

Automatisierte Prozesssteuerung auf Basis eines Retrofit an einer Spindelpresse

Prozesssteuerung durch den Retrofit einer Spindelpresse

N. Doede, M. Kriwall, M. Stonis, B.-A. Behrens

In dem Forschungsprojekt „AutoPress“ streben das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH und die Jobotec GmbH gemeinsam die Entwicklung einer automatisierten Prozesssteuerung von Spindelpressen an. Durch den Retrofit und die Anwendung eines Optimierungsalgorithmus sollen der Energiebedarf gesenkt und die Bauteilqualität gesteigert werden.

STICHWÖRTER

Digitalisierung, Umformtechnik, Produktionstechnik

Process control through the retrofit of a screw press

In the research project “AutoPress”, the IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH and Jobotec GmbH are jointly striving to develop an automated process control of screw presses. By retrofitting and applying an optimization algorithm, the energy demand is to be reduced and the component quality increased.

1 Einleitung

Die Reduzierung der Druckberührzeit, also der Kontaktzeit zwischen Werkzeug und heißem Werkstück unter Last, gilt als wichtiges Ziel in der Massivumformung. Durch die Reduzierung der Druckberührzeit wird die Lebensdauer der Werkzeuge erhöht [1]. Die Nutzung einer Spindelpresse zur Herstellung von Schmiedeteilen bietet die Vorteile einer kurzen Druckberührzeit und eines großen Energieangebotes [2]. Dem gegenüber steht, dass die Kraft der Spindelpresse nicht eingestellt werden kann [3].

Die kennzeichnende Größe einer arbeitsgebundenen Maschine, zum Beispiel einer Spindelpresse, ist das Arbeitsvermögen. Im konventionellen Betrieb einer Spindelpresse wird das benötigte Arbeitsvermögen zur Umformung anhand von empirischem Wissen des Werkers einstellt [4]. Dies stellt das Schmieden zukünftig vor differente Herausforderungen. Die Empirie zur Einstellung der Anlagen schwindet aufgrund von Renteneintritten als Folge des demografischen Wandels [5]. Zudem erschweren die ergonomisch anspruchsvollen Schmiedearbeitsplätze in Verbindung mit dem Fachkräftemangel den Zugang zu qualifiziertem Personal. Auf technologischer Ebene resultiert aus der manuellen Einstellung der Parameter ein zu hoher Energieeintrag zur Steigerung der Prozesssicherheit. Da der Werker keine Möglichkeit zum Vergleich der benötigten Kraft mit der realen Kraft (vergleiche Kapitel 2) hat, ist eine nachträgliche und exakte Steuerung nur mit Einschränkungen möglich.

Im ZIM (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand)-Vorhaben „Entwicklung eines Nachrüstsysteams für Reibspindelpressen zur (Teil-)Automatisierung und Minimierung der Einrichtzeit und Entwicklung eines Sensorarrays zur erstmaligen Erfassung elementarer Prozessgrößen wie der Umformkraft“,

kurz „AutoPress“, entwickeln die Jobotec GmbH und das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH eine Methode, anhand derer eine direkte und prozessintegrierte Erfassung der Prozessgröße „Kraft“ möglich wird. Durch die Erfassung der Kraft und weiterer elementarer Prozessgrößen soll eine Methode zur automatisierten Prozesssteuerung entwickelt werden. Die Prozessgrößenveränderung soll dabei nach jeder Umformung erfolgen. Durch geeignete Algorithmen sollen die idealen Prozessparameter bestimmt und infolgedessen eine Reduzierung der Pressenbelastung und des Energieverbrauchs angestrebt werden. Dazu wurden zunächst die prozessrelevanten Parameter validiert und industrietaugliche Sensoren zur Erfassung der in Kapitel 3 beschriebenen Parameter bestimmt. Auf Grundlage des erarbeiteten Sensorarrays konnten erste Erkenntnisse durch praktische Versuche erarbeitet werden. Die Verknüpfung der Sensoren innerhalb einer Plattform wird hier als Sensorarray bezeichnet.

2 Ansatz zur Prozesssteuerung und Prozessüberwachung von Spindelpressen

Als Grundlage für praktische Versuche und zur Nutzung der Messeinrichtung im Realbetrieb einer Schmiede muss sichergestellt werden, dass die verwendeten Sensoren entsprechend der Umgebungsbedingungen angepasst sind. Der Einsatz im Umfeld einer Spindelpresse bedeutet unter anderem eine hohe Temperaturbelastung, starke Vibrationen und eine hohe Staublast. Zur Nutzung von Synergien wird im Projekt auf bereits durch den Hersteller im Pressenrahmen verbaute Messeinrichtungen zurückgegriffen. Der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) entnehmbare Signale sind die Position des Stößels, die Messung der überschüssigen Energie, die manuell eingestellte Energie und

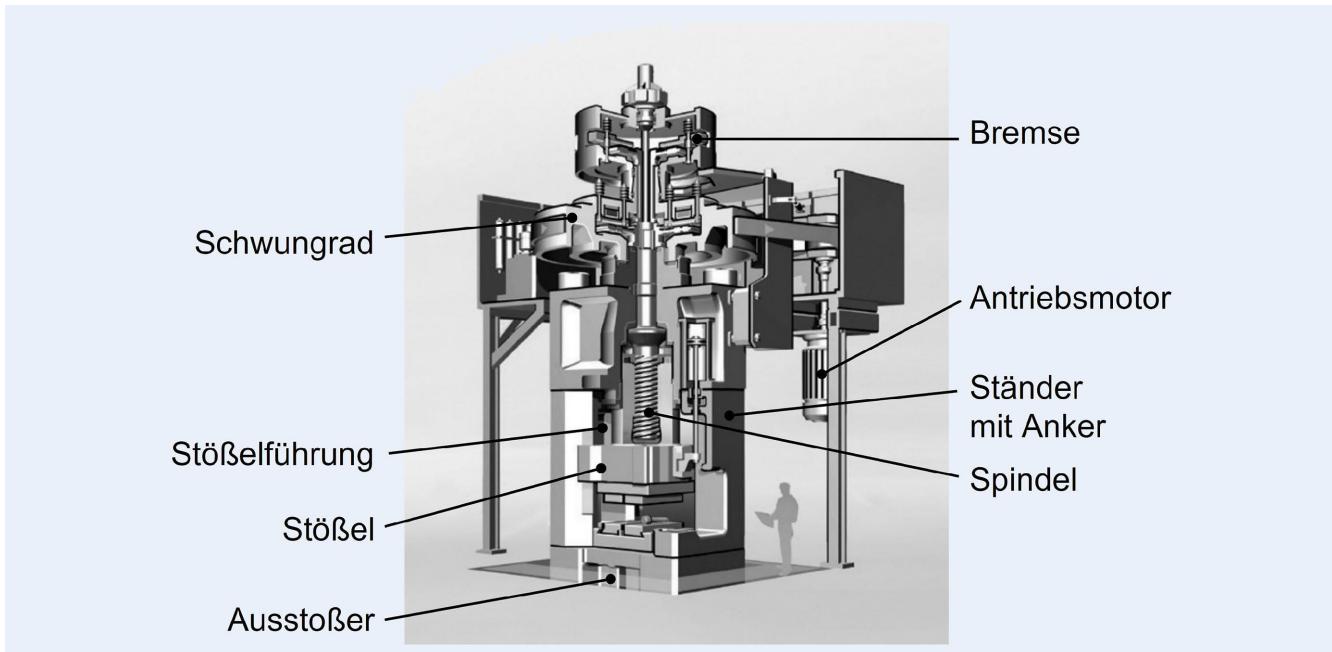


Bild 1. Schnittbild einer Kupplungsspindelpresse. *Grafik: SMS group*

Tabelle. Relevante Einflussparameter auf den Schmiedeprozess nach [4, 8, 9].

Einflussparameter	Kürzel	Basiseinheit	Messwertaufnahme
Werkstoff	-	-	Manuelle Eingabe
Druckberührzeit	s	Sekunde	Wegmesssystem + Widerstandsmessung
Umformweg	mm	Millimeter	Wegmesssystem (verbaut)
Halbzeugtemperatur	°C	Grad Celsius	Pyrometer Hochtemperaturbereich
Gesenktemperatur	°C	Grad Celsius	Pyrometer Niedrigtemperaturbereich
Überschüssige Energie	N	Newton	DMS in Zugankern (verbaut)
Eingebrachte Energie	%	Prozent	Manuelle Eingabe
Kippwinkel	°	Grad	Laserdistanzmessung
Schwungraddrehzahl	min ⁻¹	1/ Minute	Drehzahlmessung (verbaut)
Masse Stößel und Obergesenk	kg	Kilogramm	Manuelle Eingabe
Auftreffgeschwindigkeit	m/s	Meter pro Sekunde	Wegmesssystem + Widerstandsmessung
Reibfaktor	μ	-	Entnahme aus Herstellerangaben

die Drehfrequenz des Schwungrades. **Bild 1** zeigt ein Schnittbild einer Kupplungsspindelpresse.

Durch die Anbindung einer Soft-SPS, ein Softwareprogramm, welches eine herkömmliche SPS nachbildet, werden die Datenbausteine der ursprünglichen Pressensteuerung entnommen, ohne diese zu verändern. Durch die seitens Jobotec geschaffene Schnittstelle können die Daten der Spindelpresse mit neuen Sensorsdaten verknüpft und gebündelt aus der Steuerung entnommen werden. Die verknüpften Daten aus der Soft-SPS sollen mithilfe eines Algorithmus ausgewertet und in die Steuerung zurückgeführt werden. Die Anwendung des plattformunabhängigen Standards zum Datenaustausch „Open Platform Communications Unified Architecture“, kurz OPC UA, stellt die Verbindung der

Soft-SPS zum nachgelagerten Python-Programm beziehungsweise dem zu entwickelnden Algorithmus [6]. Als Herausforderung im Umgang mit bestehenden Steuerungen, im Prozess integrierten Sensoren und Schnittstellen können die Zykluszeiten zur Messwertabfrage gesehen werden. Überschlägig gilt: die Ausführungszeit pro Anweisung beträgt circa 5 µs [7]. Um eine exakte Messwertaufnahme zu gewährleisten, müssen die Messwerte der Soft-SPS mit denen der ursprünglichen Steuerung synchron laufen.

3 Vorstellung der prozessrelevanten Parameter und deren Erfassung

Eine aussagekräftige Prozessüberwachung umfasst die Definition aller prozessrelevanten Parameter. Die literaturbasierte Evaluation der Parameter zeigte, dass eine Erfassung der in der **Tabelle** dargestellten Parameter notwendig ist [2, 8, 9].

Zudem wurde anhand praktischer Versuche der Einfluss weiterer Parameter evaluiert. Exemplarisch wird in Kapitel 4 der Informationsgewinn aus der Halbzeug-/Gesenkwiderstandsmessung dargestellt. Wie in Kapitel 2 beschrieben, ist die Nutzung von Synergien in Bezug auf die gegenwärtigen verbaute Messtechnik vorgesehen. Dazu gehört die Erfassung der überschüssigen Energie durch die Messung der Dehnung in den Zugankern. Weiterhin kann über das verbaute Wegmesssystem der Stößelwegverlauf aufgezeichnet werden. Zur Betrachtung der Korrelation aus der einzubringenden Energie und der Gesenkrespektive Halbzeugtemperatur werden zwei Pyrometer mit unterschiedlichen Temperaturbereichen verwendet. Der Messbereich zur Erfassung der Halbzeugtemperatur beträgt 200 °C – 1500 °C. Für die Erfassung der Gesenktemperatur ist ein Messbereich von 0 °C – 500 °C vorgesehen. Hierbei stellt der Reflexionsgrad von dessen Oberfläche, vor allem bei einem nicht vorgewärmten Gesenk, eine Herausforderung dar. Durch eine zunehmende Nutzung des Gesenkes sinkt der Reflexionsgrad und die Messgenauigkeit steigt [10]. Als Anhaltspunkt einer außermittigen Belastung des Gesenkes kann die Stößelverkippung herangezogen werden. Zur Ermittlung der Umformkraft ist die Anwendung einer Berechnungsformel vorgesehen. Zentral für die Anwendung dieser Berechnungsformel ist die Halbzeugwiderstandsmessung.

4 Ansatz zur Spindelkraftermittlung

Die Messung einer unmittelbar aufgenommenen Spindelpresenkraft ist in einem industriellen Maßstab eine Herausforderung. So wird für die Anzeige der Nutzarbeit respektive der Kraft während der Inbetriebnahme eine einmalige Kennlinie erstellt. Durch das Stauchen von Proben kann der eingestellte Energiewert der eingebrachten Kraft zugewiesen werden [1]. Die Verwendung von Kraftaufnehmern, wie von Schellenberg *et al.* beschrieben, ist wegen der maximal zulässigen Kraft (0 kN – 5 kN) der Sensoren nur für geringe Umformkräfte geeignet [11]. Ursächlich ist hier, dass die Abmaße der Kraftaufnehmer mit steigender Umformkraft zunehmen und so die Dimension des Pressenraumes nicht ausreicht.

Als Grundlage zur Echtzeitberechnung der aufgewendeten Kraft dient die aufgewendete Umformenergie. Für eine vereinfachte Energiebilanz entspricht die Umformenergie der kinetischen Energie abzüglich der Reibverluste (Führung und Spindel) und der überschüssigen Energie, die in das Pressengestell geleitet wird. Die Ermittlung der überschüssigen Energie erfolgt über die kalibrierten Messwerte der DMS (Dehnungsmessstreifen) aus den Zugankern. Zur Ermittlung der Reibverluste wird der durch den Hersteller vorgegebenen Reibwert angenommen. Für die institutseigene Spindelpresse ist ein Reibwert μ von 0,1 vorgegeben. Zur Berechnung der kinetischen Energie bedarf es eines zweiten Formelbestandteils (**Bild 2**).

Durch die Multiplikation der rotatorischen Energie (Schwungrad und Spindel) mit der generierten translatorischen

$$E_{Kin} = \frac{\omega_0^2 \times I_d}{2} + \frac{(m_S + m_W) \times v_0^2}{2}$$

E_{Kin}	in Nm	Kinetische Energie
ω_0	in 1/s	Winkelgeschwindigkeit
I_d	in kg m ²	Massenträgheitsmoment
$m_S + m_W$	in kg	Masse
v_0	in m/s	Geschwindigkeit

Bild 2. Formel zur Berechnung der kinetischen Energie einer Spindelpresse. Grafik: IPH

Energie (aus Stößel und Obergesenk) ergibt sich die kinetische Energie. Die beschriebenen Werte sind durch ein Auslesen der verbaute Messtechnik bekannt. Mithilfe der in Kapitel 5 beschriebenen Widerstandsmessungen lässt sich das Triggersignal zur Messwertaufnahme bestimmen. So ist der Zeitpunkt vor dem Auftreffen des Obergesenks auf der Halbzeugoberfläche genau detektierbar.

5 Validierung der Widerstandsmessungen

Durch praktische Schmiedeversuche sollen die Potenziale einer Widerstandsmessung aufgezeigt werden. Nach Wesnigk kann der Effekt der elektrischen Leitfähigkeit zwischen dem Werkzeug und dem Halbzeug zur Schmiedeprozessüberwachung (Halbzeugtemperatur, Halbzeugposition, Halbzeugschmierung) eingesetzt werden [9]. Dabei lassen sich vor allem Einlegefehler oder unterkühlte Bauteile detektieren.

Weiter konnten Krause *et al.* mit der Widerstandsmessung eine Pressenergie außerhalb eines definierten Toleranzbandes oder eine zu geringe Vorformung nachweisen [12]. In Erweiterung der vorangegangenen Arbeiten definiert sich das Ziel in der Widerstandsmessung dadurch, dass sie zur Ermittlung der Umformkraft und Abweichungen in der Halbzeuggeometrie herangezogen wird. Zur Reduzierung von Fehlinterpretationen dienen die unter Kapitel 3 beschriebenen Sensoren.

5.1 Versuchsaufbau

Zur Validierung eines geeigneten Messaufbaus für die Messung des Widerstandes wurden verschiedene Aufbauten getestet:

- Elektrische Isolierung des Untergesenkes
- Elektrische Isolierung des Untergesenkes mit definierter Überbrückung
- Nicht isolierter Aufbau

Bild 3 zeigt das eingebaute Gesenk mit den eingebauten Sensoren. Weiterhin sind Kabel zu sehen, die den vorderen Bildbereich verlassen. Diese Kabel dienen der Erfassung des Widerstandes.

Als definierte Überbrückung wird das zweite im unteren Bildausschnitt erkennbare Kabel bezeichnet. Dieses verbindet den isolierten mit dem nicht isolierten Bereich und ermöglicht so eine dauerhafte Messung. Weiterhin sind im Obergesenk vier Kraftaufnehmer verbaut, ein Thermoelement „PT100“ und eine Druckluftkühlung (grün). Zur Messwertaufnahme wird ein Uni-

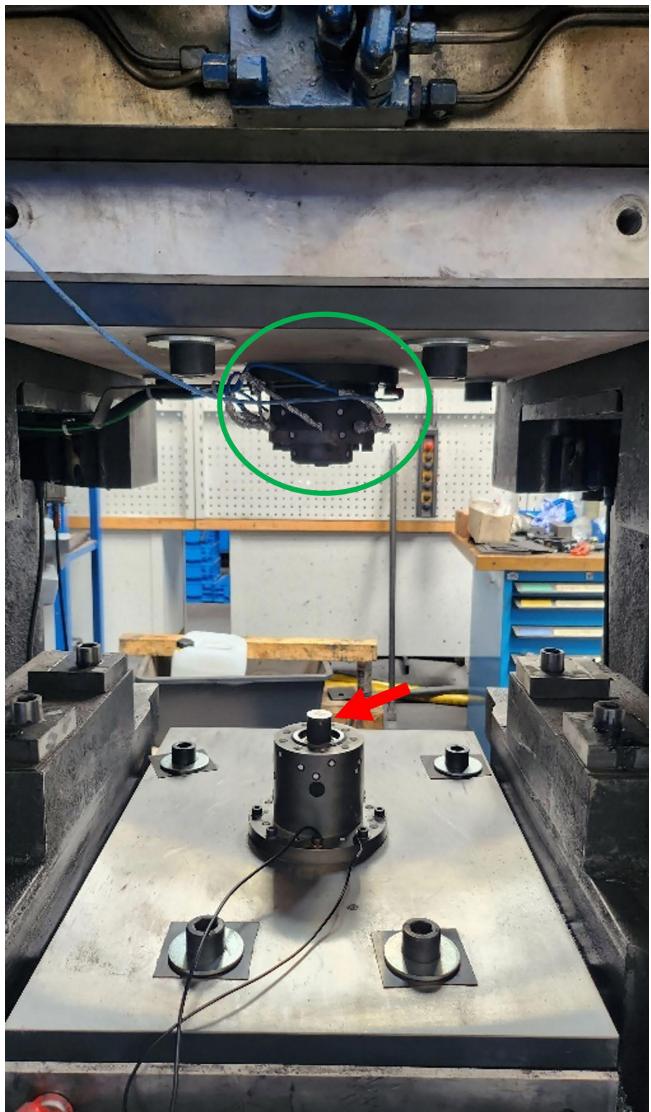


Bild 3. Presseninnenraum mit verbauten Gesenken und Sensoren. Foto: IPH

versalmessverstärker „QuantumX MX840B“ von HBK mit einer Messfrequenz von 4800 Hz verwendet.

5.2 Versuchsdurchführung

Zum Erhalt einer aussagefähigen Datenbasis wurde eine Mindestschmiedeanzahl von 25 Hub/min definiert. Die Halbzeuge aus C45 wurden induktiv auf 1250 °C erwärmt. Das Einlegen der Halbzeuge erfolgte manuell, wodurch ein Einbringen von Positionierungsfehlern nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Überwachung der Halbzeugtemperatur erfolgte über eine Thermografiekamera. Das in Bild 3 dargestellte zylindrische Halbzeug (rot) hat einen Durchmesser von 30 mm und eine Höhe von 38 mm, 40 mm oder 42 mm. Die Umformung wurde mit einer zugeführten Energie von 15 % vom Endwert durchgeführt. Eine weitere Erhöhung der zugeführten Energie war aufgrund der verbauten Kraftaufnehmer nicht möglich.

5.3 Ergebnisdarstellung

Die ersten Versuchsergebnisse zeigten, dass die Nutzung einer Widerstandsmessung zur Generierung von Prozesskennzahlen hinreichend geeignet ist. Dabei wurde zunächst untersucht, welchen Einfluss der Widerstand zwischen Obergesenk, Halbzeug und Untergesenk auf die Versuchsergebnisse hat. Durch die differenten Versuchsaufbauten wurde ersichtlich, dass sowohl die Messung ohne, als auch die Messung mit Isolierung und einer definierten Überbrückung Ergebnisse liefern. Bild 4 zeigt dazu die aufgenommenen Widerstandswerte auf der primären Ordinate und die aufgenommene Kraft auf der sekundären Ordinate. Dargestellt sind beide Achsen über die Zeit. Die Messung des Widerstandes bei vollständiger Isolierung (blaue Linie) konnte keine prozesssicheren Daten liefern.

In Bild 4 lassen sich mehrere reproduzierbar charakteristische Zeitabschnitte erkennen. In Gegenüberstellung zur Kraftkurve zeigt sich, dass vor Beginn der Umformung ein lokaler Peak des Widerstands messbar ist (0,02 s, Position 1). Weiterhin ist auch der Rückhub nach der Umformung durch einen lokalen Peak zu sehen (0,23 s, Position 2). Theoretisch sind somit die beiden dargestellten Messvarianten anwendbar. Das gegenläufige Verhalten der Messwerte nach dem ersten lokalen Peak ist unter anderem durch die prägnanteren Ergebnisse mit Isolierung zu erklären. Eine weiterführende Ursachenforschung ist im weiteren Projektverlauf vorgesehen.

Darüber hinaus gilt es abzuwagen, ob die prägnanteren Messergebnisse den höheren Vorbereitungsaufwand durch die Verwendung einer Isolierung rechtfertigen. Im Rahmen der hier vorgestellten Ergebnisse wird im weiteren Projektverlauf auf eine Isolierung mit definierter Überbrückung zurückgegriffen. Durch den zu Beginn der Umformung angezeigten Ausschlag besteht zum gegenwärtigen Stand der Forschung nur die Möglichkeit eine qualitative Aussage zur Halbzeughöhe zu treffen. Gemäß Bild 5 verlagert sich der Start der Druckberührungen mit zunehmender Bauteilhöhe in Richtung der Ordinate. Eine Aussage zur Halbzeughöhe kann für eine Qualitätsüberwachung herangezogen werden.

Für eine weiterführende Betrachtung wird die Halbzeughöhe von 38 mm mit der entsprechenden Referenzkraft herangezogen. Es zeigt sich, dass die Ausschläge der Widerstandsmessung der Kennlinie für die Kraft vor- respektive nachgelagert sind. Ursächlich ist hier das Verhalten des Versuchsaufbaus als elektrischer Schalter [13]. Neben der logischen Zustände null für AUS (kein Strom fließt) und eins für EIN (Strom fließt), weist ein elektrischer Schalter ein Einschaltprellen und ein Ausschaltprellen auf. Diese sind dem eigentlichen Schalten vor- respektive nachgelagert. Gleches gilt für die durchgeführten Schmiedeversuche. Durch die entstehenden signifikanten Messausschläge wird eine automatisierte Auswertung der Signale vereinfacht. Eine Bestimmung des Triggersignals, der Halbzeughöhe, der Druckberührzeit (0,21 s für 38 mm) und weiterer Parameter lässt sich durch eine Widerstandsmessung umsetzen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Für die automatisierte Prozesssteuerung einer Spindelpresse ist eine umfassende Messung relevanter Parameter von großer Bedeutung. Vor allem die für den Umformprozess aufgewendete Kraft ist eine elementare Prozessgröße. Mit dem Projekt „Auto-

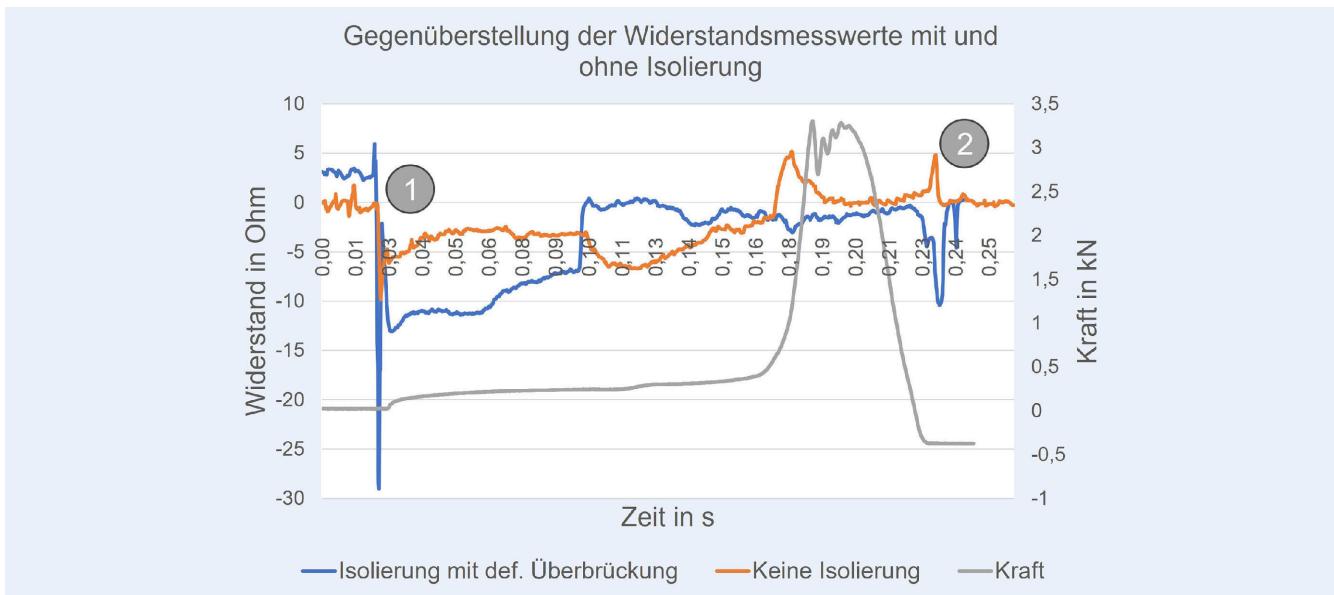


Bild 4. Gegenüberstellung von Widerstandsmesswerten mit einer aufgenommenen Referenzkraft. Grafik: IPH

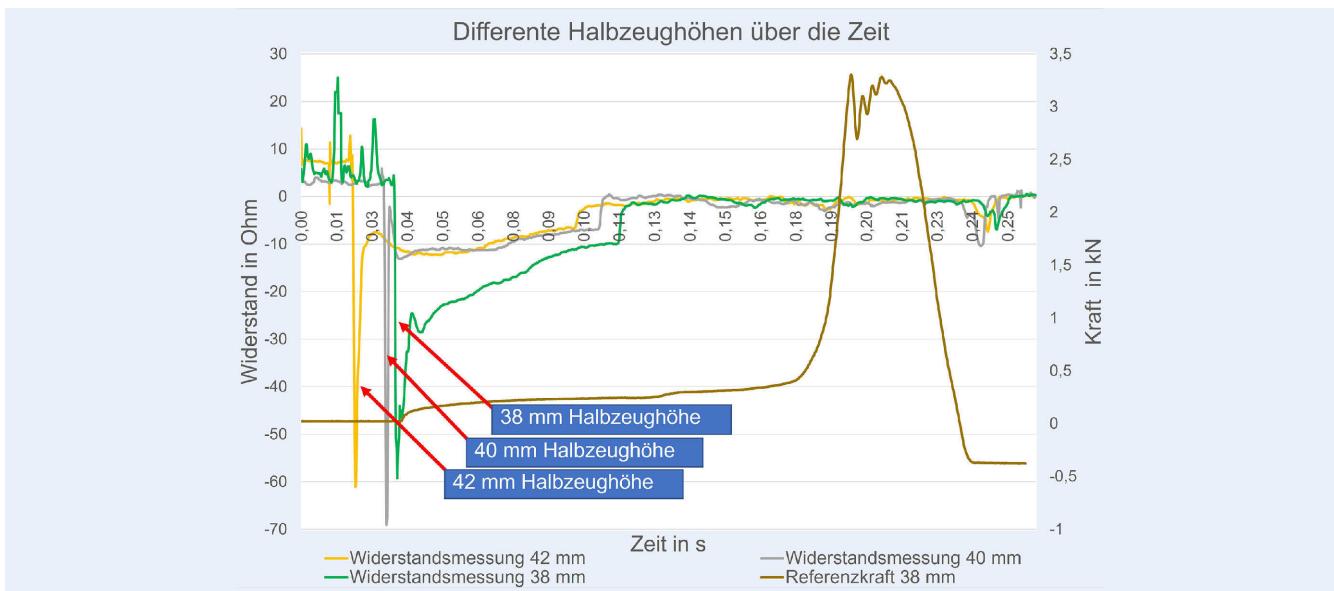


Bild 5. Darstellung differenter Halbzeughöhen über die Zeit. Grafik: IPH

Press“ soll eine direkte Erfassung der Umformkraft erforscht und als Teil einer automatisierten Prozesssteuerung genutzt werden. Dazu wurde ein Sensorarray entwickelt und durch eine OPC UA-Schnittstelle verknüpft.

In den Versuchen des IPH wurden erste Erkenntnisse zum Sensorkonzept gewonnen und vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine prozessintegrierte Halbzeug- beziehungsweise Gesenk-widerstandsmessung möglich ist. Aus den Widerstandsmessungen ergeben sich verschiedene Potenziale, wie die qualitative Ermittlung der Halbzeughöhe oder die Druckberührzeit.

Zukünftig werden die Ergebnisse der Messungen vereint, ausgewertet und mithilfe eines Algorithmus Empfehlungen zur Prozesssteuerung ausgesprochen. Zukünftig ist die Implementierung eines Qualitätstools geplant, welches anhand definierter Regeln mögliche Prozessfehler aufzeigt.

FÖRDERHINWEIS

Das ZIM-Vorhaben KK500440JF1 wird über die AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen) im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] Yirkian, T.; Behrens, B.-A.; Buchmayr, B.: Maßnahmen zur Reparatur und Lebensdauererhöhung von Schmiedewerkzeugen. Schmiede-Journal (März 2012), S. 52–57
- [2] Dietrich, J.: Praxis der Umformtechnik. Wiesbaden: Springer-Verlag 2018, S. 321 ff.

- [3] Lange, K.; Meyer-Nolkemper, H.: Gesenkschmieden. Berlin: Springer-Verlag 1977, S. 277–278
- [4] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik. Heidelberg: Springer-Verlag 2016
- [5] Buck, H.; Kistler, E.; Mendius, H.: Demographischer Wandel in der Arbeitswelt: Chancen für eine innovative Arbeitsgestaltung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2002
- [6] Muniraj, S.; Xu, X.: An Implementation of OPC UA for Machine-to-Machine Communications in a Smart Factory. Procedia Manufacturing 53 (2021), pp. 52–58
- [7] Ay, C.: Arbeits- und Funktionsweise einer SPS. Internet: www.sps-lehrgang.de/funktionsweise-arbeitsweise-sps. Zugriff am 20.09.2023
- [8] Schleinitz, A.; Sewohl, A.; Schlegel, H.: Detection of the Force Distribution Close to the Effective Site in Forming Machines for a Force Control. IEEE 7th International Conference on Control, Mechatronics and Automation ICCMA, 2019, pp. 216–220
- [9] Wesnigk, T.: Sensorlose Prozessüberwachung beim Gesenkschmieden. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum GmbH 2004
- [10] Wigger, S.: Charakterisierung von Öl- und Kraftstoffschichten in der Kollengruppe mittels laserinduzierter Fluoreszenz. Universität Duisburg-Essen 2014
- [11] Schellenberg, D. et al.: Reststandmenge von Schmiedewerkzeugen punktgenau prognostizieren. Stahl + Eisen (2021) 08, S. 51
- [12] Krause, A.; Langner, J.; Nemitz, M. et al.: Überwachung von Schmiedeprozessen mit elektrischem Strom. Schmiede-Journal (September 2013) 2, S. 54–57
- [13] Niayesh, K.; Runde, M.: Power Switching Components. Wiesbaden: Springer-Verlag 2017



N i l s D o e d e , M. Eng.
Foto: IPH

Dipl.-Ing. M a r e i l e K r i w a l l

Dr.-Ing. M a l t e S t o n i s

Prof. Dr.-Ing. B e r n d - A r n o B e h r e n s

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover
gemeinnützige GmbH
Hollerithallee 6, 30419 Hannover
Tel. +49 511 / 27976-339
doede@iph-hannover.de
www.iph-hannover.de

L I Z E N Z



Dieser Fachaufsatzz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)