Size and Crystallographic Texture Effects.

In: Proceedings of the 2th ICNFT. Bremen: BIAS, 09/2007, 593-602.

Groche, P.; Schäfer, R. ; Henning, M.: Finite element calculation of surface evolution considering grain size and crystallographic texture effects.

In: Azushima, A.: Proceedings of the 3rd International Conference on Tribology in Manufacturing Processes, ICTMP. Yokohama: Yokohama National University, 09/2007, 219-226.

Groche, P.; Vucic, D.: New Bifurcated Semi-Finished Products for a Flexible Manufacturing of Structure Elements.

In: CARV 2007: 2 International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2007). Toronto, Ontario, Canada: 07/2007, ISBN 978-0-9783187-0-3, S.399-408.

Groche, P.; Henning, M.; Schäfer, R.: Anisotrope Materialdaten einzelner Körner im Polykristall.

In: Univ.- Prof. Dr.- Ing. L. W. Meyer: Arbeitskreistreffen "Werkstoff und Simulation" am 23.05.2007 in Erlangen im Rahmen des DFG SPP 1138 "Modellierung von Größeneinflüssen bei Fertigungsprozessen" - Vorträge. Chemnitz: Eigenverlag, 06/2007, ISSN: 1860-8698.

Elsenheimer, D.; Vogler, F.: Sophisticated Process for the Production of Design-Oriented Frame Structure Joints.

In: Yuan, S.; Manabe, K.-I.: Tube Hydroforming Technology -- Proceedings of TUBEHYDRO 2007. Harbin Institute of Technology Press, Harbin, China: Harbin Institute of Technology, China ; The China Society for Technology of Plasticity, 06/2007, S.65 - 71.

Groche, P.; Großmann, K.; Hofmann, T.; Wiemer, H.: Advanced Experimental and Numerical Methods for the Analysis of the Dynamic Forming Press Behavior.

In: Production Engineering Research and Development (WGP). Berlin / Heidelberg: Springer Verlag, 06/2007, Online First.

Groche, P.; Klöpsch, C.: Kennwerte der Halbwarm-Blechumformung

In: Moderne thermomechanische Prozessstrategien in der Stahlumformung Düsseldorf, Verlag Stahleisen GmbH 05/2007.

Groche, P.; Götz, P.: Globalisierung - Treiber für neue Umformtechnologien.

In: 2. Technologieseminar Dortmund. Dortmund: GSU - Schulungsgesellschaft für Stanz- und Umformtechnik, 04/2007.

Groche, P.; Ringler J.: Grundlagen des Spaltbiegens.

In: Tagungsband 1. Zwischenkolloquium SFB 666. Bamberg: Meisenbachverlag, 03/2007, ISBN 978-3-87525-252-1, S.73-78.

Groche, P.; Vucic, D. e: Flexible Fertigungsanlage zur Herstellung verzweigter Mehrkammerprofile.

In: Tagungsband 1. Zwischenkolloquium SFB 666. Bamberg: Meisenbachverlag, 03/2007, ISBN 978-3-87525-252-1, S.85-94.

Groche, P.; Vucic, D.: Erweitern der Verfahrensgrenzen beim Spaltprofilieren.

In: Tagungsband 1. Zwischenkolloquium SFB 666. Bamberg: Meisenbachverlag, 03/2007, ISBN 978-3-87525-252-1, S.67-72.

Groche, P.; Eisenheimer, D.; Berger, C.; Kaiser, B.: Numerische und experimentelle Untersuchungen zur lebensdauerorientierten Festigkeitsauslegung von Werkzeugen zur Innenhochdruck-Umformung.

In: Europäische Forschungsvereinigung für Blechverarbeitung e.V.: Neue Wege zum wirtschaftlichen Leichtbau. 03/2007, S. 209-222.

Demmler, A.; Vogler, F.: Prozessintegriertes Löten beim Innenhochdruck-Fügen.

In: Tagungsband 12. Forum Innenhochdruck-Umformen. Darmstadt: 02/2007.

Kaiser, B.; Eisenheimer, D.: Lebensdauerauslegung von IHU-Werkzeugen.

In: Tagungsband 12. Forum Innenhochdruck-Umformen. Darmstadt: 02/2007.

Groche, P.; Nitzsche, G: Influence of temperature on the initiation of adhesive wear with respect to deep drawing of aluminum-alloy.

In: Journal of Materials Processing Technology. 01/2007, Vol. 191/1-3, S. 314-316.
Groche, P.; Ringler, J.; Vucic, D.: New Forming Processes for Sheet Metal with Large Plastic Deformation

In: Key Engineering Materials Vol. 344/2007, S. 251-258.

Groche, P.; Hofmann, T.: Dimensional Deviation of Roll formed Components made of High Strength Steel

In: Key Engineering Materials Vol. 344/2007, S. 285-292.

Groche, P.; Hofmann, T.: Eigenschaften verspannter Profilschienenführungen - Einflussfaktoren auf das dynamische Steifigkeitsverhalten

In: wt Werkstattstechnik online. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 01-2007, S. 79-84.

5 Veranstaltungen

12. Fachtagung Innenhochdruck-Umformen, 21./22. Februar 2007

5. Fachtagung Walzprofilieren, 06./07. März 2007

1. Zwischenkolloquium SFB 666, 06. März 2007

6. Forum "Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung", 24./ 25. Oktober 2007

6 Studentenzahlen

TU Darmstadt gesamt: 16.288

Studierendenzahlen WS 2007/2008

lt. Hochschulstatistik

Diplom Maschinenbau

gesamt: 873

davon: • Anfänger 0

• weiblich 54

Bachelor Mechanical and Process Engineering (MPE)

Gesamt*: 938

davon: • Anfänger 337

• weiblich 80

Master Mechanical and Process Engineering (MPE)

gesamt: 60

davon: • Anfänger 21

• weiblich 8

Bachelor Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)

gesamt: 3

davon: • Anfänger 0

• weiblich 0

Master Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)

gesamt: 7

davon: • Anfänger 2

• weiblich 2

Master Paper Science and Technology

gesamt: 5

davon: • Anfänger 3

• weiblich 0

*) beinhaltet Doppelseinschreibungen

