

Herausforderung Magnesiumrecycling: Pyrometallurgische Entfernung kritischer Verunreinigungen

Stephanie Duwe

1.	Wo liegen die Herausforderungen im Magnesiumrecycling?	421
2.	Untersuchungen zur Entfernung kritischer Nickel-Verunreinigungen.....	423
3.	Zusammenfassung: Nickel-Entfernung aus Magnesiumlegierungen mithilfe von Aluminium und Zirkonium	426
4.	Literatur	427

Für die Rohstoffversorgung der produzierenden Industrie ist die Verfügbarkeit von Rohstoffen ein essentieller Aspekt. Recycling stellt dabei einen wichtigen Beitrag dar, um die Verfügbarkeit von Rohstoffen zu erhöhen und in gewissem Maße eine Pufferung gegen Volatilitäten des Marktes zu erreichen.

Ein Vorteil des Recyclings von Metallen sind die im Vergleich zur Primärgewinnung häufig auftretenden Energie- und Kosteneinsparungen bei der Gewinnung von Metallen aus Sekundärrohstoffquellen (Schrotten). Dies gilt im Besonderen auch für Magnesium (30 bis 35 kWh/kg Primär-Mg zu 1 kWh/kg sauberer Mg-Schrott).[7] Hier stehen vor allem die sogenannten Post-Consumer Schrotte im Mittelpunkt, also die Magnesiumteile am Ende Ihrer Nutzungsdauer (Post-Consumer Scrap). Sie zeichnen sich allerdings dadurch aus, dass sie nicht sortenrein vorliegen und meist einen hohen Grad an Verunreinigungen aufweisen, der im Falle des Magnesiums aufgrund seines eher unedlen Charakters im Vergleich zu edleren Elementen wie Kupfer oder Eisen eine besondere Herausforderung für das Recycling darstellt.

Magnesium wird als Hochleistungswerkstoff im Automobilbau sowie in der Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt. Seine Vorteile liegen in der hohen spezifischen Festigkeit bei einer Dichte von etwa $1,7 \text{ g/cm}^3$ (bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$; $1,8$ bei $> 650 \text{ }^\circ\text{C}$)[1] und seiner guten Gießbarkeit. Außerdem lässt es sich sehr gut spanend bearbeiten. Dem gegenüber steht eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Verunreinigungen, was etwas eingeschränkte Korrosionseigenschaften zur Folge hat. Im Automobil dient es dem Leichtbau und wird beispielsweise in Lenksäulen, Getriebegehäusen oder Teilen des Motorblocks verbaut.

1. Wo liegen die Herausforderungen im Magnesiumrecycling?

Das heutige Magnesiumrecycling beschränkt sich hauptsächlich auf den qualitativ minderwertigen Einsatz wie die Verwertung von Magnesiumschrotten in Aluminiumlegierungen, als Entschwefelungsmittel in der Stahlindustrie oder als Behandlungsmittel zur Kugelgraphitbildung in Gusseisen. Hierbei handelt es sich jedoch um reines

Downcycling, der Wiedereinsatz von Alt-Magnesium zur Herstellung neuer, gereinigter Legierungen wird bisher kaum bis gar nicht vollzogen. Es existieren daher nur sehr wenige Magnesium-Sekundärlegierungen wie beispielsweise AZC531 und AZC1231. [3, 4, 12, 13, 20, 30] Ein *echtes* Recycling findet meist nur *Inhouse* durch werksinternes Wiedereinschmelzen von sauberen Produktionsabfällen (Post-Production Scrap) statt. Als Gründe können der bereits angesprochene unedle Charakter des Metalls und die damit einhergehenden Schwierigkeiten bei der Entfernung enthaltener unerwünschter Störstoffe gelten.

Eine mögliche Methode zur Entfernung von Verunreinigungen ist die Destillation oder Elektrolyse von Magnesium aus Magnesiumschrotten. Dies ist jedoch im industriellen Maßstab aufgrund der hohen Energiekosten nicht wirtschaftlich. [11, 12, 21, 23] Ein häufig angewandtes Verfahren zum Einsatz von Sekundär-Magnesium ist, eingeschmolzene Magnesiumschrotte mit reinem Primärmagnesium soweit zu verdünnen, sodass der Grad der Verunreinigungen unter die vorgegebenen Grenzwerte fällt. Durch den Einsatz von großen Mengen Primärmagnesiums kann dieser Weg jedoch ebenfalls nicht als *echtes* Recycling im Sinne der Einsparung und Substitution von Rohstoffen gesehen werden.

Sowohl Magnesium als auch der zugehörige Rohstoff Magnesit ($MgCO_3$) sind von der EU als kritische Rohstoffe eingestuft worden. [10] Die voraussichtliche Nachfrage bis 2020 steigt für Magnesium jährlich um 4,5 bis 8 Prozent. Es existiert zwar bis dahin eine große Überschusskapazität für Magnesium, allerdings werden 86 Prozent des weltweiten Magnesiums in China produziert und weniger als ein Prozent in der EU. [ebd.] Hier ist also unter den eingangs genannten Aspekten ein deutlicher Handlungsbedarf in Richtung Rohstoffunabhängigkeit abzulesen.

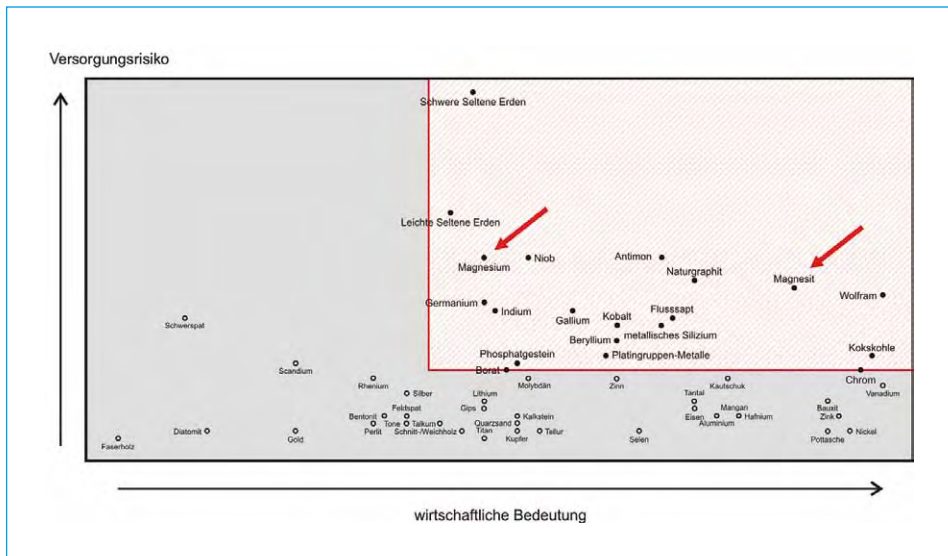


Bild 1: Magnesium gehört auch 2013 wieder zu den 20 von der EU deklarierten kritischen Rohstoffen

Aus dem Englischen übersetzt aus: European Commission, DG Enterprise and Industry: Report on critical raw materials for the EU: Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, 2014

Der Energieverbrauch für das Wiedereinschmelzen und Recycling von Magnesium liegt bei etwa fünf Prozent dessen, was für die Produktion derselben Menge Primärmagnesiums benötigt wird.[31] Vor 15 Jahren stand der Post-Production Scrap im Fokus des Magnesiumrecyclings. Heute steht an dessen Stelle der Post-Consumer Scrap, da z.B. 90 Prozent des Magnesiumgusses im Automobilbau Verwendung finden und Automobile etwa eine ähnliche Lebensspanne aufweisen.[31] Des Weiteren existiert im Gegensatz zum Aluminium wegen der Verunreinigungsproblematik noch kein echter Markt für Sekundärmagnesium, was den Recycler vor die Aufgabe stellt, ein Magnesium erzeugen zu müssen, das in seinen Eigenschaften und damit in seiner Reinheit einem Primärmagnesium gleicht.[30]

Die Herausforderung im Magnesiumrecycling besteht darin, dass es sich eben nicht einfach einschmelzen und zu neuem Primär-Magnesium gießen lässt. Die häufigsten Verunreinigungen sind Eisen, Kupfer und Nickel. Diese senken die Korrosions- und Festigkeitseigenschaften des Magnesiums enorm.[7] Der unerwünschte Anteil und damit schädliche Einfluss des Eisens lässt sich heute gut durch die Zugabe von Mangan, Bor oder einer Kombination von Silizium und Zirkonium oder Aluminium und Zirkonium kontrollieren.[9, 16, 19, 19] Auch für das Kupfer-Problem ist bereits eine Lösung gefunden worden. Es kann zwar bisher nicht ausreichend durch Fällung entfernt werden, trägt aber auch nicht zur Korrosion bei, wenn es in Mg- bzw. AlZn-Phasen abgebunden ist.[4, 12, 28] Lediglich für die Nickel-Verunreinigungen existiert bisher kein ausreichend wirkungsvolles Verfahren, um es aus dem Magnesium zu entfernen beziehungsweise seine negativen Auswirkungen auf die Korrosionseigenschaften des Magnesiums zu hemmen.[17]

Es gab bereits erste Ansätze zur Nickelentfernung aus reinem Magnesium durch Ausfällen mithilfe von Zirkonium.[6, 8] Dies wird ermöglicht durch die Löslichkeitsverringerung des Nickels im Magnesium bei Anwesenheit von Zirkonium.[6, 8] Es wurde ein minimaler Nickelgehalt von 840 ppm (0,084 Massenprozent) erreicht. Dies reicht jedoch nicht an den für Primärlegierungen vorgeschriebenen maximalen Nickelgehalt von 10 bis 100 ppm für Magnesiumlegierungen heran.[25, 26]

In den am Institut für Metallurgie der TU Clausthal durchgeführten Untersuchungen wurde ein erweiterter Lösungsansatz gewählt: Aluminium wurde als weiteres Element zusammen mit Zirkonium gewählt, um die Nickelverunreinigungen zu entfernen. Durch Aluminium und Zirkonium wird die Löslichkeit von Nickel in Magnesium deutlich gesenkt.[2] Dies geschieht durch die Bildung hochschmelzender intermetallischer Al-Ni-Zr-Phasen, die im Magnesium nicht löslich sind. Dieser Ansatz wurde bereits in einem Patent von 1975 vorgestellt.[14] Allerdings wurde er nicht weiter verfolgt oder in die Praxis umgesetzt, auch wurde die für die Nickelentfernung verantwortliche Phase nicht identifiziert.

2. Untersuchungen zur Entfernung kritischer Nickel-Verunreinigungen

Es wurden Magnesiumlegierungen verschiedener Aluminiumgehalte (3/6/9/12 Massenprozent) untersucht. Die Aluminiumgehalte orientierten sich dabei an existierenden technischen Legierungen wie AS31/AZ31 (drei Prozent Al + Si/Zn), AJ62/AM60 (sechs Prozent Al + Sr/Mn), AZ91 (neun Prozent Al + Zn) und AZC1231 (12 Al + Zn, Cu). Diese experimentellen Magnesiumlegierungen wurden aufgeschmolzen und bei 720 °C mit verschiedenen

Mengen Nickel verunreinigt (0,001 bis 2,5 Mass.-Prozent). Zur anschließenden Entfernung der Nickelverunreinigung wurden 0,5 Massenprozent Zirkonium hinzugegeben. Die Versuchsschmelzen wurden über einen Zeitraum von drei Stunden in regelmäßigen Abständen gerührt, um den guten Kontakt und die Interaktion der einzelnen Elemente untereinander zu gewährleisten. Der Schutz der Schmelze vor Oxidation wurde salzfrei durch eine beständige, geringe Begasung mit Schwefelhexafluorid (SF_6) bei leicht geöffnetem Ofen gewährleistet. Nach der Zugabe einer kleinen Menge Raffinationssalz folgte eine Ruhezeit von weiteren vier Stunden, in denen die in intermetallischen Phasen abgebundenen Verunreinigungen sowie Oxide und Salz aussedimentierten und am Tiegelboden einen Schlamm bildeten (Bild 2). Diese Zeitspanne wurde experimentell ermittelt, um sicher zu stellen, dass sich in der Schmelze eine Gleichgewichtszusammensetzung einstellt. Abschließend wurden aus der Schmelze und dem Schlamm Proben entnommen, die chemisch und metallographisch analysiert wurden.

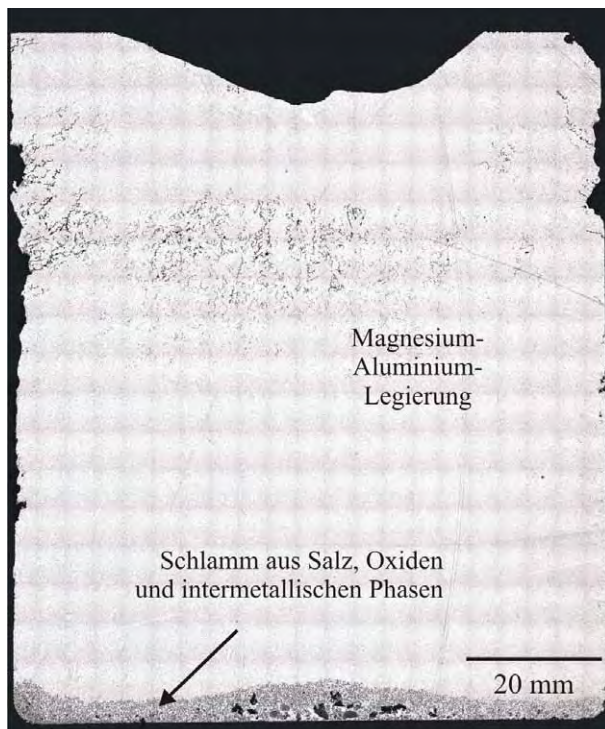


Bild 2

Verunreinigte Magnesiumschmelze: mikroskopische Aufnahme einer erstarrten Versuchsschmelze (Mg-8,2 Prozent Al) mit Tiegelschlamm aus Salz, Oxiden und intermetallischen Phasen

Mithilfe der chemischen Analyse (optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma ICP-OES) der einzelnen Versuchsschmelzen konnte ein Diagramm erstellt werden (Bild 3). Die Gleichgewichtsdaten der einzelnen Versuchsschmelzen formen Löslichkeitsisothermen – Geraden, die hier die maximale Löslichkeit von Nickel und Zirkonium in Magnesiumschmelzen mit unterschiedlichen Aluminiumgehalten bei 720 °C darstellen. Rechts dieser Löslichkeitsisothermen existiert die gereinigte Schmelze der Magnesium-Aluminium-Legierung zusammen mit den unlöslichen

intermetallischen Phasen, die während der Raffinationszeit beinahe vollständig ausdimentieren. Links der Löslichkeitsisothermen kann die Legierung beinahe unabhängig vom Aluminiumgehalt einen maximalen Gehalt von 0,35 Mass.-Prozent Nickel bzw. maximal 0,0004 Mass.-Prozent Zirkonium (4 ppm) lösen. Im Bereich der waagerechten Löslichkeitsisotherme steht bei einem konstanten Nickelgehalt von 0,35 Mass.-Prozent die Schmelze im Gleichgewicht mit einem homogenen Gemisch der Phasen Al_3Ni und Al_3Ni_2 . Im Bereich der schräg abfallenden Löslichkeitsisotherme steht die Schmelze im Gleichgewicht mit der Phase Al_5NiZr_2 , die für die weitere Nickelentfernung bis 0,01 Massenprozent (100 ppm) verantwortlich ist. Im Bereich der senkrechten Löslichkeitsisotherme steht die Schmelze im Gleichgewicht mit der Phase Al_3Zr . Hier wird die Schmelze bei einem konstanten Gehalt von 0,0004 Massenprozent Zirkonium (4 ppm) lediglich verdünnt. Eine Nickelentfernung findet hier nicht mehr statt. Abschließend wird aus dieser Darstellung deutlich, dass der Nickelgehalt durch den Einsatz von Aluminium und Zirkonium bis auf 100 ppm (0,01 Massenprozent) gesenkt werden kann.

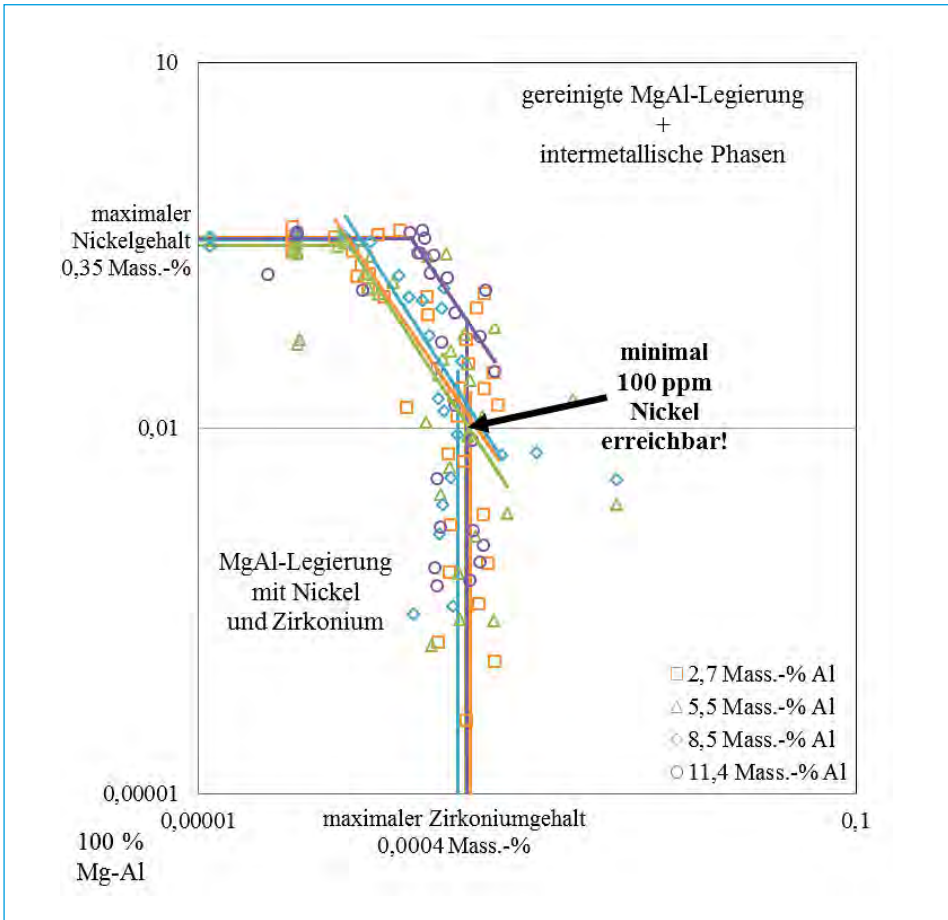


Bild 3 Maximale Löslichkeit von Nickel und Zirkonium in Magnesium-Aluminium-Legierungen (3 bis 12 Mass.-Prozent Al) bei 720 °C und Grenze der maximalen Nickelentfernung bei 100 ppm

Nach dem Aussedimentieren wurden die intermetallischen Phasen unter dem Lichtmikroskop in den Tiegelschlammern der Versuchsschmelzen gefunden. Es wurden Elementanalysen im Rasterelektronenmikroskop durchgeführt (energiedissipative Röntgenspektroskopie). So wurde, neben $\text{Al}_3\text{Ni} + \text{Al}_3\text{Ni}_2$ und Al_3Zr , die hochschmelzende intermetallische Phase Al_5NiZr_2 im System Mg-Al-Ni-Zr identifiziert (Bild 4). Diese ist für sich allein genommen als Legierung für Hochtemperaturanwendungen bekannt.[24] Als intermetallische Phase im System Mg-Al-Ni-Zr existieren bisher jedoch nur wenige Untersuchungen.[5, 15, 22, 27, 29, 32] In den hier untersuchten Mg-Al-Ni-Zr-Systemen ist sie, wie oben bereits erwähnt, für das Abbinden und die Entfernung des Nickels verantwortlich.

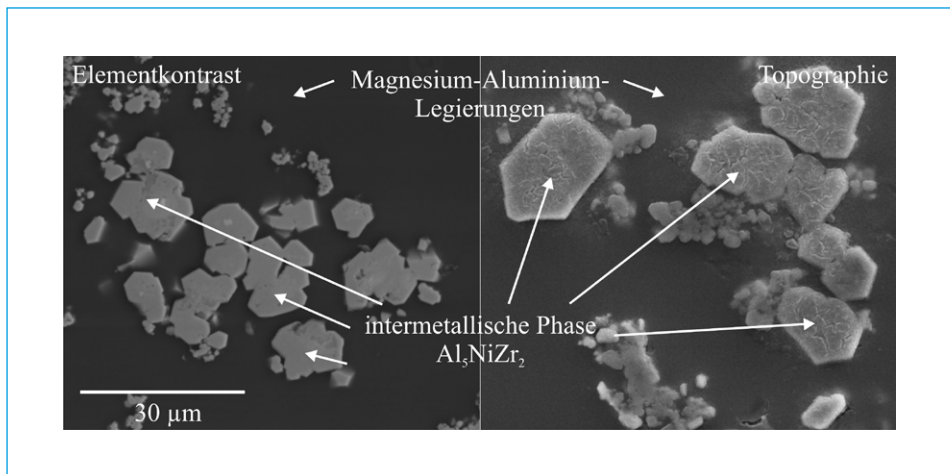


Bild 4 Zwei Magnesium-Aluminium-Legierungen (links Mg-9,0 Prozent Al, rechts Mg-5,8 Prozent Al) mit intermetallischer Phase, die die Nickelverunreinigung abgebunden hat (links im Rückstreuerelektronenbild der Elementkontrast, rechts im Sekundärelektronenbild die Topographie der Phase)

Nicht alle intermetallischen Phasen sedimentieren während der Raffinationszeit aus der Schmelze aus. Die feinen Phasen verbleiben in der Legierung. Diese beinhalten allerdings auch die zurückbleibenden 100 ppm Nickel – im Rasterelektronenmikroskop konnte kein Nickel in der Magnesium-Aluminium-Legierung nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass, obwohl die gereinigte Sekundärlegierung noch Nickel enthält, dessen korrosionsfördernde Wirkung durch das Einbinden in den Phasen gehemmt wird.

3. Zusammenfassung: Nickel-Entfernung aus Magnesiumlegierungen mithilfe von Aluminium und Zirkonium

Unter Zuhilfenahme einer Kombination von Aluminium und Zirkonium konnte Nickel durch Bildung der hochschmelzenden intermetallischen Phase Al_5NiZr_2 durch Sedimentation in den untersuchten Magnesiumlegierungen mit 3/6/9/12 Massenprozent Aluminium bis auf einen Gehalt von 100 ppm (0,01 Massenprozent) gesenkt werden.

Dies entspricht zwar nicht der für Magnesium-Primärlegierungen geforderten Qualität von zehn bis hundert ppm Nickel, jedoch wurde das im Magnesium verbliebene Nickel ebenfalls in nicht aussedimentierten intermetallischen Phasen gebunden – was im Rasterelektronenmikroskop nachgewiesen werden konnte – und so für die Korrosion passiviert. Es sind folglich, trotz des nachweislich in der Legierung verbleibenden Nickels, gute Korrosionseigenschaften der gereinigten Magnesium-Sekundärlegierung zu erwarten.

4. Literatur

- [1] Amundsen, K.; Aune, T. K., et al.: Magnesium. In: Elvers, B. (Hrsg.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH, Weinheim, 2003
- [2] Babkin, V. M.: Solubility of zirconium in liquid magnesium and the ML5 alloy. *Met. Sci. Heat Treat.* 10: 221–223, 1968
- [3] Blawert, C.; Ditze, A., et al.: Magnesiumlegierung EP 1917374 B1, 2012
- [4] Blawert, C.; Kainer, K. U., et al.: Duktile Magnesiumlegierung EP 2116622 A1, 2009
- [5] Desch, P. B.; Schwarz, R. B.; Nash, P.: Formation of metastable L12 phases in Al₃Zr and Al-12.5%X-25%Zr (X = Li, Cr, Fe, Ni, Cu). *J. Less-Common Met.* 168: 69–80, 1991
- [6] Ditze, A.; Scharf, C.: Interaction between Nickel and Zirconium in Liquid Magnesium. *World of Metallurgy – Erzmetall* 66: 168–174, 2013
- [7] Ditze, A.; Scharf, C.: Recycling of Magnesium, 1. Aufl., Papierflieger Verl. Clausthal-Zellerfeld, 2008
- [8] Ditze, A.; Scharf, C.: Removal Of Nickel From Magnesium Melts By Precipitation With Zirconium. In: Poole, W. J., Kainer, K. U. (Hrsg.): 9th International Conference on Magnesium Alloys and Their Applications: Conference Proceedings. Innovation and Progress Through Research and Technology, Vancouver, Canada, 2012, S. 889–894
- [9] Emley, E. F.: Principles of magnesium technology, 1. Aufl. Pergamon Press. Oxford, 1966
- [10] European Commission, DG Enterprise and Industry: Report on critical raw materials for the EU: Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, 2014
- [11] Faure, P.: Process for the recovery of magnesium from magnesium alloys waste US 5476529 A, 1995
- [12] Fechner, D.; Blawert, C. et al.: Development of a Magnesium Secondary Alloy System for Mixed Magnesium Post-Consumer Scrap. *Mater Sci Eng*, 2013
- [13] Fechner, D.; Hort, N. et al.: Development of a magnesium recycling alloy based on the AM alloy system. In: Beals, R. S.; Luo, A. A.; Neelameggham, N. R.; Pegguleryuz, M. O. (Hrsg.): Magnesium Technology 2007. Wiley-VCH, Hoboken, NJ, USA, 2007
- [14] Foerster, G. S.: Removal of nickel from molten magnesium metal US 3869281, 1975
- [15] Ghosh, G.: Al-Ni-Zr (Aluminium-Nickel-Zirconium). In: Effenberg, G.; Ilyenko, S. (Hrsg.): Landolt-Börnstein – Group IV Physical Chemistry. Light Metal Systems. Part 3. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2005, S. 451–463
- [16] Green, W. G.; Hillis, J. E.: Process for producing high purity magnesium EP0387337 A4, 1990
- [17] Hanko, G.; Lochbichler, C. et al.: Techniques for Recycling of Magnesium Scrap. In: Kainer K U (Hrsg.) Magnesium. Proceedings of the 6th International Conference Magnesium Alloys and their Applications. Wiley-VCH, Weinheim, 2004, S. 988–994
- [18] Hillis, J. E.; Green, W. G.: Method for removing iron contamination from magnesium US 4773930 (A), 1988

- [19] Inoue, M.; Iwai, M. et al.: A New Recycling Process for Thin Walled AZ91D Magnesium alloy Die-Castings with Paint Finishing. In: Mordike B L, Kainer K U (Hrsg.) Magnesium alloys and their applications. Werkstoff-Informationsgesellschaft, Frankfurt am Main, 1998, S. 697–702
- [20] Kawabata, H.; Nishino, N. et al.: Recycled magnesium alloy, process for producing the same, and magnesium alloy WO2010146804 A1, 2010
- [21] Kretz, R.; Baumgartner, I.; Kretz, B.: Magnesium-Recycling per Destillation – überflüssig? Eine Machbarkeitsstudie. Berg- Huettenmaenn. Monatsh. 156: 242–248, 2011
- [22] Kumar, K. S.: Ternary intermetallics in aluminiumrefractory metal-X systems (X = V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn). int. mat. rev. 35: 293–328, 1990
- [23] Lam, R. K. F.; Marx, D. R.: Vacuum distillation apparatus for producing ultra high purity material US 5698158 A, 1997
- [24] Moon, K. I.; Chang, K. Y.; Lee, K. S.: The effect of ternary addition on the formation and the thermal stability of L12 Al₃Zr alloy with nanocrystalline structure by mechanical alloying. J. Alloys Compd. 312: 273–283, 2000
- [25] Norm DIN 1729 Teil 1: 1982-08 Magnesiumlegierungen – Knetlegierungen. Beuth Verlag GmbH
- [26] Norm EN 1753: 1997-08 Magnesium und Magnesiumlegierungen – Blockmetalle und Gußstücke aus Magnesiumlegierungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [27] Raman, A.; Schubert, K.: Über den Aufbau einiger zu TiAl₃ verwandter Legierungsreihen. III. Untersuchungen in einigen T-Ni-Al- und T-Cu-Al-Systemen. Z. Metallkd. 56: 99–104, 1965
- [28] Scharf, C.; Ditze, A. et al.: Corrosion of AZ 91 Secondary Magnesium Alloy. Adv. Eng. Mater. 7: 1134–1142, 2005
- [29] Schubert, K.; Raman, A.; Rossteutscher, W.: Einige Strukturdaten metallischer Phasen (10). Die Naturwissenschaften 51: 506–507, 1964
- [30] Tathgar, H. S.; Bakke, P.; Engh, T. A.: Impurities in Magnesium and Magnesium Based Alloys and their Removal. In: Kainer K U (Hrsg.) Magnesium Alloys and their Applications. Wiley-VCH, Weinheim, 2000, S. 767–779
- [31] Westengen, H.: Recycling. In: Friedrich, H. E.; Mordike, B. L. (Hrsg.): Magnesium Technology. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2006, S. 633–664
- [32] Zhao, S. Z.; Li, J. H.; Liu, B. X.: Chemical and topological short-range orders in the ternary Ni–Zr–Al metallic glasses studied by Monte Carlo simulations. J. Phys.: Condens. Matter 25: 095005, 2013

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 8

ISBN 978-3-944310-20-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2015
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Carolin Bienert, Janin Burbott,
Max Müller, Cordula Müller
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.