

Schwer auf Draht

SELBSTAUFLÖSENDE MAGNESIUMDRÄHTE IN DER BIOMEDIZINTECHNIK

In den vergangenen Jahren ist die Erforschung von resorbierbaren Implantaten, das heißt von Implantaten, die sich nach einer bestimmten Zeit im Körper auflösen, deutlich in den Fokus der Medizintechnik gerückt. Die Verwendung solch resorbierbarer Implantate spart nicht nur Kosten und Zeit, sondern verhindert auch, dass dem Patienten das Implantat in einer Revisionsoperation wieder entnommen werden muss. Wissenschaftler des Instituts für Werkstoffkunde beschäftigen sich besonders mit Magnesium, einem Material, das eine solche Resorptionseigenschaft im menschlichen Körper aufweist.

Am Institut für Werkstoffkunde (IW) der Leibniz Universität Hannover wird seit mehr als einem Jahrzehnt intensiv mit diesem für die Medizin so interessanten Werkstoff geforscht. Einen besonderen Schwerpunkt bildet hierbei die Herstellung und Untersuchung von dünnen Drähten aus unterschiedlichen Magnesiumlegierungen, das heißt, dass Magnesium mit anderen Elementen des Periodensystems vermenget wird. Diese Legierungen sollen in Zukunft als resorbierbares Nahtmaterial in der Medizin eingesetzt werden. Das Ausgangsmaterial für die Drähte wird im Schmelzofen verarbeitet, in dem das Magnesium zusätzlich mit Elementen versehen wird, die dem Werkstoff elastische Eigenschaften verleihen sollen. Diese Zusatz- oder Legierungselemente dürfen aber keine zusätzliche Belastung für den Körper darstellen, also nicht toxisch oder radioaktiv sein. Das gegossene Material wird anschließend in einer Strangpresse zu Drähten umgeformt. Dabei wird das Magnesium durch ein formgebendes Bauteil, die so genannte Matrize, gedrückt. Das Besondere beim Umformen des Magnesiums sind jedoch die Einstellungen, die an der Presse vorgenommen werden müssen. So müssen die Kraft, mit der die Strangpresse das Magnesium durch die Matrize drückt, und die Temperatur,

mit welcher der Magnesiumwerkstoff vorgewärmt wird, eigens für jede Magnesiumlegierung bestimmt werden. Geeignete Einstellungen liegen in einem Temperaturfeld zwischen 300 und 500 Grad Celsius sowie in einem Kräftebereich zwischen 65 und 80 Tonnen. Da der Werkstoff Magnesium im kalten Zustand aufgrund seiner hexagonalen Gitterstruktur besonders schlecht umformbar ist, sollten die Temperaturen beim Pressen immer oberhalb von etwa 250 Grad Celsius liegen (ab dieser Temperatur ändert sich das Umformverhalten von Magnesium schlagartig). Beim Pressen der Drähte wird zusätzlich noch ein Schmiermittel verwendet, um sie mit einer guten Oberflächenqualität und gleichzeitig großen Längen zu erzeugen. Als besonders geeignet hat sich hierbei Graphit erwiesen, welches zusätzlich den Vorteil bietet, nicht giftig zu sein, falls es als Rückstand in den menschlichen Körper gelangt. Schmierung, Temperatur und Kraft müssen genau auf die Legierung abgestimmt sein, andernfalls leidet die Qualität des Drahtes oder dieser fängt im schlimmsten Falle Feuer. Die Kombination von Magnesium mit einigen Zusatzelementen kann die Flammtemperatur des Materials stark herabsetzen. Lithiumhaltige Magnesiumlegierungen entzünden sich beispielsweise schon bei

vergleichsweise geringen Temperaturen. Ein solcher Magnesiumbrand ist grundsätzlich problematischer als ein herkömmliches Kaminfeuer, da er sich unter Wasser verstärkt. Mit geeigneten Löschmitteln wie etwa CO₂-Schnee und Löschsalz ist ein solcher jedoch gut in den Griff zu bekommen.

Das Besondere an dem im Institut für Werkstoffkunde entwickelten Verfahren zur Herstellung von Drähten ist der enorme Umformschritt, der vollzogen wird. Hierbei werden Magnesiumbolzen mit einem Durchmesser von 30 Millimetern in Drähte mit einem Durchmesser von bis zu 0,3 Millimetern umgeformt. Derzeit konnte der Prozess am Institut für Werkstoffkunde für Drähte mit einem Durchmesser von 0,5 Millimetern optimiert werden, wobei Drahtlängen von bis zu 25 Metern erreicht wurden. Ziel ist es, in einem einzigen Pressverfahren möglichst geringe Drahtdurchmesser zu realisieren, um nachfolgende Verjüngungsprozesse kurz zu halten. Dies ist gerade im Hinblick auf den industriellen Einsatz der Drähte wichtig, weil eine lange Abfolge von Prozessen kostenintensiver ist als eine kurze.

Nach der Herstellung der Drähte werden diese hinsichtlich ihrer mechanischen Werkstoffeigenschaften untersucht. Hierzu erfolgen Zugversuche, die Aufschluss über die Reißfestigkeit der Drähte geben. Grundsätzlich kann man sich unter dem Zugversuch ein Zerreißen der Drähte vorstellen, bei welchem die Kraft, bei der der Draht versagt, aufgezeichnet wird. Durch den Versuch können aber auch Rückschlüsse auf die Dehnung bis

Nahtmaterial dar und definiert sich allgemein über die Eignung eines Materials, sich zu einer engen, festen Schlaufe verknoten zu lassen. Magnesiumlegierungen reagieren ganz unterschiedlich auf die Knotbarkeitsprüfung. Spröde, mit Calcium versehene Magnesiumlegierungen halten der Prüfung beispielsweise nicht so gut stand wie dehnbare lithiumhaltige und brechen, bevor sich der Knoten vollkommen zusammenziehen kann.

zu schaffen. Resorbierbare Kunststoffe weisen den Nachteil eines unklaren Abbauverhaltens auf, bei welchem es zu chemischen Verbindungen kommen kann, die vom Körper nicht weiter



Abbildung 1
Herkömmliche Stahldrähte zur Fixierung eines Knochenbruchs
Quelle: Klinik für Kleintiere, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

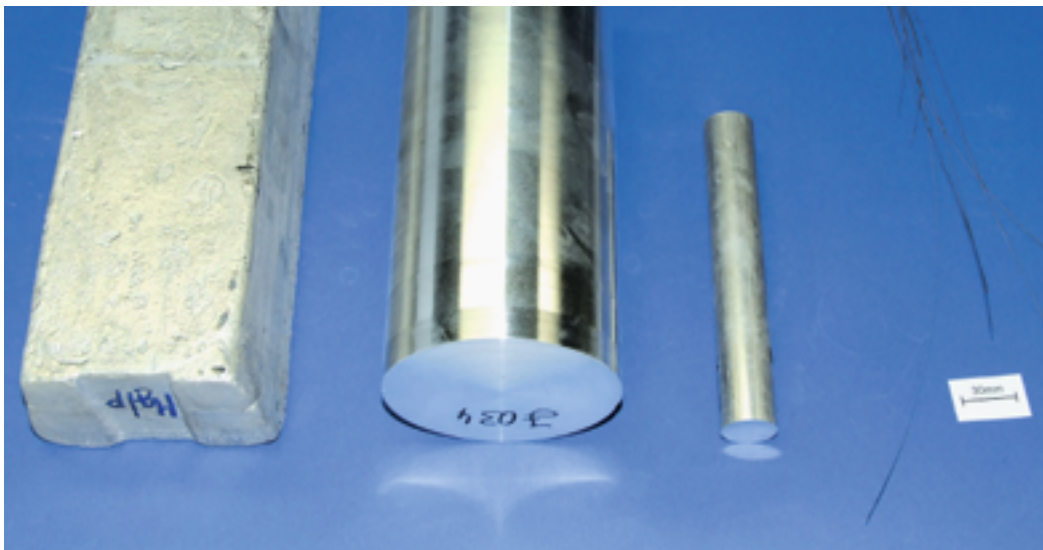


Abbildung 2
Prozesszustände des Magnesiums bei der Drahtherstellung; von links nach rechts: Massel im Anlieferungszustand, Bolzen nach dem Gießen, Strangpressprofil, Drähte nach dem Drahtpressen
Quelle: IW, Leibniz Universität Hannover

zum Reißen sowie auf die elastische und plastische Verformbarkeit des Drahtes gezogen werden. Aus der im Zugversuch festgehaltenen Reißfestigkeit und der Dehnung ist es generell aber auch möglich, auf die Knotbarkeit des Drahtes zu schließen. Magnesiumdrähte mit hohen Reiß- beziehungsweise Zugfestigkeiten und hohen Dehneigenschaften zeigen dabei eine besonders gute Knotbarkeit. Insbesondere lithiumhaltige Magnesiumlegierungen zeigen in diesem Zusammenhang eine gute Kombination der mechanischen Materialkennwerte und rechtfertigen dadurch das erhöhte Brandrisiko bei der Herstellung. Die Knotbarkeit stellt neben der Reißfestigkeit ein wichtiges Kriterium für

Die am Institut für Werkstoffkunde erstellten Magnesiumdrähte werden in einem internationalen Projekt in Kooperation mit Professor Milenin von der Technischen Universität Krakau (AGH) weiterentwickelt. Hierbei wird von polnischer Seite aus in erster Linie eine Simulation der einzelnen Drahtherstellprozesse durchgeführt, welche dem Institut für Werkstoffkunde wichtige Informationen und Anhaltspunkte zur Prozessoptimierung bietet. Die resultierenden Magnesiumdrähte sollen später bei einem Durchmesserfeld zwischen 0,1 und 1 Millimeter dazu verwendet werden, eine Alternative zu den derzeit gebräuchlichen resorbierbaren Nahtmaterialien aus Kunststoff, so genannten Polymeren,

reduziert werden können. Der Abbauverlauf von Magnesium in körpurnaher Umgebung ist hingegen gut beschrieben und stellt sich als unproblematisch dar. Die Reaktion der hergestellten Magnesiumlegierungen auf Körperzellen wird in Zusammenarbeit mit der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover und dem Helmholtz Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 599 untersucht. Proben des zu untersuchenden Magnesiumdrahtes werden in mit Körperzellen besetzte Petrischalen eingebracht, worauf die Reaktion der Zellen auf den vermeintlichen »Fremdkörper« festgestellt und ausgewertet wird. Die resultierenden Er-



Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Friedrich Wilhelm Bach
Jahrgang 1944, ist seit 2001 Direktor des Instituts für Werkstoffkunde an der Leibniz Universität Hannover. Kontakt: bach@iw.uni-hannover.de



Dipl.-Ing. Jan-Marten Seitz
Jahrgang 1982, arbeitet seit 2008 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffkunde an der Leibniz Universität Hannover. Kontakt: seitz@iw.uni-hannover.de

gebnisse geben dem Institut für Werkstoffkunde wichtige Erkenntnisse über die Eignung der jeweiligen Magnesiumlegierung für biomedizinische Vorhaben.

Wichtig ist neben der grundsätzlichen Zellverträglichkeit auch ein langsamer Abbauvorgang des Magnesiumdrahtes

im Körper. Der Abbau, man spricht auch von Degradation, soll im Menschen mit Hilfe von Wasser geschehen. Bei diesem Prozess bildet sich eine Verbindung (Magnesiumhydroxid) aus, welche vom menschlichen Organismus problemlos verwertet werden kann. Als Nebenprodukt dieser Reaktion bildet sich jedoch auch Wasserstoff. Diese Wasserstofffreisetzung zu steuern, um eine schmerzhafte Gasblasenbildung am Magnesiumdrahtimplantat zu verhindern, ist daher besonders wichtig. Grundsätzlich kann der Körper mit dem Abbauprodukt Wasserstoff zwar umgehen, der Abtransport dauert jedoch recht lang. Damit Wasserstoff also in möglichst geringen Mengen entsteht, kann die Gasentwicklung mit geeigneten Legierungselementen für das Magnesium oder Beschichtungen des Drahtes gesteuert werden.

Um den Anforderungen an die Medizintechnik zu entsprechen, muss man eben schwer auf Draht sein.

Abbildung 3
Schlinge aus einem 0,5 Millimeter starken Magnesiumdraht
Quelle: IW, Leibniz Universität Hannover

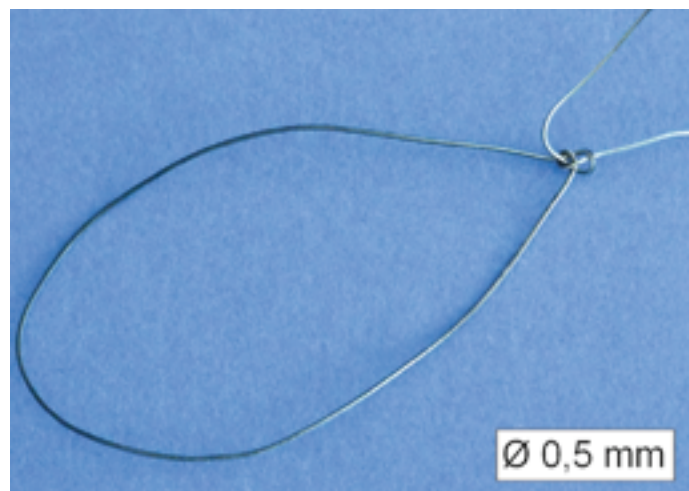


Abbildung 4
Geknotete Magnesiumdrähte verschiedener Durchmesser
Quelle: IW, Leibniz Universität Hannover

