



VERSTÄNDNIS ÜBER FRÜHE STADIEN DER AUSSCHIEDUNGSBILDUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN 6xxx-WERKSTOFFEN

Legierungen der 6xxx-Serie sind mengenmäßig die bedeutendste Gruppe ausscheidungshärtbarer Aluminiumlegierungen und finden vielfältig in der Fahrzeugtechnik, dem Schiffbau, der Luftfahrtindustrie, der Architektur und im allgemeinen Maschinenbau Anwendung [1].

Attraktiv ist diese Legierungsgruppe vor allem aufgrund der günstigen Kombination aus Festigkeit und Dichte, der ausgezeichneten Korrosions- bzw. Oberflächeneigenschaften und der guten Schweißbarkeit bei gleichzeitig relativ geringen Kosten [2]. Der Einsatz erfolgt zumeist in warmausgelagertem Zustand, wobei der Erfolg dieses Wärmebehandlungsschrittes in hohem Maße von der thermischen Vorgeschichte abhängt [1].

Eine Raumtemperaturlagerung zwischen dem Lösungsglühen und dem Warmauslagern wirkt bei den meisten Knetlegierungen mit höheren Gehalten an Mg und Si, wie es z. B. bei der Legierung AA 6061 der Fall ist, massiv

negativ auf die Warmauslagerung [2,3]. Da dies technisch und logistisch oft unvermeidbar ist, werden die Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz und Festigkeit bei der Fertigung von Halbzeugen entsprechend vermindert. Daneben ist dieser Effekt aber vor allem für den Einsatz von 6xxx-Werkstoffen im Automobilbau abträglich, da die Aushärtbarkeit von Karosserieteilen während des verhältnismäßig kurzen Zyklus des Einbrennlackierens verloren geht.

Obwohl sich die Forschung seit über 70 Jahren mit dieser Thematik befasst [3], sind die zugrunde liegenden metallphysikalischen Mechanismen bis heute noch nicht vollständig geklärt [4]. Das übergeordnete Interesse der AMAG rolling, neue Strategien zur Vermeidung des negativen Effektes einer Zwischenlagerung bei Raumtemperatur bzw. generell neue Möglichkeiten zur Optimierung der Aushärtung von 6xxx-Legierungen zu finden, kann aufgrund der beträchtlichen internationalen Forschungsanstrengungen in der

Vergangenheit nur über ein noch tiefergehendes Verständnis der Vorgänge im Material erreicht werden.

Ein erster großer Schritt in diese Richtung konnte im vergangenen Jahr basierend auf einem kombinierten Ansatz von Untersuchungen des Ausscheidungsgefüges, einer mathematischen Analyse der Ausscheidungs- und Auflösungsreaktionen sowie theoretischen Überlegungen getan werden. In Zusammenarbeit mit der Montanuniversität Leoben und der ETH Zürich gelang die Postulierung eines neuen Mechanismus zur Erklärung des Zwischenlagerungseffektes und dessen Temperaturabhängigkeit für höher legierte 6xxx-Werkstoffe, der bereits in der internationalen Fachpresse publiziert wurde [5].

Dabei erfolgt die Annahme, dass bei der Abschreckung entstehende Gitterdefekte (Ungleichgewichtsleerstellen) den Ausscheidungsprozess bei der Warmauslagerung kontrollieren. Die Mobilität dieser Leerstellen hängt stark

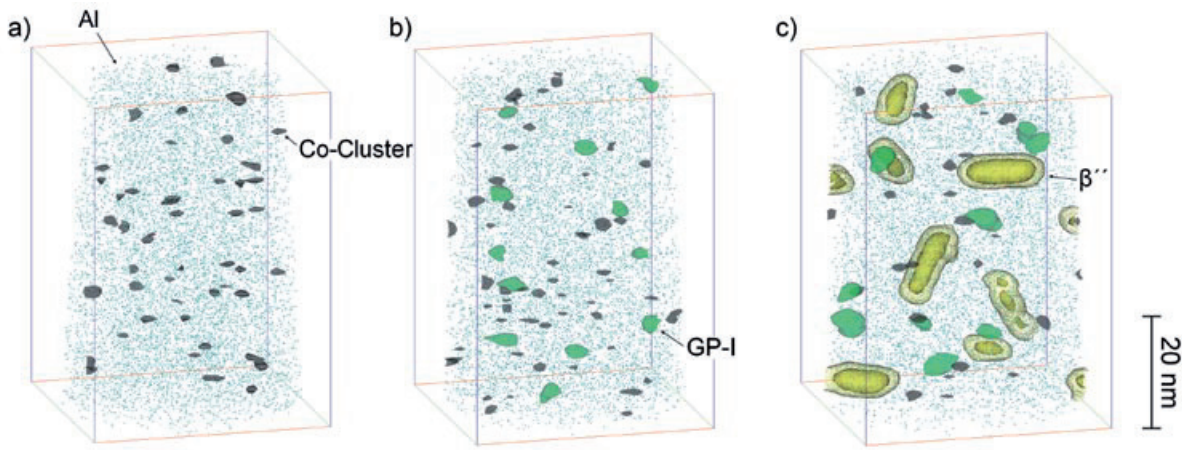


Abb. 1: Atomsondentomografie des Ausscheidungsgefüges der Legierung AA 6061 nach a) einer RT Zwischenlagerung und anschließender Warmauslagerung für b) 1 h bzw. c) 8 h bei 170 °C [5]

von den während der Zwischenlagerung bei Raumtemperatur gebildeten Co-Clustern ab (Abbildung 1a). Diese agieren infolge ihrer trägen Auflösungskinetik bei üblichen Warmauslagerungstemperaturen um 170 °C als relativ stabile Leerstellengefängnisse (Abbildung 1b und c). Bei einer Steigerung der Temperatur führt eine raschere Auflösung über eine Freisetzung dieser Leerstellen zu einer extremen Beschleunigung der Ausscheidungsreaktionen.

Die Tatsache, dass Legierungen, welche einen niedrigen Gehalt an Mg und Si aufweisen (z. B. AA 6060), keinen negativen Effekt, bisweilen sogar eine positive Wirkung der Zwischenlagerung bei Raumtemperatur auf eine konventionelle Warmauslagerung aufweisen [6], wurde aufgrund der geringeren technischen Relevanz international weniger intensiv erforscht.

Um zu einem allgemein gültigen Verständnis für 6xxx-Werkstoffe zu gelangen, ist es nötig, die bisher nur für

höher legierte 6xxx-Werkstoffe entwickelte Theorie auch mit niedrig legierten Werkstoffen in Einklang zu bringen. Dazu fand eine Messung sowie Modellierung der relativen Volumenfraktion ($f_r^{n.a.}$) von Co-Clustern während deren Auflösung bei der Warmauslagerung für die Legierungen AA 6060 und AA 6061 statt (Abbildung 2). Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Legierungstypen festgestellt werden, weshalb die frühere Vermutung eines differenzierten Clustertyps [6] unwahrscheinlich ist.

Vielmehr ermöglichte ein Vergleich der Temperaturabhängigkeit von verschiedenen Varianten der Warmauslagerung mit und ohne Zwischenlagerung bei Raumtemperatur für AA 6061 und AA 6060 die Schlussfolgerung, dass bei niedrig legierten 6xxx-Werkstoffen Ungleichgewichtsleerstellen eine wesentlich geringere Rolle bei der Warmauslagerung spielen als bei höher legierten Werkstoffen der 6xxx-Serie.

Eine detaillierte Darstellung dieser Ergebnisse erfolgte im Rahmen eines Vortrages und einer Publikation für die Tagung „TMS2012“ in Orlando, USA [7].

Mit den gewonnenen grundlegenden Modellen ist die AMAG rolling zukünftig in der Lage, verfahrenstechnische Akzente, wie z. B. eine optimale Gestaltung neuer Stabilisierungsbehandlungen, aber auch legierungstechnische Maßnahmen zur Steuerung des Effektes einer Zwischenlagerung bei Raumtemperatur, deutlich gezielter als bisher zu setzen. Daneben ist die angestrebte Tiefe des Verständnisses der metallkundlichen Vorgänge rund um die Zwischenlagerung bei Raumtemperatur und die Warmauslagerung von 6xxx-Werkstoffen für eine computerunterstützte thermokinetische Simulation von Ausscheidungs Vorgängen zur Vorhersage des Ausscheidungsgefüges und letztendlich des zu erwartenden Eigenschaftsprofils zwingend erforderlich. ■

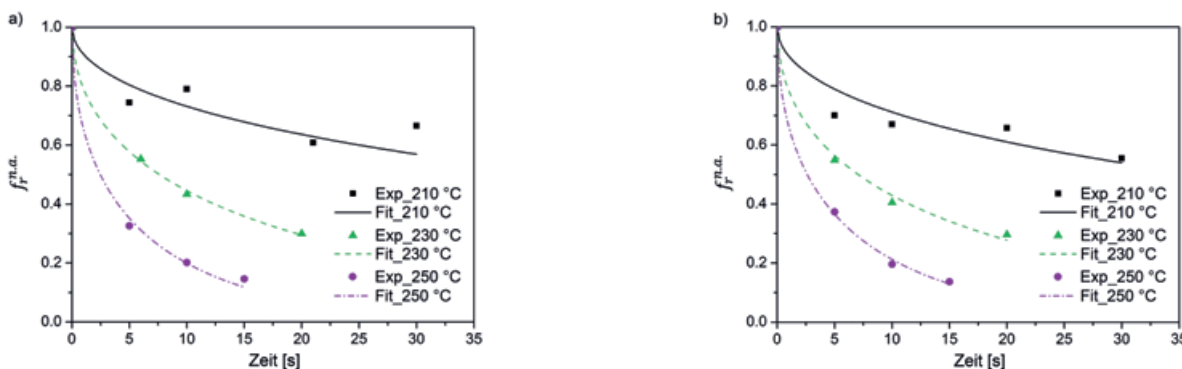


Abb. 2: a) Gemessene und modellierte Werte der relativen Volumenfraktion von Co-Clustern während deren Auflösung bei unterschiedlichen Temperaturen für a) AA 6060 und b) AA 6061

Literaturverzeichnis

[1] F. Ostermann, Anwendungstechnologie Aluminium, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 2007.
 [2] C.D. Marioara, S.J. Anderson, J.E. Jansen und H.W. Zandbergen, Acta Mater, 51 (2003) 789-796.
 [3] P. Brenner and H. Kostron, Z Metall, 4 (1939) 89-97.
 [4] J. Banhart, C.S.T. Chang, Z.Q. Liang, N. Wanderka, M.D.H. Lay und A.J. Hill, Adv Eng Mater, 12 (2010) 559-571.
 [5] S. Pogatscher, H. Antrekowitsch, H. Leitner, T. Ebner und P.J. Uggowitzer, Acta Mater, 59 (2011) 3352-3363.
 [6] C.S.T. Chang, I. Wieler, N. Wanderka und J. Banhart, Ultramicroscopy, 109 (2009) 585-592.
 [7] S. Pogatscher, H. Antrekowitsch, T. Ebner und P.J. Uggowitzer, TMS Light Metals (2012) 415-420.