



Numerisch unterstützte Auslegung von Profilwalzprozessen

Profil- und Gewindewalzprozesse werden üblicherweise basierend auf dem Erfahrungswissen der Mitarbeiter ausgelegt und dimensioniert. Im Unterschied zu Fließpressprozessen, bei denen eine numerische Modellierung den Stand der Technik darstellt, ist die numerische Auslegung von Walzprozessen nicht durchgehend etabliert. Insbesondere vor dem Hintergrund des durch „Trial and Error“ geprägten Vorgehens bei der Auslegung von Walzbacken verspricht die Nutzung der Finiten-Elemente-Simulation erhebliches Potenzial.

AUTOREN



**Dipl.-Ing.
Philipp Kramer**

ist Abteilungsleiter
Tribologie am Institut für
Produktionstechnik und
Umformmaschinen (PtU)
der TU Darmstadt



**Prof. Dr.-Ing.
Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Peter Groche**

leitet das Institut für
Produktionstechnik und
Umformmaschinen (PtU)
der TU Darmstadt

In der Massenproduktion von Schrauben und Bolzen wird aufgrund technologischer und wirtschaftlicher Vorteile maßgeblich auf das Walzen zum Aufbringen der Profile und Gewinde zurückgegriffen [1]. Steigende Komplexität der Bauteile und damit auch der Umformwerkzeuge, sinkende Losgrößen und schnelllebigere Produktionszyklen stellen Unternehmen vor die Herausforderung, die Planung der Produktionsprozesse effizienter und effektiver zu gestalten. In vielen Bereichen hat sich hierbei die Finite-Elemente-Methode (FEM) als wertvolles Werkzeug zur Simulation und Optimierung von Umformprozessen bewiesen. Zahlreiche Veröffentlichungen belegen die Leistungsfähigkeit dieser Methoden zur Vorhersage des Prozessergebnisses mit hoher Güte, so dass Werkzeuge noch vor dem Produktionsstart hinsichtlich ihrer Eignung evaluiert werden können. Jedoch wird diese Methode derzeit hauptsächlich für abbildende Prozesse, wie zum Beispiel das Fließpressen oder Stauchen, verwendet. Profil- und Gewindevalzprozesse sind im Vergleich zu den erstgenannten Verfahren nur in geringem Maße untersucht und beschrieben worden. Dies ist unter anderen auch in den hohen Anforderungen an die zur Verfügung stehenden Rechenkapazitäten begründet, die noch vor wenigen Jahren nicht breit etabliert waren [2]. Auf der anderen Seite sind diese Walzprozesse von hoher Bedeutung, da diese häufig den Abschluss der Prozesskette darstellen. Eine fehlerhafte Auslegung dieses finalen Prozessschritts ist mit zeit- und kostenintensiven Änderungen verbunden.

Studien zeigen, dass eine numerische Prozessmodellierung, zum Beispiel von Schaftschrauben, prinzipiell möglich ist [3]. Jedoch ist unklar, inwiefern die erreichbare Genauigkeit dieser numerischen Modelle ausreicht, um Walzprozesse für eine Prozessauslegung ausreichend genau vorherzusagen. Aufgrund der engen Tolerierung der Geometrie der produzierten Teile ist zum Beispiel eine hohe Wiedergabegüte der Geometrie unerlässlich.

Zum Schließen dieser Lücken wurde im Rahmen eines durch die AiF geförderten Forschungsprojekts das Profilwalzen numerisch modelliert, validiert und unter industriellen Bedingungen experimentell untersucht.

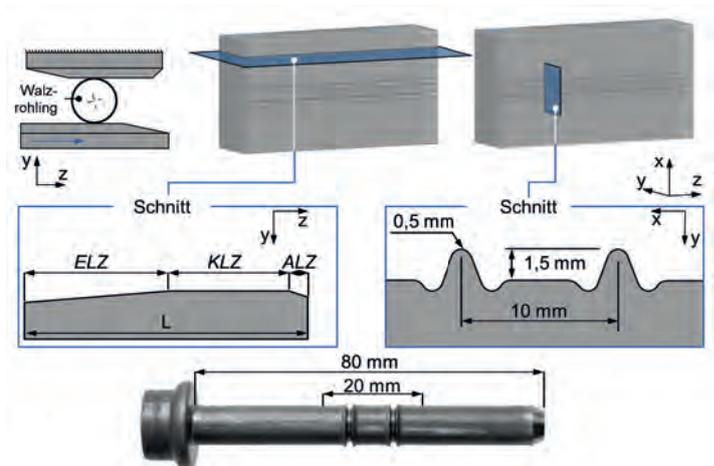


Bild 1: Prozessschema und verwendete Walzbacken (oben links), Profilgeometrien (mittig) und resultierendes, gewalztes Werkstück (unten)

EXPERIMENTELLER UND NUMERISCHER AUFBAU

Im hier vorgestellten Projekt wurde aufgrund der großen Bedeutung für die industrielle Produktion das Querwalzen mit Flachbacken betrachtet. Schematisch ist dieses in Bild 1, oben links dargestellt. Nach dem Einstoßen des Walzrohrlings in den Walzspalt wird dieser durch die Translation der beweglichen Walzbacke zwischen beiden Walzbacken in Rotation versetzt. Voraussetzung ist, dass die Reibung zwischen den Werkzeugen und dem Walzrohling ausreichend hoch ist. Basierend auf einer Zusammenstellung typischer Walzgeometrien entstand eine Walzbackengeometrie mit zwei Nuten ohne Steigung, die einen Abstand von 10 mm voneinander aufweisen. Die verwendete Profilgeometrie ist in Bild 1, mitte dargestellt. Die ortsfeste Walzbacke weist dabei jeweils eine Einlauf- (ELZ), Kalibrier- (KLZ) und Auslaufzone (ALZ) auf, die bewegte Walzbacke weist hingegen keine Auslaufzone auf.

Numerische Vorabstudien des Walzprozesses ergaben, dass eine Modellierung im dreidimensionalen Raum erforderlich ist, da zweidimensionale Modelle den tangentialen Werkstofffluss

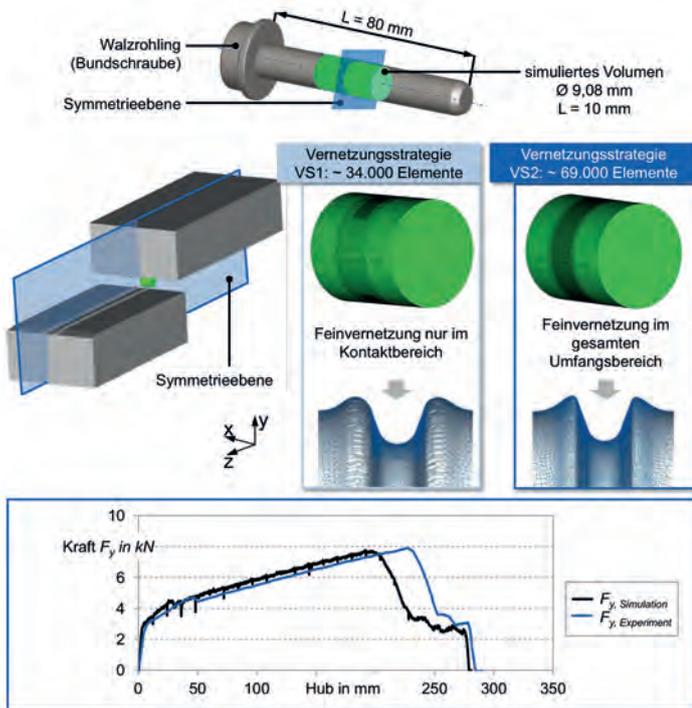


Bild 2: Betrachtetes Bauteilvolumen zur Simulation des Profilwalzens (oben), Vernetzungsstrategien (mittig) und Vergleich des numerisch berechneten und experimentell bestimmten Kraft-Weg-Verlaufs (unten)

nicht abbilden können. Dies führt wiederum zu einer unzufriedenstellenden Abbildung der finalen Geometrie. Nachteil der Modellierung im dreidimensionalen Raum ist jedoch die hohe Anzahl erforderlicher Elemente, um die Bauteilgeometrie mit ausreichender Genauigkeit diskretisieren zu können. Zur Reduzierung der erforderlichen Elemente und entsprechend auch der Berechnungszeit wurden unterschiedliche Strategien untersucht.

In Bild 2 ist das den Untersuchungen zugrunde liegende numerische Modell abgebildet. Zur Reduzierung des Berechnungsaufwands bieten sich im vorliegenden Fall die folgenden drei unterschiedlichen Ansätze an: Die Reduzierung des zu simulierenden Volumens, die Nutzung von Symmetrien und die Wahl unterschiedlicher Vernetzungsstrategien.

Aufgrund der nur lokalen plastischen Deformation des Rohlings kann darauf verzichtet werden, das gesamte Bauteil zu modellieren. Experimentelle Voruntersuchungen ergaben, dass die plastische Zone auf einen Bereich von 3 mm um die Nut beschränkt ist. Um Randeffekte zu berücksichtigen, wäre somit ein zylindrisches Volumen mit Länge $L = 20$ mm bei der Simulation zu berücksichtigen. Aufgrund der Symmetrie des Profils kann jedoch eine weitere Vereinfachung getroffen werden. Durch die Nutzung von Symmetrierandbedingungen ist es ausreichend, nur eines der beiden Profile zu modellieren. Somit ist ein Zylinder mit Länge $L = 10$ mm zur Abbildung des Profils ausreichend (Bild 2, oben).

Zur Reduzierung der erforderlichen Elementzahl wird in Umformprozessen üblicherweise nur die in Kontakt stehende Zone mit einer feinen Vernetzung (im vorliegenden Fall einer Elementkantenlänge $k = 0,08$ mm) versehen. Diese ist hier durch die Vernetzungsstrategie VS1 abgebildet. Wird hingegen der gesamte Umfangsbereich fein vernetzt (Vernetzungsstrategie VS2), nimmt die erforderliche Elementzahl gegenüber der lokalen Feinvernetzung um zirka 100 Prozent zu. Der Einfluss der Vernetzungsstrategie auf den berechneten Kraftbedarf ist hingegen nicht abhängig von der Vernetzungsstrategie. In Bild 2, unten, sind der experimentell und numerisch bestimmte Kraft-Weg-Verlauf gegenübergestellt. Hier zeigt sich insgesamt eine gute Übereinstimmung, lediglich eine Verschiebung der Verläufe gegeneinander kann beobachtet werden. Dies wird auf den vorliegenden Schlupf im Experiment zurückgeführt.

Die Wahl der Vernetzungsstrategie weist dabei einen Einfluss sowohl auf die finale Bauteilgeometrie als auch auf die Berechnungszeit auf. Aufgrund der höheren Anzahl an Neuvernetzungsschritten, die notwendig sind um Vernetzungsstrategie VS1 zu realisieren, sowie des Informationsverlusts durch die geringe Auflösung im restlichen Bauteilvolumen mit größerer Elementkantenlänge, resultiert eine unterschiedliche Ausprägung der finalen Geometrie. Die hohe Anzahl erforderlicher Elemente bei Vernetzungsstrategie VS2 wird jedoch mit 67 Prozent längeren Simulationszeiten erkaufte, wie in Bild 3 dargestellt ist. Um die Simulationszeiten zu reduzieren, bietet sich zum Beispiel die Nutzung des Domain Decompositionings an. Hierbei wird das zu berechnende Gebiet in Teilgebiete unterteilt und jeweils von einem Rechenkern bearbeitet. Dies führt bei einer Verwendung von vier Kernen zu einer Reduzierung der für die Berechnung benötigten Zeit von 70 Prozent.

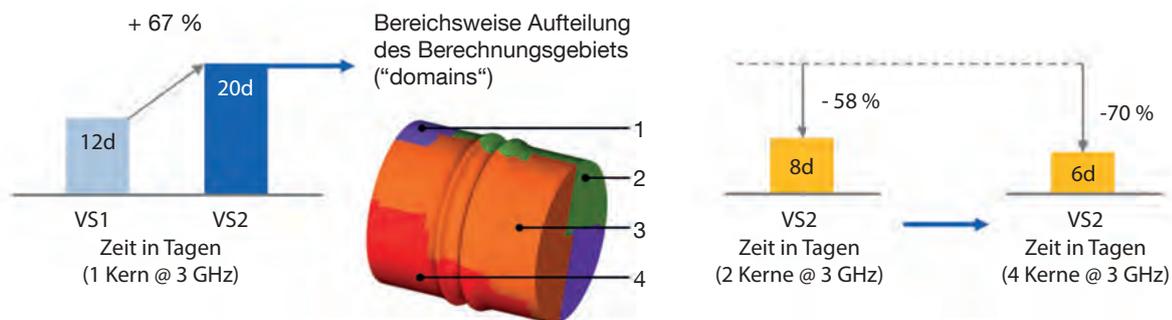


Bild 3: Berechnungsdauern in Abhängigkeit der verwendeten Vernetzungsstrategie und Anzahl der Prozessorkerne

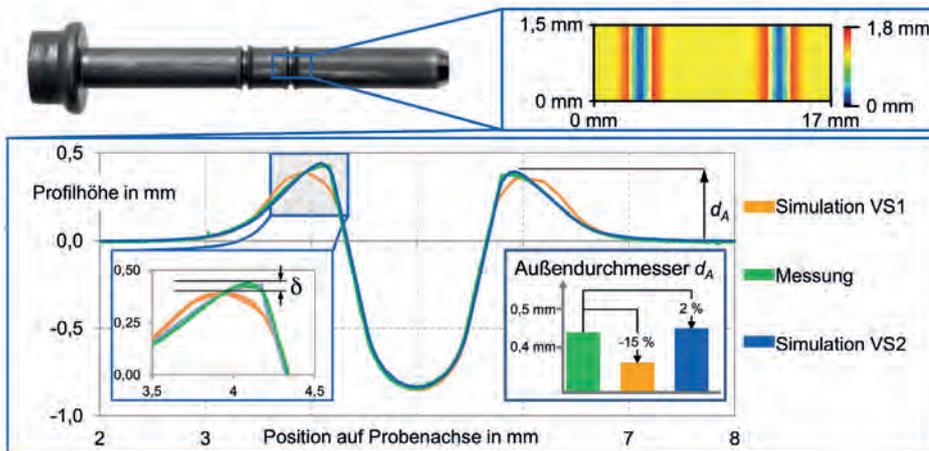


Bild 4: Vergleich der gemessenen und berechneten Bauteilgeometrie in Abhängigkeit der Vernetzungsstrategie
Bilder: Autoren

Wie aus Bild 2 bereits hervorgeht, führt die Vernetzung des Bauteils zu einer abweichenden Darstellung der finalen Bauteilgeometrie. Quantitativ sind diese Abweichungen in Bild 4 anhand eines Profilschnitts dargestellt und zudem mit der tatsächlich gemessenen Bauteilgeometrie verglichen. Die experimentelle Vermessung wurde dabei mit Hilfe eines Konfokalmikroskops (nanofocus μ Surf expert) durchgeführt. Der Vergleich ergibt, dass die Vernetzungsstrategie einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisgüte aufweist. Die Abweichung für die Vernetzungsstrategie VS1 im Bereich des Außendurchmessers beträgt 15 Prozent, wohingegen beide Vernetzungsstrategien im Nutgrund eine gute Übereinstimmung aufweisen. Im Gegensatz dazu ist die Abweichung von Vernetzungsstrategie VS2 in diesem Bereich mit 2 Prozent beziehungsweise weniger als 0,01 mm deutlich geringer. Die maßlichen Abweichungen sind in diesem Fall so gering, dass diese im Bereich der Toleranz eines M10-Außengewindes nach DIN ISO 965-1 liegen. Die höheren Abweichungen bei Verwendung der VS1 ergeben sich aufgrund der hohen Anzahl erforderlicher Neuvernetzungen im Zusammenspiel mit der geringen Auflösungsgüte des Bauteils im grob vernetzten Volumen, was zu einem Informationsverlust führt.

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die Wahl einer geeigneten Vernetzungsstrategie ist Voraussetzung, um Profilwalzprozesse mit hoher Genauigkeit abbilden zu können. Eine ausschließlich hohe Auflösung der Kontaktzone,

wie bei typischen Fließpressprozessen üblich, ist hierbei nicht zielführend. Aufgrund der hohen Anzahl an Neuvernetzungen im Zusammenspiel mit der geringen Netzauflösung in den umgebenden Bereichen führt dieses Vorgehen zu einer unzufriedenstellenden Geometrieabbildung. Die hierbei jedoch erforderlichen hohen Simulationszeiten können durch Parallelisierung der Berechnung erheblich reduziert werden.

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen, dass mit modernen Simulationsmethoden eine Prozessmodellierung des Profilwalzens mit hoher Güte möglich ist. Ausgehend hiervon kann die numerische Simulation nun dazu genutzt werden, Profilwalzprozesse systematisch auszulegen. Neben einer deutlichen Kosten- und Zeitreduktion gegenüber dem konventionellen Vorgehen bietet dieser Ansatz auch die Möglichkeit, derzeit als nicht walzbar geltende Bauteilgeometrien zu erschließen und so das herstellbare Produktspektrum zu erweitern.



[1] Klocke, F.: Fertigungsverfahren, Springer, Berlin, 2006

[2] Groche, P., et al.: Incremental Bulk Metal Forming, in CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2007, 56, pp. 635 – 656

[3] Lee, M.C., et al.: New Finite-Element Model of Thread Rolling, Steel Research International, 81(9) 2010, pp. 214 – 217



Das IGF-Vorhaben 18395 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. (FSV) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichtes kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Industrielle
Gemeinschaftsforschung