

## Monitoring Forging Processes by Use of Electric Current

An early detection of defects in forging processes offers economic benefits. For example, workpieces that are forged incorrectly can be discharged from the process chain immediately and thus do not cause additional process costs, i. e. in a subsequent heat treatment. The development of a novel process monitoring using electrical current allows the identification of forging defects and underfillings.

# Überwachung von Schmiedeprozessen mit elektrischem Strom

Dipl.-Wirt.-Ing. Andreas Krause,  
Dipl.-Ing. Jan Langner,  
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Nemitz M. Eng.,  
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Hannover und  
Steffen Regber, Witten

Eine frühzeitige Erkennung von Fehlern im Schmiedeprozess bietet wirtschaftliche Vorteile. Einerseits ermöglicht dies die sofortige Optimierung des Prozesses, andererseits können beispielsweise fehlerhafte Schmiedestücke aus der weiteren Prozesskette ausgeschleust werden und verursachen keine Kosten in den nachgelagerten Prozessen wie etwa in einer anschließenden Wärmebehandlung. Die Entwicklung einer neuartigen Prozessüberwachung mittels elektrischen Stroms ermöglicht die Identifikation von Schmiedefehlern und mangelnder Formfüllung.

Eine verlässliche, prozessintegrierte Erkennung von Prozess- und Werkstückqualität ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vorteilhaft. In der Vergangenheit wurden viele verschiedene Konzepte entwickelt, um die Qualität von Prozess und Werkstück innerhalb eines Schmiedeprozesses zu bestimmen. Doege entwickelte ein System, welches mit optoelektrischen Sensoren Schmiedeprozesse, Schmiedewerkzeuge und Bauteileigenschaften analysiert [Doe92]. Die Untersuchungen wurden an Maschinen durchgeführt und die Qualität konnte nur indirekt bestimmt werden. Behrens hat ein Messwertfassungs- und -diagnosesystem in einen automatisierten Präzisionsschmiedeprozess integriert [Beh97]. Dieses System kann über die Analyse rele-

vanter Prozessparameter Rückschlüsse auf die Qualität der geschmiedeten Bauteile geben. Fehlerhafte Bauteile können somit aussortiert werden, jedoch konnte keine unmittelbare Aussage über die Formfüllung gegeben werden. Die Analyse von akustischen Emissionen führte Kong durch [Kon02]. Dieses System ist in der Lage, die Lebensdauer von Umformwerkzeugen zu bestimmen, aber nur in der Kaltumformung anwendbar.

### Prinzip der Überwachung mit elektrischem Strom

Im Projekt „Intelligente Schmiedewerkzeuge zur Fehlerreduktion in der Massivumformung“ hat das Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) zwei unterschiedliche

Arten der Prozessüberwachung mit Hilfe von elektrischem Strom untersucht. Zum einen wurde das von Wesnigk [Wes04] vorgestellte Konzept zur Umsetzung einer Fehleridentifikation genutzt, mit der beispielsweise Einlegefehler oder eine falsche Pressenkinematik erkannt werden können [Kra12a, Kra12b]. Zum anderen wurde eine Formfüllungsidentifikation entwickelt, die in einem bestimmten Bereich des Gesenks überwacht, ob das Schmiedestück Kontakt zum Gesenk hat.

Beide Systeme arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip: Zur Umsetzung der Fehleridentifikation wird das Obergesenk elektrisch zum Pressenrahmen isoliert und eine Spannung zwischen Unter- und Obergesenk angelegt. Die

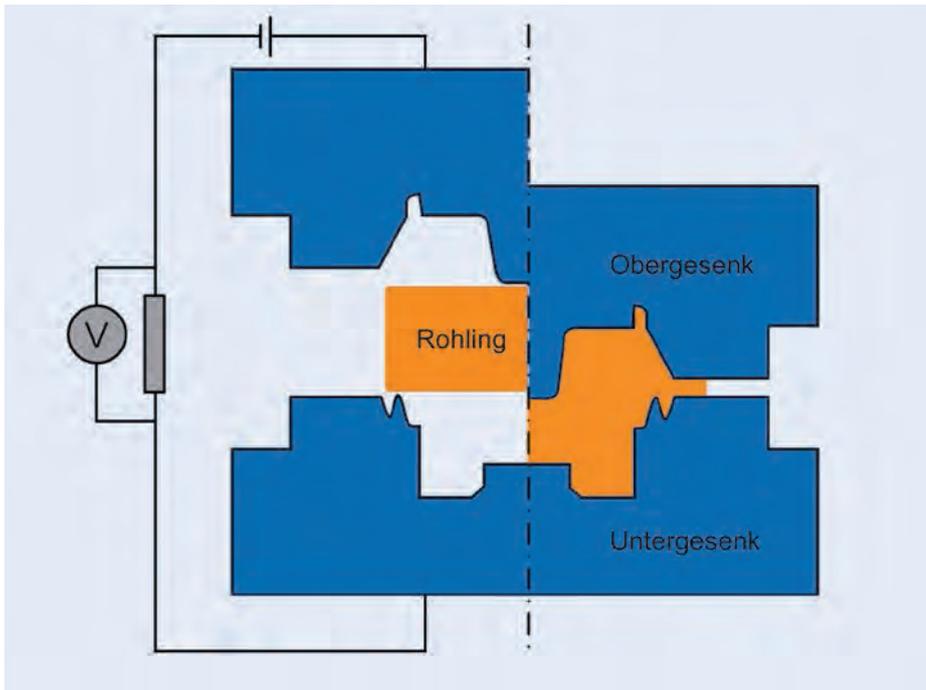


Bild 1: Prinzip der Formfüllungsidentifikation (linke Bildhälfte: offenes Gesenk, rechte Bildhälfte: geschlossenes Gesenk).

Isolation verhindert einen Stromfluss über den Pressenrahmen. Sobald das Obergesenk nach unten fährt und Kontakt zum Schmiedestück entsteht, fließt ein elektrischer Strom und über einen in Reihe geschalteten Messwiderstand kann der Spannungsabfall gemessen werden, welcher charakteristisch für den entsprechenden Prozess ist.

Zwischen der Elektrode und dem Gesenk wird eine elektrische Spannung angelegt (Bild 1). Durch die Isolation ist der Stromkreis unterbrochen – sobald das Schmiedestück an der Elektrode anliegt, kann jedoch Strom fließen und über einen in Reihe geschalteten Messwiderstand der Spannungsverlauf gemessen werden.

Bei der Formfüllungsidentifikation wird eine Elektrode an eine Position im Gesenk eingebracht, die erst zum Ende des jeweiligen Umformprozesses vom Schmiedestück erreicht wird und somit formfüllungskritisch ist. Diese Elektrode wird zum Gesenk elektrisch isoliert.

Im IPH konnten mit beiden Systemen erfolgreich Versuchsschmiedungen durchgeführt werden. Hierzu wurde ein von der Press- und Zerspanungstechnik Witten GmbH & Co. KG (PZW) zur Verfügung gestelltes Gesenk zur Herstellung eines Kupplungsflansches genutzt.



Bild 2: Geometrie und Einbau der Kegelemente.

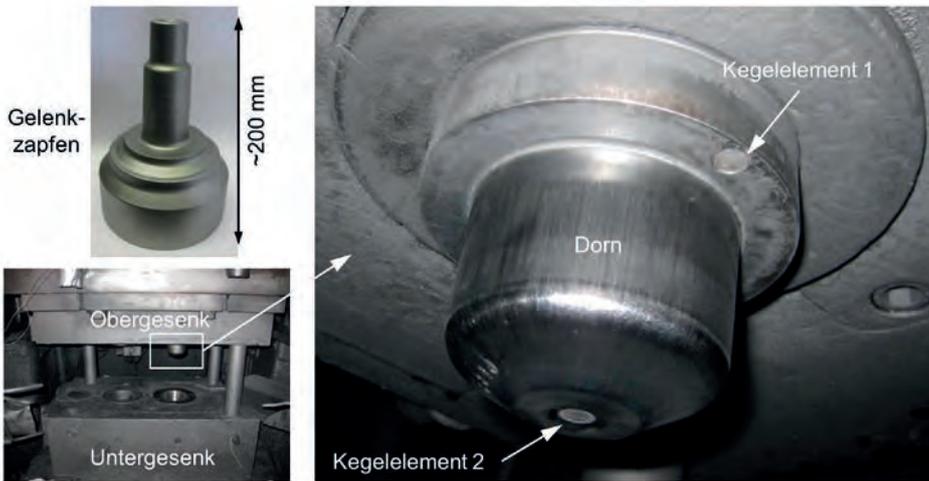


Bild 3: Gelenkzapfen und entsprechendes Schmiedegesenk mit Kegelelementen.

Um die Eignung von Fehler- und Formfüllungsidentifikation in industriellen Schmiedeprozessen zu validieren, wurden Umformversuche mit beiden Konzepten bei PZW und anschließend mit dem Konzept zur Identifikation der Formfüllung bei der Hirschvogel Eisenach GmbH auf mechanischen Umformaggregaten durchgeführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen bei PZW beschrieben.

### Industrieller Einsatz der Überwachung

Im Rahmen der Versuche in der Forschungsstelle IPH erwies sich die vollständige Isolation des Obergesenks als stetiges Problem, da aufgrund der großen und ungleichmäßigen Isolationsfläche immer wieder elektrischer Kontakt durch Schmutzpartikel oder Graphit hergestellt wurde. Insgesamt ist somit eine großflächige Isolation des Obergesenks schwer umsetzbar. Eine Isolation des Untergesenks ist jedoch noch anspruchsvoller, da aufgrund der Auswerfer zusätzlich bewegliche Elemente hinzukommen. Daher wurde für die Umsetzung der Fehleridentifikation bei PZW

das Prinzip des Elektrodenaufbaus von der Formfüllungsidentifikation auf die Fehleridentifikation übertragen. Im Gegensatz zum Einsatz als Formfüllungsidentifikation wird die Elektrode an eine Stelle im Gesenk eingebracht, die beim Herunterfahren des Obergesenks als erstes Kontakt zum Werkstück hat. Als Spannungsquelle wird eine Gleichstrombatterie mit einer elektrischen Spannung von 1,5 V genutzt. Der Messwiderstand, über dem die Spannungssignale aufgezeichnet werden, besitzt einen Widerstand von 1 kΩ damit der größte Teil der Spannung bei einem geschlossenen Stromkreis hierüber abfällt.

Die elektrisch isolierten Elektroden sind in Form eines an der Spitze abgeflachten 90°-Kegels ausgeführt (Bild 2, oben links), da mechanische Spannungen somit gut in das Gesenk geleitet werden können. Diese Kegelelemente wurden an der Mantelfläche mit einer elektrisch isolierenden Beschichtung versehen, wodurch die Isolation zum Gesenk gegeben ist. Als Beschichtung wurde die Keramik AlTiO genutzt, die in Gesprächen mit Fachleuten aus

der Branche als geeignet für diesen Anwendungsfall beschrieben wurde. Nach der Beschichtung wurde ein isolierter Draht an die Spitze des Kegels gelötet oder geschweißt und anschließend das Kegelelement in das Gesenk eingebaut. Zusätzlich wurden Versuche mit einem Kegelelement aus einer Vollkeramik mit Loch zum Herausführen eines Drahts durchgeführt. Diese Elemente wurden jedoch bereits im ersten Umformprozess zerstört und weisen somit keine Eignung für den Anwendungsfall auf.

Für die Validierung der Konzepte bei PZW wurde ein Gelenkzapfen ausgewählt, bei dem die Kegelelemente in ebene Flächen eingebracht werden können (Bild 3). Der Gelenkzapfen wird in zwei Stufen umgeformt, wobei die Vorformstufe hier nicht weiter betrachtet wird, da Fehler- sowie Formfüllungsidentifikation nur in der Fertigform relevant sind. In Bild 3 ist das eingebaute Werkzeug mit Ober- und Untergesenk in der Presse zu sehen. Im Obergesenk sind die beiden Kegelelemente zu erkennen. Kegelelement 1 wird für die Formfüllungsüberwachung genutzt, da hier erst am Ende des Umformprozesses das Material die Gravur füllt. Kegelelement 2 ist am Dorn des Obergesenks eingebracht. An dieser Stelle kommt der erste Kontakt zwischen Obergesenk und Schmiedestück zustande. Dieser Kontakt bleibt über die gesamte Prozessdauer bis zum Hochfahren des Obergesenks bestehen.

Die Spannungsverläufe beider Kegelelemente sind in Bild 4 dargestellt, wobei die Spannung am jeweiligen Messwiderstand (Ordinate) über der Zeit (Abszisse) dargestellt ist. Beide Spannungen liegen zu Beginn bei 0 V. Nach etwa 1,8 Sekunden steigt die Spannung bei Kegelelement 1 auf über 1,3 V an und geht danach in einen flachen Abstieg über. Der Spannungsanstieg ist auf das Graphitieren des Dorns zurückzuführen. Das Schmiermittel fungiert als elektrischer Leiter und über dem Messwiderstand ist entsprechend eine Spannung messbar. Das Wasser des Schmiermittels verdampft aufgrund der Temperatur des Obergesenks anschließend langsam und der elektrische Widerstand zwischen Obergesenk und Kegelelement 1 erhöht sich dadurch proportional. Das hat zur Folge, dass die über dem Messwiderstand abfallende Spannung sinkt.

Nach etwa 3,8 Sekunden steigt das Spannungssignal erneut an und erreicht einen Wert von über 1,4 V. Zu diesem Zeitpunkt entsteht der Kontakt zwischen Obergesenk und Werkstück, wodurch das Werkstück den Kontakt zwischen dem Kegelelement 1 und dem Dorn herstellt. Der elektrische Widerstand in diesem System ist gering und der größte Teil der angelegten Spannung von 1,5 V fällt über den Messwiderstand ab. Dieser Kontakt bleibt über die gesamte Umformdauer erhalten und verweilt zirka 0,2 Sekunden

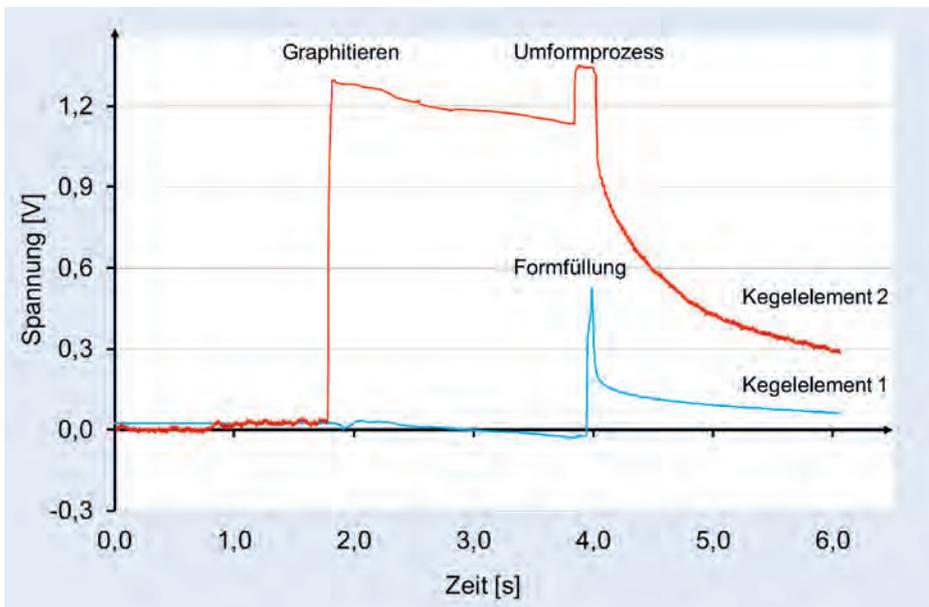


Bild 4: Aufgezeichnete Spannungsverläufe für Kegelelement 1 und 2.

Bilder: Autoren

annähernd konstant auf dem Wert von 1,4 V. Anschließend fällt die Spannung schlagartig ab, da das Obergesenk wieder aufwärts fährt und der elektrische Kontakt zwischen Dorn und Kegelement unterbrochen wird.

Das Spannungssignal von Kegelement 1 steigt nach dem Graphitieren nicht an, weil an dieser Stelle kein Schmiermittel aufgebracht wurde. Erst nach etwa 3,9 Sekunden ist ein plötzlicher Spannungsanstieg auf ungefähr 0,5 V zu erkennen. Zeitlich liegt dies kurz vor dem Abfall des Spannungssignals an Kegelement 1, also am Ende des Umformprozesses. Das Spannungssignal an Kegelement 2 gibt somit die Information, dass das Schmiedestück am Kegelement anliegt und dadurch ein elektrischer Kontakt zwischen Kegelement und Gesenk besteht. Am Schmiedestück kann die Formfüllung zudem visuell nachgewiesen werden, da beide Kegelemente als Abdrücke am Werkstück zu erkennen sind. Direkt nach dem Anstieg fällt die Spannung wieder auf 0 V ab, da der Kontakt nur kurz andauert. Beide Spannungssignale zeigen somit den erwarteten Verlauf und bestätigen die Funktion

von Fehler- und Formfüllungsidentifikation. Die entwickelten Kegelemente konnten in der Validierung jedoch keine ausreichenden Standzeiten aufweisen.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Funktion von Fehler- und Formfüllungsidentifikation konnte unter industriellen Bedingungen validiert werden. Am IPH wurde in vorangegangenen Untersuchungen ermittelt, dass die Fehleridentifikation geeignet ist, beispielsweise eine falsche Pressenkinematik oder eine falsche Rohlingtemperatur zu erkennen. Die Formfüllungsidentifikation erkennt, ob an einer definierten Stelle des Gesenks das Schmiedestück während der Umformung anliegt. Zusätzlich scheint eine Ermittlung der Breite der Schmiermittelschicht vor dem Schmieden anhand der Höhe der elektrischen Spannung vor dem Schmiedeprozess umsetzbar. Die wesentliche Begrenzung beider Systeme im industriellen Einsatz sind die jeweiligen Standzeiten. Das IPH und der Industrieverband Massivumformung e.



Dipl.-Wirt.-Ing.  
Andreas Krause



Dipl.-Ing.  
Jan Langner



Prof. Dr.-Ing.  
Bernd-Arno Behrens



Dipl.-Ing. (FH)  
Matthias Nemitz,  
M. Eng.



Steffen Regber

## Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 17009 N der Forschungsvereinigung Stahlverformung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

## Literatur

[Beh97] Behrens, B.-A.: Entwicklung eines automatisierten Präzisions schmiedeprozesses mit integrierter Qualitätsprüfung. Universität Hannover, Diss., 1997.

[Doe92] Doege, E.; Schomaker, K.-H.; Brendel, T.: Sensors and Diagnostic Systems in Forming Machines. In: CIRP Annals – Manufacturing Technology, vol. 41 (1992), Issue 1, pp. 323-326.

[Doe10] Doege, E.; Behrens B.-A.: Handbuch Umformtechnik. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin u. a., 2010.

[Kon02] Kong, L. X.; Nahavandi, S.: On-line tool condition monitoring and control system in forging processes. In: Journal of Materials Processing Technology, Volumes 125-126, 9 September 2002, pp. 464-470.

[Kra12a] Krause, A., Stonis, M., Behrens, B.-A.: Sensorlose Prozessüberwachung von Schmiedeprozessen. In: MEFORM 2012 – Werkstofftechnologie und Umformtechnik, 28.-30. März 2012, Freiberg, S. 191-201.

[Kra12b] Krause, A., et. al.: Intelligenz ersetzt Sensoren. In: Umformtechnik, Meisenbach Verlag, 46. Jg. (2012), H. 2, S. 28-29.

[Wes04] Wesnigk, T.: Sensorlose Prozessüberwachung beim Gesenkschmieden. Universität Hannover, Diss., 2004.