

Konstruktion eines Umformwerkzeugs für Schmiedeversuche zum Training eines Künstlichen Neuronalen Netzes

Bernd-Arno Behrens, Klaus-Georg Kosch, Timur Yilkiran, Conrad Frischkorn

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover

Um die Qualitätssicherung bei der umformtechnischen Fertigung von Bauteilen künftig zu verbessern, soll in diesem Forschungsprojekt ein neues Qualitätsüberwachungssystem zur prozessintegrierten Prüfung beim Gesenkschmieden entwickelt und erprobt werden. Hierfür werden Künstliche Neuronale Netze (KNN) entwickelt und in einem Modellprozess angelernt. Mit Hilfe eines auf KNN basierenden Qualitätsüberwachungssystems können künftig Soll-Ist Vergleiche online erfolgen. Dadurch wird die Herstellung von Ausschussteilen reduziert. Für die praktische Erprobung des KNN wird ein Zahnradwerkzeug für das Präzisions Schmieden entwickelt und der Prozess derart ausgelegt, dass eine messtechnische Erfassung der qualitätsrelevanten Merkmale ermöglicht wird.

Schlüsselwörter: Qualitätsüberwachung, Künstliche Neuronale Netze, Gesenkschmieden, Produktionstechnik, Werkzeugkonstruktion

Einleitung

Die Menge des produzierten Ausschusses hängt in vielen Unternehmensbereichen stark von den verwendeten Qualitätsüberwachungssystemen ab. Um die aus hohen Ausschussmengen resultierenden wirtschaftlichen Belastungen zu senken, muss das Auftreten von Fehlern schnellstmöglich erkannt werden, so dass umgehend Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. So kann vermieden werden, dass durch fehlerhafte Prozesse eine große Menge an Ausschussteilen produziert wird. Um hohe Qualitätsanforderungen zu erfüllen, ist eine 100%-Kontrolle aller Teile notwendig. Dies lässt sich durch eine automatisierte Überwachung erreichen. An dieser Stelle sind Verfahren gefordert, die komplexe Prozessparameter verarbeiten können und dabei flexibel sind, um sich schnell der Produktionssituation anzupassen.

Stand der Technik

Qualitätsüberwachungssysteme lassen sich nach Geiger in Offline-Prüfverfahren (Endprüfung, stichprobenartig) und Online-Prüfverfahren (prozessintegrierte, kontinuierliche Prüfung) einteilen [1]. Die mit Hilfe von Online-Prüfverfahren zu erzielenden Vorteile werden am Beispiel eines Gesenkschmiedeprozesses in Abbildung 1 verdeutlicht.

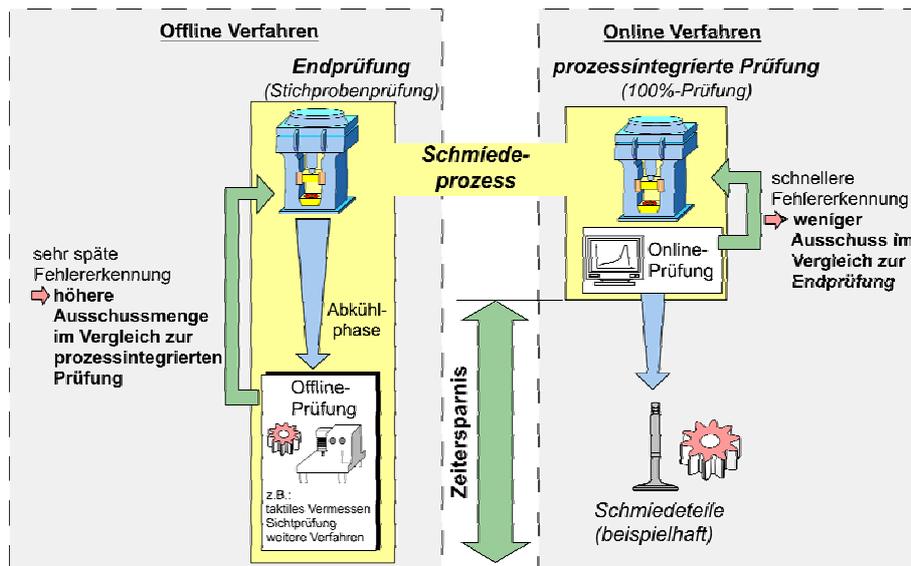


Abbildung 1: Gegenüberstellung von Offline- (links) und Online-Qualitätsüberwachungsverfahren (rechts)

Von entscheidender Bedeutung ist die Zeitspanne zwischen dem Erkennen und Beheben eines Fehlers. Bei den Offline-Verfahren erfolgt die Prüfung aufgrund des hohen Aufwandes (gesonderter Prozess) nur stichprobenartig und erst am fertigen Bauteil. Auftretende Fehler werden dadurch erst spät erkannt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde bereits eine große Menge an Fehlteilen produziert [2].

In Gesenkschmiedebetrieben wird die Qualität überwiegend offline überwacht. Der Grund liegt in den Umgebungsbedingungen (hohe Temperaturen, Schmutz, Schmierstoff usw.), welche eine prozessintegrierte, messtechnische Erfassung der qualitätsrelevanten Merkmale erschweren bzw. unmöglich machen [2, 3]. In Abbildung 2 sind qualitätsrelevante Merkmale eines geschmiedeten Bauteils am Beispiel eines Zahnrades dargestellt. Um trotz der genannten Umstände eine kontinuierliche und prozessintegrierte Online-Qualitätsüberwachung für Gesenkschmiedeprozesse zu ermöglichen und so den Ausschuss zu reduzieren, sollen indirekte Methoden der

Überwachung entwickelt werden. Solche Methoden sind dadurch gekennzeichnet, dass im Prozess messbare Größen mit bestimmten Qualitätsmerkmalen der fertigen Bauteile korreliert werden.

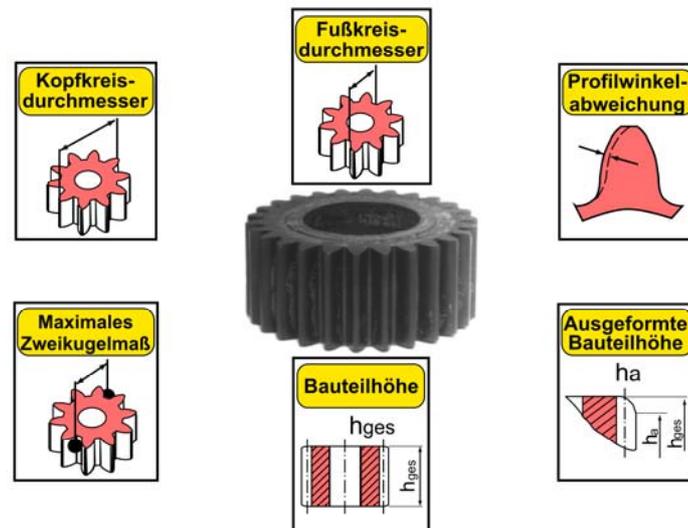


Abbildung 2: Qualitätsrelevante Merkmale am Beispiel eines Zahnrades

Indirekte Verfahren zur Qualitätsbeurteilung lassen sich nach Kühne in signalbasierte, modellbasierte und wissensbasierte Verfahren unterscheiden [4]. Ein modellbasiertes Verfahren ist aufgrund eines erforderlichen aber nicht vorhandenen Rechenmodells, d.h. der Kenntnis der mathematischen Zusammenhänge zwischen Messgrößen und Qualitätsmerkmalen, für Gesenkschmiedeprozesse zu ungenau. Mit signalbasierten Verfahren werden aus der Änderung einer oder mehrere Messsignale (Umformkraft, -weg, -energie usw.), basierend auf Erfahrungswissen der Anwender, Zusammenhänge zu den Prozessergebnissen hergestellt. Zu den wissensbasierten Verfahren gehören Expertensysteme und Künstliche Neuronale Netze (KNN). Expertensysteme basieren auf der Verknüpfung von verfügbaren Informationen über das Prozessverhalten mit zuvor abgespeicherten Fehlern. Mit KNN wird das Ziel verfolgt, technische Systeme mit „intelligentem Verhalten“ zu entwickeln. Dadurch sollen unter anderem die Echtzeitbearbeitung großer Datenmengen, die Steuerung komplexer und nichtlinearer Prozesse sowie das Lösen von assoziativen Problemen ermöglicht werden. Die Vorteile gegenüber den signalbasierten Verfahren sowie den Expertensystemen liegen vor allem in der hohen Aussagekraft auch ohne vorhandenes Expertenwissen (z.B. Unterscheidung in „Gutteil“ und „Schlechtteil“). Im Gegensatz zu Expertensystemen müssen einzelne Fehler-

szenarios nicht vorher erstellt werden, so dass KNN schnell in neu auszulegende Prozesse ohne eine vorherige langwierige Datenaufnahme und Entwicklung von Erfahrungswerten integriert werden können. Weiterhin können mit KNN Aussagen über die Fehlerursachen getroffen werden. Vielversprechende Vorversuche für die Qualifizierung von KNN zur Prozessüberwachung in Gesenkschmiedeprozessen wurden bereits erfolgreich am IFUM durchgeführt. Brüggemann zeigte, dass es prinzipiell möglich ist, mit Hilfe Künstlicher Neuronaler Netze eine Klassifizierung in „Gutteil“ und „Ausschuss“ vorzunehmen [5]. Die Entwicklung des KNN-basierten Qualitätsüberwachungssystems nach folgendem Schema ist in Abbildung 3 dargestellt.

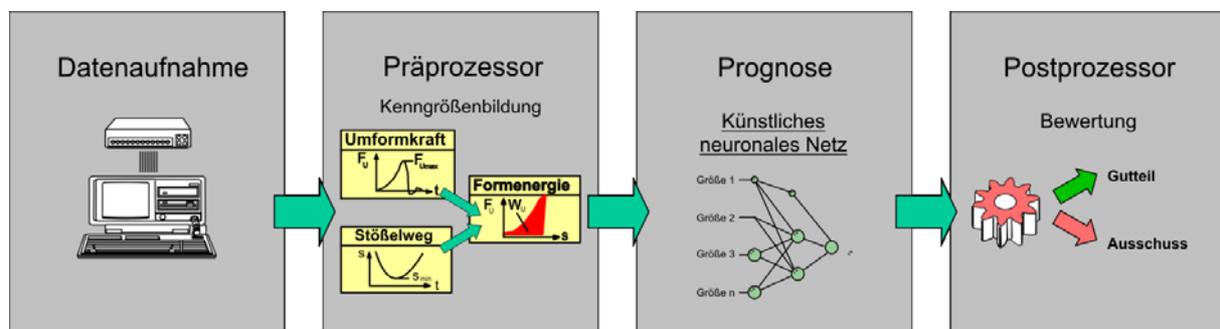


Abbildung 3: Datenaufbereitung und Verarbeitung zur Qualitätsüberwachung

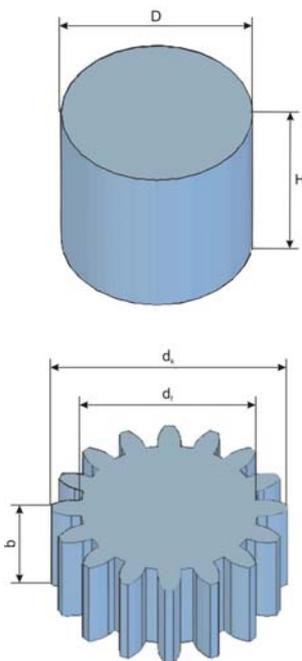
Im Prozess werden für die Schmiedeteilqualität relevante Prozessgrößen ermittelt. Ein Präprozessor bildet aus diesen Messwertaufnahmen Kenngrößen, welche als Eingangsparameter für die KNN dienen. Ein Postprozessor gibt dann eine prognostizierte Beurteilung z.B. in Form von „Gutteil“ oder „Ausschuss“ an den Bediener weiter. Der Bediener hat dabei keinen Einfluss auf den Prozess und eine erfahrungsbasierte Interpretation ist nicht notwendig.

Die Stärken eines KNN liegen in der „Lernfähigkeit“ und damit der Übertragbarkeit eines erstellten Modells auf weitere Prozesse. Das grundsätzliche Netzwerk bleibt dabei erhalten, jedoch muss das zu „erlernende“ Wissen für jede Teileserie neu erworben werden. Ein KNN kann anhand des minimal notwendigen Lernaufwandes bewertet werden.

Konzeption und Konstruktion des Werkzeugsystems

Die Trainingsdaten zum Anlernen der KNN werden anhand von Gesenkschmiedeversuchen mit einem geeigneten Musterbauteil ermittelt. Neben der Auslegung und

Fertigung eines geeigneten Werkzeuges müssen Sensoren zur Signalaufnahme in die Presse integriert werden. Zur Durchführung der Versuchsreihen wurde ein Werkzeugsystem für präzisionsgeschmiedete Zahnräder konstruiert, das auf einer Kupplungsspindelpresse der Firma Siempelkamp® Typ SPS 800 integriert wurde. Die Presse verfügt über eine Nennkraft $F_N = 8.000 \text{ kN}$ und kann mit zwei verschiedenen Stößelgeschwindigkeiten ($v = 250$ und 500 mm/s) betrieben werden. Die Geometrie der geschmiedeten Zahnräder wurde nach DIN 58400 als Stirnrad mit Evolventenverzahnung ausgelegt, so dass die qualitätsrelevanten Merkmale der Bauteilgeometrie gemäß Abbildung 2 in einem nachgeschalteten Messverfahren erfasst werden konnten. Die genauen Abmessungen des Rohteils sowie die festgelegten Geometriedaten des Stirnrades lassen sich Abbildung 4 entnehmen.



Rohteil		
Durchmesser	D	32 mm
Höhe	H	34,625 mm

Zahnrad		
Normalmodul	m	2,5
Teilkreisdurchmesser	d	43,00 mm
Fußkreisdurchmesser	d_f	36,77 mm
Kopfkreisdurchmesser	d_k	47,98 mm
Eingriffswinkel	α	20°
Zahnradbreite	b	20 mm
Zähnezahl	z	16

Abbildung 4: Rohteil und Zahnrad mit Geometriedaten

Als Werkstoff wird der Werkzeugstahl 1.7131 (16MnCr5) eingesetzt. Dieser Einsatzstahl wird zur Herstellung von hochbeanspruchten und verschleißfesten Bauteilen verwendet.

Auf Grundlage des herzustellenden Werkstücks lässt sich die Geometrie von Stempel, Matrize, und Gegenstempel des Werkzeugsystems ableiten. Bei der Auslegung dieser formgebenden Bauteile müssen die verschiedenen Bereiche der Zahnräder mit ihren unterschiedlichen Schrumpfmaßen berücksichtigt werden. Hierzu wurde mit Hilfe der Konstruktionssoftware RUSCHKO, unter Berücksichtigung

der geplanten Schmiedetemperatur ($T = 1200\text{ °C}$), eine Profilkorrektur der Matrizenverzahnung vorgenommen.

Zur Messung des Schmiedetemperaturverlaufs während des Umformvorgangs werden in der Matrice und in der entsprechenden Armierung (Schrumpfring) Bohrungen für einen Temperaturfühler eingebracht. Der Abstand des Bohrlochs von der formgebenden Matrizenkontur beträgt hierbei 1 mm. Zusätzlich werden für eine einfache Ausrichtung des Armierungsverbundes bei der Montage sowohl auf der Matrice als auch auf dem Schrumpfring Referenzmarken angebracht (Abbildung 5).

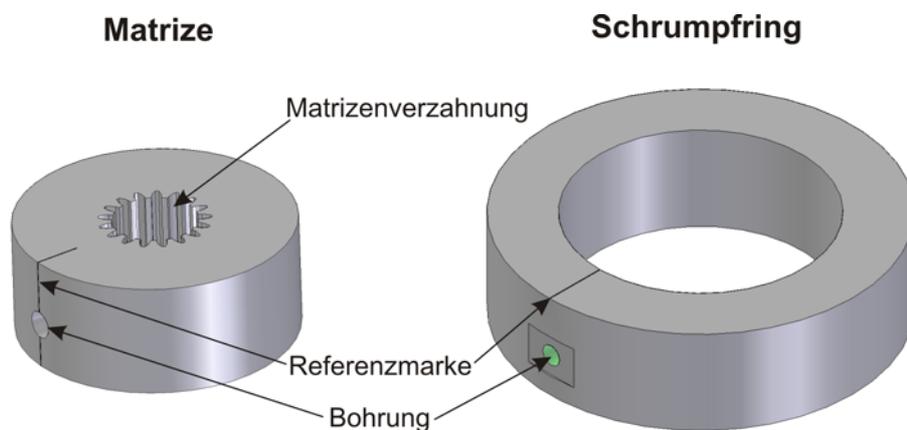


Abbildung 5: Matrice und Schrumpfring mit Bohrungen und Referenzmarken

Um eine exakte Führung des Zahnradstempels zur armierten Matrice sicherstellen zu können, wird das Werkzeugsystem aus einem Ober- und einem Unterwerkzeug mit einem Säulenführungsgestell gefertigt (Abbildung 6).

Das eingesetzte Gestell ermöglicht neben einer exakten Positionierung des Oberwerkzeugs im Bezug zum Unterwerkzeug den einfachen Einbau des Werkzeugs in den Pressenraum. Das Oberwerkzeug besteht aus einem zweistufigen Plattensystem (obere Zwischenplatte und obere Gesenkplatte), das zur Aufnahme der Aufnahmehülsen für die Führungssäulen, dem oberen Stempel und einer Kraftmessdose dient. Die Kraftmessdose ist mit der zentralen Datenerfassungseinheit (PC) verbunden. Die armierte Pressmatrice ist federnd gelagert. Die Auswerfervorrichtung des Werkzeugsystems ist in der unteren Zwischenplatte eingebaut. Das Auswerfersystem ist direkt mit dem Gegenstempel gekoppelt, wobei der eingesetzte Adapter gleichzeitig als Führung für die Tellerfedersäule dient.

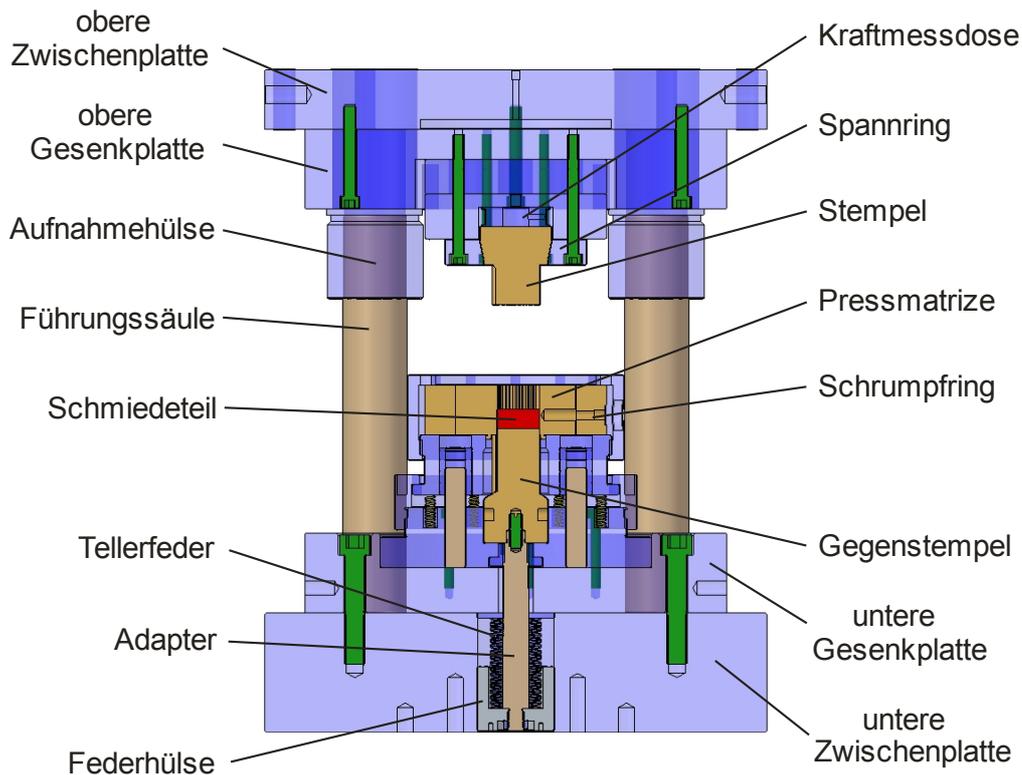


Abbildung 6: CAD-Querschnitt des Werkzeugsystems

Im Umformwerkzeug und an der Umformmaschine sind unterschiedliche Sensoren zur Kennwertaufnahme integriert bzw. installiert (Abbildung 7).

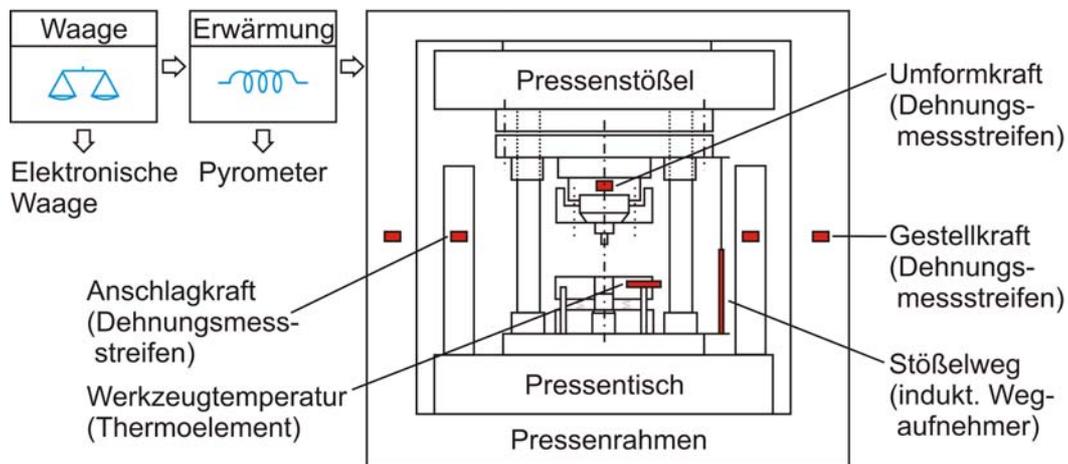


Abbildung 7: Schematische Darstellung des gesamten Versuchsaufbaus

Neben der Rohteilmasse, der Rohteiltemperatur nach der Erwärmung und der Einlegezeit werden maschinenseitig Kennwerte für das Training des KNN aufgenommen. Die Werkzeugtemperatur wird mit einem Thermoelement erfasst und mit einem Messrechner aufgezeichnet. Die Messung der Umform-, Anschlag- und

Gestellkraft erfolgt mittels Dehnungsmessstreifen. Der Stößelweg wird mit einem induktiven Wegaufnehmer aufgezeichnet, so dass der Umformweg und anschließend zusammen mit der Umformkraft die Umformenergie berechnet werden kann. Im Anschluss an die durchgeführten Versuche werden die abgekühlten Bauteile auf einer 3D-Koordinatenmessmaschine vermessen.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Werkzeug für die Herstellung von präzisionsgeschmiedeten Zahnrädern konstruiert. Das Werkzeug wurde speziell für den vorliegenden Anwendungsfall angepasst und dient zur Durchführung von Schmiedeversuchen bei denen die Prozessparameter aufgenommen werden. Nach dem Umformprozess wurden die geschmiedeten Bauteile auf einer 3D-Koordinatenmessmaschine vermessen. Dadurch können die Zahnräder in Gut- und Schlechteile unterschieden werden. Die gemessenen Prozessparameter sowie die Ergebnisse der Bauteilvermessung dienen als Trainingsdaten für ein Künstliches Neuronales Netz. Das Ziel des Projektes ist die Identifizierung von Ausschussteilen und Anpassung der Pressenparameter direkt nach dem Umformprozess durch Messung weniger Prozessdaten.

Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen des Forschungsprojekts „Bildung eines Prozessmodells für die Qualitätsüberwachung beim Gesenkschmieden durch den Einsatz Künstlicher Neuronaler Netze“ am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover (LUH). Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

Literatur:

- [1] Geiger, R.: *Prozessregelung und Prozessüberwachung in der Kaltumformung, Neuere Entwicklungen in der Massivumformung*, Stuttgart, 28.-29.05.1991, S.229-275

- [2] Behrens, B.-A.: *Entwicklung eines automatisierten Präzisionsschmiedeprozesses mit integrierter Qualitätsprüfung*, Fortschr.-Ber., VDI-Reihe 2, Nr. 445 VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997
- [3] Scheljaskov, S.: *Current Level of Development in Warm Forging Technology*, Journal of Materials Processing Technology 46, 1994, S. 3-18
- [4] Kühne, L.: *Entwicklung eines universellen Überwachungs- und Diagnosesystems für Fertigungseinrichtungen*, Dissertation, RWTH Aachen, 1985
- [5] Brüggemann, K.: *Methoden des Qualitätsmanagements beim Gesenkschmieden*, Fortschr.-Ber. VDI-Reihe 2, Nr. 432, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und promovierte am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) in Hannover. Seit Oktober 2003 ist er Leiter des IFUM der Leibniz Universität Hannover.

Dipl.-Ing. Klaus-Georg Kosch studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover. Seit Ende 2009 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Massivumformung am IFUM.

Dipl.-Ing. Timur Yilkiran studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover. Seit Ende 2009 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Massivumformung am IFUM.

Dipl.-Ing. Conrad Frischkorn studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover. Seit Mitte 2010 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Massivumformung am IFUM

*Korrespondenzautor:

Dipl.-Ing. Klaus-Georg Kosch
Abteilung Massivumformung
Tel: 0511-762 2168, Fax: 0511-762 3007
kosch@ifum.uni-hannover.de