

FOTO: FRECH

Der Druckgießprozess ist heute ein hochgradig automatisierter Fertigungsprozess, der auch das Formeinsprühen einschließt.

Druckgießen

In der gesamten Druckgießbranche haben sich in den vergangenen 25 Jahren grundlegende Entwicklungstendenzen vollzogen, die Mitte der 1980er Jahre in erster Linie von den sich ändernden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen initiiert wurden.

VON LOTHAR H. KALLIEN UND
CHRISTIAN BÖHNLEIN, AALEN

Großabnehmer von Gussteilen haben vermehrt begonnen, ihre erlangte Marktstärke gegenüber den Metallgießern zu nutzen, um Einkaufsbedingungen und Zahlungsmodalitäten zu ihren Gunsten durchzusetzen [1]. Aufkommende Lieferkonzepte wie „Just in time“ [2] verlangten vom Druckgießer ein deutlich höheres Maß an Flexibilität, deren Erfüllung eine Voraussetzung für das Überleben eines Betriebes darstellte.

Die Einhaltung stetig steigender Qualitätsanforderungen stellte die gesamte Branche auf eine harte Probe – beispielsweise die Formulierung der Null-Fehler-Produktion mit 99,994% korrekten Teilen Ende der 1980er Jahre. „Ob diese Null-Fehler-Produktion weiterhin Wunschden-

ken ist oder im bereits angelaufenen High-Tech-Zeitalter schon bald Realität wird, ist noch nicht abzusehen“ [3]. Aus heutiger Sicht lässt sich diesbezüglich jedoch eine klare Aussage treffen. Aufgrund dieser geänderten Rahmenbedingungen sahen sich viele Betriebe einer Marktsituation gegenüber, die nur durch konsequente Steigerung von Produktivität, Flexibilität, Prozesssicherheit und Qualität zu bewältigen war.

Auch der Blick über die Grenzen in Richtung der japanischen Druckgießereien Ende der 1980er Jahre bestätigte die geringe Kapazitätsauslastung der heimischen Druckgießereien [4] und führte Anfang der 1990er Jahre zu einem verstärkten Interesse von Lean Production. So wurde vom VDG in Zusammenarbeit mit der Japan Foundrymen's Society eine Fachstudienreise nach Japan organisiert [5].

Druckgießverfahren

Das Ziel aller Druckgießverfahren ist nach wie vor die Herstellung von Gussteilen ohne eingeschlossene Gase und Schwindungsporositäten. Dies ist eine Voraussetzung für eine festigkeitssteigernde Wärmebehandlung und die Grundlage optimierter und hochbelastbarer Gussteile, die von den Abnehmern in zunehmendem Maße gefordert werden.

Schon seit Jahrzehnten wird versucht, die eingeschlossene Luft im Formhohlraum vor dem Einpressvorgang durch Entlüftungsventile zu evakuieren. Anfang der 1980er Jahre konnte die Porosität von Gussteilen durch den Einsatz des Vacural-Verfahrens wesentlich gesenkt werden. Bei diesem Verfahren werden der Formhohlraum und die Gießkammer bereits zur Dosierung der Schmelze über

ein Steigrohr evakuiert. Allein der Unterdruck und die Dosierzeit bestimmen die Metallmenge. Hierdurch konnte erstmals sichergestellt werden, dass nur dann ein Gussteil erzeugt wird, wenn im Formhohlraum ein ausreichender Unterdruckwert erreicht wurde. Vacural-Druckgussteile können aufgrund der Porenfreiheit nicht nur einer Wärmebehandlung unterzogen werden, sondern auch geschweißt werden [6], [7] und bilden daher die Grundlage zur Herstellung von Aluminium-Karosserien mit Gussknoten (Bild 1).

Die Herstellung nahezu porenfreier Druckgussteile wurde auch über die Semi-Solid-Route erschlossen. Bei diesen Verfahren wird ein Werkstoff mit einem ausgeprägten Erstarrungsintervall im teilflüssigen Zustand zwischen liquidus und solidus verarbeitet. Dies bietet neben einer geringeren Temperaturwechselwirkung mit dem Gießwerkzeug den Vorteil der geringeren Schwindung und insbesondere bei Aluminiumlegierungen verminderter Gasaufnahme. Diese Gussteile sind ebenfalls wärmebehandelbar, druckdicht und schweißbar [8]. Das Vormaterial mit der notwendigen globularen Struktur der festen primären α -Aluminium-Phase wird durch elektromagnetisches Rühren der erstarrenden Schmelze erzeugt.

Der kalte Bolzen wird dann direkt an der Druckgießmaschine induktiv erwärmt. Mit einem Festanteil von ca. 50 bis 60 % lässt sich der halbflüssige Bolzen in die Gießkammer einlegen und durch den Druck des Gießkolbens und die damit auftretenden Scherkräfte verpressen [9].

Das Prinzip des New-Rheo-Castings unterscheidet sich von dem des angesprochenen Thixo-Verfahrens hauptsächlich in der Herstellung des Vormaterials. Hierbei wird die Globulitisierung der Primärphase durch langsames Einrühren in einen kalten Behälter mit anschließendem induktivem Aufheizen erzielt [10]. Dieser Verfahrensweg konnte bereits vollständig automatisiert werden [11]. Derzeit findet eine weitere Variante zur Herstellung des Vormaterials direkt an der Maschine Interesse [12]. Hierbei wird in eine geringfügig überhitzte Schmelze ein Körper gleicher Legierungszusammensetzung eingegrührt (Enthalpy Exchange Material), der die Schmelze definiert abkühlt und entstehende Dendriten durch die Rührbewegung zerschlägt (Bild 2).

Eine Verfahrensvariante des konventionellen Spritzgießens stellt das Thixomolding dar. Hierbei wird Magnesiumgranulat einer rotierenden Schnecke, dem Extruder, zugeführt und unter Argonatmosphäre in einer Aufheizstrecke teilverflüssigt, wobei das Dendritenwachstum des Materials durch die ständige Abschneuerung unterbunden wird [13].

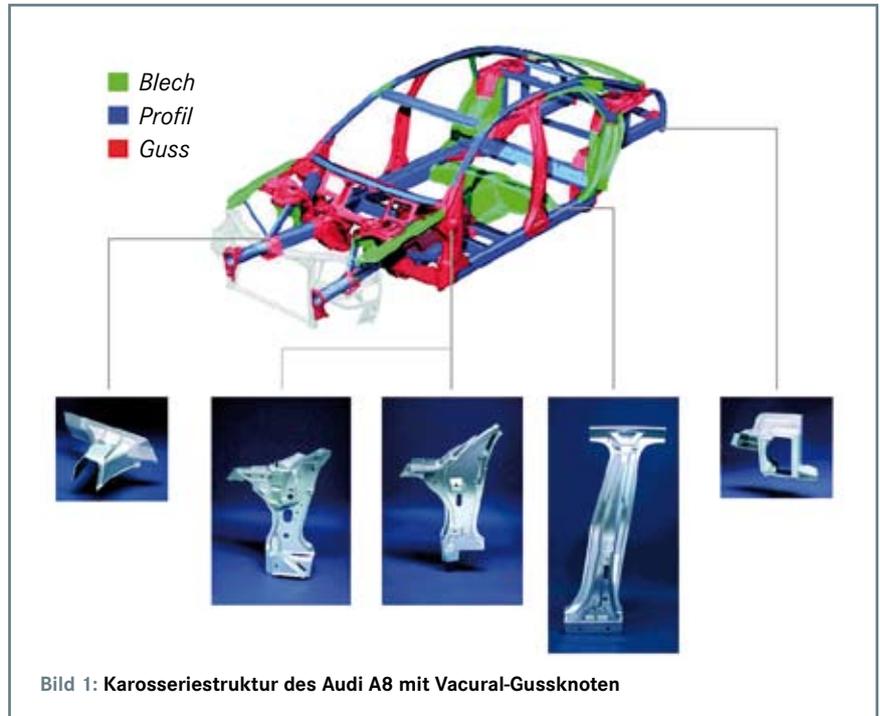


Bild 1: Karosseriestruktur des Audi A8 mit Vacural-Gussknoten

FOTO: AUDI

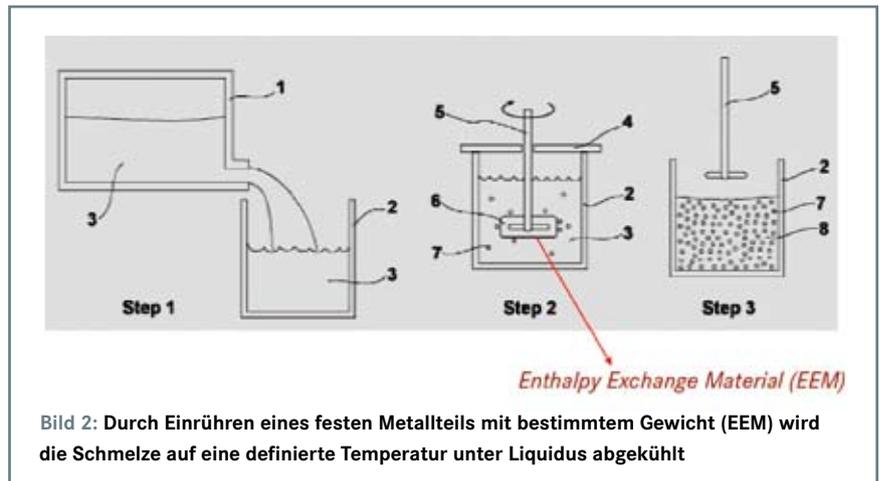


Bild 2: Durch Einrühren eines festen Metallteils mit bestimmtem Gewicht (EEM) wird die Schmelze auf eine definierte Temperatur unter Liquidus abgekühlt

Zum Ausgleich von Schwindungsproportitäten wurden das Accurad-Verfahren mit zweiteiligem Gießkolben [14] und der Einsatz von lokalen Squeeze-Stempeln entwickelt. So werden bei Zylinderkurbelgehäusen oftmals die dickwandigen Lagerstuhlbereiche durch lokale Squeezer nachgespeist.

Weitere Varianten des herkömmlichen Druckgießverfahrens stellen das Squeeze-casting [15] und das Poral-Verfahren [16], [17] dar. Durch geringere Formfüllgeschwindigkeiten und größere Anschnitte kann die Form deutlich langsamer und damit weniger turbulent gefüllt werden, wodurch ebenfalls eine anschließende Wärmebehandlung hochbeanspruchter Bauteile möglich ist. Die Wanddicken sind jedoch aufgrund der langsamen Formfüllung nach unten begrenzt. Die neue Idee eines Primär-Geregelten-Druckgieß-System (PGDS) mit variabel gestaltetem Anschnittsystem könnte hierbei die Vorteile beider Verfah-

ren, die schnelle Formfüllung bei gleichzeitig guter Nachspeisung, verbinden [18].

Werkstoffverbünde

Um den gestiegenen Festigkeitsforderungen nachkommen zu können, wurden in den vergangenen Jahren gerade im Druckguss neue Wege erforscht. Hier sind partikelverstärkte AlSi-Legierungen [19] und Aluminium im Verbund mit Keramik zu nennen [20]. Das Eingießen von Zylinderlaufbuchsen aus Gusseisen (GJL) bei Zylinderkurbelgehäusen zur Minimierung des Kolbenverschleißes wurde Stand der Technik. Neue Anwendungsgebiete konnten durch das Eingießen von Rohren [21] erschlossen werden.

Um die Forderung des Leichtbaus zu erfüllen, wurden Schaumkerne aus Aluminium im Druckgießverfahren umgossen [22]. Ein beachtlicher Erfolg konnte jedoch mit dem in Serie umgesetzten Konzept des

Verbundkurbelgehäuses im Druckguss von BMW erzielt werden. Durch das Umgießen eines übereutektischen Aluminiuminserts mit Magnesium ist es prozesssicher gelungen, beim Zylinderkurbelgehäuse einen Gewichtsvorteil von ca. 10 kg zu realisieren [23] (Bild 3). Neue Wege zur Herstellung monolithischer Zylinderkurbelgehäuse könnten durch lokale Siliciumanreicherungen der Laufflächen, MMC-Lagerstuhlverstärkungen und verlorenen Sand- oder Salzkernen für closed-deck-Konstruktionen besprochen werden [24].

Aufgrund des einsetzenden Trends der Elektroantriebe im Automobilbereich wurden im Druckgießverfahren Rotoren

erzeugt, deren Stator mit Leitkupfer umgossen wurde. Das Ergebnis waren deutliche Leistungsgewinne gegenüber den vergleichbaren Rotoren aus dem Werkstoff Aluminium [25]. Ein völlig anderer Weg zur Darstellung von funktionalen Hohlräumen im Druckguss konnte mit dem Gasinjektionsverfahren aufgezeigt werden [26]. Der Serieneinsatz dieser Technologie wird derzeit in Forschungsvorhaben untersucht.

Druckgießprozess

Die Entwicklung des Druckgießens der vergangenen Dekaden erforderte in zunehmendem Maße, sich von Maschinen-

einstellungen basierend auf Erfahrungen und Versuchen zu lösen. Angestrebt waren belegbare Prozessdaten, die für eine weitere Nutzung zur Verfügung stehen sollten. Einen wesentlichen Beitrag lieferte hierbei der Einzug der Mikroprozessorsteuerung in den Druckgießprozess in den 1980er Jahren. So wurden in Gießereien auf breiter Front Systeme umgesetzt, die eine genaue Analyse der Gießparameter zulassen [27]. Somit war es möglich, den Prozess reproduzierbar zu gestalten und optimale Einstellungen wieder zu verwenden. Dies zeigt sich beispielsweise in deutlich kürzeren Einstellzeiten bei Optimierungen und Werkzeugwechseln [28]. Zugleich konnte durch diese Neuerung die Bedienfreundlichkeit drastisch gesteigert werden [29]. Selbst Stillstandszeiten konnten stark reduziert werden, da Fehler nun direkt angezeigt und sich Schwerpunkte der Fertigungsunterbrechungen mit Hilfe der erstellten Protokolle finden und eliminieren lassen [30], [31].

Durch die Interpretation der Messkurven von Gießkolbenweg, Gießkolbengeschwindigkeit und Hydraulikdruck konnte ein Einblick in die Formfüllbedingungen erzielt werden – und dies bereits während des Prozesses [32], [33]. Um jedoch neben den Maschinendaten Informationen über die Vorgänge im Formhohlraum zu bekommen, wurde auch das Gießwerkzeug mit Sensoren ausgestattet, die eine Steuerung von Bewegungsabläufen in Abhängigkeit der Temperatur [34], [35], des Formindendrucks [36] oder des Metallkontakts [37] ermöglichten (Bild 4). Diese Vernetzung mit der Maschine erlaubt durch die gesteigerten Anpassungsmöglichkeiten der Gießparameter die Herstellung hochwertiger Gussteile [38]. Insbesondere für Vakuumanwendungen rücken hier die Messungen der relativen Luftfeuchte und des Restgasgehaltes der abgesaugten Luft in den Vordergrund [39], [40].

Mit dem Einzug der Prozessüberwachung konnte auch der qualitätsbeeinflussende Beitrag der Peripherie, wie der Schmelzeversorgung, nachgewiesen werden [41]. Die lückenlose Dokumentation und die Überwachung verschiedener Gießbedingungen in einem engen Toleranzband ermöglicht eine statistische Prozessüberwachung und damit eine automatische Qualitätskontrolle [42], [43]. Da diese Thematik einen hohen Stellenwert genießt, bieten neben den Maschinenherstellern auch Drittanbieter Systeme zur umfassenden Überwachung des Druckgießprozesses an [44].

Als Antwort auf die Strukturänderungen Anfang der 1990er Jahre ist die wachsende Automatisierung im Druckguss zu nennen [45], welche auch ein wesentliches Thema der GIFA 2003 [46] darstellte. Im Laufe der vergangenen 25 Jahre



Bild 3: Magnesium-Aluminium-Verbundkurbelgehäuse mit in das Druckgießwerkzeug eingelegtem Aluminium-Insert

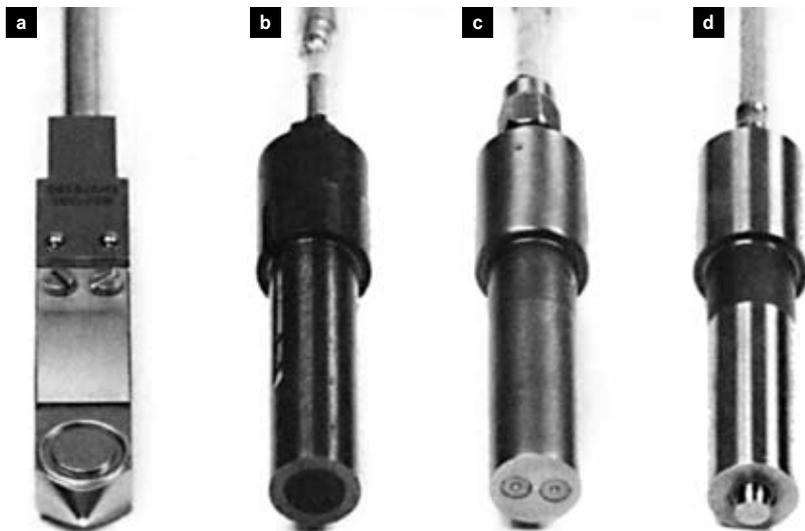


Bild 4: Sensoren zum Einsatz in der Formkavität: a) indirekter Drucksensor (unter Auswerferstift), b) direkter Drucksensor, c) Temperatursensor, d) Metallfrontkontaktsensor

FOTO: BMW



Bild 5: Moderne Gießzelle DAK 2300-275 L der Fa. Frech

FOTO: FRECH

wurde es möglich, sowohl Einlegeteile vor dem Gießvorgang einzulegen als auch das Gussteil selbst vollständig automatisiert zu entnehmen [47]. Hierfür wurden für den rauen Gießbetrieb ausgelegte Sechsarmer Roboter eingesetzt [48], welche eine hohe Steifigkeit und neben einer genauen Regelbarkeit einen großen Arbeitsbereich aufweisen [49], um zusätzlich die Teilekontrolle, das Abschrecken und das Sägen oder Stanzen übernehmen zu können [50].

Durch die Automation und die Verketten der Druckgießmaschine mit der nun umliegenden Peripherie konnte eine beachtliche Produktionssteigerung erzielt werden, die vom Gießer zwar ein immer größeres Wissen verlangt, diesen aber auch gleichzeitig entlasten hilft. So erhielt die Mehrmaschinenbedienung Einzug in die Druckgießereien [51]. Dieser Entwicklung sind auch die Maschinenhersteller mit dem Angebot umfassender Gesamtkonzepte aus einer Hand gefolgt [52], [53]. Eine moderne Gießzelle wird in Bild 5 gezeigt.

Druckgießmaschine

Auf der GIFA 1989 wurde mit dem Einzug der erweiterten Steuerbarkeit von Druckgießmaschinen ein völlig neues Konzept des Gießantriebes präsentiert – die digitale Echtzeitregelung [54]. Bisher war es lediglich möglich, die Geschwindigkeiten für die einzelnen Gießphasen vorzuwählen. Wird mit dem neuen abölgesteuerten System nachgeregelt, kann der Ablauf des Gießvorganges nahezu beliebig gestaltet werden. Den Forderungen nach Reproduzierbarkeit und Prozessüberwachung des gesamten Gießvorganges wird damit eine weiteres Stück Rechnung getragen [55]. Der Gießkolben kann beschleunigt als auch ab-

gebremst werden. Dies ermöglicht eine Reduzierung der gefürchteten Druckspitzen am Ende der Formfüllung [56], welche sich sonst nur durch Dämpfungssysteme beseitigen lassen [57], [58], [59].

Einen großen Schritt in Richtung der Umweltverträglichkeit stellt die Entwicklung einer wesentlich schnelleren in allen Achsen vollelektrisch angetriebenen Warmkammermaschine für den Werkstoff Zink dar, welche auf der GIFA 1999 der breiten Öffentlichkeit präsentiert wurde. Der Wegfall von schwer entflammaren Hydraulikflüssigkeiten, die Energieeinsparung und der geräuschreduzierte Betrieb dieser Maschinen generation verringern die Umweltbelastungen [60], [61], während die hohe Positioniergenauigkeit und Reproduzierbarkeit [62] die gestiegenen Forderungen seitens des Kunden erfüllen. Diese Entwicklung konnte bereits auf den Werkstoff Magnesium ausgedehnt werden, wobei hier eine hybride Antriebstechnik (elektrisch und hydraulisch) verfolgt wurde [63].

In neuerer Zeit zeichnete sich bei den Druckgießmaschinen eine weitere nennenswerte Entwicklung ab, die Zwei-Platten-Technologie. In der Vergangenheit wurde die mechanische Formzuhaltung mittels eines Kniehebels realisiert. Das neue Maschinenkonzept benötigt jedoch nur noch zwei Platten, da die Zuhaltkraft der beweglichen Seite durch hydraulische Säulenmuttern erzeugt werden kann [64]. Hierbei fahren je zwei Halbschalen in die Verzahnung der Säule ein und verriegeln die Platte. Der Schließkraftaufbau erfolgt hierbei durch einen integrierten Kurzhubzylinder. Neben dem geringeren Wartungsaufwand, dem deutlich verringerten Platzbedarf und der größeren lichten Weite zum Aufspannen von Werkzeugen bei gezo-

ANZEIGE
1/4
40 x 260
LOFT

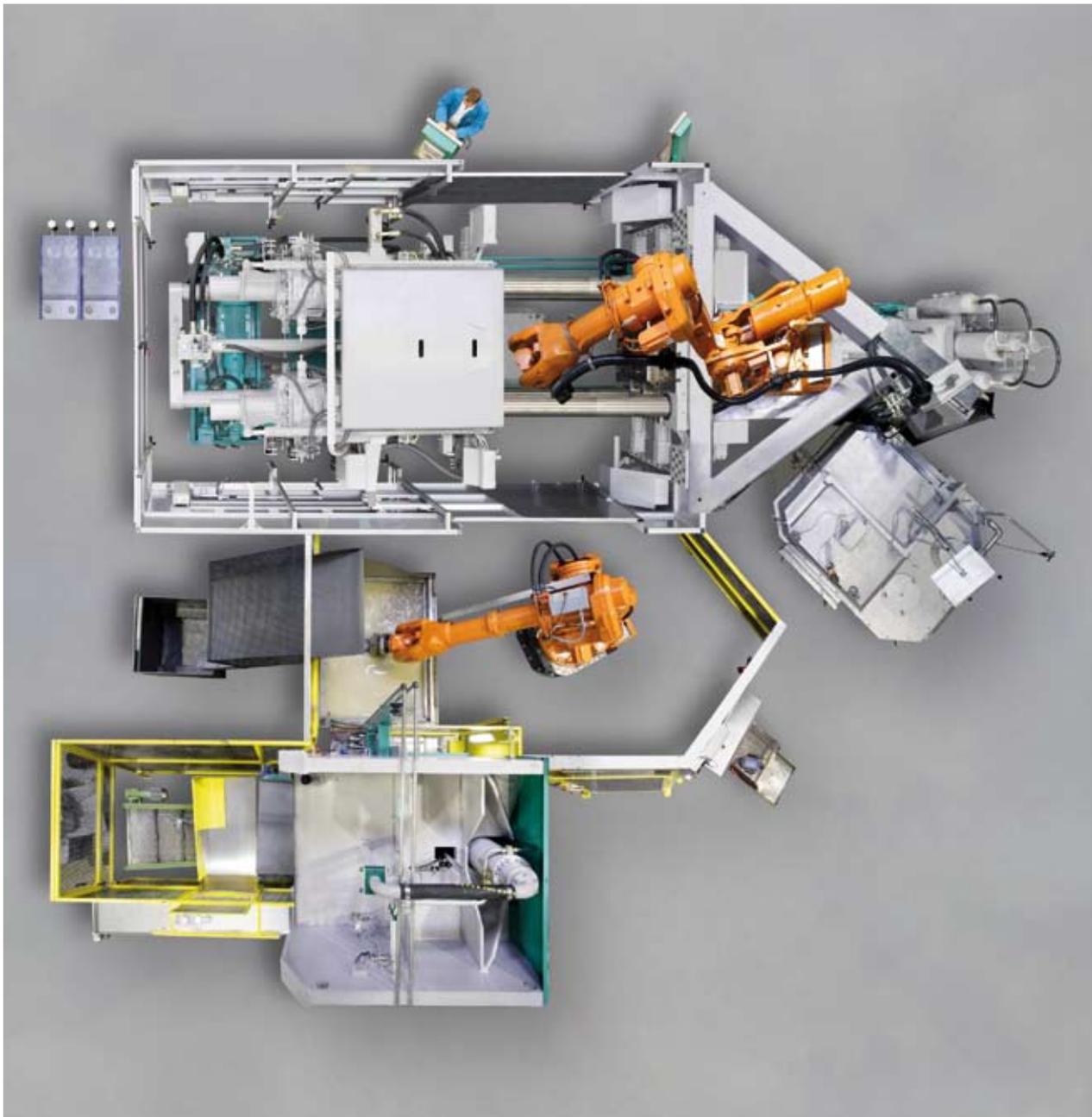


Bild 6: Blick von oben auf eine 2-Platten-Maschine der Bühler AG

FOTO: BÜHLER

genen Säulen bietet dieses Konzept einen weiteren entscheidenden Vorteil: die Zuhaltkraft ist durch den variabel aufbauenden Druck für jede Säule separat regelbar. Somit kann der Schließkraftaufbau vollständig gleichförmig erfolgen [65] (Bild 6).

Bei der Vakuumtechnik ist neben der Optimierung von Waschbrettern bzw. Ventilen einer neuen Entwicklung Bedeutung beizumessen. Es handelt sich um die Entlüftungstechnologie eines Waschbretts mit einem veränderlichen Spaltmaß, bei dem trotz des hohen Entlüftungsvermögens ein sicheres Einfrieren der Schmelzefront gewährleistet werden kann [66]. Große Evakuierungsleistungen und verbesserte Überwachungsmöglichkeiten erlaubten die Entwicklung eines neuen Vakuumver-

fahrens. Hierbei wird die eingeschlossene Luft nicht nur über den Formhohlraum, sondern auch über einen deutlich größeren Evakuierungsquerschnitt aus der Gießkammer gesaugt [67], [68] (Bild 7).

Druckgießwerkzeug

Im Zuge des umfassenden Verständnisses für den Druckgießprozess rückte in den vergangenen Jahrzehnten neben dem eigentlichen Gussteil und dem Prozess zunehmend auch das Druckgießwerkzeug selbst in den Vordergrund. Da die Materialkosten nur einen Teil der Gesamtkosten einer Druckgießform betragen, konnten sich höherwertige Werkzeugstähle durch einen Zugewinn an Leistung etablieren [69]. Darüber

hinaus werden heute alle Stahlsorten mit dem ESU (Elektro-Schlacke-Umschmelz)-Verfahren metallurgisch optimiert. Zur Steigerung der Qualität und Produktivität wurden in den 1990er Jahren zunehmend die möglichen Vorteile von Beschichtungen erkannt und zahllose Untersuchungen zur Standzeitoptimierung durchgeführt [70].

Beim Herstellungsprozess der Formeinsätze konnte die Funkenerosion durch Fräsen substituiert werden, um Durchlaufzeiten zu verkürzen und gezielt Druckeigenstress einzubringen [71]. Der Einzug des Rapid-Prototyping erlaubte mit dem direkten Metall-Laser-Sintern (DMLS) die zeitnahe Herstellung von Werkzeugen, die bei Aluminiumguss einige hundert Abgüsse ermöglichen [72], [73].

Für eine Steigerung der Lebensdauer und die Gewährleistung eines stetigen Prozesses war das Verständnis für die thermisch bedingten Vorgänge im Werkzeug unumgänglich. Typische Schadensfälle und Ausfallursachen wurden eingehend analysiert [74] (Bild 8). Eine wesentliche Abhilfemaßnahme stellte hierbei die Steuerung des Wärmehaushalts mit Temperierregelgeräten dar [75], welche nun auf breiter Front Einzug hielten. Durch Einhalten der Grundregeln des Aufwärmens von Gießwerkzeugen zur Standzeiterhöhung konnte die Produktivität [76] und die Gussqualität erheblich gesteigert werden [77]. Neben den verbreiteten Temperiergeräten mit Wärmeträgeröl, welche eine Temperierung bis 350 °C ermöglichen [78], fanden in den vergangenen Jahren zunehmend Druckwasser-Temperiergeräte Einzug in die Druckgießtechnik [79]. Diese sind zwar hinsichtlich der Temperatur beschränkt einsetzbar, bieten jedoch deutlich bessere Wärmeübertragungseigenschaften [80]. Bei diesen Geräten ist eine ausgereifte Überwachung des Kreislaufsystems unumgänglich.

Im Zuge der gesteigerten Forderungen bezüglich der Flexibilität in der Produktion konnten in den vergangenen Jahren grundlegende Änderungen zur Beschleunigung des Rüstvorgangs von Druckgießwerkzeugen eingebracht werden. Gegenüber den wartungsfreundlichen Konstruktionen [81] und der Verwendung von normalisierten Zubehörteilen [82] ermöglichen Schnellspannsysteme in der Praxis eine deutliche Zeitersparnis [83], [84]. Jedoch sollten sich Rüstkonzepte nicht nur auf das Werkzeug und die Druckgießmaschine beschränken, sondern auch gut vorbereitetes und geübtes Personal beinhalten.

Ein besonders innovativen Ansatz hat Frech auf der GIFA 2007 mit dem FGS Frech Gating System vorgestellt, bei dem der Kreislaufanteil bei Warmkammer-Zinkdruckguss-Teilen auf einen Bruchteil des ursprünglichen Gewichtes abgesenkt werden kann. Notwendig ist hierzu ein Heißkanalsystem, wie es bei Kunststoffspritzgießmaschinen schon länger im Einsatz ist (Bild 9).

Trenn- und Schmierstoffe

Aufgrund der in den vergangenen Jahrzehnten gestiegenen Forderungen zum Schutz der Umwelt und der Arbeitsumgebung in Druckgießereien [85] wurden die Trenn- und Schmierstoffe auf Mineralölbasis durch synthetisch hergestellte Substanzen ersetzt, die deutlich geringere Belastungen verursachen [86]. Der Trennmittelauftrag ist jedoch nach wie vor weit entfernt von einem reproduzierbaren Prozess [87]. Ein wesentlicher Fortschritt zur

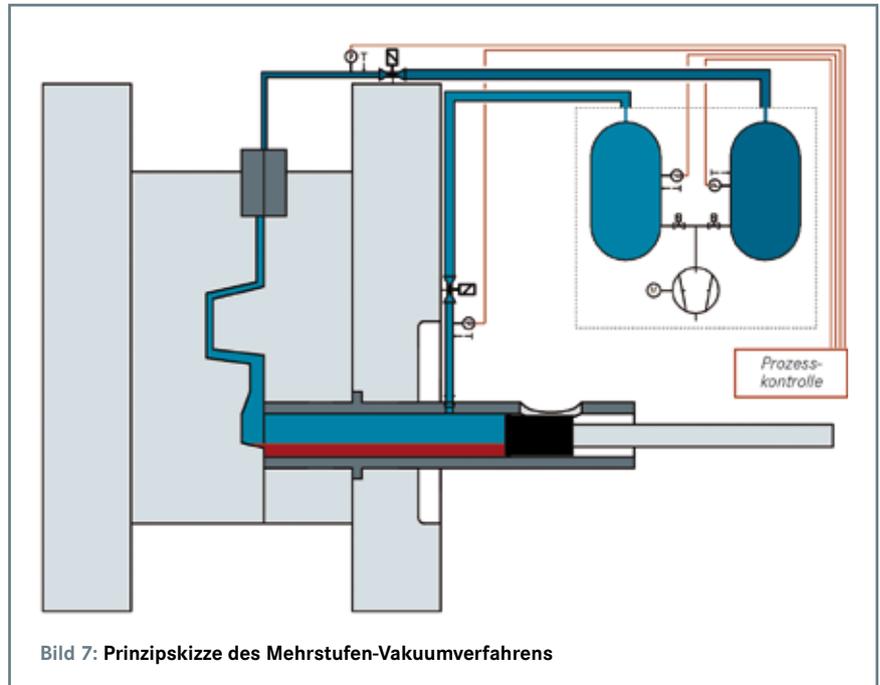


Bild 7: Prinzipskizze des Mehrstufen-Vakuumverfahrens

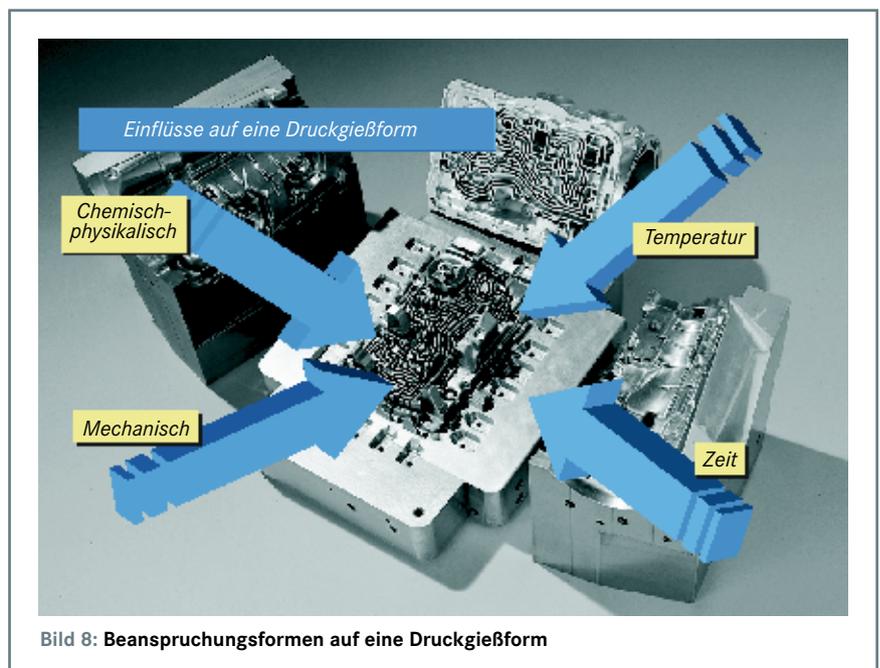


Bild 8: Beanspruchungsformen auf eine Druckgießform

Senkung des Trennmittelverbrauchs konnte durch die getrennte Ansteuerung von Kühlung und Trennmittelauftrag erzielt werden [88].

Es konnte nachgewiesen werden, dass der Prozess des Trennmittelauftrages die Standzeit der Werkzeuge in Folge des stetigen Thermoschocks wesentlich beeinflusst. Hier wurden neben Trennmitteln für höhere Auftragstemperaturen [89] auch trockene Formtrennstoffe [90] entwickelt, welche auch beim bereits geschlossenen Werkzeug mittels Vakuum in den Formhohlraum gebracht werden konnten [91]. Diese Entwicklung auf Graphit- und Wachs-basis hat bei den Kolbensmierstoffen bereits auf breiter Basis Einzug in den Prozess gehalten [92].

Schmelze

Zur Einhaltung der stetig gestiegenen Qualitätsanforderungen kommt neben der Druckgießmaschine und dem Gießprozess auch der fachgerechten Schmelzbehandlung erhöhte Bedeutung zu. Hier konnten sich insbesondere das Spülen der Schmelze mit Argon oder Stickstoff zur Reduzierung von Oxiden und des gelösten Wasserstoffs etablieren [93]. Die Verbesserung der Flüssigmetallqualität ließ sich durch neue Messverfahren nachweisen [94], [95].

Nachdem erkannt wurde, dass nahezu alle kolbenpositionsbedingten Parameter des Gießvorgangs von der Genauigkeit der Schmelzedosierung abhängen, wurden in den letzten Jahren vermehrte

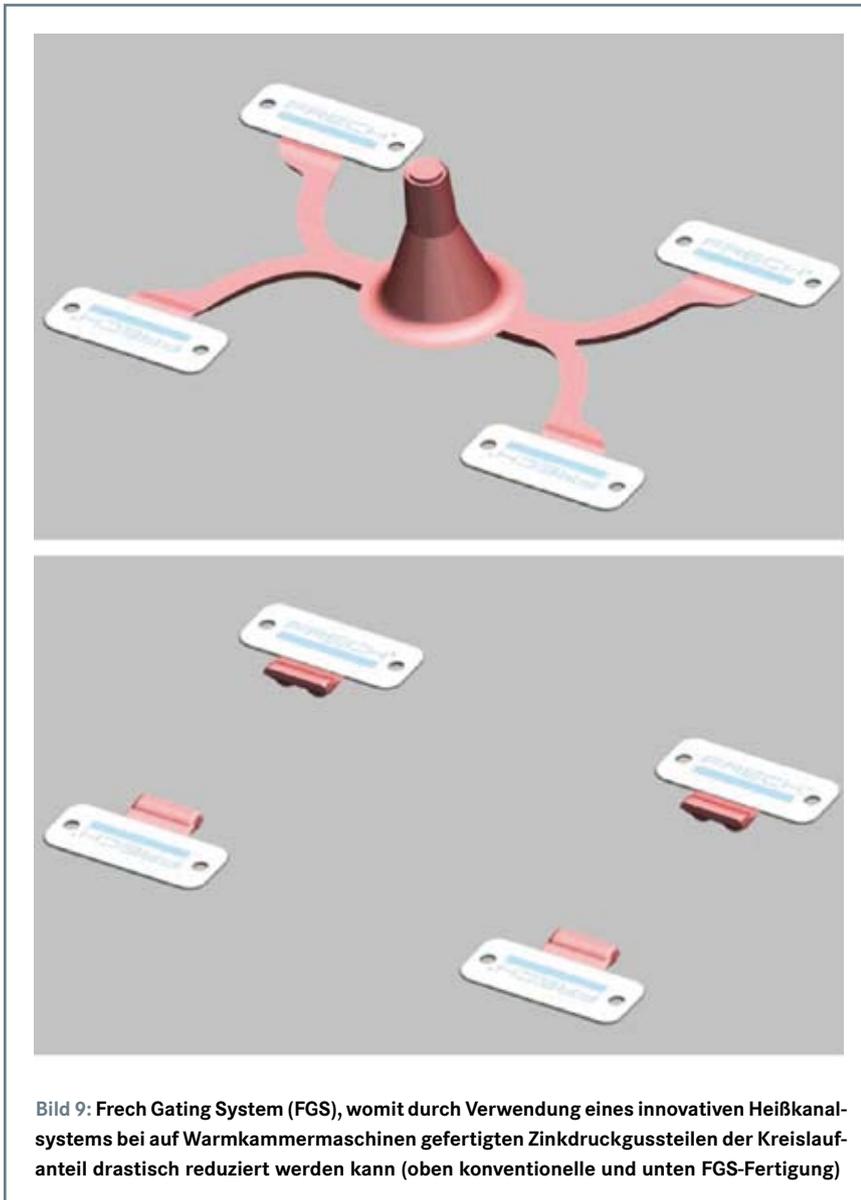


Bild 9: Frech Gating System (FGS), womit durch Verwendung eines innovativen Heißkanalsystems bei auf Warmkammermaschinen gefertigten Zinkdruckgussteilen der Kreislaufanteil drastisch reduziert werden kann (oben konventionelle und unten FGS-Fertigung)

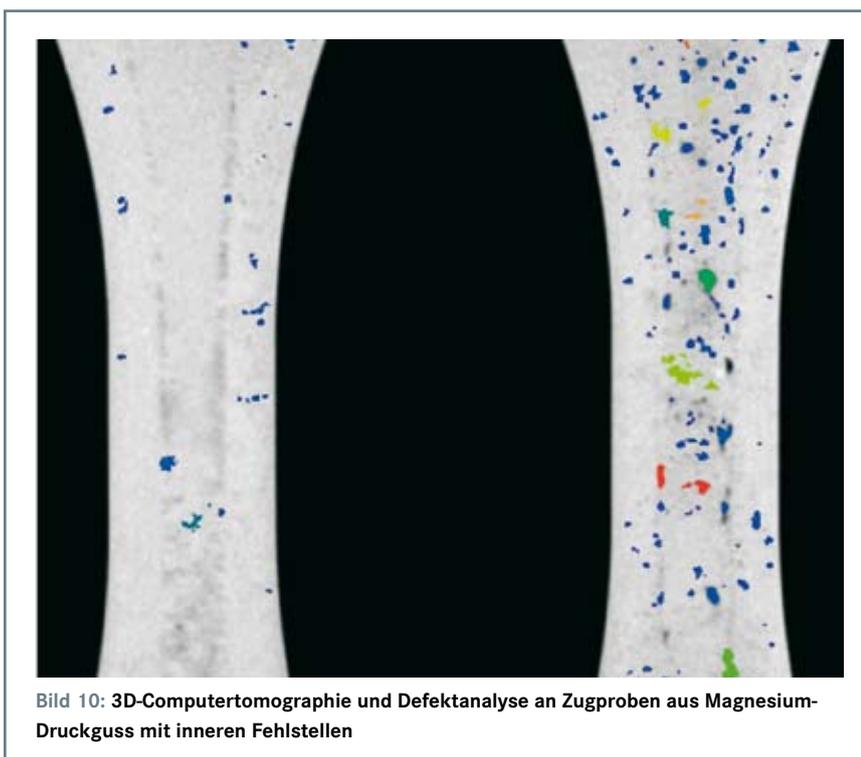


Bild 10: 3D-Computertomographie und Defektanalyse an Zugproben aus Magnesium-Druckguss mit inneren Fehlstellen

Anstrengungen unternommen, diese Unregelmäßigkeiten durch optimierte Steuerungskonzepte der Dosieröfen zu eliminieren [96], [97].

Stetig wachsende Verbreitung fand in den vergangenen Jahren die Möglichkeit der Flüssigmetallversorgung. Da hierbei das Metall in den Druckgießereien nicht ein zweites Mal aufgeschmolzen werden muss, kann neben dem Energiegewinn auch die gesamte Schmelzzeit eingespart werden [98].

Qualität

Zur Verifikation der Bauteilqualität kommt den Analysemöglichkeiten stetig steigende Bedeutung zu. Neben der Infrarotthermographie zur Beurteilung des Wärmeprofiles der Druckgießform [99] werden vermehrt computertomographische Analysen zur Porositätsprüfung der Gussteile eingesetzt. Diese bieten durch die 3D-Volumenerfassung eine vollständige Defektanalyse und eine vollautomatische Auswertemöglichkeit bei definierbaren Toleranzgrenzen [100] (Bild 10).

Simulation

Ein wesentliches Ziel der bereits fest verankerten Qualitätsmanagementsysteme ist es, möglichst frühzeitig gesicherte Aussagen hinsichtlich der Qualität und der Fähigkeit des Prozesses zu erhalten. Zur Fehlervermeidung, Kostenreduzierung und Produktivitätssteigerung konnte sich ein völlig neues Bindeglied zwischen Entwicklung und Fertigung mit bislang ungeahnten Möglichkeiten etablieren, die Simulation des Gießprozesses [101].

Obwohl Ende der 1980er Jahre die jahrelange Erfahrung zunächst durch Simulation lediglich unterstützt werden konnte und die Systeme für den praktischen Einsatz noch ungeeignet waren [102], konnte den Anwendern bereits nach wenigen Jahren mit rechnergestützten Simulationen von Formfüllung und Erstarrung [103] wichtige Erkenntnisse geliefert werden, die frühzeitig in einen Optimierungsprozess mit einbezogen werden konnten. Dieser aufkommenden Entwicklung zur frühzeitigen Verifizierung des gesamten Prozesses wurde bereits im Jahre 1995 durch die „Jahresübersicht Simulation“ Rechnung getragen [104].

Die in den letzten Jahren aufkommenden Berechnungsmethoden der Eigenspannungen sind nicht nur für die Vorhersage des Verzuges dünnwandiger Druckgussteile anwendbar [105], sondern lassen sich auch auf das Gießwerkzeug übertragen. Hiermit konnte auch die bereits angesprochene wichtige Werkzeugtemperierung und der grundlegende Einfluss des

Sprühprozesses auf den Wärmehaushalt der Druckgießform eindrucksvoll belegt werden [106]. So konnten spätere Heißrisse und thermische Ermüdungsrisse zur Standzeiterhöhung bereits im Konstruktionsstadium reduziert werden, da der Prozess formschonender ausgelegt wurde [107] (Bild 11). Durch Vergleiche mit der Realität ließ sich die Aussagekraft dieser Simulationsergebnisse mehrfach belegen [108], [109].

Die aktuelle Generation von Simulationswerkzeugen erlaubt es, definierte Zielgrößen durch mehrfache Iterationsschleifen selbsttätig zu finden, um ein optimales Ergebnis erhalten zu können [110]. Wie jedoch schon vor 25 Jahren festgestellt wurde, bleibt die Tatsache, dass die Druckgießtechnik auch weiterhin nicht ohne die langjährige Erfahrung bewährter Fachleute auskommen wird, nahezu unverändert bestehen [111].

Gusswerkstoffe

Der Großteil der in den letzten Jahren vergossenen Druckgusslegierungen im Legierungssystem Aluminium-Silicium sind damals wie heute die untereutektischen Legierungen, allen voran die als „226“ bekannte EN AC- AlSi9Cu3 . Der die Klebeneigung reduzierende Eisenanteil führt dabei auch bei geringster Porosität durch die Bildung intermetallischer Eisenverbindungen in Kombination mit den ebenfalls nadelförmigen Siliciumausscheidungen zu einem spröden Werkstoffverhalten. Als Folge davon entwickelten die Legierungshersteller eisenarme Aluminium-Druckgusslegierungen [112] wie die „Silafont 36“ (AlSi9MgMnSr), die wärmebehandelbar ist. Der reduzierte Eisenanteil und die damit erhöhte Klebeneigung werden durch einen erhöhten Mangan Gehalt ausgeglichen. Ein Strontiumgehalt von bis zu 0,02 % sorgt für eine Veredelung des Eutektikums. Diese Legierungen erreichen druckgegossen Dehnwerte von über 10 % und werden bei Strukturteilen im Space-Frame eingesetzt [113].

Weitere Legierungen sind die „Magsimal 59“ (AlMg5Si2Mn), die ihre Duktilität bereits im Gusszustand erhält und die Legierung „Castasil 37“ für komplexe Bauteile mit hoher Korrosionsbeständigkeit. Liegt der Magnesiumgehalt unter 0,06 %, ist ein Einsatz im Motorraum unter erhöhten Temperaturen ohne Alterungserscheinungen möglich. Bei Anwendung von Vakuumtrocknung ist neben einer möglichen Wärmebehandlung auch Schweißbarkeit und Bördelbarkeit gegeben [114]. Darüber hinaus kann bei den Aluminium-Silicium-Legierungen durch Glühen eine runde Einformung des Siliciums eingestellt werden [115]. Um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern, wurde eine neue Möglich-

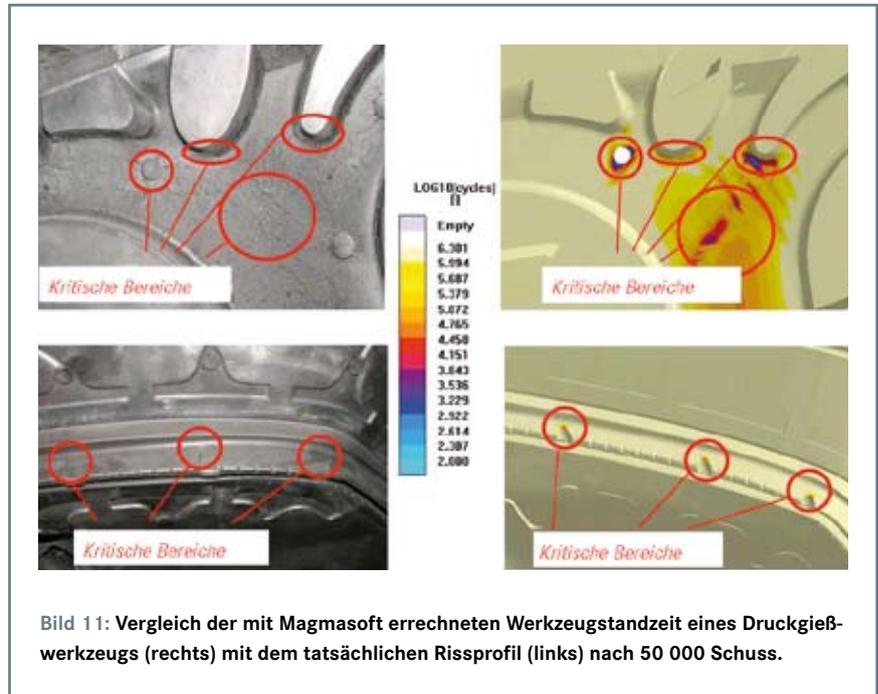


Bild 11: Vergleich der mit Magmasoft errechneten Werkzeugstandzeit eines Druckgießwerkzeugs (rechts) mit dem tatsächlichen Rissprofil (links) nach 50 000 Schuss.

keit zur Wärmebehandlung der Druckgusslegierung EN AC- AlSi9Cu3 untersucht, wobei zur substitutionellen Mischkristallverfestigung Magnesium eingesetzt wird [116], [117], [118].

Technische und marktbezogene Fragen rund um die Wiederverwendbarkeit von Aluminiumschrott lagen mehrfach im Berichtszeitraum im Fokus, da das Recycling dieses Werkstoffs sehr effizient ist. Die Metallausbeute aus Altschrott liegt zwischen 70 und 95 %. Für Europa liefern die Schrotte 3,8 Millionen Tonnen recyceltes Aluminium. Bis zum Jahr 2020 wird von einer Verdoppelung der Menge ausgegangen. Zur Herstellung dieser neuen Primär-Recyclinglegierungen wie der „Silafont-R“ wird ein Basismaterial verwendet, das durch Pyrolyse aus Aluminium-Verpackungsschrott gewonnen werden kann [119].

NE-Metalle spielen bei Innovationen im Werkstoffbereich eine immer wichtigere Rolle, sowohl für die Konstruktion als auch für Beschichtungen. Mögliche Zukunftslösungen liegen in einem Multimaterial Design, da geforderte Eigenschaften hinsichtlich Torsions- und Struktursteifigkeit, Schwingungsverhalten, Korrosionsbeständigkeit und Betriebsfestigkeit mit einem Werkstoff allein nicht erreicht werden können.

Gerade bei technisch innovativen Leichtbaulösungen hat die Anwendung von Magnesiumlegierungen im Automobilbau verstärkt zugenommen. Beispielsweise bringt die Aluminium-Magnesium-Heckklappe in [120] eine Gewichtsreduzierung von 5,1 kg.

Für die Anwendung des Leichtbaupotentials im Aggregatebereich musste die Temperaturbelastbarkeit der Magne-

sium-Druckguss-Legierung gesteigert werden. Einen guten Kompromiss bezüglich Kriechbeständigkeit und Gießbarkeit stellen hierbei die MRI (Magnesium Research Institute)-Legierungen dar [121].

Eine Vielzahl von Komponenten, gegliedert nach Antriebsstrang, Innenteile, Fahrzeugzelle und Chassis sind im Gespräch, die kurzfristig, mittelfristig und langfristig aus Magnesiumlegierungen hergestellt werden könnten. Die Palette der Magnesium-Druckguss-Legierungen ist entsprechend gewachsen, neben den MgZn-Legierungen werden heute für hohe Dehnungswerte überwiegend MgAlMn-Legierungen eingesetzt. Bei Anwendungen mit erhöhten Temperaturen wurden Legierungen mit Kalziumzusätzen, für eine hohe Kriechfestigkeit Legierungen mit Seltenerdzusätzen entwickelt [122], [123].

Der Einfluss der Herstellungsbedingungen und der Porosität auf die mechanischen Eigenschaften von Magnesium-Druckguss-Legierungen wurde in [124] untersucht. Während die statischen Festigkeitswerte vom Grad der Porosität nahezu unbeeinflusst bleiben, korreliert die Fehlergröße und Häufigkeit insbesondere mit der Schwingfestigkeit.

Aufgrund der Umweltproblematik und der gesetzlichen Bestimmungen steht seit 2007 das bewährte Schutzgas SF_6 nicht mehr in vollem Umfang zur Verfügung. Neue Untersuchungen haben bestätigt, dass durch eine Abdeckung der Oberfläche einer Magnesiumschmelze mit festem CO_2 die Oberflächentemperatur stark abgesenkt und so eine Oxidation der Schmelze vermieden wird [125].

Bei Zink-Druckguss-Legierungen verhindert Magnesium die interkristalline Korro-

sion durch die schädlichen Elemente wie Blei, Cadmium, Wismut, Zinn und Quecksilber. Als problematisch werden bei Zinklegierungen noch immer die Kriechenschaften und die Alterung angesehen. Hierzu gibt es laufende Forschungsarbeiten, die zu einem erhöhten Verständnis der metallkundlichen Vorgänge als auch zur Reduzierung des Kriechens bei Zink-Druckguss-Teilen führen sollen.

Literatur:

- [1] *Giesserei* 71 (1984) Nr. 1/2, S. 108-113.
 [2] *Giesserei* 74 (1987) Nr. 13, S. 419-423.
 [3] *Giesserei* 75 (1988) Nr. 10, S. 319-324.
 [4] *Giesserei* 74 (1987) Nr. 13, S. 419-423.
 [5] *Giesserei* 79 (1992) Nr. 14, S. 582-586.
 [6] *Giesserei-Rundschau* 1988 Nr. 9/10, S. 12-19.
 [7] *Giesserei* 81 (1994) Nr. 10, S. 294-296.
 [8] *Giesserei* 81 (1994) Nr. 9, S. 264-268.
 [9] *Giesserei* 88 (2001) Nr. 7, S. 36-39.
 [10] *Giesserei* 88 (2001) Nr. 12, S. 45-48.
 [11] *Giesserei* 90 (2003) Nr. 2, S. 42-48.
 [12] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 12, S. 70-77.
 [13] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 2, S. 18-26.
 [14] *Foundry Trade Journal International* 15 (1992) Nr. 1, S. 19-20.
 [15] *Giesserei* 82 (1995) Nr. 5, S. 143-148.
 [16] *Giesserei* 88 (2002) Nr. 2, S. 31-34.
 [17] *Druckgusspraxis* (2007) Nr. 4, S. 173-174.
 [18] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 12, S. 70-77.
 [19] *Giesserei* 81 (1994) Nr. 19, S. 669-673.
 [20] *Giesserei* 78 (1991) Nr. 19, S. 690-692.
 [21] *Fonderie, Fondateur d'aujourd'hui* (2005) Nr. 241, S. 30-33.
 [22] *Giesserei* 90 (2003) Nr. 2, S. 50-59.
 [23] *Giesserei* 92 (2005) Nr. 10, S. 8.
 [24] *Giesserei-Rundschau* (2007) Nr. 5/6, S. 97-102.
 [25] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 5, S. 32-40.
 [26] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 11, S. 20-24.
 [27] *Giesserei* 77 (1990) Nr. 10, S. 359-361.
 [28] *Giesserei-Praxis* 1983 Nr. 19/20, S. 298-302.
 [29] *Giesserei* 83 (1996) Nr. 4, S. 30.
 [30] *Giesserei-Praxis* 1983 Nr. 19/20, S. 298-302.
 [31] *Fonderie, Fondateur aujourd'hui* 1985 Nr. 44, S. 19-25.
 [32] *Giesserei-Rundschau* 36 (1989) Nr. 3/4, S. 7-15.
 [33] *Giesserei* 77 (1990) Nr. 10, S. 359-361.
 [34] *Giesserei* 71 (1984) Nr. 21, S. 859-863.
 [35] *Giesserei* 77 (1990) Nr. 3, S. 85-87.
 [36] *Giesserei* 83 (1996) Nr. 15, S. 37-38.
 [37] *Giesserei* 97 (1992) Nr. 6, S. 278-279.
 [38] *Giesserei Erfahrungsaustausch* (2007) Nr. 5, S. 52-54.
 [39] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 2, S. 118-119.
 [40] *Giesserei Erfahrungsaustausch* (2007) Nr. 5, S. 52-54.
 [41] *Giesserei* 78 (1991) Nr. 10, S. 348-352.
 [42] *Giesserei* 74 (1987) Nr. 24, S. 717-723.
 [43] *Diecasting Engineer* 32 (1988) Nr. 5, S. 34-38.
 [44] *Giesserei* 85 (1998) Nr. 5, S. 82-83.
 [45] *Giesserei* 81 (1994) Nr. 9, S. 261-263.
 [46] *Giesserei* 90 (2003) Nr. 9, S. 36-42.
 [47] *Giesserei-Kompakt* (2004) Nr. 1, S. 6-7.
 [48] *Giesserei* 85 (1998) Nr. 6, S. 35-38.
 [49] *Giesserei* 77 (1990) Nr. 10, S. 361.
 [50] *Giesserei* 88 (2001) Nr. 10, S. 74.
 [51] *Giesserei* 81 (1994) Nr. 9, S. 251-257.
 [52] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 12, S. 70-77.
 [53] *Giesserei-Kompakt* (2004) Nr. 1, S. 14-16.
 [54] *Giesserei* 76 (1989) Nr. 18, S. 616-620.
 [55] *Giesserei* 79 (1992) Nr. 9, S. 347-354.
 [56] *Giesserei* 78 (1991) Nr. 5, S. 146-150.
 [57] *Giesserei* 78 (1991) Nr. 23, S. 853-858.
 [58] *Giesserei* 79 (1992) Nr. 18, S. 765-768.
 [59] *Giesserei* 72 (1985) Nr. 2, S. 50-51.
 [60] *Giesserei* 89 (2002) Nr. 2, S. 69-73.
 [61] *Giesserei* 92 (2005) Nr. 11, S. 70-77.
 [62] *Giesserei-Kompakt* (2004) Nr. 1, S. 28-31.
 [63] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 6, S. 135.
 [64] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 3, S. 86-93.
 [65] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 12, S. 70-77.
 [66] *Aalener Barbara Kolloquium, Aalen, D, 04.12.2008.*
 [67] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 2, S. 84-89.
 [68] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 6, S. 252-254.
 [69] *Giesserei* 91 (2004) Nr. 5, S. 55-58.
 [70] *Giesserei* 88 (2001) Nr. 3, S. 33-39.
 [71] *Giesserei* 79 (1992) Nr. 22, S. 922-928.
 [72] *Giesserei* 91 (2004) Nr. 4, S. 44-47.
 [73] *Giesserei* 92 (2005) Nr. 4, S. 116-119.
 [74] *Giesserei* 76 (1989) Nr. 24, S. 850-858.
 [75] *Giesserei* 76 (1989) Nr. 24, S. 859-861.
 [76] *Giesserei* 87 (1991) Nr. 0, S. 361-363.
 [77] *Giesserei* 80 (1993) Nr. 8, S. 245-247.
 [78] *Giesserei* 90 (2003) Nr. 12, S. 60-83.
 [79] *Giesserei Erfahrungsaustausch* 50 (2007) Nr. 11, S. 38-41.
 [80] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 6, S. 141.
 [81] *Giesserei-Praxis* (1983) Nr. 9/20, S. 307-308.
 [82] *Taschenbuch der Giesserei-Praxis. Berlin* 1986. S. 377-390.
 [83] *Giesserei* 72 (1985) Nr. 11, S. 313-317.
 [84] *Giesserei* 82 (1995) Nr. 15, S. 507-512.
 [85] *Giesserei* 74 (1987) Nr. 2/3, S. 63-64.
 [86] *Giesserei* 83 (1996) Nr. 19, S. 39-41.
 [87] *Giesserei* 91 (2004) Nr. 4, S. 108-110.
 [88] *Giesserei* 92 (2004) Nr. 10, S. 60-62.
 [89] *Diecasting Engineer* 47 (2003) Nr. 4, S. 58-59.
 [90] *Hommel et Fonderie* (2000) Nr. 308, S. 54-57.
 [91] *Giesserei* 88 (2001) Nr. 2, S. 42-45.
 [92] *Giesserei* 90 (2003) Nr. 12, S. 60-83.
 [93] *Giesserei* 75 (1988) Nr. 10, S. 306-307.
 [94] *Giesserei-Kompakt* 2004 Nr. 1, S. 24-25.
 [95] *Giesserei* 87 (2000) Nr. 1, S. 21-47.
 [96] *Giesserei* 77 (1990) Nr. 3, S. 75-78.
 [97] *Diecasting Engineer* Nr. 38 (1994) H. 4, S. 22-24.
 [98] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 6, S. 162-171.
 [99] *Giesserei* 87 (2000) Nr. 3, S. 112-114.
 [100] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 8, S. 26-30.
 [101] *Giesserei* 89 (2002) Nr. 11, S. 41-47.
 [102] *Giesserei* 78 (1991) Nr. 19, S. 690-695.
 [103] *Giesserei* 82 (1995) Nr. 10, S. 343-347.
 [104] *Giesserei* 82 (1995) Nr. 24, S. 910-917.
 [105] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 12, S. 26-31.
 [106] *Giesserei* 82 (1995) Nr. 5, S. 510.
 [107] *Giesserei* 94 (2007) Nr. 12, S. 70-77.
 [108] *Diecasting Engineer* 43 (1999) Nr. 5, S. 78-81.
 [109] *Giesserei* 92 (2005) Nr. 3, S. 38-49.
 [110] *Giesserei* 91 (2004) Nr. 2, S. 38-42.
 [111] *Giesserei* 71 (1984) Nr. 1/2, S. 65-68.
 [112] *Giesserei* 82 (1995) Nr. 15, S. 517-523.
 [113] *Giesserei* 91 (2004) Nr. 2, S. 24-31.
 [114] *Gießerei-Praxis* (2000) Nr. 4, S. 148-152.
 [115] *Druckguss-Praxis* (2002) Nr. 2, S. 51-54.
 [116] *Giessereiforschung* 58 (2006) Nr. 3, S. 32-48.
 [117] *Giesserei-Rundschau* 53 (2006) Nr. 9/10, S. 175-185.
 [118] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 7, S. 20-33.
 [119] *Druckguss-Praxis* (2002) Nr. 3, S. 90-92.
 [120] *Bericht von der Tagung „Innovativer Fahrzeugbau“, Salzgitter. In: Metall - Internationale Fachzeitschrift für Metallurgie* 55 (2001) Nr. 9, S. 497-498.
 [121] *Giesserei* 92 (2005) Nr. 5, S. 30-43.
 [122] *Scripta Materialia* 39 (1998) Nr. 1, S. 45-53.
 [123] *Konferenz „Magnesium Alloys and their Applications“, Wolfsburg 1998, Tagungsband* S. 151-156.
 [124] *L. Kallien, und W. Leis: Wechselfestigkeit von Magnesium-Druckgusslegierungen in Abhängigkeit des Gießverfahrens, Vortrag „Leichtbau in Guss 2008“, Nürnberg, 13.-14. Oktober 2008, Tagungsband Carl Hanser Verlag, München 2008.*
 [125] *Giesserei* 93 (2006) Nr. 4, S. 72-76.

ANZEIGE

1 / 1