

Druckgussteile mit funktionalen Hohlräumen durch Gasinjektion



VON LOTHAR H. KALLIEN, THOMAS WEIDLER UND CHRISTIAN HERMANN, AALEN, SOWIE ULRICH STIELER, GOSLAR

Das Druckgießverfahren ist durch den kürzesten Verfahrensweg zwischen Einsatzmetall und Fertigerzeugnis bei gleichzeitig kurzen Zykluszeiten charakterisiert. Es wird immer dann

eingesetzt, wenn hohe Produktivität bei hohen Stückzahlen gefordert ist.

Das Formfüllen erfolgt nicht unter dem Einfluss der Schwerkraft wie beim Sand- oder Kokillengießverfahren, sondern unter einer hohen, vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit, um der raschen Abkühlung des Gießmetalls in der Gießform gegen zu steuern. Am Ende des Formfüllvorgangs

wird das Gießmetall mit einem hohen statischen Druck beaufschlagt, um eingeschlossene Gase zu komprimieren und das Schwinden des Gießwerkstoffs durch Nachspeisung möglichst auszugleichen.

Der Druck am Ende des Formfüllvorgangs lässt das noch flüssige Gießmetall in engste Querschnitte einströmen und verbessert die Wiedergabe der Formkon-

Bild 1: Mit Hilfe der Gasinjektion hergestellter PKW-Türgriff aus glasfaserverstärktem Polyamid



tur. Durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit während des Füllens der Form und den anschließenden Nachdruck ist vor allem die Herstellung dünnwandiger, maßgenauer Bauteile von hoher Oberflächenqualität möglich. Bearbeitungszugaben bei den Bauteilen können vermieden und Gießwerkstoff eingespart werden. Die Fertigung ist oft automatisiert und damit äußerst wirtschaftlich. Hergestellt werden vor allem komplexe Teile in hohen Stückzahlen, wie beispielsweise Getriebegehäuse oder Motorblöcke aus Aluminium-, Magnesium- und Zinklegierungen [1].

Das Spritzgießverfahren zur Verarbeitung von verstärkten und unverstärkten Thermoplasten ähnelt dem Druckgießverfahren in vielen Bereichen, was den grundsätzlichen Verfahrensablauf und den Aufbau der Maschine angeht. Bei der Spritzgießtechnik wurden in den letzten Jahren viele Sonderverfahren entwickelt, unter anderem die Gasinjektionstechnik. Bei diesem Verfahren werden durch Injektion eines Gases mit gleichmäßigem Druck (typischerweise Stickstoff) Hohlräume im Bauteil erzeugt. So können Spritzgussteile mit geringem Gewicht und definierten funktionalen Hohlräumen kostengünstig hergestellt werden [2, 3].

Das Gasinjektionsverfahren

Bild 1 zeigt ein typisches Kunststoffspritzgussteil, bei dem der Hohlraum durch Gasinjektion hergestellt wurde. Kunststoffteile mit derart großen Wanddicken wären ohne Gasinjektion nicht darstellbar, da sich durch die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Kunststoffes unverträglich hohe Zykluszeiten ergeben würden. Darüber hinaus würde das Teil erhebliche Einfallstellen aufweisen, die in der Nachdruckphase nicht kompensiert werden könnten.

Großflächige Kunststoffbauteile werden aus Festigkeits- und Steifigkeitsgründen oftmals verrippt. Diese Rippen würden auf der Sichtseite der Teile starke Einfallstellen zeigen. Daher werden diese Rippen durch Gasinjektion „leer geblasen“ (**Bild 2**). Die hohl geblasenen Rippen haben dabei nahezu die gleichen Steifigkeitseigenschaften wie voll gegossene Rippen,

wie dies aus dem Einsatz von Hohlträgern jeglicher Art bekannt ist.

Bei hoch integrierten Bauteilen bietet die Gasinjektionstechnik darüber hinaus den Vorteil, den durch das Erstarrungsverhalten der Thermoplaste auftretenden Verzug zu minimieren, da mit dem Gas auf vom Anschnitt entfernt liegende Schmelzbereiche Nachdruck und damit Schwindungskompensation ausgeübt werden kann.

In neuen Entwicklungen wurde aufgezeigt, dass die Gasinjektion grundsätzlich auch zur Herstellung medienführender Leitungen geeignet ist.

Die Vorteile der Gasinjektionstechnik können wie folgt zusammengefasst werden:

- > freie Gestaltung dicker und dünner Bereiche;



Bild 2: Hohlgeblasene Verstärkungsrippen zur Vermeidung von Einfallstellen auf der Sichtseite eines Spritzgussteils

- > lokaler Nachdruck beseitigt Einfallstellen und reduziert Spannungen und Verzug;
- > hohe Stabilität durch Hohlprofile;
- > Materialersparnis;
- > Schließkraftreduzierung, da weniger Nachdruck erforderlich ist – der Gasinnendruck wirkt gleichmäßig auf das Bauteil und ersetzt somit den Nachdruck.

Gasinjektionstechniken

Beim Gasinjektionsverfahren kommen unterschiedliche Techniken [4] zum Einsatz, die im Folgenden beschrieben werden.

Gasinjektion mit Vorfüllung. Die Gasinjektion ist durch eine definierte Vorfüllung der Kavität charakterisiert. Der Vorfüllgrad ist abhängig von der Formteilgeometrie und reicht von 50 % bei dickwandigen Formteilen, beispielsweise Griffen, bis ca. 100 % bei Bauteilen, bei denen die Gasinjektion nur zum Schwindungsausgleich in Masseanhäufungen dient [5].

Das Gas strömt nahe dem Anguss, bzw. dem Anschnitt, durch eine Gaszuführung in die Schmelze. Außen, an der kalten Werkzeugwand, hat sich bereits eine erstarrte Randschicht gebildet, und das Gas verdrängt die heiße Schmelze in der Mit-

te des Bauteils zum Füllen der gesamten Kavität. Das Gas übernimmt nach dem vollständigen Füllen der Form den auch bei Kunststoffen notwendigen Nachdruck in der Kavität. Nach dem Erstarren der Schmelze wird der Gasdruck abgebaut, entweder, indem man das Gas in die Umgebung entweichen lässt, oder, indem ein gewisser Anteil (bis zu 90 %) durch eine Gasrückführung zurückgewonnen wird.

Die Gasinjektion mit Teilfüllung (Bild 3a) wird aufgrund ihrer vielen Vorteile am häufigsten angewendet. Da die Form mit einem geringen Druck gefüllt wird, entsteht kein hoher Spitzendruck, der sonst zum Spritzen der Form führen kann. Das bedeutet auch, dass die Zuhaltekraft der Spritzgießmaschine und die Formbelastung geringer sind.

Durch den Druckaufbau und die kleineren Wanddicken - verglichen mit dem

Spritzgießen kompakter Teile - verringern sich die Kühl- und damit die Zykluszeit sowie die Bildung von Einfallstellen erheblich. Ein weiterer positiver Aspekt ergibt sich durch das geringe und über das gesamte Bauteil gleichmäßig verteilte Druckniveau während des gesamten Prozesses, wodurch eine gleichmäßige Spannungsverteilung erreicht wird. Beim Kompakt-spritzgießen müssen ca. 500 bis 800 bar Nachdruck auf die bereits einfrierende und schwindende Schmelze aufgebracht

werden, um an den Fließenden noch mit 50 bis 100 bar eine gute Oberflächenstruktur zu erreichen. Dies führt in vielen Fällen zu eingefrorenen Spannungen, die nach dem Entformen einen Verzug im Bauteil hervorrufen.

Für die Stabilität und Verwindungssteifigkeit des Teiles hat der Hohlraum oft keinen gravierenden Nachteil, da die Belastung eines Bauteils typischerweise in seinen Randbereichen am höchsten ist.

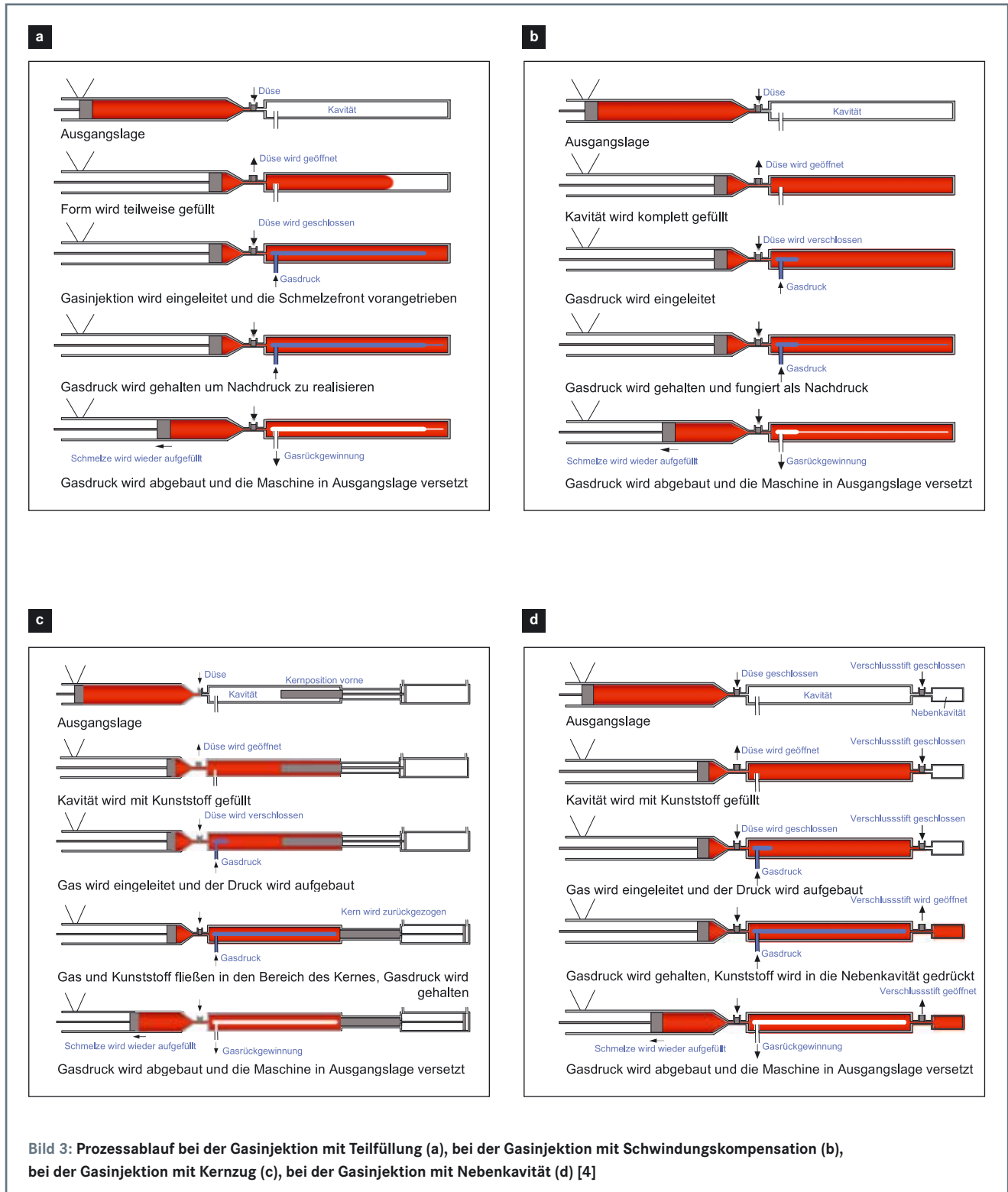


Bild 3: Prozessablauf bei der Gasinjektion mit Teilfüllung (a), bei der Gasinjektion mit Schwindungskompensation (b), bei der Gasinjektion mit Kernzug (c), bei der Gasinjektion mit Nebenkavität (d) [4]

Gasinjektion mit Schwindungskompensation. Bei diesem Verfahren wird die Schmelze zu 100 % in den Formhohlraum gespritzt (Bild 3b). Das Einleiten des Gases während der Erstarrung bewirkt einen Ausgleich der Schwindung und vermindert die Gefahr für die Bildung von Einfallstellen auf der Sichtfläche des Bauteils.

Gasinjektion mit Kernzugverfahren. Bei diesem Verfahren wird die Schmelze in eine reduzierte Kavität eingespritzt, bei der ein Formkern in die Kavität eingefahren ist (Bild 3c). Nachdem diese Kavität gefüllt ist, wird der Formkern entriegelt und kann dann aus der Kavität heraus bewegt werden. An der Kavitätswand wie auch am beweglichen Formkern befindet sich eine erstarrte Randschicht. Zwischen diesen Randschichten befindet sich noch die Schmelze. In diese Schmelze ragt eine Gaszuführung. Das Gas sorgt nun dafür, dass sich die Randschichten vom beweglichen Formkern und der festen Kavitätswand mit der Bewegung des Schiebers voneinander entfernen. Dadurch entsteht ein relativ klar definierter Hohlraum. Nur in der Bewegungsebene des beweglichen Formkerns entsteht an der Oberfläche eine markante Kerbe, die als Oberflächenfehler deklariert werden muss. Dies bedeutet, dass

dieses Verfahren bei oberflächenrelevanten Bauteilen nicht verwendet werden kann. Eine typische Anwendung für dieses Gasinjektionsverfahren ist die Herstellung von Getränkeboxen mit hohl ausgeführtem Griffbereich.

Gasinjektion mit Überlaufkavität. Die Kavität wird wie beim Standardspritzgießverfahren bis zu 100 % mit Schmelze gefüllt (Bild 3d). Die Nebenkavität ist mit dem Schieber verschlossen. Nach Erstarrung der Randschicht wird Gas durch den Injektor eingeleitet und das Ventil der Nebenkavität geöffnet. Nichterstarrte Schmelze läuft in die Nebenkavität, im Teil entsteht ein Hohlraum. Das System wird entlüftet und das Teil kann entnommen werden.

Der Nachteil dieser Nebenkavitätstechnik ist, dass die Druckbelastung auf das Werkzeug während des Spritzgießvorgangs genauso hoch ist wie beim Kompaktspritzguss, d. h.: Die Werkzeugzuhaltekräfte sind nicht mehr niedriger als beim Verfahren mit Vorfüllung. Der benötigte Gasdruck ist höher, da die noch zur Verfügung stehenden Fließkanäle aufgrund der längeren Verweilzeit in der Form kleiner sind.

Prozessparameter

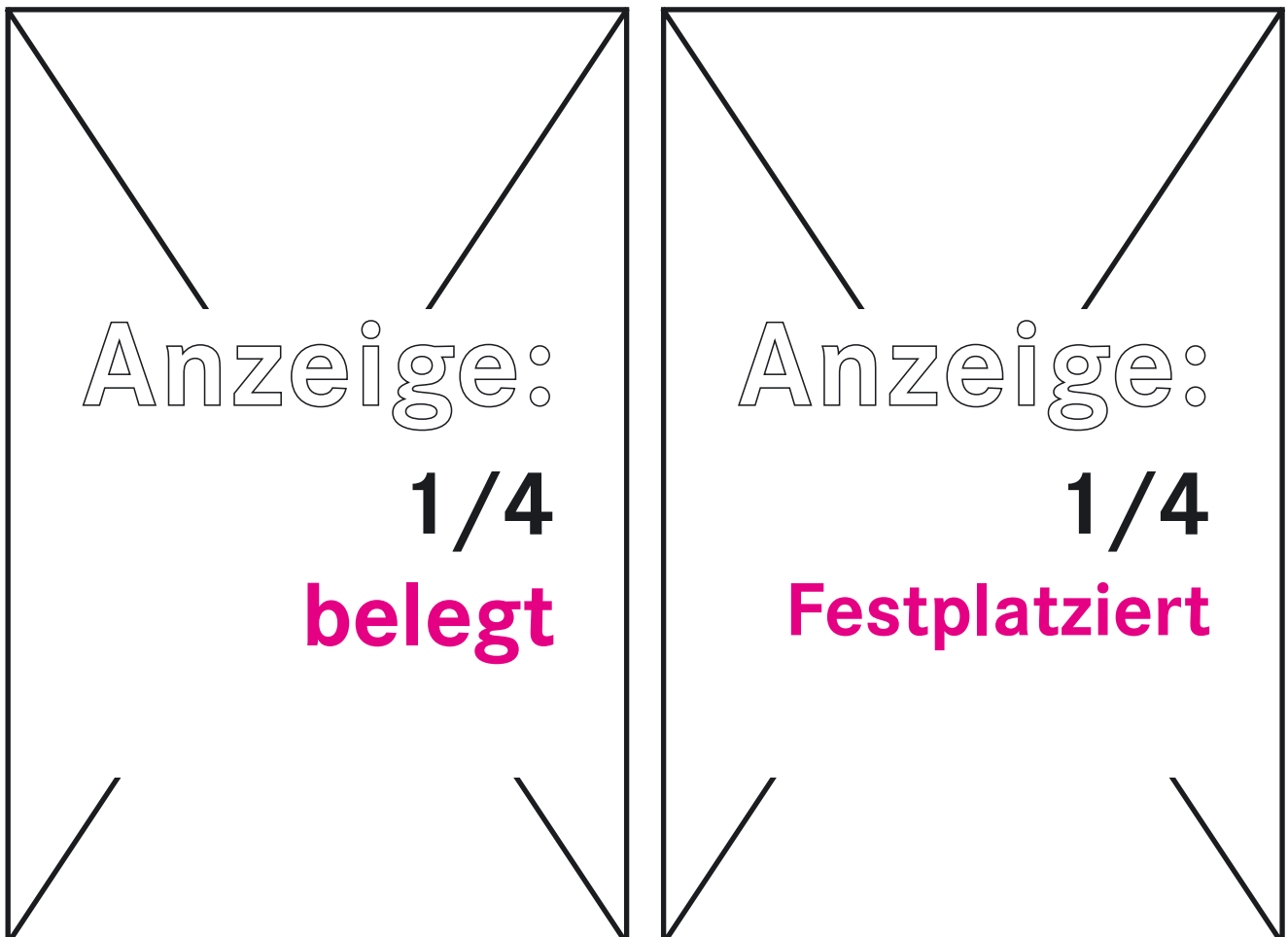
Die typische Zeit, die beim Kunststoffspritzgießen vergeht, bis sich eine genügend große Randschale gebildet hat, liegt im Bereich von 10 s, da Kunststoffschmelzen im Vergleich zu Metallen eine wesentlich kleinere Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Die typischen Prozessparameter, die bei der Gasinjektion Anwendung finden, sind:

- > Dauer des Füllens mit Gas: 0,1 s;
- > Verzögerungszeit: bis 10 s;
- > Gasdruck: 20 bis 50 bar; maximaler Gasdruck: 200 bar

Der Gasdruck wird im Verlaufe des Prozesses gesteuert. Am Anfang ist aufgrund der hohen Viskositäten ein größerer Druck zum Losbrechen der Schmelze notwendig als bei der späteren Bildung der Gasblase.

Gasinjektoren

Die Gasinjektoren steuern die Zufuhr des Verdrängungsmediums in die Kavität und können unterschiedlich aufgebaut sein. Bei manchen Bauarten sorgt ein beweglicher Kolben für eine Selbstreinigung von eindringendem Kunststoff. Die Gasinjektoren werden durch die einströmenden Schmelze thermisch und mechanisch be-



lastet und bestehen beim Kunststoffspritzgießen aus Stahl (Bild 4).

Kanalgestaltung

Beim Kunststoffspritzgießen ist es möglich, durch Änderung der äußeren Geometrie des hohl zu blasenden Kanals Einfluss auf die Profilierung des entstehenden Kanals zu nehmen (Bild 5).

Einsatz der Gasinjektion im Druckgießverfahren

Motivation

Es wäre technisch und wirtschaftlich äußerst sinnvoll, die Gasinjektion auch beim Druckgießen metallischer Schmelzen einzusetzen. Durch die Herstellung besonders leichter Teile sowie die Entwicklung innovativer druckgegessener Konstruktionen mit medienführenden Leitungen ohne aufwendige Losteile oder Stahlkerne eröffnen sich in allen Anwendungsgebieten der Druckgießtechnik neue Anwendungspotentiale.

Denkbar ist die Herstellung leichtgewichtiger Türgriffe aus Zinkdruckguss, die Herstellung medienführender Leitungen im Kraftstoffbereich wie Common-Rail-Einspritzleisten oder hohlgeblasener Kanäle in Ölfiltergehäusen aus Aluminium- und Magnesiumdruckguss (Bild 6). Vorteilhaft wären die geringen Materialverluste, die erzielbare Druckdichtigkeit der Gussteile und die kostengünstige Großserienfertigung.

Bild 7 zeigt ein komplexes Druckgussteil mit sehr langen Ölbohrungen, die höchsten Dichtigkeitsansprüchen genügen müssen. Sowohl das Vorgießen der Bohrungen durch sehr lange Kerne als auch die Bearbeitung dieser extrem tiefen Bohrungen stellen den Fertigungstechniker vor große Probleme. Wäre es möglich, die Gasinjektion für diese Problem-



Bild 4: Gasinjektor

Gasdurchdringung wird nicht erreicht – über die Bildung ungleichmäßiger Gasblasen bis zum Gasdurchbruch. Es handelt sich um einen labilen Prozess mit großen Unterschieden zwischen den Zyklen. Die geringen Standzeiten der Gasinjektoren machen eine völlige Neuentwicklung auf diesem Gebiet unumgänglich.

Problembetrachtung

Ziel erster Arbeiten war es, das in der Kunststoffverarbeitung eingesetzte Gasinjektionsverfahren auf den Druckgießprozess metallischer Schmelzen zu übertragen, um einerseits gewichtsreduzierte Teile und andererseits Teile mit funktionalen Hohlräumen herzustellen. Die Gasinjektion ist für spritzgegessene Kunststoffteile Stand der Technik. Dennoch ist die Nutzung der Technologie im Druckgießprozess mit großen Schwierigkeiten verbunden:

Die Temperaturen einer Kunststoffschmelze (Polyamid 66) liegen beim Ein-

stellungen anzuwenden, wäre dies zweifelsohne ein großer Schritt für die Schaffung neuer Potentiale in der Druckgießtechnik.

Die bei der Anwendung der Gasinjektion zu erwartenden Probleme sind vielfältig und reichen von der zu schnellen Erstarrung der Schmelze – notwendige



Bild 5: Profilierung der Gaskanäle [2]



Bild 6: Die mögliche Weiterentwicklung druckgegessener Ölfiltergehäuse – durch die Anwendung der Gasinjektion können strömungsgünstige 3-dimensionale Kanäle hergestellt werden: a) konventionelles Ölfiltergehäuse, b) mögliches zukünftiges Ölfiltergehäuse, c) Darstellung der Hohlräume aus b) [6]



Anzeige:

XXXXXXXXXXXX

Format: 1 / 1

belegt



Bild 7: Druckgussteil mit langen Bohrungen

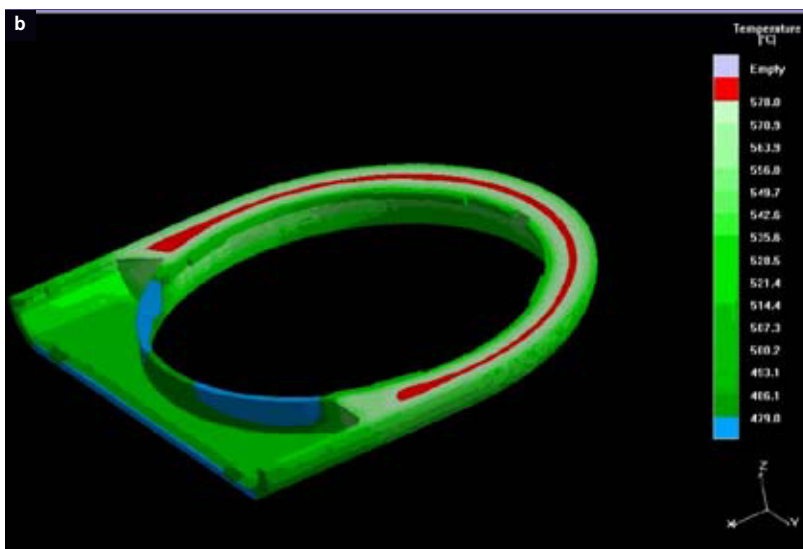
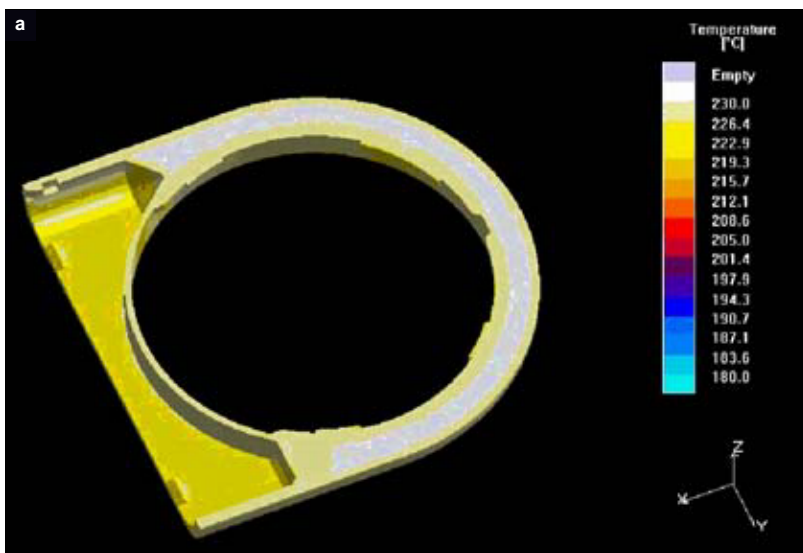


Bild 8: Simulation der Erstarrung eines Kunststoffbauteils (a) und eines Aluminiumdruckgussteils (b, flüssige Bereiche sind rot dargestellt)

spritzen im Bereich von 300 bis 320 °C. Dadurch können Gasinjektoren aus Stahl verwendet werden, die auch bei längerem Einsatz keinen Verschleiß aufweisen. Die Temperaturen metallischer Schmelzen liegen jedoch im Bereich von 420 °C bei Zinklegierungen bis hin zu 700 °C bei Aluminium- und Magnesiumlegierungen. Hinzu kommt, dass Aluminiumschmelzen Eisen lösen. Die Entwicklung von Injektoren, die dem Dauerbetrieb in einer Druckgießform auch beim Gießen von Aluminiumschmelzen standhalten, stellt deshalb eine große Herausforderung dar.

Aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit kann der Gasinjektionsprozess bei Kunststoffen relativ langsam ablaufen. Wie eingangs beschrieben, liegt die Zeit zwischen dem Einspritzen des Kunststoffes und dem Einleiten des Gases bei typischen Kunststoffteilen bei einigen Sekunden.

Durch die Simulation wird der Unterschied zwischen der Anwendung der Gasinjektion bei Kunststoffen und Metallen besonders deutlich (Bild 8). Die Simulation eines Kunststoffteiles zeigt, dass die Zeit, die zur Verfügung steht, um die No-Flow-Temperatur zu erreichen, bei der kein weiteres Fließen mehr möglich ist, weit über 11 s liegt (Bild 8a). Bei der vergleichenden Simulation eines Metallteiles liegt diese Zeit weit unter 2 s (Bild 8b). Schon nach 1,5 s sind die flüssigen Bereiche, die ausgeblasen werden können, aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit nahezu erstarrt. Die Prozessregelung muss daher wesentlich schneller und akkurater ablaufen.

Druckgießwerkzeug für die Gasinjektion

Die Auslegung des ersten Werkzeuges lehnte sich an die Erfahrungen aus dem Spritzgießwerkzeugbau an. Beispielhaft wurde hier die Herstellung eines Bauteils betrachtet, das im Kunststoffspritzguss bereits in Serie hergestellt wird. Es handelt sich um den in Bild 1 gezeigten PKW-Türgriff aus glasfaserverstärktem Polyamid 66 GF30 mit einem durch Gasinjektion hergestellten Hohlraum.

Bild 9 zeigt den Aufbau des Druckgießwerkzeuges für eine 200 t Kaltkammerdruckgießmaschine. Deutlich ist die Nebenkavität, die durch einen Verschlussstift geöffnet und geschlossen werden kann, zu erkennen.

Untersuchungen zur Herstellung funktionaler Druckgussteile mit Hilfe der Gasinjektion

Um zunächst ein Grundverständnis für die notwendigen Prozessparameter zu entwickeln, wurden im ersten Schritt Druckgussteile aus einer Zinklegierung hergestellt. Zinklegierungen haben im Gegen-



1. Nebenkavität, 2. Verschlussstift, 3. Injektor, 4. Gießlauf 1, 5. Gießlauf 2

Bild 9: Druckgießwerkzeug zur Gasinjektion für eine 200-t-Kaltkammermaschine

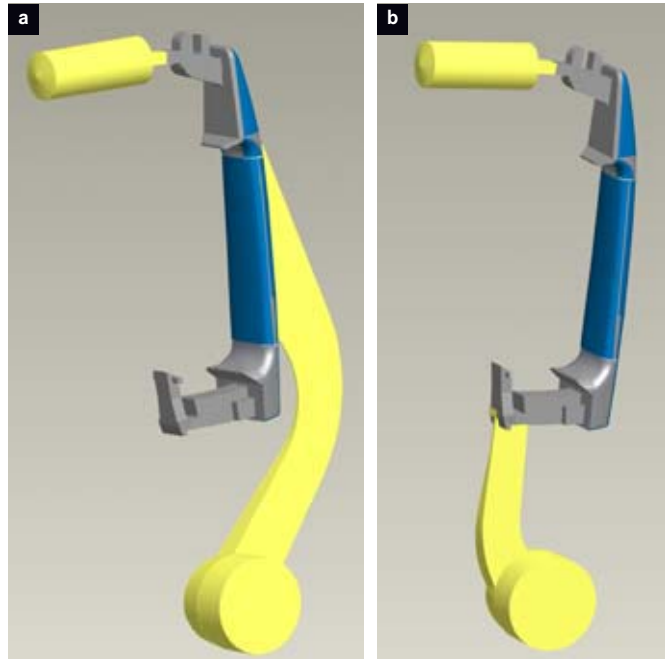


Bild 10: Anschnitt a) mittig, b) in Injektornähe

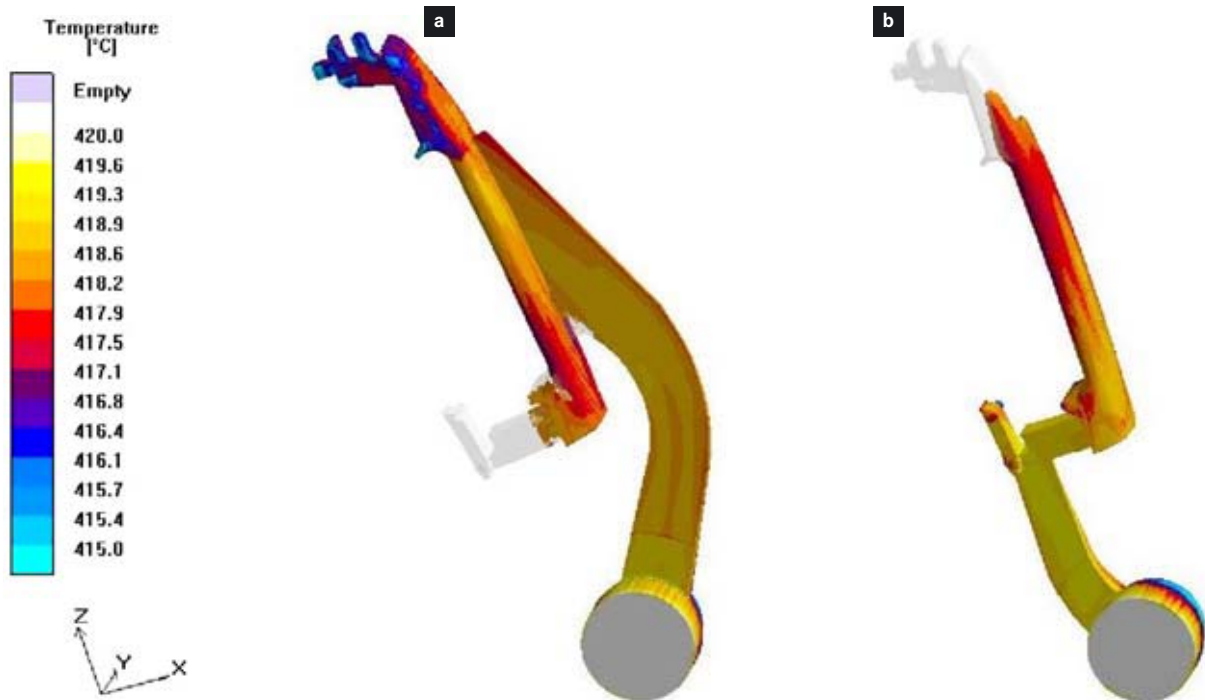


Bild 11: Formfüllsimulation bei 90 % Formfüllung: a) Anschnitt mittig, b) optimierter Anschnitt in Injektornähe

satz zu Aluminiumlegierungen den Vorteil, dass die Gasinjektoren thermisch nicht so stark belastet werden. Die ersten Versuche wurden mit einer konventionellen Gasinjektionsanlage der Stieler Kunststoff Service GmbH, Goslar, auf einer 200 t Kaltkammerdruckgießmaschine durchgeführt.

Zunächst wurde ein mittiges Angussystem (Gießlauf 1, s. Bild 9) gewählt, da der Gasinjektor nicht direkt mit flüssigem Metall beaufschlagt werden sollte. Diese Lage hat sich jedoch schnell als ungünstig

erwiesen, sodass auf eine 2. Angussposition (Gießlauf 2, Bild 9) umgerüstet wurde (Bild 10). Der Grund für die optimierte Angusslage kann durch die Formfüllsimulation beider Varianten verdeutlicht werden (Bild 11). Bei der Version mit mittigem Anschnitt (Bild 11a) wird der dem Gasinjektor gegenüberliegende Bereich zuerst gefüllt und kühlt dann schnell ab. Beim Einleiten des Gases ist dieser Teil bereits erstarrt, die Gasblase kann das Teil nicht mehr vollständig durchdringen (Bild 12a). Bei der optimierten Anschnitt-

variante von unten (Bild 11b) wird hingegen der obere Teil zum Schluss gefüllt.

Die Bilder 12b und c zeigen fehlerhafte Gussergebnisse aus den ersten Versuchsreihen: Beginnt die Gasinjektion zu spät (Bild 12 b), ist die Schmelze erstarrt und die Gasblase kann das Teil nicht durchdringen. Ist die Formtemperatur zu gering, wird ebenfalls keine vollständige Durchdringung erreicht (Bild 12 c) [7].

Nach einer Vielzahl von Vorversuchen konnte jedoch das erste druckgegossene Gasinjektionsteil aus einer Zinklegierung



Bild 12: Mögliche Fehlerquellen beim Druckgießen mit Gasinjektion: a) Gasinjektion bei mittigem Anschnitt; b) Gasinjektion beginnt zu spät; c) Formtemperatur zu gering



Bild 13: Zinkdruckgussteil mit vollständigem, durch Gasinjektion gebildetem Hohlraum

hergestellt werden (Bild 13). Die glatte Oberfläche des Hohlraumes ist auffällig und erinnert an die Oberflächenstruktur von Gasblasen in Gussteilen. Auch dort erstarrt das Metall unter hohem Druck. Dieser Effekt ist sicherlich für die spätere Anwendung als medienführende Leitung von großer Bedeutung. In der Nähe des Gasinjektors (rechter Teil des in Bild 13 dargestellten Bauteils) zeigten alle Teile einen Bereich mit Schaumbildung, wo es offensichtlich bei der Gaseinleitung zu Verwirbelungen kommt. Da dieser Bereich jedoch auf den Anfangsbereich der Gasinjektion konzentriert ist, ist es vorstellbar, den Gasinjektor später auch außerhalb der eigentlichen Kavität zu positionieren.

Nach den Erfolgen bei der Herstellung von Zinkdruckgussteilen wurde in nachfolgenden Versuchsreihen versucht, Magnesiumdruckgussteile herzustellen. Es hat sich schnell gezeigt, dass die Steuerungen konventioneller Gasinjektionsanlagen für die Herstellung von Gasinjektionsteilen aus Metallen zu langsam sind. Dies betrifft sowohl den Druckaufbau beim Verdrängungsgas als auch den Druckaufbau für den Verschlussstift der Nebenkavität. Daher wurde eine eigene Anlage konzipiert und aufgebaut, mit der sowohl das Gasinjektionsventil als auch die Hydraulik der Nebenkavität angesteuert werden konnten (Bild 14). Die Steuerungen für das Gas und den Hydraulikzylinder sind mit der Druckgießmaschine gekoppelt. Bild 15 zeigt ein damit hergestelltes, hohl gegossenes Druckgussteil aus einer Magnesiumumlegierung.

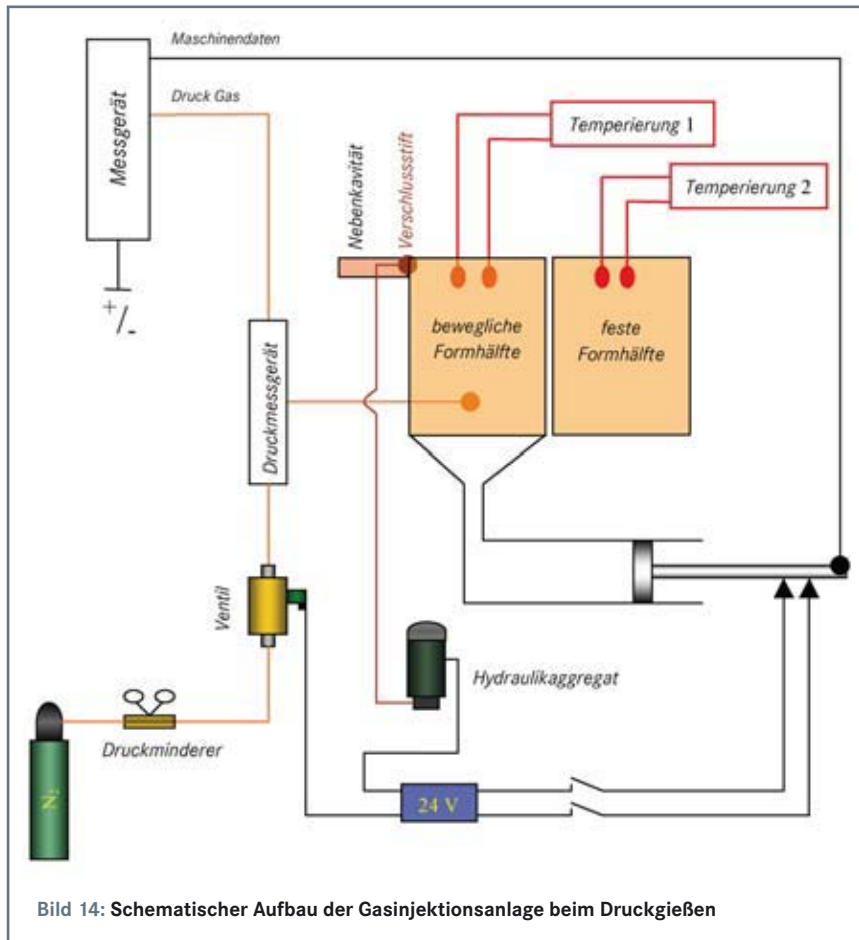


Bild 14: Schematischer Aufbau der Gasinjektionsanlage beim Druckgießen



Bild 15: Durch Gasinjektion hohl gegossenes Magnesiumdruckgussteil

Zusammenfassung und Ausblick

Erste Arbeiten haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, die Gasinjektion auf den Druckgießprozess zu übertragen. Diese Technologie steht jedoch noch am Anfang der Entwicklung und in vielen Bereichen müssen Forschungsarbeiten geleistet werden, um diesen ersten Ansatz in Richtung eines zuverlässigen Produktionsprozesses weiterzuentwickeln. Dies erfordert eine schnelle Regelung der Gaszufuhr, da Metalle aufgrund der um ein Vielfaches höheren Wärmeleitfähigkeit wesentlich schnell-

ler erstarren als Kunststoffe. Die schnelle und genaue Regelung der Gaszufuhr ist mit der Forderung nach einer möglichst hohen Dosiergenauigkeit verknüpft. Die Gasinjektoren neigen zum Verstopfen, wenn die Gaszufuhr zu spät erfolgt. Zudem neigt der Bauteilbereich in der Nähe des Gasinjektors zur Schaumbildung. Beim Gießen von Aluminiumlegierungen können keine Gasinjektoren aus Stahl genutzt werden, da diese von der Schmelze chemisch angegriffen werden – hier müssen neue Materialien auf keramischer Basis entwickelt werden. Der Prozess streut insgesamt sehr stark, wobei die geringe Anzahl der in den Versuchen hergestellten Gussteile keine Aussage über eine spätere Serienfertigung zulässt. Die erreichten Ergebnisse

sind insgesamt jedoch so vielversprechend und überzeugend, dass die Arbeiten im Rahmen der in Kürze anlaufenden Forschungsprojekte fortgesetzt werden.

Literatur:

- [1] Brunhuber, E.: *Moderne Druckgussfertigung*. Fachverlag Schiele & Schön 1971.
- [2] Michaeli, W.; Brinkmann, T.; Gessenisch-Henleys, V.: *Kunststoffbauteile werkstoffgerecht konstruieren*. Carl Hanser Verlag 1995.
- [3] Menges, G.; Mohren, P.: *Spritzgießwerkzeuge*. Carl Hanser Verlag 1991.
- [4] Eyerer, P.; Elsner, P.; Knoblauch-Xander, M., u. a.: *Gasinjektionstechnik*. Carl Hanser Verlag 2003.
- [5] Märtins, R.; Diener, L.: *Gasinnendruck-*

technik. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium, Konferenz-Einzelbericht 14, IKP 1995.

- [6] Dworog, A.: *Hengst Filterwerke 2006*
- [7] Kallien, L.: *Herstellung von Druckgussteilen mit funktionalen Hohlräumen durch Gasinjektion*. Vortrag, Große Gießereitechnische Tagung, 21. und 22. April 2005, Innsbruck. Verein Deutscher Giessereifachleute und Verein Österreichischen Giessereifachleute 2005.

