

Design of Forging Process Chains – A New Approach to Modeling and Software Supported Optimization of Production Process Chains

Within the scope of a project promoted by the „Deutsche Forschungsgemeinschaft“ (DFG – German Research Foundation), a method was developed for software supported design of forging process chains taking into consideration forging die and component production. The results of the validation show that the computing effort for the design of production process chains can be reduced significantly with the help of the developed method while simultaneously increasing the quality of the results.

Auslegung schmiedetechnischer Prozessketten – Ein neuer Ansatz zur Modellierung und software- gestützten Optimierung von Produktionsprozessketten

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Dannenberg
und Dipl.-Ing. Friedrich Charlin, Hannover

Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts wurde

eine Methode zur softwareunterstützten Auslegung schmiedetechnischer Prozessketten unter Berücksichtigung der Gesenk- und Bauteilherstellung entwickelt. Ergebnisse der Validierung zeigen, dass sich mit Hilfe der entwickelten Methode der Rechenaufwand für die Auslegung von Produktionsprozessketten bei gleichzeitiger Erhöhung der Ergebnisgüte signifikant reduzieren lässt.

Herausforderungen bei

der Auslegung von Schmiedeprozessketten

Die Herstellung schmiedetechnisch gefertigter Bauteile erfordert mehrere zeitlich und funktional aufeinander abgestimmte Fertigungsprozesse. Diese einzelnen Prozesse bilden eine oder mehrere Prozessketten, die hinsichtlich gegensätzlicher Zielgrößen, wie beispielsweise Kosten und Qualität, optimiert werden müssen. Bereits die Suche nach einem Optimum für einen Fertigungsprozess führt dazu, dass Veränderungen an den

Prozessparametern, zum Beispiel der Rohteiltemperatur, zwar zur Erreichung einer Zielgröße, zum Beispiel Reduzierung der Energiekosten beitragen können. Die gleiche Veränderung führt gleichzeitig aber auch zu einer Verschlechterung anderer Zielgrößen, zum Beispiel Verschleiß. Innerhalb von Prozessketten bestehen darüber hinaus vielseitige Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Fertigungsprozessen, folglich steigt der Komplexitätsgrad zum Auffinden eines

ganzheitlichen Optimums. Schmiedegesenke haben als formgebende Elemente mit einem durchschnittlich 10-prozentigen Anteil einen entscheidenden Einfluss auf die Herstellkosten des gefertigten Schmiedebauteils [1]. Eine ganzheitliche Betrachtung der Gesenk- sowie der Bauteilherstellung innerhalb des Planungsprozesses ist somit für eine wirtschaftliche Auslegung der Prozesskette der gefertigten Produkte von entscheidender Bedeutung.

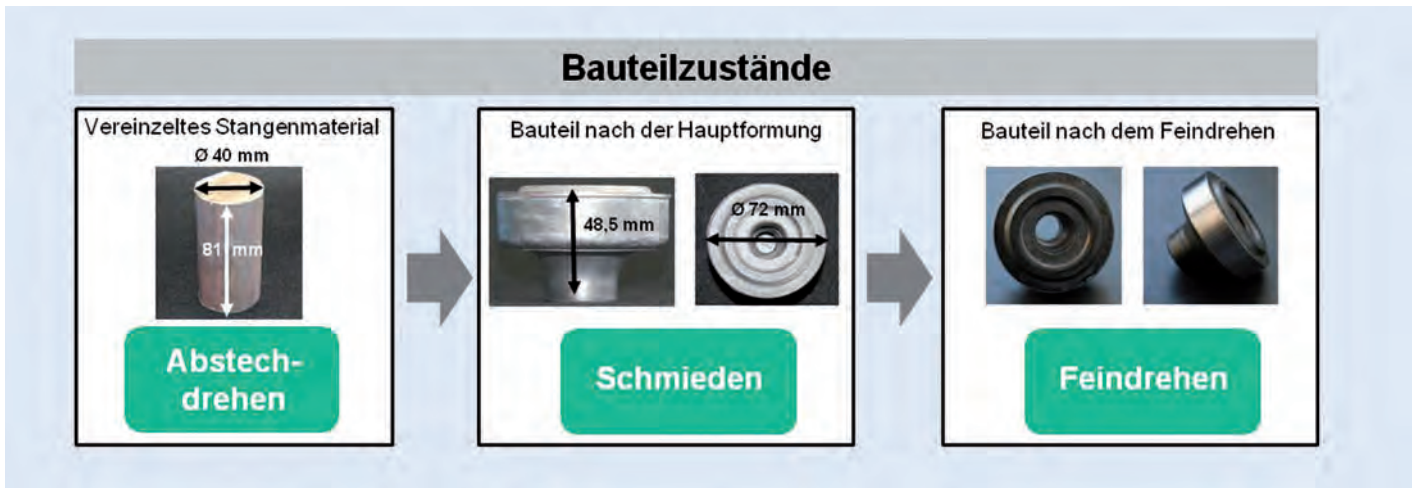


Bild 1: Bauteilzustände der Lagerbuchse in den Fertigungsprozessen.

Aktuelle Methoden sind meist erfahrungsbasiert und unterstützen die systematische Einbeziehung der aus der Auslegung des Schmiedewerkzeugs resultierenden Wechselwirkungen mit der Auslegung der Prozesskette der Bauteilfertigung nur bedingt. Eine ganzheitliche rechnergestützte Methodik existiert gegenwärtig jedoch nicht. Weiterhin beschränken sich vorhandene Auslegungswerkzeuge auf einzelne Fertigungsprozesse. Entscheidende Potenziale zur wirtschaftlichen Auslegung schmiedetechnischer Prozessketten werden daher bislang nicht vollständig ausgeschöpft.

Vor diesem Hintergrund ist am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover eine Methode zur schnellen und ganzheitlichen Auslegung von Produktionsprozessketten unter Berücksichtigung der Gesenk- und Bauteilherstellung entwickelt worden.

Das industriennahe Anwendungsszenario

In einem industriennahen Anwendungsszenario wurde die Herstellung einer skalierten Lagerbuchse eines Automobilzulieferers betrachtet (Bild 1).

Die Prozesskette der Bauteilherstellung setzt sich aus der Vereinzeln des Halbzeugs, der induktiven Erwärmung mit einem anschließenden dreistufigen Schmiedeprozess und nachfolgender Abkühlung sowie der abschließenden spanenden Endbearbeitung in Form eines Feindreihprozesses zusammen. Die Prozesskette zur Herstellung der Schmiedegesenke besteht aus der Vorfertigung der Gesenke mittels eines Drehprozesses, dem anschließenden Vergüten sowie einem finalen Hartfeinbearbeitungsprozess. Im Rahmen der Prozessauslegung steht der Planer vor der Herausforderung, für jeden Fertigungsprozess die jeweils wirtschaftlichsten spanenden und umformtechnischen Prozessparameter unter Berücksichtigung qualitativer Vorgaben auszu-

wählen. Beispielsweise müssen prozessübergreifende Abhängigkeiten, wie die Erwärmungstemperatur des Schmiederohteils und das zulässige Aufmaß des Werkstücks berücksichtigt werden. Beide Parameter beeinflussen die Herstellkosten sowie die Herstellzeit signifikant. Zudem existieren Wechselwirkungen zwischen der Prozesskette der Gesenkfertigung und der Prozesskette der Bauteilfertigung, beispielsweise die Härte des Schmiedegesenks. Diese hat einen entscheidenden Einfluss auf die resultierenden Werkzeugherstellkosten und den Verschleiß des Gesenks im Schmiedeprozess und damit auch auf das in der spanenden Feinbearbeitung abzunehmende Aufmaß des Werkstücks. Die Vielzahl der auftretenden Wechselwirkungen führt bislang dazu, dass die Prozessketten rein erfahrungsbasiert ausgelegt werden (zum Beispiel Schmiedetemperatur und Gesenkhärte), wodurch das bestehende ökonomische Potenzial nicht ausgeschöpft wird.

Methodischer Ansatz

Um die hohe Anzahl der auftretenden Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Fertigungsprozessen sowie zwischen den

Prozessketten der Gesenk- und Bauteilherstellung systematisch zu erfassen und darauf basierend die bestmögliche Parameterkombination auszuwählen, wurde ein neuartiger Optimierungsansatz entwickelt (Bild 2).

Dazu werden für die einzelnen Fertigungsprozesse generische Prozessmodelle aufgestellt, um den Zusammenhang zwischen den Eingangs- und Prozessgrößen und den Ausgangs- und Zielgrößen mathematisch zu beschreiben. Die Prozessmodelle basieren auf empirischen Versuchsreihen und analytischen Zusammenhängen aus der Literatur.

Auf die Prozessmodellierung der auftretenden Wechselwirkungen, der Festlegung der zu optimierenden Prozessparameter und der zulässigen Wertebereiche folgt die Lösung dieses komplexen Optimierungsproblems. Für das Anwendungsszenario wurden insgesamt 26 zu optimierende spanende und umformtechnische Prozessparameter definiert. Für eine Lösung des vorliegenden Optimierungsproblems in angemessener Rechenzeit wurde ein genetischer Algorithmus (GA) an die zugrundeliegende Problemstellung

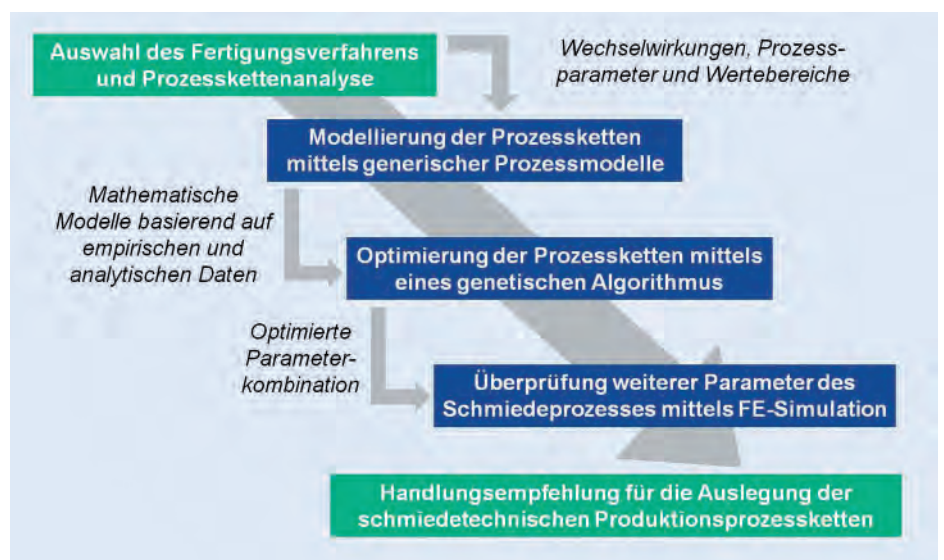


Bild 2: Methode zur Auslegung von schmiedetechnischen Produktionsprozessketten.

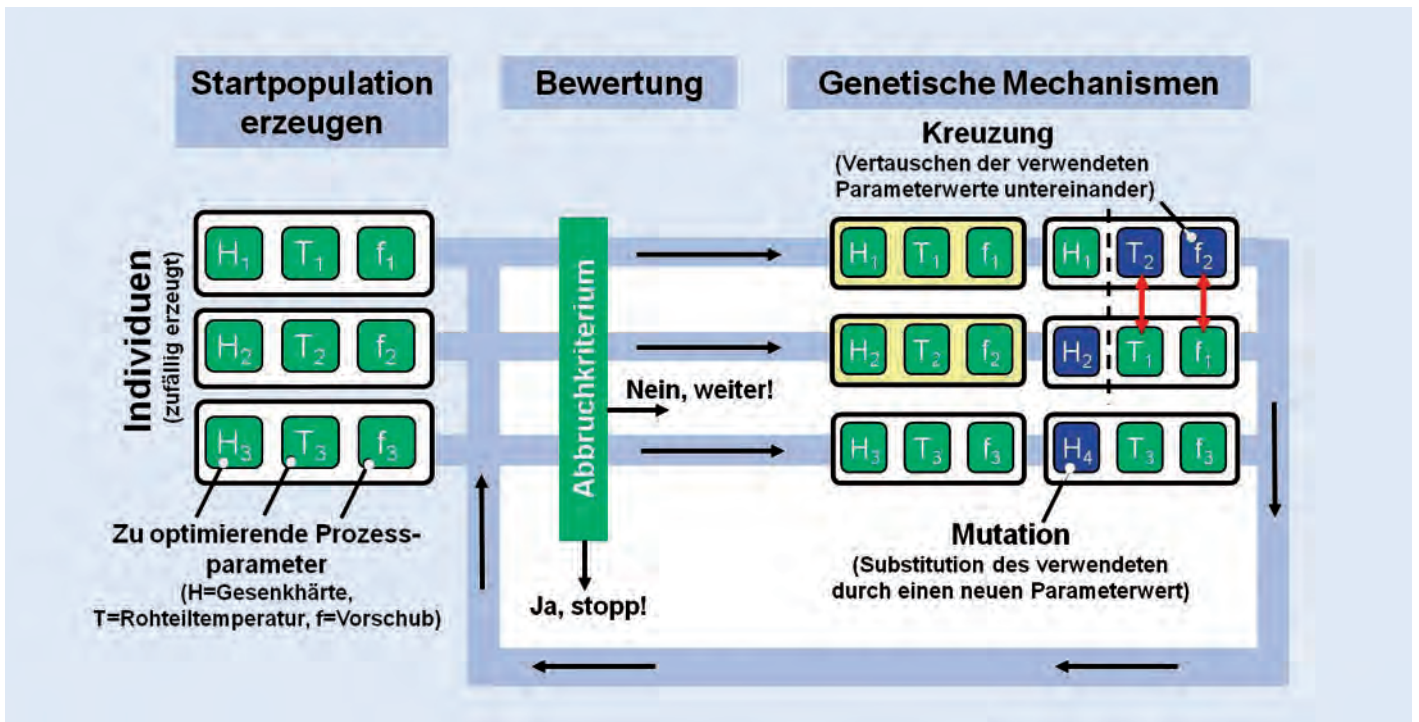


Bild 3: Optimierungsalgorithmus der Produktionsprozessketten mittels GA.

adaptiert und weiterentwickelt [2]. Der Grundgedanke dieses heuristischen Optimierungsverfahrens basiert auf der Nachahmung der biologischen Evolutionsprozesse (Bild 3).

Der genetische Algorithmus erwies sich in Kombination mit den generischen Prozessmodellen als eine geeignete Optimierungsmethode für eine schnelle, ganzheitliche Prozesskettenauslegung. Nach der Optimierung erfolgt im letzten Schritt die Überprüfung der Formfüllung, der größten Hauptspannungen im Gesenk und des Umformgrads für das Bauteil mittels einer FE-Simulation. Als Ergebnis der Methode steht eine Handlungsempfehlung für eine wirtschaftliche Auslegung von Produktionsprozessketten zur Verfügung.



Bild 4: Exzenterpresse der Firma Müller Weingarten (PK1000S-Speedforge) am IFUM. Bilder: Autoren

Ergebnisse der softwareunterstützten Optimierung

Mittels eines entwickelten Softwareprototyps wird eine benutzerfreundliche Anwendbarkeit der entwickelten Optimierungsmethode gewährleistet. Für das industriennahe Anwendungsszenario konnte nachgewiesen werden, dass sich mittels der entwickelten Optimierungsmethode für das Anwendungsszenario eine Reduzierung der Bauteilkosten um 12 Prozent bei einer gleichzeitig signifikanten Reduzierung des Auslegungsaufwands (Rechenzeit) gegenüber einer konventionell ausgelegten Prozesskette erzielen lässt. Das generierte Einsparpotenzial wurde insbesondere durch die Senkung der Bauteiltemperatur im Schmiedeprozess von 1.200 °C auf 1.080 °C und die Wahl eines härteren Schmiedegesenks (52 HRC) bei gleichzeitiger Anpassung der Zerspanparameter erreicht.

Experimentelle Untersuchungen

Für die experimentellen Untersuchungen wurde eine Exzenterpresse der Firma Müller Weingarten verwendet (Bild 4) sowie eine vorgeschaltete induktive Erwärmungsanlage der SMS Elotherm GmbH.

Für die spanende Endbearbeitung kam eine 3-Achs-Drehmaschine der DMU Distribuzione Macchine Utensili Srl zum Einsatz. Die Anlagen wurden mit den durch den genetischen Algorithmus ermittelten optimalen Parametersätzen gefahren beziehungsweise eingestellt. Mit der Validierung unter Laborbedingungen sollte zudem überprüft werden, ob die mittels FE-Simulation berechnete vollständige Formfüllung [3] auch im Realprozess erzielt werden kann. Im Rah-



Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Dannenberg



Dipl.-Ing. Friedrich Charlin

men der experimentellen Untersuchungen wurde für die Prozesskette der Werkzeugfertigung die Anlasstemperatur zur Einstellung der Härte im Vergütungsmodell validiert. Für die Prozesskette der Werkstückfertigung wurden unter anderem Daten zur Erwärmungsleistung und -dauer aufgenommen und mit den Daten aus dem Modell abgeglichen. Zudem wurde der Temperaturverlust aus der Temperaturdifferenz des Bauteils an der Oberfläche vor und nach dem jeweiligen Transfer von der Erwärmung zur Presse sowie zwischen den einzelnen Umformstufen mittels eines Pyrometers bestimmt. Zur Überprüfung der Werkstückhärte nach dem Abkühlprozess fanden Härteprüfungen statt. Darüber hinaus wurde die Abkühldauer des Bauteils nach der Umformung an der Umgebungsluft messtechnisch erfasst und mit der berechneten Abkühldauer abgeglichen.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse hat ergeben, dass die aufgestellten Prozessmodelle eine gute Abbildung des Zusammenhangs zwischen Eingangs- und Prozessgrößen zu den Ausgangs- und Zielgrößen ermöglichen. Dies war insbesondere für den Zusammenhang

zwischen der Härte und der Anlasstemperatur im Vergütungsmodell sowie bei dem Modell zur Berechnung der Abkühldauer des Bauteils der Fall. Für den Temperaturverlust des Bauteils vom Ausgang der Erwärmungsanlage bis zum Anstauchen des Bauteils ist ein größerer als der zunächst angenommene Wert an der Oberfläche identifiziert worden. Dies lässt sich zunächst auf eine vereinfachte Annahme zurückführen, weil die in der Presse vorhandene Wartestufe vor dem ersten Anstauchen zunächst nicht berücksichtigt worden ist. Durch die Nutzung generischer Prozessmodelle konnte dieses jedoch angepasst werden. Die Validierung der optimierten Prozessparameter hat für den Schmiedeprozess gezeigt, dass eine vollständige Formfüllung des Gesenks auch bei einer Umformtemperatur von 1.080 °C statt der konventionell verwendeten 1.200 °C erreicht werden konnte. Somit wurden die Simulationsergebnisse (zum Beispiel anhand der Formfüllung) bei der Auswertung des Realprozesses bestätigt.

Zusammenfassung und Ausblick

Am IFUM und IFW Hannover wurde eine Methodik zur ganzheitlichen Auslegung der Prozessketten zur Schmiedegesenk- und Schmiedebauteilherstellung entwickelt. Dazu wurden die einzelnen Fertigungsprozesse und deren gegenseitige Wechselwirkungen

durch generische Prozessmodelle abgebildet. Mit Hilfe dieses entwickelten genetischen Algorithmus konnten in kurzer Rechenzeit die Herstellkosten für das Referenzbauteil durch die optimierten Prozessparameter um 12 Prozent gegenüber einer konventionell ausgelegten Prozesskette reduziert werden. Der signifikanteste Einfluss der Kostenreduktion ergab sich durch die Verringerung der Erwärmungstemperatur für die Rohteile von 1.080 °C auf 1.200 °C. Sowohl die FE-Analysen des Schmiedeprozesses als auch die durchgeführten experimentellen Untersuchungen zu den Prozessparametern haben gezeigt, dass das Referenzbauteil mit den optimierten Prozessparametern gefertigt werden kann.

Im nächsten Schritt werden Untersuchungen zum Verschleißverhalten des Schmiedegesenks durchgeführt. Darüber hinaus sollen zukünftig Fertigungsalternativen für das Anwendungsszenario modelliert werden und der Algorithmus hinsichtlich einer schnellen und ganzheitlichen Optimierung von Prozesskettenalternativen weiterentwickelt werden. Damit wird ein Beitrag zur Flexibilisierung des vorgestellten Ansatzes für die modellbasierte Planung und Auslegung von Produktionsprozessketten geleistet. ■

Danksagung

Das in diesem Artikel vorgestellte Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), Projektnummern BE 1691/92-1 und DE 447/68-1, gefördert, wofür die Projektpartner ihren Dank aussprechen.

Literatur

- [1] Westkämper, E.; Warnecke, H.-J.: Einführung in die Fertigungstechnik, 8. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010
- [2] Denkena, B.; Behrens, B.-A.; Charlin, F.; Dannenberg, M.: Integrative process chain optimization using a Genetic Algorithm, Production Engineering – Research and Development, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, September 2011 (online first)
- [3] Behrens, B.-A.; Denkena, B.; Charlin, F.; Dannenberg, M.: Model Based Optimization of Forging Process Chains by the Use of a Genetic Algorithm, 10th International Conference on Technology of Plasticity (ICTP) 2011, 25.-30. September 2011, pp. 154-158, Aachen (Germany)