

## Numerisch unterstützte Bewertung von Einflussgrößen beim Ringwalzen

Die Prozesskette des Ringwalzens ist aufgrund der hohen Variantenvielfalt des Prozesses meist nur teilweise automatisiert, was zu Schwankungen in Prozessbedingungen führen kann. Für diesen Beitrag wurden im industriellen Umfeld schwankende Prozessparameter identifiziert und quantifiziert. Über die Finite-Elemente-Simulation wurde unter Nutzung von Schädigungs- und Mikrostrukturmodellen der Einfluss dieser Parameter auf die finalen Produkteigenschaften abgeschätzt. Langfristig soll ein Prozesslayout ermöglicht werden, welches den verschiedenen Parametern Rechnung trägt und so materialeffizientere Produkte bei gleichzeitig geringerem Ausschuss ermöglicht.

## AUTOREN



**Dipl. Wirt.-Ing.  
Gideon Schwich**

ist Gruppenleiter Massivformteile am Institut für Bildsame Formgebung (IBF) der RWTH Aachen



**Prof. Dr.-Ing.  
Gerhard Hirt**

leitet das Institut für Bildsame Formgebung (IBF) der RWTH Aachen



**Dipl.-Ing.  
Stefan Günther**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bildsame Formgebung (IBF) der RWTH Aachen

Das Ringwalzen ist ein inkrementelles Massivumformverfahren zur Herstellung ringförmiger Bauteile aus unterschiedlichen Werkstoffen in einem breiten geometrischen Spektrum für Anwendungen in Automotive-, Offshore- und in der Energieindustrie.

In der industriellen Praxis ist die near-net-shape-Produktion sowie die Ausschussvermeidung von höchster Bedeutung, da Kosten und Energieverbrauch für den Prozess in direkter Abhängigkeit zur Menge des eingesetzten Materials stehen. Mögliche Gründe für Ausschuss beim Ringwalzen sind unter anderem Formfehler im Ring, Grobkornbildung oder Risse. Formfehler spielen heute – zumindest bei Ringen mit rechteckigem Querschnitt – eine untergeordnete Rolle. Grobkornbildung und Risse hingegen sind immer relevanter werdende Probleme, insbesondere bei hochentwickelten Werkstoffen wie Nickelbasislegierungen, die ein nur sehr kleines Prozessfenster zulassen. Bisher nicht in ihren Auswirkungen systematisch untersuchte Schwankungen in Kinematik, Ofentemperatur und Transferzeiten führen so teilweise zu Ausschuss unter scheinbar identischen Prozessbedingungen. Um Ausschuss, insbesondere durch Rissbildung, zu vermeiden, werden in der industriellen Fertigung oft Aufmaße basierend auf Erfahrungswerten genutzt. Diese Erfahrungswerte sind in der Regel verhältnismäßig konservativ abgeschätzt, sodass die Aufmaße oft größer als notwendig sind.

In diesem Beitrag werden Einflüsse von Prozessschwankungen auf das Produkt nach dem Ringwalzen aufgezeigt. Dafür werden in einem ersten Schritt industrielle Prozessketten betrachtet und schwankungsbehaftete Parameter identifiziert und quantifiziert. Anschließend wird über ein vollständig geregeltes FE-Modell mit nachfolgender Mikrostruktursimulation der Einfluss der ermittelten Schwankungen auf die Mikrostruktur abgeschätzt. Abschließend werden, ebenfalls basierend auf den ermittelten Schwankungen, Schädigungssimulationen

durchgeführt, um einen ersten Schritt zur etwaigen Reduktion von Aufmaßen zu gehen.

#### INDUSTRIELLE DATENAUFNAHME

Zur Identifikation von schwankungsbehafteten Einflüssen in Ringwalzprozessen wurden Datenaufnahmen in den Unternehmen Dirostahl Karl Diededrichs KG, Schmiedewerke Gröditz GmbH, Chr. Höver & Sohn GmbH & Co KG und ThyssenKrupp Rothe Erde GmbH im Rahmen eines AiF-Projekts durchgeführt. Insgesamt wurden über 350 Walzungen sowie Stauch- und Lochvorgänge dokumentiert. Das Größenspektrum der gewalzten Ringe reichte von Ringen mit Außendurchmessern von zirka 350 bis zu zirka 4.900 Millimetern. Das Einsatzgewicht der Ringe lag zwischen wenigen Kilogramm und 18 Tonnen. Aus den verschiedenen Größendimensionen der Ringe ergeben sich deutliche Unterschiede im Handling. Um den hieraus folgenden Unterschieden in Transferzeiten und somit auch Temperaturprofilen im Ringquerschnitt gerecht zu werden, musste eine Gruppierung nach Ringgrößen und Gewichten erfolgen. Nachfolgend werden die Ergebnisse für mittelgroße Ringe mit einem finalen Außendurchmesser bis zu zirka 1,3 Metern und Gewichten bis 300 Kilogramm diskutiert, eine Geometrie die in vielen deutschen Ringwalzwerken produzierbar ist. Da die größten Schwankungen in den Temperaturen und in Abweichungen von den geforderten Ringwachsgeschwindigkeiten (RWG) festgestellt wurden, werden diese Parameter vertiefend betrachtet.

Für die Temperaturmessung wurde ein Thermographiesystem des Anbieters Infratec genutzt (Bild 1). Die Messung erfolgte mit Emissionskoeffizienten aus der Literatur [1-3]. Dies war zulässig, da im Rahmen dieser Untersuchung weniger die absolute Genauigkeit der Temperaturmessung relevant war als vielmehr, dass die Temperaturvariationen korrekt ermittelt werden. Die Messung der RWG, die das Größenwachstum des Rings über die Zeit wiedergibt, erfolgte über Loggerschriebe der Ringwalzanlagen.

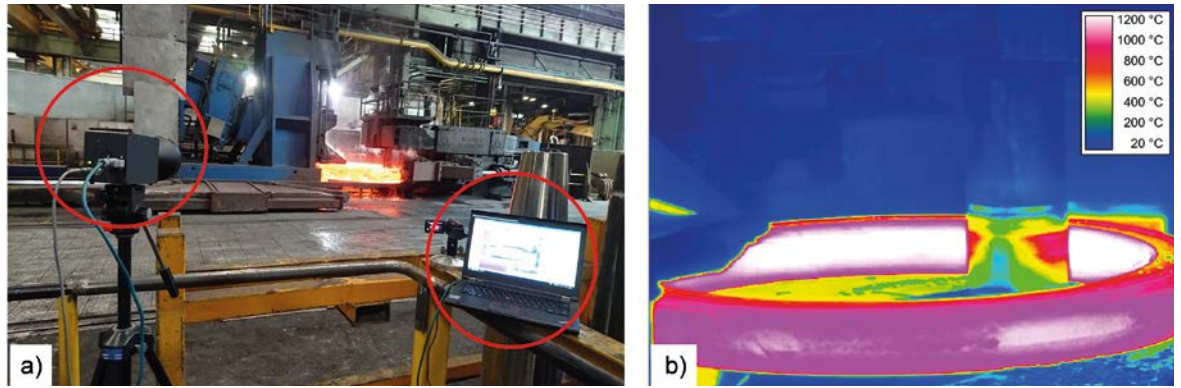


Bild 1: a) Aufbau des Thermografiesystems in industrieller Umgebung, b) Visualisierung der Messung während des Prozesses

Für mittelgroße Ringe des gleichen Materials bis 300 kg wurden Temperaturen zwischen 1.106 und 1.194 °C ermittelt, die bereits in den Öfen hervorgerufen wurden. Die Variationen der Transferzeit lagen unter 5 Prozent. Eine erstaunliche Beobachtung war, dass es Fälle gab, in denen die Variationsbreiten der Temperatur keinen Einfluss auf die RWG hatten und andere Fälle, bei denen Schwankungen bis 90 Prozent die Folge waren.

So zeigt Bild 2 die RWG für je 10 Walzungen zweier Geometrien aus dem Stahl 1.4404, die sich in Wanddicke und Höhe nur leicht unterscheiden. Bild 2a) zeigt exemplarisch einen Fall, in dem die geforderte RWG trotz relativ großer Abweichungen in den Starttemperaturen reproduzierbar erreicht werden konnte. Dieser Fall bezieht sich auf eine Geometrie mit einem Startaußendurchmesser von 455 mm, einer Anfangshöhe von 255 mm und einer Anfangswanddicke von 100 mm, die in Bezug auf Maximalkraft und -moment nicht am Anlagenlimit liegt. Bild 2b) zeigt den Verlauf der RWG für eine Geometrie die im Ausgangsaußendurchmesser und der Ausgangshöhe je 30 mm größer ist. Hier zeigt sich, dass bei Ringen, die aufgrund der Größe nah am Anlagenlimit liegen, schon geringe Temperaturunterschiede zu deutlichen Prozessveränderungen führen können. Durch niedrigere Temperaturen wird der Umformwiderstand des Materials erhöht und daher das Anlagenlimit erreicht. In solchen Fällen führt dies zu einer Reduktion des Vorschubs durch die Anlagenregelung, sodass die geforderte RWG nicht erreicht wird. In beiden in Bild 2 dargestellten Fällen wird die geforderte Geometrie erreicht, die Prozessführung variiert allerdings stark, was zum Beispiel die Ausbildung der Mikrostruktur beeinflussen kann.

**MIKROSTRUKTURSIMULATION**

Um diese möglichen Auswirkungen zu untersuchen, wurden Mikrostruktursimulationen basierend auf Formänderungshistorien aus der FE-Simulation durchgeführt [4]. Für die FE-Simulationen wurde ein Abaqus 3D-Modell genutzt, welches die Werkzeugbewegungen und Drehzahlen basierend auf einer online gekoppelten Subroutine berechnet (Bild 3) [5].

Zur Validierung der FE-Simulation wurde ein Realversuch mit einem Ring durchgeführt, der im ähnlichen geometrischen Bereich wie die oben dargestellten Ringe lag: Ein auf 1.150 °C aufgeheizter 42CrMo4-Ring mit einem Startaußendurchmesser  $d_s$  von 510 mm wurde auf einen finalen Durchmesser  $d_f$  von 1.235 mm gewalzt. Analog hierzu wurde ein Realversuch auf der Ringwalzanlage Wagner-Banning H100/V80 des Instituts für Bildsame Formgebung durchgeführt. Es wurden gute Übereinstimmungen in simulativen wie experimentellen Kraft- und Wegschieben erreicht [6].

Material	$d_s$	$s_i$	$h_i$	$d_f$	$s_f$	$h_f$
42CrMo4	510 mm	144 mm	206 mm	1.235 mm	65 mm	140 mm

Tabelle 1: Parameter des Rings

Zur Validierung der Korngrößenberechnung wurde die Ausgangskorngröße des realen Rings vor (Bild 4a) und nach der Walzung (Bild 4b) über Rasterelektronenmikroskop-(REM-)Messungen ermittelt. Die gemessene Ausgangskorngröße wurde im Mikro-

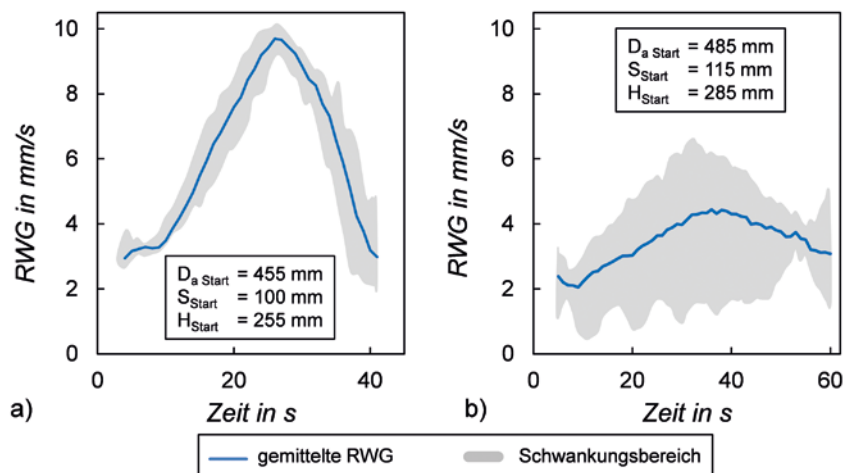


Bild 2: a) Ringwachsgeschwindigkeit für einen Ring mit kleinerer Ausgangsgeometrie, b) dto.

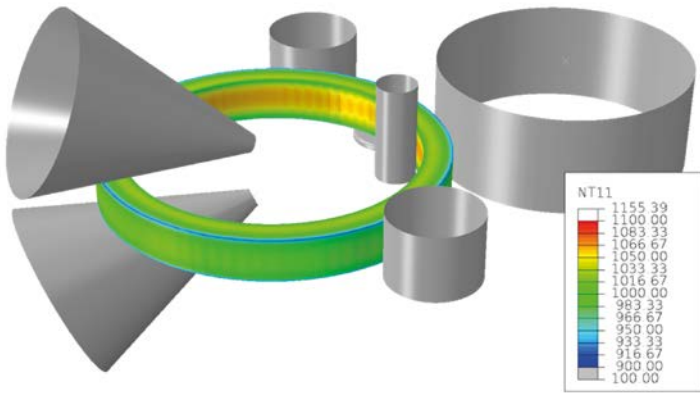


Bild 3: Aufbau und numerische Parameter des Abaqus Modells

strukturmodell StrucSim hinterlegt und mit aus der Simulation entnommenen Temperatur- und Formänderungshistorien für einzelne Punkte des Querschnitts die Korngrößenentwicklung berechnet (Bild 4). Es wurden gute Übereinstimmungen zwischen berechneter und gemessener Korngröße festgestellt [6].

Mit dem so validierten Ringwalzmodell wurden Simulationen durchgeführt, um den Einfluss von Temperatur und Kinematik auf die Mikrostruktur abschätzen zu können. Hierzu wurden die vorangehend ermittelten maximalen Schwankungen in Temperatur und RWG verwendet. Es konnte festgestellt werden, dass Temperaturvariationen im Bereich von 1.006 bis 1.194 °C für einen repräsentativen Punkt auf der Mitte des Querschnitts nur einen geringen Einfluss auf die finale Korngröße haben (Bild 4d) [6].

Gleichzeitig wurde die RWG gemäß den vorangehend ermittelten Schwankungen im Bereich von 2 bis 10 mm/s variiert. Bei Variationen der RWG, die sich wie oben gezeigt aus Temperaturvariationen ergeben können, wurden größere Auswirkungen festgestellt. Neben den durch die unterschiedlichen angewandten Ringwachsgeschwindigkeiten veränderten Stichabnahmen und somit Umformhistorien, änderten sich ebenfalls deutlich die Prozessdauern, was insgesamt zu einer Vergrößerung des Gefüges bei langsameren Ringwachsgeschwindigkeiten führte (Bild 4e).

### SCHÄDIGUNGSSIMULATION

Neben der Untersuchung der Mikrostruktur ist besonders die Untersuchung der Werkstoffschädigung von Interesse. Unter dem Begriff Schädigung wird in diesem Kontext die Entstehung von Mikroporen und Mikrorissen und deren Wachstum und Vereinigung verstanden. Zunehmende Schädigung führt schließlich zum Auftreten makroskopischer Risse, die als Versagen bezeichnet werden. In der Literatur existieren verschiedene Ansätze zur Modellierung der Werkstoffschädigung in Umformprozessen. Den meisten Schädigungskriterien und -modellen ist gemein, dass diese maßgeblichen Mechanismen der Warmmassivumformung, wie zum Beispiel Rekristallisation nicht berücksichtigen [7]. Deshalb sind ermittelte Schädigungswerte stark prozess- und materialabhängig [8]. Trotzdem konnte Wang 2016 bei Anwendung des Oyane-Kriteriums beim Ringwalzen gute Übereinstimmungen zwischen qualitativen Aussagen des Kriteriums und Realversuch nachweisen [9]. Ein kritischer Wert, bei welchem es zum Versagen des Materials kommt, wurde allerdings nicht ermittelt.

Um zukünftig Ringwalzprozesse in Bezug auf die zu erwartende Schädigung optimieren zu können, müssen die bestehenden Schädigungskriterien und -modelle auf die jeweilige Anwendbarkeit im Ringwalzprozess untersucht und gegebenenfalls er-

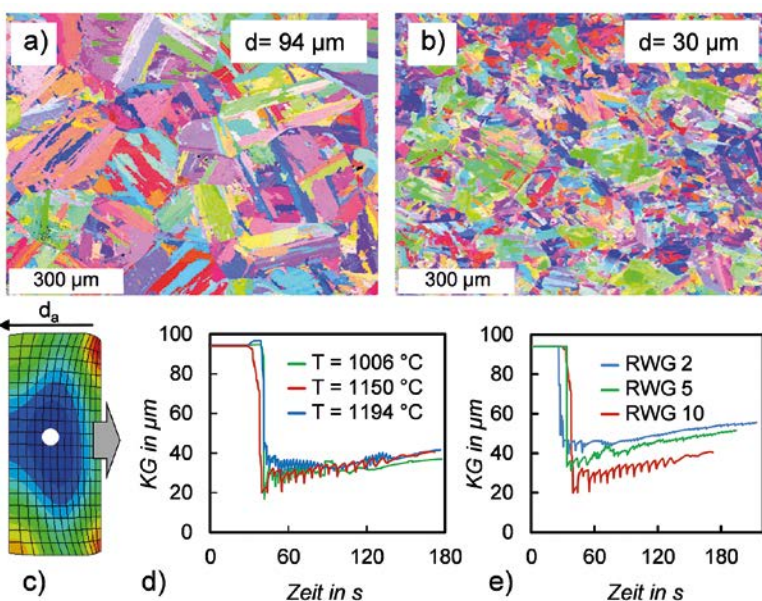
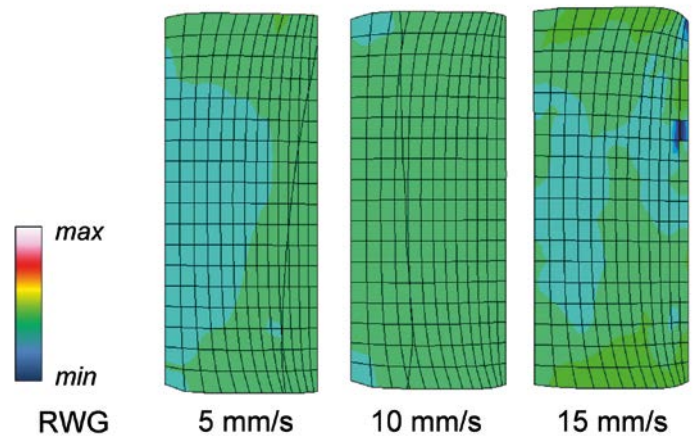


Bild 4: Korngröße a) vor, b) nach dem Realversuch, c) Daten aus der Simulation, d) Einfluss der Temperatur auf Korngröße, e) Einfluss der RWG

Bild 5: Schädigungswerte über den Querschnitt am Ende des Prozesses für verschiedene Ringwachsgeschwindigkeiten

Bilder: Autoren



weitert werden. In einem ersten Schritt wurden Auswirkungen von Temperatur und Prozesskinematik untersucht. Im Bereich der in den Datenaufnahmen ermittelten Schwankungen wurde ein zu vernachlässigender Einfluss der Temperatur auf die Schädigungswerte festgestellt. Gleichzeitig wurde festgestellt, dass eine Verringerung der RWG zu einer leichten Erhöhung des Schädigungswerts führt (Bild 5).

## FAZIT UND AUSBLICK

Über die Auswertung von über 350 Walzungen sowie Stauch- und Lochvorgängen wurden insbesondere die Temperatur und die Prozesskinematik bei Ringwalzungen als relevante schwan-

kende Parameter identifiziert. Es konnte gezeigt werden, dass es über den Einsatz der FE-Simulation heute möglich ist, die Auswirkungen von schwankenden Parametern auf die Mikrostruktur zu untersuchen und so das Prozesslayout zu unterstützen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Auswirkungen von Prozessschwankungen auf Schädigungswerte prinzipiell abbildbar sind. Allerdings müssen die bestehenden Modelle und Kriterien tiefergehend auf die jeweilige Anwendbarkeit in der Warmmassivumformung untersucht werden und gegebenenfalls erweitert sowie experimentell validiert werden, um hier zukünftig die Prozessauslegung zu unterstützen.



Das IGF-Vorhaben (Nr. 19316) des Vereins der Eisenhüttenleute (VDEh) 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.

Gefördert durch:



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie**



**IGF**  
Industrielle  
Gemeinschaftsforschung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



[1] Pujana, J. et al: Radiation thermometry applied to temperature measurement in the cutting process, Measurement Science and Technology (2007, Volume 18)

[2] Howell, J.R.; Siegel, R.; Menguc, M.P.: Thermal Radiation Heat Transfer, 1993

[3] Wen, C.-D.: Investigation of steel emissivity behaviors: Examination of Multispectral Radiation Thermometry (MRT) emissivity models, International Journal of Heat and Mass Transfer (2010, Volume 53), pp. 2035 – 2043

[4] Bambach, M. et al: Konzepte zur integrierten Modellierung von Gefüge- und Fließspannungsentwicklung in der Simulation von Warmumformprozessen, Roundtable, Simulation in der Umformtechnik, Bamberg (2012)

[5] Schwich, G.; Jenkouk, V.; Hirt, G.: Realistic Modelling of the Tool Kinematics of Radial Axial Ring Rolling Machines in Finite Element Simulation, ESAFORM Conference, Nantes (2016)

[6] Schwich, G.; Seitz, J.; Guenther, S.; Hirt, G.: Modelling of Microstructure and Damage in Ring Rolling, International Forgemasters Meeting, Graz (2017)

[7] Rüb, G.; Sommitsch, C.; Buchmayer, B.: Modellierung der Werkstoffschädigung während der Warmumformung, Proceedings of the XXIII. Verformungskundliches Kolloquium (2004) S. 165 – 176.

[8] Gouveia, B.P.P.A.; Rodrigues, J.M.C.; Martins, P.A.F.: Ductile fracture in metal-working: experimental and theoretical research, Journal of Materials Processing Technology (2002, Volume 101), pp. 52 – 63

[9] Wang, C. et al: Influence of ring growth rate on damage development in hot ring rolling, Journal of Materials Processing Technology (2016, Volume 227), pp. 268 – 280



Auf dem Aachener Stahlkolloquium Umformtechnik am 28. und 29. März 2019 bietet das Institut für Bildsamer Formgebung die Möglichkeit, sich zu diesem und weiteren Forschungsthemen umfassend zu informieren. Zusätzliche Informationen und die Möglichkeit zur Anmeldung findet man unter [www.ask.ibf.rwth-aachen.de](http://www.ask.ibf.rwth-aachen.de).