

# Neuartige flexible Entzunderungsverfahren zur Verbesserung der Teilequalität beim Warmmassivumformen



Die Warmmassivumformung wird zunehmend mit variablen Einflussfaktoren konfrontiert, wie beispielsweise kürzeren Produktlebenszyklen oder einer größeren Produktvielfalt inklusive stetig steigender Qualitätsansprüche. Dies erfordert Prozessketten mit einer Maschinen- und Anlagentechnik, die den wachsenden Anforderungen gerecht werden kann. Hierfür wurden am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU zwei flexible Verfahren zum Entzundern von Anfangsformen für die Warmmassivumformung entwickelt und in umfangreichen Versuchsreihen erprobt.

Die Anforderungen an massivumgeformte Bauteile im Hinblick auf Material- und Energieeffizienz erfordern stetige Weiterentwicklungen. Dies gilt nicht nur für die zu verarbeitenden Materialien selbst, sondern auch für die zur Umformung eingesetzten Verfahren und der dazugehörigen Anlagentechnik. Da warmgeformte Bauteile aus Stahl und Stahllegierungen auch in Zukunft einen Schwerpunkt im Fahrzeug- und Anlagenbau darstellen (Bild 1), besteht weiterhin Forschungsbedarf unter anderem in Richtung der Weiterentwicklung modernster Entzunderungstechniken zur Verbesserung der Bauteilqualität nach der Warmumformung.

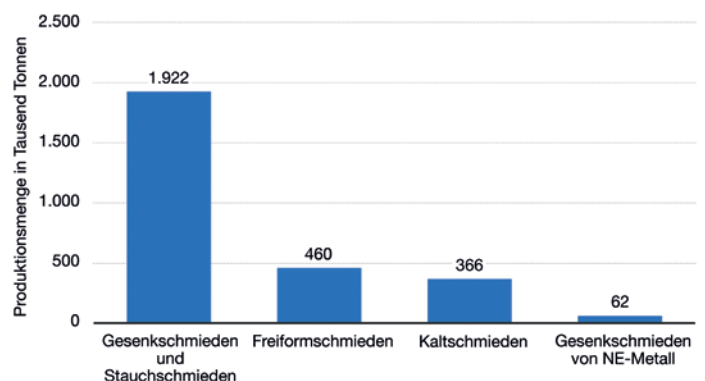


Bild 1: Produktionsmenge von Schmiedestücken in der Schmiedeindustrie in Deutschland nach Schmiedeverfahren im Jahr 2015 [Statista®]

## AUTOREN



**Dipl.-Ing.  
André Wagner**

ist Gruppenleiter, Press und Schmiede-  
verfahren am Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik  
IWU in Chemnitz



**Dipl.-Ing.  
Tim Lehnert**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Press- und  
Schmiedeverfahren am Fraunhofer-Institut  
für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik  
IWU in Chemnitz



**Stefan Gärtz,  
M. Sc.**

ist Konstrukteur bei der Hugo Stiehl GmbH  
in Crottendorf/Erzgebirge und war bis  
Dezember 2016 Hilfwissenschaftler am  
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen  
und Umformtechnik IWU in Chemnitz



**Prof. Dr.-Ing.  
Dirk Landgrebe**

ist Institutsleiter des Wissenschaftsbereichs  
Umformtechnik und Fügen am Fraunhofer-  
Institut für Werkzeugmaschinen und  
Umformtechnik IWU in Chemnitz



### STAND DER TECHNIK

Werden die entstandenen Oxide vor der Umformung nicht signifikant entfernt, kann dies zu sogenannten Zundermarken führen, die oft ein Ausschusskriterium für die Komponenten sind. Ebenso wird die Lebensdauer der Umformwerkzeuge durch den erhöhten Verschleiß erheblich herabgesetzt [1]. Eine entsprechende Oberflächenvorbehandlung ist somit unerlässlich.

### ZUNDERENTSTEHUNG

Bei der Erwärmung von konventionellen Stahl- und Eisenwerkstoffen über eine Temperatur von 570 °C entsteht auf der Bauteiloberfläche unter entsprechend begünstigender Atmosphäre eine Oxidschicht, der sogenannte Zunder. Dieser besteht aus drei von fünf bekannten Eisenoxiden: Wüstit (FeO), Hämatit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) und Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Bei Temperaturen von über 570 °C sind diese thermodynamisch stabil, unterhalb bilden sich lediglich Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Charakteristisch für Primärzunder ist, dass mit steigender Härte von innen nach außen die Elastizität abnimmt [2, 3, 4, 5].

Die Zunderbildung läuft nur in den seltensten Fällen nach den gängigen Zunderbildungsgesetzen ab. In der Regel reißt die entstandene Oxidschicht während der Erwärmungsphase stetig auf oder platzt partiell ab, wodurch die Bauteiloberfläche erneut mit Sauerstoff in Verbindung kommt. Dies wird als „Durchbruchoxidation“ oder „Breakaway-Oxidation“ bezeichnet (Bild 2). Die Zunderschicht wächst dabei zunächst linear und später parabolisch an. Durch dieses sprunghafte Wachstum kann der Abbrand während der Erwärmung bis zu drei Prozent der gesamten Bauteilmasse betragen [6].

Ziel sollte es sein, die Zunderbildung bestmöglich zu minimieren. Ansatzpunkte hierfür sind – neben der Reduzierung von Haltezeiten in der Erwärmungsanlage zum Beispiel durch den Einsatz einer induktiven Erwärmung – die Erwärmung unter Schutzgasatmosphäre, das Herabsetzen der Umformtemperaturen (Halbwarmumformung) oder das Aufbringen eines Schutzüberzugs auf Siliziumbasis. Diese Methoden können alle die Zunderbildung erheblich minimieren, sind aber aufgrund ihrer Komplexität teilweise sehr unflexibel und unwirtschaftlich [7].

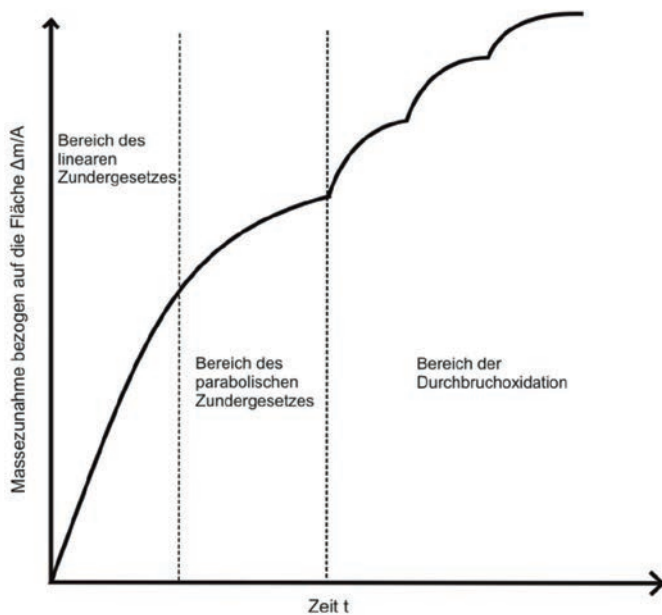


Bild 2: Zeitlicher Verlauf des Zunderwachstums

## VERFAHREN ZUM ENTZUNDERN IN DER MASSIVUMFORMUNG

Aktuell existieren verschiedenste Methoden und Verfahren, um Zunder vor einem weiteren Prozessschritt zu entfernen. Zu den meistgenutzten Methoden zählt das Stauchen vor dem Schmieden, das Druckwasserstrahlen sowie das Schleifen und Bürsten.

Die häufigste zum Einsatz kommende Methode ist eine Stauchstufe vor der ersten Formgebungsstufe, wobei die Schmiedeanfangsform auf eine definierte Höhe gestaucht wird. Infolge der so entstehenden Umfangsvergrößerung platzt der Zunder allseitig ab. Die Gefahr bei dieser Variante besteht jedoch darin, dass sich der Zunder stirnseitig in der Schmiedeanfangsform einprägt und es zur Bildung von Zundermarken kommt.

Das Druckwasserstrahlen (hohe Volumenströme unter hohem Druck) ist eine wirkungsvolle Methode der Oberflächenentzunderung. Sie findet sich vor allem in der Halbzeugherstellung

wieder [8]. Durch den hohen Druck des Wassers kommt es zur Tröpfchenbildung, wobei die einzelnen Tropfen wie eine Art Hammer auf die Zunderschicht wirken und diese aufbrechen. Der Vorteil dieser Art der Entzunderung ist die gleichzeitige Kühlwirkung des Wassers in Kombination mit der Umformung. Mit dieser thermo-mechanischen Behandlung können Halbzeuge mit hervorragenden Eigenschaften hergestellt werden. Als nachteilig stellt sich jedoch die notwendige Wiederaufbereitung des eingesetzten Wassers und der darin befindlichen Zunderbestandteile dar.

Im Gegensatz zum Druckwasserstrahl wird beim Schleifen und Bürsten die Zunderschicht mechanisch entfernt. Nachteilig ist, dass es hierbei zum Abtrag eines gewissen Anteils des Grundmaterials kommt und die eingesetzten Bürsten einem sehr großen Verschleiß, aufgrund der hohen Temperaturen des umzuformenden Materials, unterliegen [9].

## NEU ENTWICKELTE ENTZUNDERUNGSKONZEPTE

Im Rahmen der Forschungsarbeiten, hier in einer industriellen Eigenforschung am IWU in Form einer Studien-, Bachelor- sowie Masterarbeit, wurden für die oben genannte Problemstellung „Entzunderung in der Warmmassivumformung“ zwei flexibel einsetzbare Verfahren entwickelt, welche nachfolgend vorgestellt werden:

- axiales mechanisches Entzundern mittels Formwalzen
- Ultraschallentzunderung mittels Formsonotrode

Ziel der Entwicklung von Formwalzen mit definierter Walzengeometrie war es, rotationssymmetrische Werkstücke durch ein versetztes Anordnen der Walzenkörper von Zunder zu befreien. Der Grundaufbau des Werkzeugs ist in Bild 3 dargestellt.

Die Schlitten, die auf dem Grundträger montiert sind, können in radialer Richtung zugestellt werden. Die Walzenräger (grün) sind federnd gelagert und werden über eine Gewindespindel positioniert und vorgespannt, wodurch die Kraft, die auf das Werkstück ausgeübt werden soll, stufenlos variiert werden kann. Um mehr Berührungspunkte der Walzenkörper am Schmiederohling zu ermöglichen, wurden spezielle Formwalzen entwickelt (Bild 4). Die Beanspruchung der Zunderschicht konnte so maximiert werden, und die daraus resultierende Entzunderungswirkung wurde deutlich verbessert.

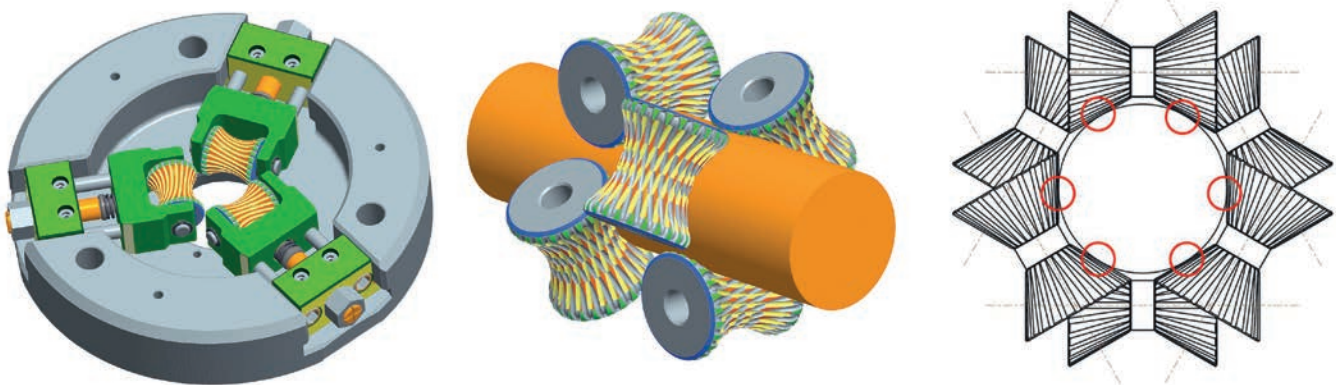


Bild 3: Grundaufbau des Werkzeugs und Anordnung der Kegelwalzen am Werkstück



Um den Werkstückumfang umlaufend abzudecken, wurden zwei Werkzeugaufnahmen nacheinander jeweils um 60° versetzt angeordnet, wodurch sechs Walzen gleichzeitig im Eingriff sind. Die Kräfte, die für das Durchstoßen des Rohlings durch die Entzunderungsvorrichtung notwendig sind, liegen in dem Bereich, wie sie beim Einstoßen von Werkstücken, wie zum Beispiel vor dem Querkeilwalzen, üblich sind.

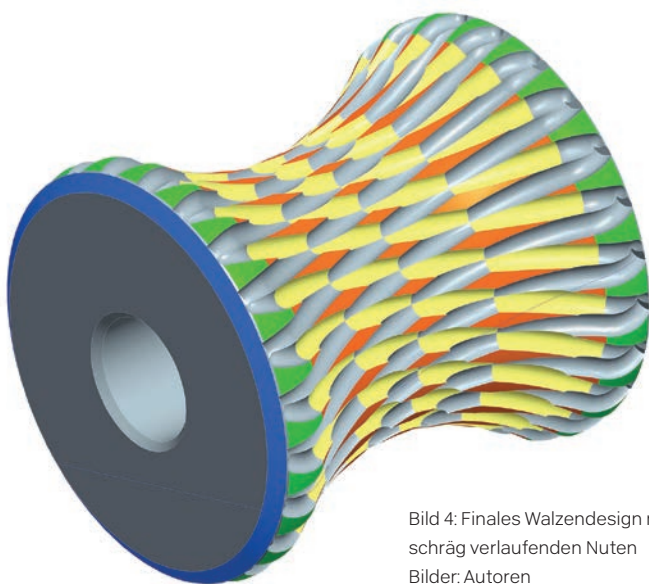


Bild 4: Finales Walzendesign mit schräg verlaufenden Nuten  
Bilder: Autoren

Bei dem zweiten Verfahren, der Entzunderung mittels Ultraschall, wird der Ultraschall ohne Koppelflüssigkeit mit Hilfe einer Formsonotrode direkt auf die Bauteiloberfläche eingeleitet. Durch die hochfrequenten Wellen wird somit ein Abplatzen des Zunders von der Werkstückoberfläche ausgelöst. Nachteilig ist, dass aufgrund des direkten Kontakts mit dem erwärmten Werkstück, der Schwingkörper extrem hohen Belastungen unterliegt, die bei der Auslegung berücksichtigt werden müssen. Die Qualität der entzunderten Oberfläche spricht jedoch für sich. Der Primärzunder konnte mit dieser Methode fast vollständig von der Mantel- und Stirnfläche entfernt werden. Des Weiteren konnten unzulässige Oberflächenmarkierungen, wie sie zum Beispiel bei der mechanischen Entzunderung durch Walzen entstehen können, ausgeschlossen werden. Getestet wurden Ultraschallfrequenzen im Bereich von 20 bis 50 kHz mit Schwingungsamplituden  $>10\text{ }\mu\text{m}$  und einer Leistung von zirka 500 W. Wichtigster Untersuchungsparameter war die Geometrie der Sonotrode. Diese muss entsprechend des zu entzundernden Halbzeugs angepasst werden. Um im späteren Verlauf flexibler agieren zu können, bedarf es weiterer Entwicklungsarbeiten.

#### NUTZEN FÜR DIE INDUSTRIE UND DEN ANWENDER

Beim axialen Entzundern mit durchmesserangepassten Formwalzen konnten zirka 95 Prozent des Primärzunders von der Manteloberfläche der Anfangsformen für die Warmmassivumformung entfernt werden. Dies gilt für eine Entzunderung noch

vor der ersten Umformstufe nach Meinungen von Branchenvertretern als ein sehr guter Wert. Die Vorteile der Einbindung einer solchen Entzunderungseinrichtung stellen sich wie folgt dar: Das Werkzeug ist platzsparend und kann an den jeweiligen Prozess und sämtliche Entzunderungsaufgaben optimal angepasst werden. Hauptvorteil dieser Methode ist, dass es keiner zusätzlichen Energiezuführung bedarf. Die in der Praxis üblichen Einstoßmechanismen sind nach aktuellem Stand für das Durchstoßen der zu entzundernden Werkstücke für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle ausreichend. Eine Integration dieses Entzunderungskonzepts kann sowohl in der Halbzeugherstellung, als auch in der Einzelstückfertigung erfolgen.

Die Nutzung der Ultraschalltechnik zur Entzunderung findet hinsichtlich ihrer Flexibilität eher im Bereich der Klein- und Mittelserienfertigung Anwendung, da somit auf Prozessunregelmäßigkeiten effektiv reagiert werden kann. In Hinblick auf den hohen Formspeichergrad der Sonotroden sind weitere Entwicklungstätigkeiten notwendig, um diesen zu reduzieren und das gesamte System flexibler zu gestalten.

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In der Warmmassivumformung werden Werkstücke auf Temperaturen von zirka 1.000 und 1.250 °C erwärmt und anschließend umgeformt. Die Bildung einer Zunderschicht ist ohne weitere Maßnahmen bekannterweise in der Großserie kaum zu vermeiden. Maßnahmen wie die Verkürzung der Haltezeit in der Erwärmungseinrichtung, das Aufbringen von Schutzschichten auf die Werkstückoberfläche oder das Erwärmen unter Schutzgas zur Reduzierung der Primärzunderbildung sind vor allem im Bereich der Sonderverfahren anzuordnen, da sie für Großserien als eher unwirtschaftlich gelten.

Um den vielfältigen Anforderungen der Warmmassivumformung Genüge zu tun, ist es zwingend notwendig, einen Entzunderungsschritt in die Prozesskette zu integrieren.

Ziel der hier vorgestellten Arbeiten war es, die oben beschriebenen Entzunderungstechniken in die Prozessketten der Warmmassivumformung zu integrieren, genauer noch zwischen der Erwärmung und der ersten Umformstufe. Dies war so zu gestalten, dass bezüglich des bisher vorhandenen technologischen Ablaufs keine beziehungsweise nur minimale Änderungen vorzunehmen waren. Zudem galt es, das Zeitfenster zwischen Ent-

zunderung und Umformstufe so kurz wie möglich zu halten, um die bereits erwähnte Sekundärzunderbildung zu vermeiden.

Die Versuche im Bereich der axialen Entzunderung zeigten deutlich, dass durch federnd gelagerte Formwalzen gute Ergebnisse erzielt werden konnten und die sich bei der Erwärmung bildende Zunderschicht als prozessbeeinflussende Wirkung erheblich reduziert werden konnte.



- [1] Przybylla, G.: Prozessoptimierung und Qualitätsverbesserung durch Entzunderung, MEFORM 2005, Tagungsband: Neue Entwicklungen beim Gesenk- und Freiformschmieden, 30.03.05 – 01.04.05
- [2] Viščorová, R.: Untersuchung des Wärmeübergangs bei der Spritzwasserkühlung unter Berücksichtigung des Einflusses der Verzunderung, Dissertation, TU Clausthal, Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften, Clausthal, 2007
- [3] Luig, H.: Einfluß von Verschleißschutzschichten und Roh-  
teilverzunderung auf den Verschleiß beim Schmieden, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 5: Grund- und Werkstoffe, Nr. 315, Hannover, VDI Verlag, 1993
- [4] Joseph, Y.: Spektroskopische Untersuchungen zur Oberflächenchemie von einkristallinen Eisenoxidfilmen, Dissertation, Freie Universität Berlin, Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie, Berlin, 2001
- [5] Schimanke, G.T.: Zur kinetischen Stabilität von nanokristallinem Maghemit. Dissertation, TU Darmstadt, Fachbereich Chemie, Darmstadt, 2001
- [6] Bürgel, R.; Maier, H.-J.; Niendorf, T.: Handbuch Hochtemperatur-Werkstofftechnik, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag, 2011
- [7] Spur, G.; Stöferle, Th.: Handbuch der Fertigungstechnik, Band 2, Umformen und Zerteilen, München, Wien, Carl Hanser Verlag München Wien, 1984
- [8] Schneidau, V.: Merkblatt 212 „Strahlen von Stahl“, Datteln, Stahl-Informationszentrum Düsseldorf, 2010
- [9] Pietschmann, J.: Industrielle Pulverbeschichtung, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag, 2010