

Prozess- und Legierungsentwicklung für Magnesium-Druckguss

| Autoren Angela Harrison, Stefan Gneiger, Simon Frank

Am Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen (LKR) wird sowohl an den Magnesiumlegierungen der Zukunft als auch an der Optimierung ihrer Verarbeitbarkeit im Druckgussprozess geforscht. Dafür steht eine vollautomatisierte Gießzelle im Industriemaßstab zur Verfügung, deren Peripherie kontinuierlich erweitert und weiterentwickelt wird, um den Anforderungen gerecht zu werden.

Für die Materialentwicklung ist seit 2019 ein Magnesium-Dosiersystem verfügbar, das einerseits einen diskontinuierlichen Betrieb sowie ein fast vollständiges Entleeren der Magnesiumschmelze während des Gießprozesses und damit eine Steigerung der Sicherheit im Umgang mit Magnesium erlaubt, und andererseits einen raschen Wechsel zwischen verschiedenen Magnesiumlegierungen zulässt. Die Materialcharakterisierung wird weiter unterstützt durch ein Druckgusswerkzeug, in dem verschiedene Formeinsätze und damit Testgeometrien modular austauschbar sind.

Schlüsselwörter: Druckguss, Gusswerkstoffe, Magnesiumlegierung, Arbeitssicherheit

Process and Alloy Development for Magnesium High Pressure Die Casting

Research activities at Light Metals Technologies Ranshofen focus on the magnesium alloys of the future as well as on optimizing their processability in the high pressure die casting (HPDC) process. For this purpose, a fully automated HPDC cell on an industrial scale is available, and its periphery is continuously extended and further developed in order to meet the relevant requirements.

In 2019 a dosing system for material development of magnesium alloys was installed. On the one hand it allows a discontinuous operation and an almost complete emptying of the magnesium melt during the casting process and thus increases safety during handling of the magnesium melt. On the other hand, it allows a rapid change between different magnesium alloys. Material characterization is further supported by an HPDC tool, in which various mould inserts and thus test geometries are interchangeable in a modular manner.

Keywords: die casting, cast material, magnesium alloy, safety at work

Einleitung

Forschungs- und Entwicklungsprojekte unter Produktionsbedingungen sind eine wesentliche Voraussetzung für eine schnelle Umsetzung in die Praxis. Dem Bereich Gießtechnik des LKR steht hierfür unter anderem eine vollautomatisierte Kaltkammer-Druckgießmaschine Frech DAK 1100-112 zur Verfügung.

Die Peripherie umfasst einen Tiegelofen KLEM 1200 mit einer Schmelzekapazität von bis zu 1.000 kg Aluminium, eine adaptierte Version dieses Tiegelofens mit einer Schmelzekapazität von 350 kg Magnesium, ein Meltec AVDL Lineardosiersys-

tem für 1–20 kg Schussgewicht Aluminium und 1–5 kg Magnesium, ein Wollin Sprühergerät, Robamat Heiz-/Kühlgeräte, einen Kuka Einlege- und Entnahmeroboter sowie eine VDS Vakuumdosiereinheit (Bild 1). Die Anlage ist so ausgeführt, dass sowohl Aluminium- als auch Magnesiumlegierungen verarbeitbar sind, um auf diese Weise den richtigen Werkstoff für die richtige Anwendung zu finden.

Im Forschungsfokus stehen derzeit vor allem die Themen generativ gefertigte Werkzeuge im Multi-Materialmix in Kombination mit einer konturnahen Kühlung, das Energiemanagement der Druckgusszelle mit Schwerpunkt Druckgussform

einschließlich maßgeschneiderter Temperierkonzepte sowie die Legierungsentwicklung für Magnesium und Aluminium hinsichtlich der Kombination von hohen mechanischen Eigenschaften und guter Verarbeitungsfähigkeit.

Anlagenausstattung für den Magnesium-Druckguss

Im Jahr 2019 wurde das Dosiersystem auf Magnesium erweitert, zusätzlich wurde basierend auf einem vom LKR eingereichten Patent in Zusammenarbeit mit Meltec die bereits bestehende Vakuum-Dosier-technik weiterentwickelt.

Der Nachteil des bestehenden Dosiersystems für Forschungszwecke ist, dass ein diskontinuierlicher Betrieb mit kleinen Magnesiumschmelze-Chargen im experimentellen Maßstab nicht möglich ist, weil der Badspiegel nur in sehr geringem Ausmaß (< 100 mm) abgebaut werden kann (Bild 2).

Das neue und innovative System dagegen besticht durch seine hohe Flexibilität: Einerseits ist die Materialmenge frei wählbar, zusätzlich steigt die Materialeffizienz durch den diskontinuierlichen Betrieb und die beinahe vollständige Entleerbarkeit des Tiegels. Andererseits stellt der unkomplizierte Wechsel zwischen den Systemkomponenten für Aluminium und Magnesium mit einer Umrüstdauer von weniger als sechs Stunden einen weiteren Vorteil dar. Es steht eine Gesamtschmelzekapazität für Magnesium von 350 kg zur Verfügung, die während des Prozesses bis auf ca. 30 kg Restschmelze verarbeitet werden kann, wobei der Bodensatz anschließend entleert wird. Durch diese effiziente Materialnutzung kann das Sicherheitsrisiko beim Hantieren mit der Schmelze während der Reinigungsarbeiten oder aber auch beim Entleeren um ein Vielfaches reduziert werden.

Mit dem serienmäßigen Magnesium-Dosiersystem wird der Badspiegel kons-



Bild 1: Kaltkammer-Druckgussmaschine Frech DAK 1100-112 am LKR



Bild 2: CAD-Modell des kommerziell verfügbaren Meltec Dosiersystems (links), Einsatz im Serienbetrieb (rechts)

tant gehalten und die Dosiereinheit immer in die gleiche Position bewegt. Dies erfordert eine kontinuierliche Beschickung des Ofens während des Prozesses. Bei der vorliegenden Innovation wird die Schmelze jedoch im Tiegel durch ein Rohr von der Umgebung abgedichtet. Der Schmelzestand kann dann durch Druckbeaufschlagung der Tiegelkammer konstant gehalten werden, wodurch die Schmelzbadoberfläche im Tiegel während des Prozesses sinkt (ähnlich wie beim Niederdruckguss-Prozess). Dies ermöglicht es, den Tiegel während des Betriebes zu entleeren und die Sicherheit hinsichtlich des Umgangs mit der Magnesiumschmelze beträchtlich zu erhöhen, da durch die Isolierung von der Umgebung nur eine sehr geringe kritische Schmelzbadoberfläche entsteht, die zur Atmosphäre abgeschirmt werden muss.

Die Dosiereinheit von Meltec wurde übernommen und in ein gemeinsames CAD-Modell überführt, um eine reibungslose Interaktion zwischen den verschiedenen Komponenten des gesamten Magnesiumschmelz- und -dosiersystems sowie der Druckgussanlagen-Infrastruktur selbst sicherzustellen (Bild 3 und 4).

Bezüglich der zur Verfügung stehenden Druckgusswerkzeuge hat das LKR im Jahr 2019 darüber hinaus in eine modulare Form für eine fortschrittliche Materialcha-

rakterisierung investiert und ermöglicht damit eine hochmoderne Legierungsentwicklung und -optimierung für Aluminium- und Magnesiumlegierungen.

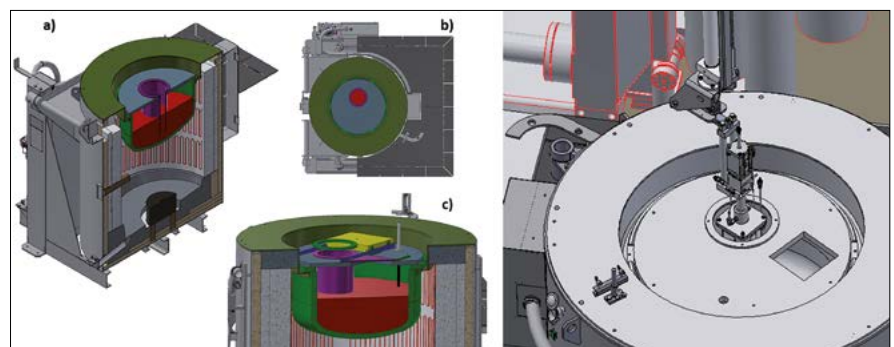


Bild 3: Konzept des Tiegelsystems (links, a-c) und gemeinsames CAD-Anlagenmodell (rechts)

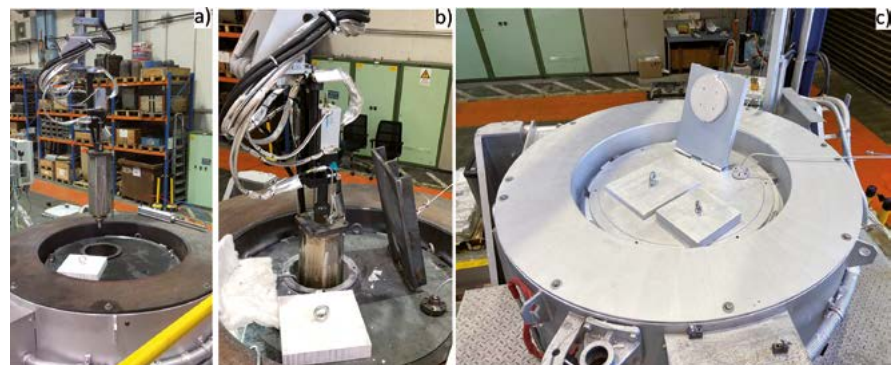


Bild 4: Ausführung an der LKR-Anlage mit der Meltec Dosiereinheit (a-c)

Der modulare Aufbau des Druckgusswerkzeugs erlaubt die Montage separater Formeinsätze in einem Formrahmen. Bestehende Einsätze zur Materialcharakterisierung folgender Geometrien sind derzeit vorhanden: Doppelstufenplatten, Rundzugproben sowie eine Gussrohrgeometrie zur Bewertung der Crasheigenschaften von Gusslegierungen (Bild 5). Beim Gussrohr stehen Wandstärken von 2 und 3 mm zur Verfügung, das Schussgewicht beträgt 4,5 kg für Magnesium- und 6,5 kg für Aluminiumlegierungen. Bei der Doppelstufenplatte bzw. den Rundzugproben beträgt das Schussgewicht für Magnesiumlegierungen 2 kg und für Aluminiumlegierungen 3 kg.

Um die Entwicklung und Optimierung von neuartigen High Performance Legierungen für den Druckguss weiter voranzutreiben, wurde Anfang 2020 ein Vakuumsystem der Firma VDS implementiert. Die seither bestehende Entwicklungspartnerschaft konzentriert sich vor allem auf den Bereich der Qualitätssteigerung von Magnesiumgussbauteilen. Das System evakuiert Luft aus der Werkzeugkavität und erzeugt so einen Unterdruck, wodurch Gaseinschlüsse, die durch turbulente Schmelzeströmung bei der Füllung entstehen, reduziert oder sogar

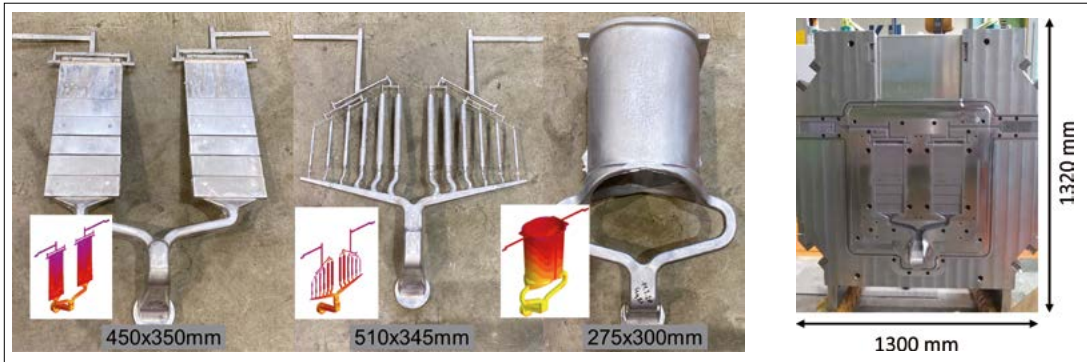


Bild 5: Derzeit bestehende Geometrien: Doppelstufenplatte, Rundzugproben und Gussrohr (links), Gesamtansicht des modularen Werkzeuges mit Doppelstufenplatte (rechts)

eliminiert werden. Das Vakuumsystem wird eingesetzt, um sowohl verbesserte Prozessstabilität als auch Qualität zu erreichen.

Erste Gießversuche mit Aluminium bestätigen eine deutliche Verbesserung der Wärmebehandelbarkeit durch diese Vakuumunterstützung. Bauteile, die ohne Vakuumsystem gegossen werden, zeigen eine geringere Gussqualität durch das Auftreten von Porositätsblasen (Blister) nach der Wärmebehandlung (Bild 6). Weiterführende Schweißversuche zeigen darüber hinaus, dass die Vakuumunterstützung auch zu vorteilhaften Schweißeigenschaften führt.

Magnesium Legierungs-entwicklung und -charakterisierung

Neben der Optimierung von Prozessen werden am Institut auch moderne Werkstoffe sowohl für Guss- als auch für Umformprodukte entwickelt. Insbesondere Magnesiumlegierungen stehen dabei im Fokus der Entwicklungen, da sie

sich ausgezeichnet zur Produktion von leichtgewichtigen Gussbauteilen eignen.

Magnesiumlegierungen haben die geringste Dichte aller industriell genutzten Metallbauwerkstoffe. Sie weisen typischerweise eine gute Gießbarkeit auf und können mit hohen Geschwindigkeiten mechanisch bearbeitet werden. Durch die geringe Schmelztemperatur ist wenig Energie zum Aufschmelzen notwendig und durch die geringe Wärmekapazität ergeben sich lange Werkzeugstandzeiten von oft mehr als 300.000 Schuss. Zusätzlich können Gussteile mit geringen Wandstärken realisiert werden. Dadurch eignen sich Magnesiumlegierungen insbesondere für hohe Stückzahlen, wie sie beispielsweise in 3C-Anwendungen (Computer, Communication und Consumer Electronics) häufig vorkommen. In anderen Anwendungen, zum Beispiel in der Automobil- und Flugzeugindustrie, haben sich Magnesiumgusslegierungen noch nicht großflächig verbreitet. Der begrenzte Einsatz von Magnesiumguss für Strukturteile in Mobilitätsanwendungen hat seinen Ursprung im niedrigen

Elastizitätsmodul, der begrenzten Festigkeit und Kriechbeständigkeit bei erhöhten Temperaturen, der hohen chemischen Reaktivität (Oxidations- und Korrosionsanfälligkeit) sowie dem Mangel an durchgeführter Entwicklungsarbeit [1].

Die Zielstellung der Legierungsentwicklung besteht darin, die Verarbeitungs- und Anwendungseigenschaften von Magnesiumlegierungen zu verbessern. Für diese Entwicklungsarbeit kann auf ein breites Spektrum an Methoden zurückgegriffen werden, wie beispielsweise die computerunterstützte Simulation von Phasengleichgewichtszuständen und thermodynamischen Eigenschaften mittels Calphad-Methoden, der Ver- und Bearbeitung sowohl im Labormaßstab als auch in semi-industriellen Prozessen sowie der Durchführung von Wärmebehandlungsuntersuchungen unter Schutzgas. Unterstützt und begleitet wird die Entwicklung durch die Anwendung moderner Charakterisierungsmethoden wie der Mikrostrukturanalyse mittels REM, EDX, EBSD sowie DSC (dynamische Differenzkalorimetrie), der Ermittlung der

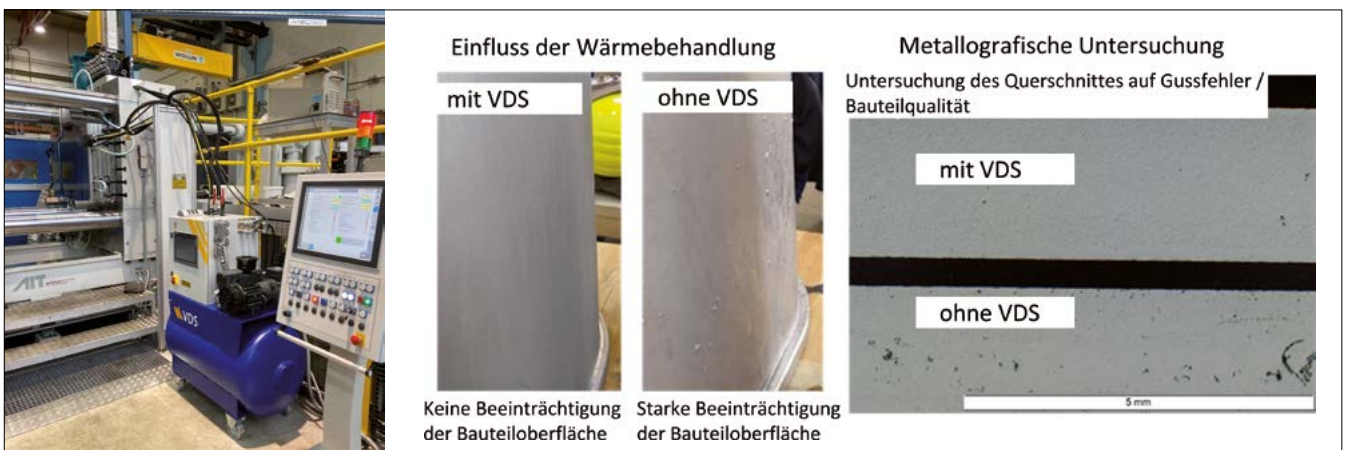


Bild 6: LKR Druckgussanlage mit VDS Vakuumsystem (links), Verbesserung der Bauteilqualität mit Hilfe der Vakuumunterstützung (rechts)

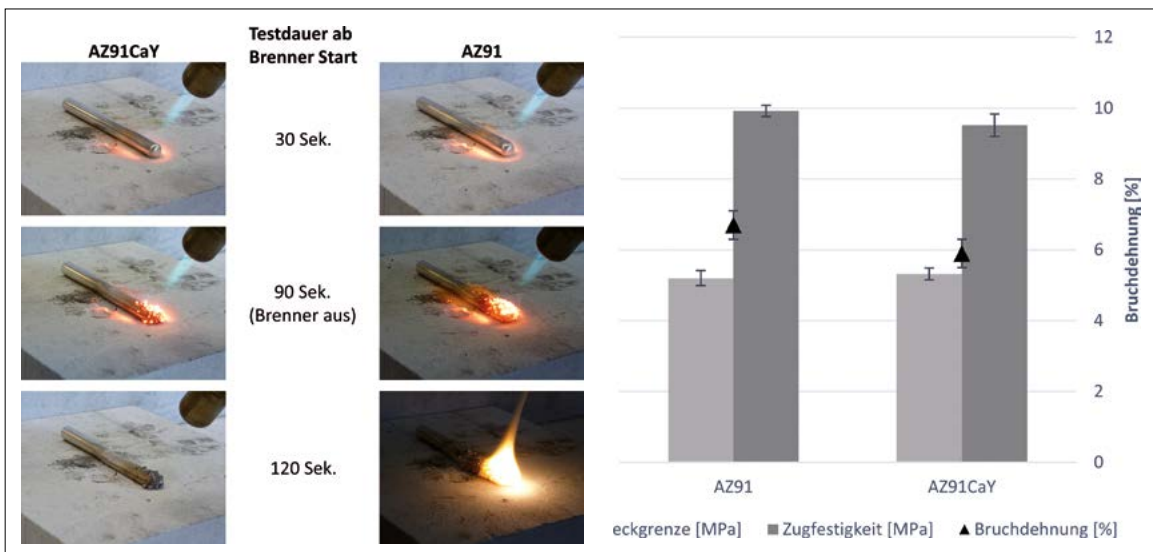


Bild 7: Vergleich des Brandverhaltens (links) und der mechanischen Eigenschaften (rechts) der Legierung AZ91 mit einer modifizierten und damit brandbeständigen Legierung AZ91CaY

chemischen Zusammensetzung mittels Funkenspektroskopie sowie der mechanischen Charakterisierung mittels Zug-Druck-Prüfung (von -170°C bis $+250^{\circ}\text{C}$), Abschreck-Umform-Dilatometer und Kerbschlagversuch.

Ein Beispiel für derartige Entwicklungen ist die Familie der brandbeständigen Mg-Al-Ca-Legierungen, die sich durch ihre geringere Oxidationsneigung wesentlich harmloser in der Verarbeitung zeigen als konventionelle Magnesium-Druckgusslegierungen und dabei vergleichbare mechanische sowie korrosive Eigenschaften aufweisen. Erreicht wird dies durch eine Modifikation der Oxidschicht durch gezieltes Legieren mit geringen Mengen an ausgewählten Elementen mit hoher Sauerstoffaffinität. Dadurch wird das Oxidationsverhalten von Magnesium-Basislegierungen derart verändert, dass sie eine wesentlich stabilere Schmelzbadoberfläche bei geringerem Schutzgasbedarf zeigen sowie im festen Zustand eine erhöhte Brandbeständigkeit aufweisen.

Das LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen gehört als Tochterunternehmen des AIT Austrian Institute of Technology zum AIT Center for Low Emission Transport. Die Forschungsthemen umfassen die Entwicklung von hochwertigen Aluminium- und Magnesium-Leichtmetalllegierungen, nachhaltigen Verarbeitungsprozessen sowie funktional integrierten Leichtbaukomponenten.

Die Oxidationsreaktion kann dabei so weit beeinflusst werden, dass die Legierungen die strengen Vorschriften des FAA (Federal Aviation Administration) in Hinblick auf das Brandverhalten von Magnesiumbauteilen bei der Verwendung in Innenräumen von Passagierflugzeugen erfüllen.

Bild 7 zeigt einen Vergleich des Brandverhaltens (lokale Überhitzung > Schmelztemperatur unter Sauerstoff) sowie der mechanischen Eigenschaften (Druckguss, 6 mm Wandstärke) der Legierungen AZ91 (EN-MCMgAl9Zn1) und einer mit Calcium (0,2 Gew. %) und Yttrium (0,1 Gew. %) modifizierten AZ91. Durch die Zugabe von Ca und Y lässt sich das Oxidationsverhalten stabilisieren, während sich die mechanischen Eigenschaften nur geringfügig ändern.

Zusammenfassung und Ausblick

Das vorrangige Ziel der Entwicklungen war es, die Vorteile der Verwendung von Magnesiumlegierungen aufzuzeigen, um eine großflächigere Verwendung des Materials zu fördern.

Dies soll einerseits in Bezug auf die Legierungen selbst, und andererseits in Bezug auf deren Verarbeitbarkeit im Prozess geschehen. Im Fokus der weiteren Arbeiten am LKR stehen daher Gießversuche mit unterschiedlichen Magnesiumlegierungen, um deren Eignung hinsichtlich ihrer Korrosionseigenschaften und der weiteren Optimierung der Legierungszusammensetzung für die Oxidationsstabilität zu untersuchen.

Dabei werden auch ihre Klebeneigung und deren Auswirkung auf die Standzeit der Werkzeuge beurteilt. Um das System für größere Bauteile einsatzfähig zu machen, wird an der Erweiterung des Dosiersystems auf 10–15 kg Magnesium gearbeitet, zusätzlich spielen hier die Themen Energie- und Kosteneinsparung sowie das Aufzeigen und Erproben der Vorteile des diskontinuierlichen Prozesses eine wesentliche Rolle. Die Anwendung der Vakuumunterstützung zur gezielten Steuerung der Bauteilqualität von Magnesiumgussbauteilen wird die Argumentationslinie zum verstärkten Einsatz von Magnesium als Leichtbauwerkstoff der Zukunft zusätzlich unterstützen.

Literatur

- [1] B. L. Mordike and T. Ebert: Magnesium: Properties — applications — potential', Mater. Sci. Eng. A, Band 302, Nr. 1, S. 37–45, Apr. 2001



Dr. mont. Angela Harrison,
Senior Research Engineer, Prozessoptimierung & Simulation Druckguss

Stefan Gneiger, MSc.,
Scientist, Legierungsentwicklung Magnesium, Prozessentwicklung Gießprozesse

Dipl.-Ing. Simon Frank, IWE,
Scientist, Prozess- und komponentenbezogene Legierungsentwicklung Aluminium & Magnesium, HPDC, LPDC

Alle LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen, AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Solange nicht anders gekennzeichnet, liegen die Bildrechte bei den Autoren des Beitrags.