



Entwicklung eines vakuumdosierten Druckgießverfahrens

Frech-Kaltkammerdruckgießmaschine, 400 t Schließkraft, eingesetzt zur Entwicklung und Testung des vakuumdosierten Druckgießens im Gießereilabor der Hochschule Aalen.

VON LOTHAR H. KALLIEN, MARCEL BECKER UND DOMINIK FLIERL, AALEN, KLAUS WACKER, WEINSTADT

Innerhalb des Forschungsvorhabens „Funktionale Oberflächen“ wurde die Entwicklung eines neuartigen Vakuumdruckgießverfahrens zur kostengünstigen Herstellung laserpolierbarer Teile angestrebt. Die Laserpolierbarkeit dient hier auch zum Nachweis der Qualität eines Gussteils, ähnlich der Schweißbarkeit. Druckgussteile können nur laserpoliert werden, wenn keine Gasporosität auftritt. Dies kann durch das Vacural-Verfahren erreicht werden. Das Vacural-Verfahren ist jedoch aufwendig und wird nur von wenigen Gießereien angeboten.

Eine hohe Oberflächengüte, wie sie beispielsweise bei Dicht- und Lagerflächen gefordert wird, kann mit einem laserba-

sierten Polierverfahren realisiert werden. Die Bearbeitung von Druckgussteilen aus Aluminium mittels Laser bringt jedoch neue Herausforderungen mit sich. Grundsätzlich bedarf es eines homogenen, möglichst fehlerfreien Werkstoffs, um eine Laserbearbeitung zu ermöglichen.

Die in der Kavität befindlichen Gase, die sich durch das schnelle, druckgießtypische Formfüllen bei ungenügender Entlüftung im Bauteil in Form von Hohlräumen wiederfinden, werden stark komprimiert und stehen unter hohem Druck. Bei der Laserpolitur wird die hohe Oberflächengüte durch Aufschmelzen des Grundmaterials erzeugt. Beim Aufschmelzen kann es zu einer schlagartigen Expansion der Gase kommen. Dadurch können Spritzer des aufgeschmolzenen Materials die Optik des Lasers oder die Werkstückoberfläche beschädigen.

KURZFASSUNG:

Die steigenden Anforderungen an Bauteile aus Aluminiumdruckguss erfordern eine stetige Weiterentwicklung der Fertigungsverfahren. In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben „Funktionale Oberflächen“ dargestellt, in dem ein Verfahrenskonzept entwickelt wurde, das die Kombination von Druckgießen und Lasernachbehandlung wirtschaftlich ermöglicht.

Bestehende Druckgießverfahren

Beim Standard-Vakuumdruckgießverfahren wird die im Formhohlraum befindliche



Bild 1: a) Dosiereinheit der Meltec Industrieofenbau GmbH, angepasst an den vakuumdosierten Druckgießprozess, b) Detailansicht – (von links) Einfüllstutzen aus Stahl, Deckplatte mit integrierter Dichtung, Keramiktiegel mit Stahlhülse.

Luft mithilfe einer externen Vakuumpumpe abgesaugt [1]. Im Gießereilabor der Hochschule Aalen kommt ein zeitgesteuerter Verschlussstift zum Einsatz, der dafür sorgt, dass bei vollständiger Formfüllung keine Schmelze in die Vakuumperipherie gelangen kann. Die Evakuierung des Formhohlraums startet, sobald der Gießkolben die Einfüllöffnung der Gießkammer passiert hat. Kurz bevor die Schmelze die Öffnung des Verschlussstiftes erreicht, fährt dieser in seine geschlossene Position. Dieses Konzept bietet eine relativ kostengünstige Entlüftung während der Füllphase. Zwar werden Gas einschüsse und die daraus resultierende Entstehung von Poren minimiert, eine Laserbearbeitung ist jedoch schwierig, da die Vakuumwirkzeit sehr kurz und die Teilqualität sehr schlecht sind.

Zu den führenden Vakuumdruckgießverfahren zählt das Vacural-Verfahren [2]. Die Evakuierung des Formhohlraums erfolgt vor dem Formfüllen, die benötigte Menge Schmelze fließt durch den entstehenden Unterdruck über ein Steigrohr in die Gießkammer. Die Dosierung wird über die Saugzeit bestimmt. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass keine weiteren Dosiereinrichtungen benötigt werden. Darüber hinaus erstreckt sich die Vakuumwirkzeit über den gesamten Zyklus, was zu einer maximalen Entlüftung des Systems führt. Das Vacural-Verfahren ist jedoch aufwendiger und wird nur von wenigen Gießereien angeboten.

Vorversuche in Aalen haben gezeigt, dass mit dem Vacural-Verfahren laserpolierbare und schweißbare Druckgussteile hergestellt werden können [3, 4]. Das

Vacural-Verfahren ist somit hinsichtlich der Qualität der Benchmark für das vakuumdosierte Druckgießverfahren.

Das vakuumdosierte Druckgießverfahren

Entwickelt und getestet wurde das neue Druckgießverfahren auf einer 400-t-Kaltkammer-Druckgießmaschine im Gießereilabor der Hochschule Aalen (s. Bild S. 60). Die Druckgießanlage ist mit zwei Industrierobotern für den Trennmittelauftrag und den Dosierprozess ausgestattet. Die Dosierung der Gießkammer erfolgt aus einem externen Warmhalteofen. Für den Dosierprozess kommt eine Vakuum-Dosiereinheit der Meltec Industrieofenbau GmbH zum Einsatz (Bild 1a), welche u. a. eine hohe Dosiergenauigkeit und ei-

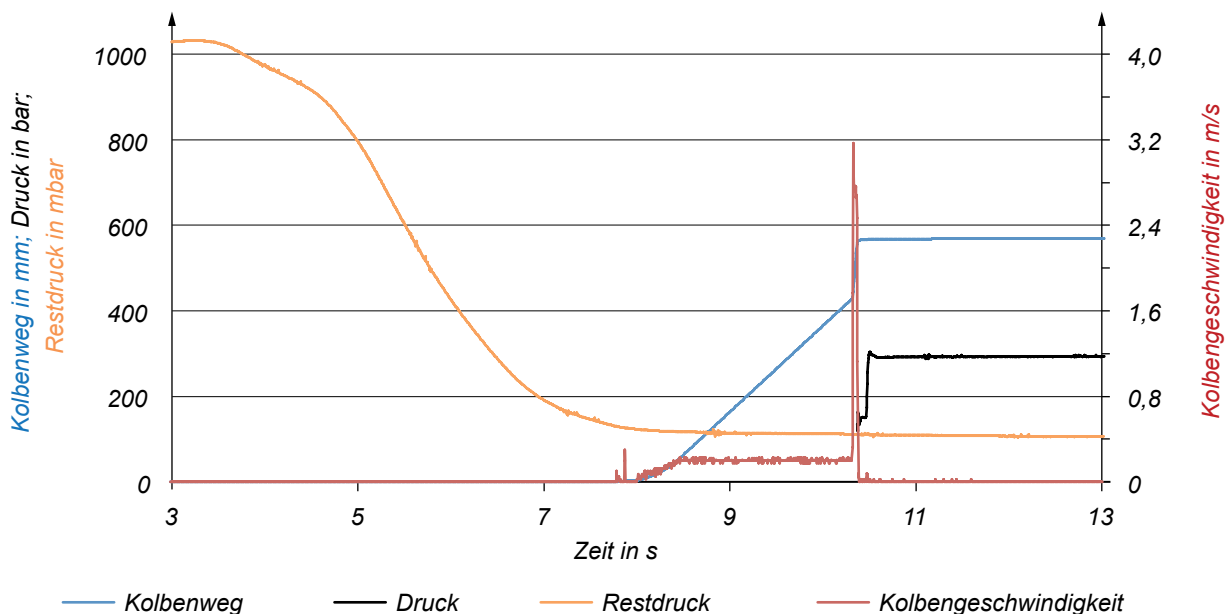


Bild 2: Schusskurve aus einem der Gießversuche mit dem vakuumdosierten Druckgießverfahren. Der Startpunkt der Aufzeichnung wurde mit dem Andocken des Eingsstrichters übereinandergelegt. Der Restdruck wurde von Hand geregelt, später kann im Serieinsatz eine Vakuumkurve vorgewählt werden.

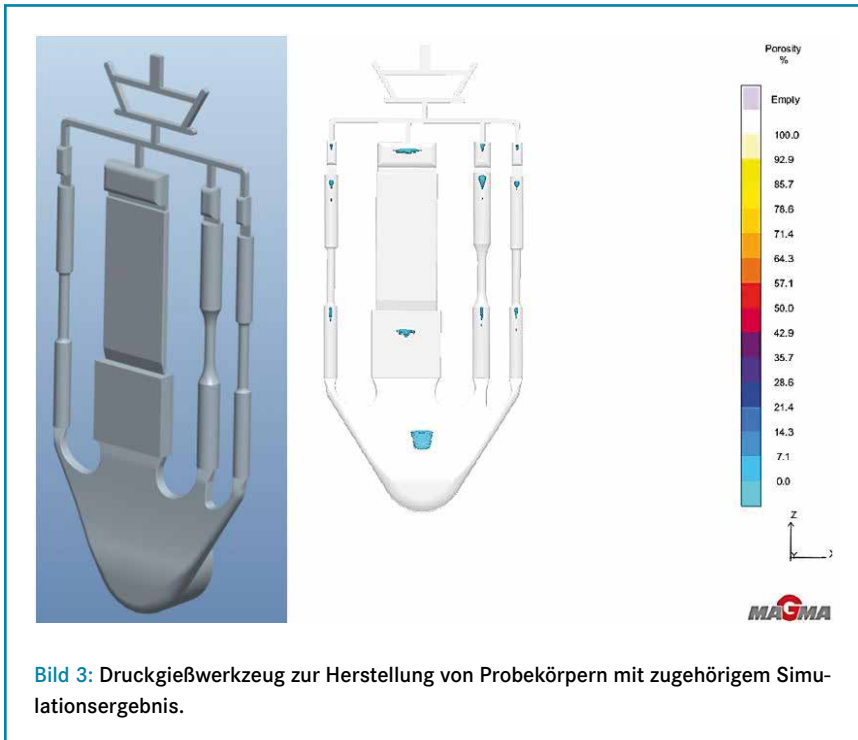


Bild 3: Druckgießwerkzeug zur Herstellung von Probekörpern mit zugehörigem Simulationsergebnis.

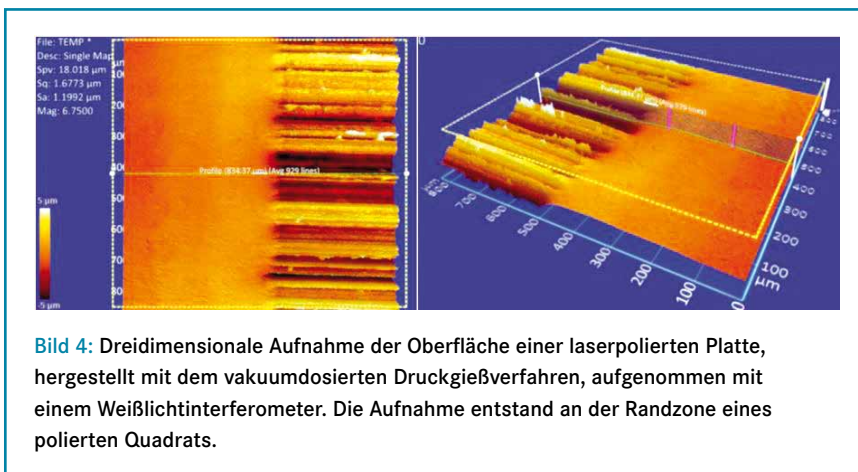


Bild 4: Dreidimensionale Aufnahme der Oberfläche einer laserpolierten Platte, hergestellt mit dem vakuumdosierten Druckgießverfahren, aufgenommen mit einem Weißlichtinterferometer. Die Aufnahme entstand an der Randzone eines polierten Quadrats.

ne Schmelzaufnahme unterhalb der Badoberfläche ermöglicht, wodurch eine Oxidbildung vermieden wird [5].

Im Projekt wurde die Dosierung in mehreren Entwicklungsschritten um zusätzliche Peripherien erweitert. Kernstück ist die Verbindung, die es erlaubt, bereits während des Dosiervorgangs die Vakuumpumpe zuzuschalten. Der Vorteil besteht darin, dass die Entlüftungszeit deutlich verlängert und das Unterdruckniveau im Vergleich zum Standard-Vakuumdruckgießen gesenkt werden können. Die Verbindung wurde durch einen Einfüllstutzen aus Stahl realisiert (Bild 1b). Der Einfüllstutzen wird über eine Stahlbrücke auf einer speziell angefertigten Gießkammer befestigt, eine Dichtung zwischen Gießkammer und Einfüllstutzen erwies sich als nicht zwingend notwendig. Die roboterassistierte Dosiereinheit wurde um eine Stahlhülse erweitert, welche mehrere

Funktionen übernimmt. Zum einen stellt die Stahlhülse das Gegenstück zum Einfüllstutzen dar und zum anderen wird dadurch der Keramiktiegel der Dosiereinheit geschützt. Zwischen Einfüllstutzen und Stahlhülse wurde eine Deckplatte mit integrierter Dichtung zwischengeschaltet. Diese ist demontierbar und kann so bei verschlissener Dichtung einfach getauscht werden.

Generell gestaltet sich der Prozessablauf des vakuumdosierten Druckgießens wie folgt:

- > Ansaugen der Schmelze in den Keramiktiegel,
- > Andocken der Dosiereinheit an den Einfüllstutzen,
- > Start des Dosiervorganges mit gleichzeitigem Start der Evakuierung der Gießkammer,
- > Start der Kolbenbewegung und

- > Abdocken der Dosiereinheit und Anfahren der Grundstellung.

Die weiteren Prozessschritte ähneln dem des Standard-Vakuumdruckgießverfahrens.

Um einen reibungslosen Prozess zu erreichen, musste grundsätzlich die genaue Positionierung des Einfüllstutzens erzielt werden – kleinste Ungenauigkeiten könnten schwerwiegende Beschädigungen der Peripherie auslösen. Um dem entgegenzuwirken, wurde ein Dämpferelement zwischen Wiegezone der Dosiereinheit und der eigentlichen Vakuum-Dosiereinheit eingebracht. Zusätzlich wurde die Dichtung um einige Millimeter aus der vorgesehenen Nut emporgehoben, um eine Knautschzone zu schaffen. Die zweite Herausforderung war die Evakuierung des Formhohlraums. Ein schlagartiger Aufbau des Unterdrucks führte zu einer unbeherrschten Dosierung der Schmelze in die Gießkammer. Durch einen stetig ansteigenden Aufbau des Vakuums konnte dies umgangen werden. Zum Zeitpunkt der Gießversuche wurde dies durch eine manuelle Regelung des Vakuumsystems erfolgreich bewerkstelligt. Im späteren Serieneinsatz kann eine Vakuumkurve vorgewählt werden. Bild 2 zeigt eine typische Schusskurve aus den Gießversuchen.

Experimentelle Vorgehensweise

Um den neuen Prozess mit anderen Gießverfahren zu vergleichen, wurden Versuche mit folgenden vier Druckgießverfahren durchgeführt:

- > konventionelles Druckgießverfahren ohne Vakuum,
- > vakuumunterstütztes Druckgießverfahren,
- > vakuumdosiertes Druckgießverfahren und
- > Vacural-Verfahren.

Für einen Vergleich wurden die mit den unterschiedlichen Verfahren erzielten mechanischen Eigenschaften der Gussteile herangezogen. Hergestellt wurden die Probekörper auf einem bewährten Druckgießwerkzeug, das die Fertigung von quadratischen Platten, Zug- und Schwingproben ermöglicht (Bild 3). Aus Vorarbeiten der Hochschule Aalen ist bereits bekannt, dass Gasporen einen Einfluss auf die statischen Festigkeitswerte ausüben, aufgrund dessen ist die Untersuchung der Zugfestigkeit prädestiniert für solch einen Verfahrenvergleich [6].

Computertomografische Analysen zeigten keine gravierenden Unterschiede

Tabelle 1: Ergebnisse aus dem Zugversuch.

Gießverfahren	$R_{p0,2}$ in N/mm ²		R_m in N/mm ²		A in %	
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
Konventionell	158,0	3,34	286,6	16,15	3,01	0,70
Vakuumenterstützt	157,9	2,82	289,2	14,08	3,10	0,66
Vacural	150,2	2,46	302,3	4,08	4,27	0,46
Vakuumdosiert	162,5	3,29	297,4	7,63	3,79	0,64

$R_{p0,2}$ – 0,2 %-Dehngrenze, R_m – Zugfestigkeit, A – Bruchdehnung, s – Streuung, \bar{X} – Mittelwert

zwischen den mit den unterschiedlichen Gießverfahren hergestellten Proben, lediglich bei den konventionell hergestellten Proben fanden sich Hohlräume innerhalb des Proportionalbereichs.

Die Ermittlung der statischen Festigkeit erfolgte durch eine Zugprüfung. Pro Gießverfahren wurden 25 Proben analysiert. Der Zugversuch wurde in Anlehnung an die DIN 6892-1 durchgeführt. Eine geeignete Zugprobe wird hierbei einer langsam und stetig steigenden Spannung unterworfen. Bei der Auswertung der Daten aus dem Zugversuch wurden erste Unterschiede ersichtlich. Die in **Tabelle 1** zusammengetragenen Versuchsergebnisse zeigen, dass sich das neu entwickelte Druckgießverfahren vom Standard-Vakuumdruk-gießen abhebt und vergleichbare Werte wie beim Vacural-Verfahren erzielt werden. Die

mit dem Vacural-Verfahren hergestellten Proben zeigten die beste Zugfestigkeit und Bruchdehnung bei geringer Streuung. Das vakuumdosierte Druckgießverfahren erzielte etwas geringere Mittelwerte. Bemerkenswert ist beim vakuumdosierten Druckgießverfahren die geringe Streuung der Zugfestigkeit, die in diesem Maße mit dem konventionellen und vakuumunterstützten Druckgießverfahren nicht erreicht werden konnte.

Laserpolierbarkeit

Zur Validierung der Qualität der Proben durch die Laserpolierbarkeit wurden quadratische Platten des vakuumdosierten Verfahrens und des Vacural-Verfahrens vorab auf eine Grundrauigkeit von 2-3 μm (arithmetischer Mittenrauwert R_a) ge-

schliffen. Die Rauigkeit wurde mithilfe eines Weißlichtinterferometers gemessen. Mit dem Weißlichtinterferometer besteht die Möglichkeit, einen quadratischen Messbereich dreidimensional darzustellen. Die Oberfläche der Platten wurde in neun verschiedene Messbereiche unterteilt. Je Platte wurden somit neun Bereiche gemessen. Die Messungen fanden vor und nach der Laserpolitur statt. In diesen Versuchen wurde der Mittelwert der gesamten Messfläche aufgenommen und festgehalten. **Bild 4** zeigt eine dreidimensionale Darstellung einer laserpolierten Platte, hergestellt mit dem vakuumdosierten Druckgießverfahren. Der Messbereich lag hier an der Randzone eines polierten Quadrats. Klar erkennbar ist der Unterschied der Oberflächengüte zwischen unpolierter und polierter Fläche.

Der GIESSEREI-Newsletter
Keine Neuigkeit verpassen.
Jetzt anmelden!

Newsletter

www.giesserei.eu/newsletter

AKTUELL
IM WORLD WIDE WEB

GIESSEREI Hier kommuniziert die Gießereibranche
Der neue Newsletter der GIESSEREI. Zur Anmeldung:



Gießertechnik aus erster Hand!

Chancen früher erkennen, Vorsprung weiter ausbauen!

„Wir lesen die **GIESSEREI**, weil sie seit drei Generationen wichtige Impulse für die Modernisierung unserer Produktionsverfahren gibt.“

Till und Felix Casper
Geschäftsleitung der
Karl Casper KG, Remchingen

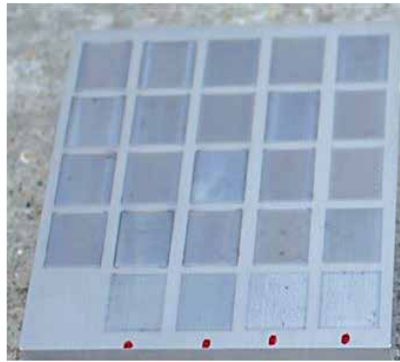
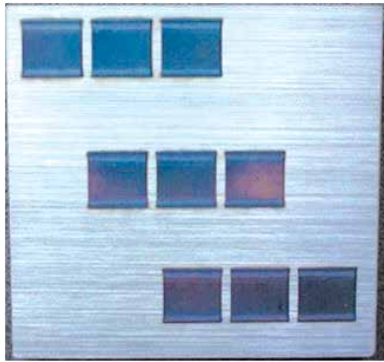


Bild 5: a) Platte, hergestellt mit dem vakuumdosierten Druckgießverfahren – wenige Spritzer und deutlich verbesserte Oberfläche; b) Probe aus dem Vacural-Verfahren, hier wurde eine Parameterforschung durchgeführt – wenige Spritzer, Oberfläche konnte deutlich verbessert werden.

Nach der Messung der Grundrauigkeit wurden die Platten im Laserapplikationszentrum der Hochschule Aalen weiterbearbeitet (Bild 5). Die Bearbeitung mittels Laser erfordert eine genaue Bestimmung wichtiger Bearbeitungsparameter. Hierzu wurden quadratische Platten, die mit dem Vacural-Verfahren hergestellt wurden, verwendet. Vor der Laserpolitur wurden die Platten mit einer weiteren Laserzelle, einer TruMark-Station 5000 inkl. TruMark 5020, gereinigt, um den Einfluss von Verschmutzungen auszuschließen. Für die Parameterforschung wurden die wichtigsten Laserparameter in 48 verschiedenen Konstellationen erprobt. Die wichtigsten Parameter sind die Laserleistung, der Vorschub, die Pendelfrequenz, die Defokussierung, die Pulsdauer und die Pulsfrequenz. Poliert wurden die Platten auf der Trumpf-Laserzelle TLC 40. Die Laserpolitur wurde sowohl im Pulsed-Wave- als auch im Continuous-Wave-Modus untersucht. Nach der erfolgten Laserpolitur wurde erneut die Rauigkeit gemessen. Anschließend wurden die Rauigkeitswerte, die vor und nach der Politur gemessen wurden, miteinander verglichen. Dabei fiel eine Messreihe besonders auf. Hier konnte die Grundrauigkeit von durchschnittlich $2,45 \mu\text{m}$ auf durchschnittlich $0,16 \mu\text{m}$ deutlich herabgesetzt werden. Diese Messreihe wurde im Continuous-Wave-Modus durchgeführt. Die Parameter, die zu diesem Erfolg führten, wurden daraufhin für die Laserpolitur verwendet:

- > Laserleistung = 1600 W,
- > Vorschubgeschwindigkeit = 200 mm/min und
- > Pendelfrequenz = 200 Hz.

Die Laserpolitur wurde ebenfalls für die Proben des vakuumdosierten Druckgießverfahrens durchgeführt. Auch hier konnte eine deutliche Verbesserung der Oberflächengüte festgestellt werden, die sich durchschnittlich von $2,2 \mu\text{m}$ auf $0,09 \mu\text{m}$ verbesserte. Neben der verbesserten Rauigkeit fanden sich bei beiden getesteten Verfahren nur vereinzelt Aluminumspritzer auf der polierten Oberfläche. Die Laserpolierbarkeit des vakuumdosierten Druckgießverfahrens konnte somit erfolgreich durchgeführt werden.

Zusammenfassung

Generell lässt sich behaupten, dass mit dem vakuumdosierten Druckgießen ein vielsprechendes Gießverfahren entwickelt wurde, welches die kostengünstige Herstellung laserbearbeitbarer Druckgussteile ermöglicht. Zugleich können konventionelle Maschinen für das Verfahren nachgerüstet werden.

Das vakuumdosierte Druckgießverfahren verbessert darüber hinaus die Zugfestigkeit der Bauteile und mindert gleichzeitig die Streuung der Zugfestigkeitsergebnisse.

Zum Erreichen einer Serientauglichkeit sind weitere Optimierungen hinsicht-

lich einer automatisierten Regelung der Unterdruckkurve notwendig.

Die Ergebnisse entstanden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Funktionale Oberflächen“ mit dem Förderkennzeichen 16KN037733. An dem Projekt waren die Hochschule Aalen und die Ritter Leichtmetallguss GmbH beteiligt. Gefördert wurde das Projekt durch das Förderprogramm „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ des BMWi. Projektträger war die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Die Autoren bedanken sich für die Förderung und die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Prof. Dr.-Ing. Lothar H. Kallien, Marcel Becker, M.Sc., Dominik Flierl, B.Eng., Hochschule Aalen, Dr. Klaus Wacker, Ritter Leichtmetallguss GmbH, Weinstadt.

Literatur:

- [1] Homepage: Giessereilexikon, 07.09.2017, <http://www.giessereilexikon.com/giessereilexikon/Encyclopedia/show/vakuumunterstuetztes-druckgiessen-1137/>
- [2] Homepage: Giessereilexikon, 07.09.2017, <http://www.giessereilexikon.com/giessereilexikon/Encyclopedia/show/vacural-verfahren-1018/?L=/proc/>
- [3] Burzic, B.; Hofele, M.; Mürdter, S., u. a.: Laser polishing of ground aluminum surfaces with high energy continuous wave laser. *Journal of Laser Applications* 29 (2017), [Nr. 1].
DOI: 10.2351/1.4966923.
- [4] Bührig-Polaczek, A.; Michaeli, W.; Spur, G.: *Handbuch Urformen*. Carl Hanser Verlag, München, 2014.
- [5] Homepage: Meltec Industriebau GmbH, 09.09.2017, <http://www.meltec.at/produkte/aluminium/avd-aluminium-vakuumdosiereinheit.html>
- [6] *Giesserei* 96 (2009), [Nr. 8], S. 28-39.

AAGM

Convitec