

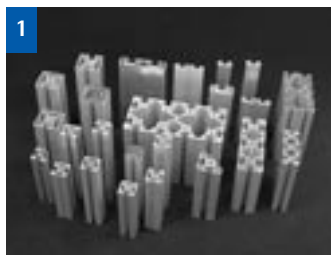
Aluminium-Bolzen: Erwärmung durch Supraleitung

ENERGIESPARENDE ERWÄRMUNGSKONZEPTE DER ZUKUNFT

Die Erwärmung des Werkstoffs Aluminium für das Umformen zu Profilen ist verbunden mit hohen energetischen Verlusten.

Bis zu 50 Prozent der Energie werden dabei in Form von Wärme an die Atmosphäre abgegeben.

Zwei Wissenschaftler des Instituts für Elektroprozess-technik der Leibniz Universität Hannover veranschaulichen Optimierungsprozesse im Bereich der Aluminiumerwärmung, die ein hohes Potenzial der Energieeinsparung haben.



Aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen hergestellte Profile (Bild 1) werden in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten verwendet, im Gebäudebereich für Fenster- und Türrahmen, im Präsentationsbereich für Posterrahmen und White Boards, für die Innenraumausstattung moderner Büros sowie in vielen industriellen Bereichen.

Derartige Profile werden im Strangpressverfahren hergestellt, das heißt ein Aluminiumbolzen – auch Billet genannt – (Bild 2) wird in einer Strangpresse durch eine entsprechend geformte Matrize zu einem Profilstrang gepresst (Bild 3). Um die Umformung von Aluminium zu ermöglichen, muss der Aluminiumbolzen auf eine Temperatur von etwa 500 °C vorgeheizt werden, damit das Material für die Umformung entsprechend »weich« ist und in der Strangpresse vor der Matrize fließen kann.

Zur Erwärmung der Aluminiumbolzen werden heute üblicherweise Gas- oder Induktionserwärmer eingesetzt. Moderne mit elektrischer



Energie gespeiste Induktionserwärmer (Bild 4) weisen bereits umfassende Vorteile gegenüber Gaserwärmern auf. Der entscheidende Vorteil von Induktionserwärmern ist die wesentlich höhere Aufheizgeschwindigkeit, die eine bessere Energieausnutzung durch geringere Wärmeverluste, einen deutlich geringeren Materialabbrand und eine höhere Produktivität erlaubt.

Dennoch werden auch bei einem Induktionserwärmer nur 50 bis 60 Prozent der eingesetzten Energie in dem Aluminiumbolzen in Wärme umgesetzt. Der Rest tritt in der Induktionsspule als Wärmeverlust auf und wird an das Kühlwasser und damit üblicherweise an die Umwelt als Abwärme abgegeben. Die Anlagenleistung von Induktionserwärmern zur Bolzenerwärmung beträgt heute bis zu 2.000 Kilowatt. Damit müssen

bis zu 1.000 Kilowatt Kühlleistung für derartige Erwärmer aufgebracht werden, die nutzlos über Kühltürme an die Umwelt abgegeben wird. Bei einem durchschnittlichen Strompreis von 10 Cent pro Kilowattstunde und 4.000 Betriebsstunden der Installation ergeben sich Kosten für die Energieverluste von rund 400.000 Euro pro Jahr.

Ein neues Konzept mit Einsatz von Supraleitung soll diese Wärmeverluste erheblich senken (Bild 5). Ziel des neuen Verfahrens ist eine Verbesserung der Energieübertragung auf den Aluminiumbolzen auf über 90 Prozent. Damit lassen sich 40 Prozent der Energieverluste einsparen. Der Einsatz von Supraleitung wäre damit ein Durchbruch bei induktiv beheizten Verfahren, weil die enorme Abgabe von Abwärme durch die Induktionsspule entfällt.

Das Institut für Elektroprozess-technik der Leibniz Universität Hannover (ETP) erforscht neue Anwendungen von elektrischer Energie für die Prozesswärme. Der Forschungsschwerpunkt des Instituts für Elektroprozess-technik liegt dabei in der Forschung und Entwicklung von induktiv beheizten Verfahren für das Schmelzen, Erwärmen und Wärmebehandeln von Metallen, Halbleitern, Gläsern und Oxiden. Bei der Neuentwicklung und Optimierung von elektrisch betriebenen Prozesswärmeverfahren nimmt die am Institut für Elektroprozess-technik weit fortgeschrittene Prozesssimulation heute einen hohen Stellenwert ein, da experimentelle Analysen zur Prozessentwicklung sehr kostenintensiv und aufgrund der hohen Prozesstemperaturen in vielen Fällen nicht möglich sind.

Das Institut für Elektroprozess-technik wurde im Jahre 2005 Partner in einem von der EU geförderten Projekt zur Entwicklung und Realisierung eines neuartigen Konzepts zum Erwärmen von Aluminiumbolzen für das Strangpressen unter Einsatz supraleitender Spulen, zusammen mit acht weiteren Partnern aus Deutschland, Norwegen, Finnland, Polen, Tschechien und Italien. Bei dem neuartigen Konzept (Bild 5) wird im Gegensatz zum konventionellen Induktionserwärmer kein elektromagnetisches Wechselfeld, sondern ein Gleichfeld eingesetzt, das von einem supraleitenden Magneten nahezu verlustfrei erzeugt wird und daher wesentlich höhere elektrische Wirkungsgrade als ein Wechselfeld ermöglicht. Damit auch das magnetische Gleichfeld eine induktive Erwärmung ermöglicht, wird der Aluminiumbolzen in dem Gleichfeld rotiert und dazu von einem elektrischen Motor angetrieben. Als Wärmeverluste treten bei diesem Konzept nur noch die Verluste des Antriebsmotors und der Kühl-

aufwand für den supraleitenden Magneten auf, die zusammen bei weniger als 10 Prozent des Gesamtenergieaufwandes liegen. Damit wird ein Gesamtwirkungsgrad von über 90 Prozent erreicht.

Das aktuelle Konzept der Erwärmungsanlage sieht vor, Aluminiumbolzen mit einem Durchmesser von 0,3 Metern und einer Länge von 1 Meter zu verarbeiten. Die Bolzen sollen in 150 Sekunden auf ein Temperaturniveau von 500 °C erwärmt werden. Je nach Profilgeometrie des späteren Produktes und der verwendeten Aluminiumlegierung variiert die gewünschte Verteilung der Temperatur im Bolzen zwischen 350 °C und 500 °C. Die maximale Rotationsgeschwindigkeit liegt bei 3.000 Umdrehungen/Minute.

Das magnetische Gleichfeld wird über zwei parallel angeordnete supraleitende Spulen erzeugt. Dabei kommen moderne Hochtemperatur-Supraleiter des Materials Magnesiumdiborid (MgB_2) zum Einsatz. Bei 39 Kelvin erfolgt der Übergang in den supraleitenden Zustand. Eine Kompressionskältemaschine sorgt für die Abkühlung einer Kupferplattform auf die Solltemperatur von 20 Kelvin. Diese Plattform ist über Kupferverbindungen elektrisch isoliert mit den Spulen verbunden. Die Kühlung erfolgt hierbei durch Wärmeleitung.

Die Rotation des Bolzens im magnetischen Gleichfeld führt zur Induktion von elektrischen Wirbelströmen im Bolzen. Die Frequenz der Ströme ist dabei abhängig von der Rotationsgeschwindigkeit im Feld. Mit steigender Frequenz ordnen sich die fließenden Ströme zunehmend an der Oberfläche des Aluminiumbolzens an. Dieser Effekt wird auch als Skin-Effekt bezeichnet.

Bedingt durch den elektrischen Widerstand des Aluminiums verursachen die Wirbel-

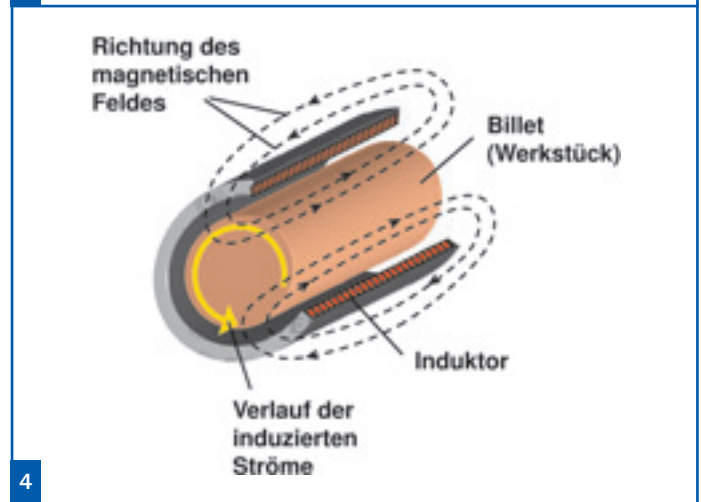
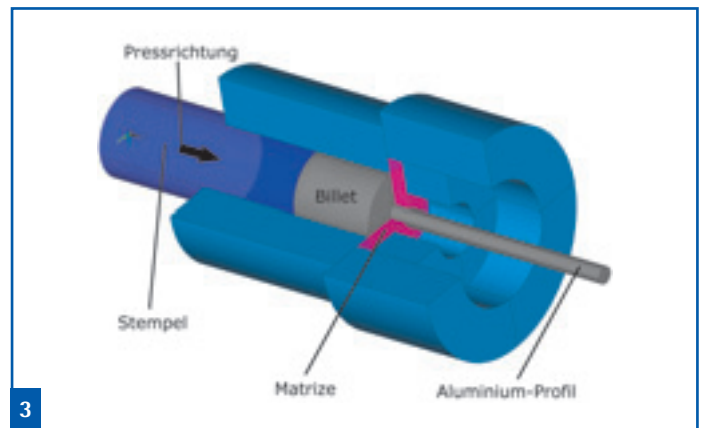
ströme die Erwärmung des Materials. Die axiale Verteilung der Temperatur im Bolzen ist abhängig von der geometrischen Ausformung des magnetischen Feldes und lässt sich somit nur über die Änderung der Spulengeometrie oder über den Abstand der Spulen zum Werkstück ändern. Die radiale Verteilung der Temperatur ist direkt abhängig von der Ausprägung des Skin-Effektes und somit von der Rotationsgeschwindigkeit des Bolzens. Sowohl

Bild 1
Aus Aluminium hergestellte Profile finden vielfältige Einsatzmöglichkeiten in Alltag und Industrie.

Quelle: Institut für Elektroprozess-technik, Leibniz Universität Hannover

Bild 2
Billets: Ausgangsmaterial für den Strangpressprozess

Quelle: Institut für Elektroprozess-technik, Leibniz Universität Hannover



die axiale als auch die radiale Verteilung lassen sich über eine Änderung der Erwärmungszeit zusätzlich beeinflussen.

Bild 3
Grafischer Querschnitt einer Strangpresse
Quelle: Institut für Elektroprozess-technik, Leibniz Universität Hannover

Der spätere Extrusionsprozess, bei dem das Aluminium durch eine Düse gepresst wird, erfordert isothermes Verhalten, also eine konstante Verarbeitungstemperatur im Bereich der Werkstückmatrize in der Pres-

Bild 4
Induktionswärmer
Quelle: SINTEF / Institut für Elektroprozess-technik, Leibniz Universität Hannover



Prof. Dr.-Ing. Bernard Nacke

Jahrgang 1954, ist seit 2000 als Leiter des Instituts für Elektroprozessentechnik an der Leibniz Universität Hannover tätig. Sein Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich der elektrothermischen Prozessentechnik. Kontakt: nacke@ewh.uni-hannover.de



Dipl.-Ing. Alexander Ulferts

Jahrgang 1975, ist seit 2004 als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Elektroprozessentechnik an der Leibniz Universität Hannover beschäftigt. Kontakt: ulferts@ewh.uni-hannover.de

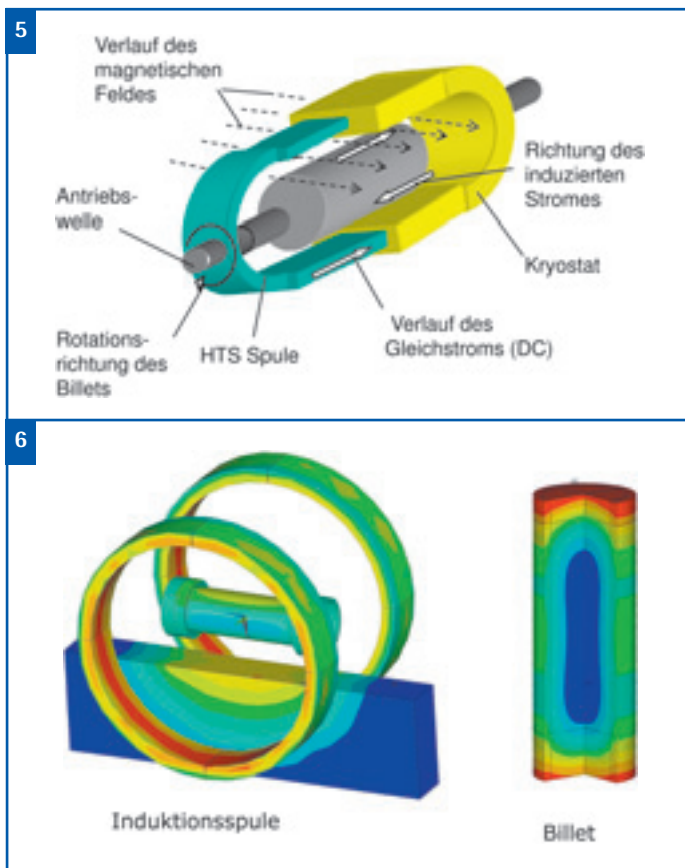


Bild 5
Konzeptionelle Darstellung des Bolzenerwärmers unter Einsatz supraleitender Spulen
Quelle: SINTEF / Institut für Elektroprozessentechnik, Leibniz Universität Hannover

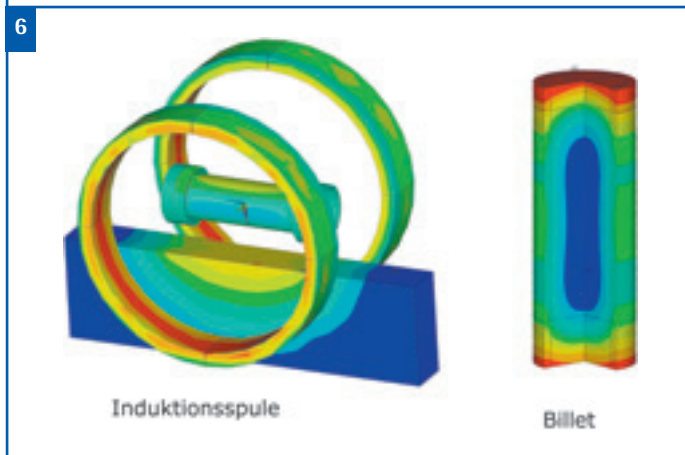


Bild 6
Modell zur Betrachtung des Erwärmungsprozesses
Quelle: Institut für Elektroprozessentechnik, Leibniz Universität Hannover

se. Es wird eine sehr hohe Temperaturgenauigkeit von $\pm 2\text{ °C}$ gefordert, um Qualitätsverluste beim Strangpressen so minimal wie möglich zu halten.

Während des Pressens wird Umformenergie umgesetzt und sorgt für ein zusätzliches Aufheizen des Materials im Bereich der Matrize. Mit zunehmendem Fortschritt des Pressvorgangs nimmt die durchschnittliche Prozesstemperatur in der Presse zu, wenn die Temperatur im Bolzen vor dem Pressvorgang konstant verteilt ist. Um diesen Effekt zu reduzieren, werden die Bolzen oft mit einem axialen Temperaturgradienten versehen, wobei das Bolzenende mit höherer Temperatur zu Beginn des Pressvorgangs eingesetzt wird. Übliche Werte des Gradienten liegen zwischen 0 und 10 Kelvin pro Dezimeter. In der praktischen Anwendung wird die Pressmatrize in einigen Fällen auch aktiv gekühlt und in den Regelungsprozess der Anlage integriert.

Mittels numerischer Simulation ist es möglich, den Erwärmungsprozess vorab zu betrachten und mögliche Unstimmigkeiten im Design der Anlage zu korrigieren. In Kooperation mit der Elektrotechnischen Universität in St. Petersburg wurde am Institut für Elektroprozessentechnik ein Finite Elemente Methoden-Modell des Erwärmers für diese Aufgabe entwickelt (Bild 6, linker Teil). Sowohl die räumliche und zeitliche Verteilung des Magnetfeldes und des Temperaturfeldes im Bolzen lassen sich anhand eines computer-gestützten Modells wesentlich unkomplizierter und schneller analysieren. Computergestützte Modelle bieten zudem die Möglichkeit, das virtuelle Werkstück »aufzuschneiden« und die Prozessgrößen wie Temperatur oder Magnetfeld im Inneren des Werkstücks zu betrachten (Bild 6, rechter Teil). Das ist in einer realen Anordnung nicht immer mög-

lich und zudem oft mit unnötigen Kosten verbunden. Die Wirkung der Prozessparameter kann so bereits im Vorfeld einem ersten Optimierungsprozess unterworfen werden.

In Kooperation mit der Technischen Universität in Samara werden neue Ansätze einer optimalen Prozesssteuerung entwickelt, um die Energieeffizienz des Systems zu maximieren. Gerade die zeitabhängige Steuerung der Rotationsgeschwindigkeit bietet ein hohes Optimierungspotenzial, um eine maximale Effizienz zu erreichen.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen bestätigen die Effizienz des neuartigen Konzeptes und die Realisierbarkeit. Der Test eines entsprechenden Erwärmers ist Ende 2009 im Institut für Elektroprozessentechnik geplant.

Parallel zu der Entwicklung im Rahmen des EU-Projekts fand parallel die Entwicklung eines Erwärmers auf Basis eines ähnlichen Konzeptes statt. Das technisch einfachere Konzept ist bereits in Prototypen industriell im Einsatz.

Die umfassende Realisierung des neuen Erwärmungskonzeptes in der metallverarbeitenden Industrie bietet ein sehr hohes Potenzial der Energieeinsparung. Zudem lässt sich der Einsatz der Supraleitung auch auf andere elektrothermische Prozesse ausweiten, wodurch erhebliche Energieeinsparungspotenziale genutzt werden können.