

Verfahren zum Duroplast-Schäumen

Schaumspritzgießen von Duroplasten

Duroplaste bestechen durch ihre mechanische Stabilität, gute Medienbeständigkeit und flammhemmende Wirkung. Gegenüber Hochleistungsthermoplasten weisen sie allerdings meist eine höhere Dichte auf und erhöhen damit bei einer direkten Substitution das Bauteilgewicht. Duroplastschäume könnten dieses Problem lösen, bisher gibt es jedoch noch kein serienreifes Verfahren für deren Herstellung im Schaumspritzgießen. Zwei dafür mögliche Verfahren wurden nun im Projekt FoamSet entwickelt.

Das Schaumspritzgießen ist bereits seit vielen Jahren Stand der Technik für thermoplastische Kunststoffe. Durch den gezielten Einsatz von Treibmitteln kann das Bauteilgewicht reduziert, der Rohstoffverbrauch gesenkt und die Zykluszeit verringert werden. Zudem zeichnen sich geschäumte Produkte durch ihre guten Eigenschaften bezüglich Wärme- und Schalldämmung aus. Für duroplastische Kunststoffe gibt es derzeit allerdings noch keine serienreifen Schaumspritzgießverfahren, obwohl Duroplaste ein erhebliches Anwendungspotenzial bieten. Besonders im Hochtemperaturbereich oder bei Medienkontakt, wo thermoplastische Kunststoffe versagen, bestechen Duroplaste durch ihre hohe mechanische

Festigkeit, Medienbeständigkeit und Widerstandskraft gegen Hitze und Feuer [1–3]. In Kombination mit einer Schäumtechnik ergibt sich zudem ein erhebliches Leichtbaupotenzial, was diese Produktklasse für einen Einsatz im Hochbau oder Automobilbereich noch attraktiver macht. Eine Zielstellung des öffentlich geförderten Projekts FoamSet (siehe Kasten S. 50) ist daher die Technologieentwicklung eines Spritzgießprozesses zur Herstellung geschäumter Novolak-Phenolharze.

Eine einfache Adaptation des Schaumspritzgießverfahrens von Thermoplasten ist aus mehreren Gründen nicht möglich. Beim Spritzgießen von Duroplasten werden kompressionslose Förderschnecken mit geringem Gangtiefenverhältnis ein-

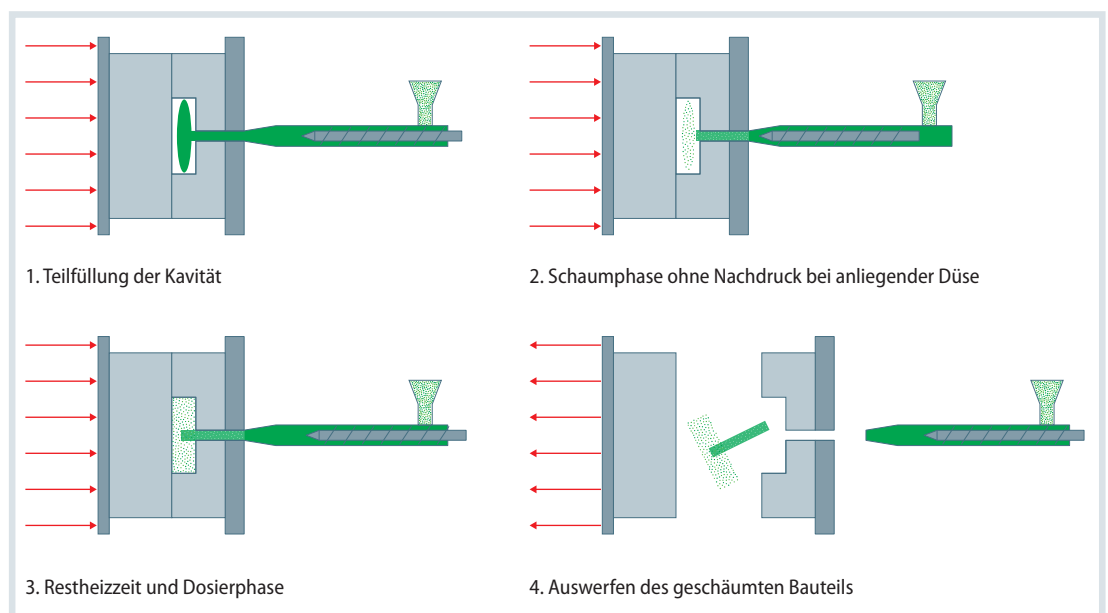
gesetzt; auf den Einsatz von Mischelementen wird verzichtet [4]. Das ist notwendig, um einen zu hohen Energieeintrag durch Scherung zu unterbinden, der eine Aushärtereaktion im Zylinder initiieren könnte. Ebenso werden in der Regel keine Rückströmsperren und Verschlussdüsen eingesetzt, was Totvolumina vermeidet. Eine druckdichte Ausführung des Zylinders ist bei der Duroplastverarbeitung somit nicht möglich. Eine solche Ausführung ist jedoch Voraussetzung für das Schäumen von Thermoplasten, das auf einem Lösevorgang des Treibmittels im Zylinder unter hohem Druck basiert [4, 5].

Stattdessen beruht die Idee des Duroplastschäumens darauf, die thermischen

Bild 1. Verfahrensablauf beim Duroplastschäumen mit volumetrischer Unterfüllung

Quelle: Robert Bosch;

Grafik: © Hanser



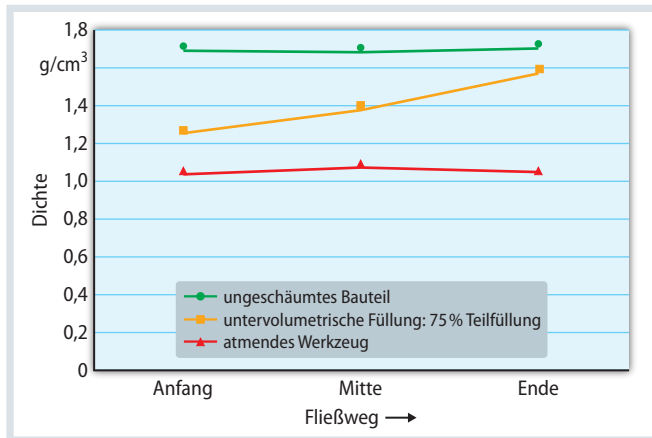


Bild 2. Je nach Fertigungsverfahren unterscheidet sich die Dichteverteilung in Bauteilen deutlich voneinander. Bei der unternormetrischen Füllung kommt es im Verlauf des Fließwegs zu einer deutlichen Verschiebung

Quelle: Robert Bosch;
Grafik: © Hanser

Verhältnisse des Prozesses auszunutzen. Während der Zylinder bei der Verarbeitung rieselfähiger Formmassen mit ungefähr 90 °C eine eher geringe Temperatur aufweist, wird das Werkzeug bei der Duroplastverarbeitung auf ungefähr 160 bis 180 °C beheizt. Dadurch besteht die Möglichkeit, ein chemisches Treibmittel in Granulat- oder in Pulverform zu verwenden, dessen Zerfallstemperatur wesentlich über der eingestellten Zylinder-temperatur liegt. Um eine ausreichende Durchmischung zu gewährleisten, wird das Treibmittel dem Duroplast idealerweise bereits während der Compoundierung zugegeben. Während das Duroplast-Granulat nun in Folge der Wärme- einwirkung im Zylinder aufschmilzt, bleibt das chemische Treibmittel auch weiterhin in seiner festen Form und liegt als fein suspendierte Partikel in der Schmelze vor. Das verhindert einen vorzeitigen Treibmittelverlust.

Methoden zum Duroplast-Schäumen

Das Gemisch wird anschließend in die Kavität eingespritzt. In Folge der hohen Temperaturen in der Kavität beginnt der Duroplast zu vernetzen und auszuhärten. Gleichzeitig ist auch die Reaktionstemperatur des Treibmittels überschritten und der Feststoff beginnt unter Gasfreisetzung zu zerfallen. Entscheidend für den Erfolg des Verfahrens ist daher die Wahl eines geeigneten Treibmittels mit der richtigen Reaktionstemperatur [6]. Durch die Gasfreisetzung entsteht in der Kavität eine aushärtende Schaumstruktur, welche nach Ablauf einer Restheizzeit entformt werden kann.

Ziel dieses Schaumspritzgießverfahrens ist die Dichtereduktion des Bauteils.

Betrachtet man die Definition der Dichte $\rho = m/V$ dann zeigt sich, dass diese verringert werden kann, indem man entweder die Masse bei gegebenem Volumen reduziert oder das Volumen bei gegebener Masse vergrößert. Daraus ergeben sich zwei unterschiedliche Varianten für das Schäumen von Duroplasten.

Die einfachere Methode zum Schäumen von Duroplasten ist die unternormetrische Füllung mit dem Niederdruckverfahren (Bild 1). Das Prinzip dieser Variante ist die Reduktion der eingespritzten Menge an Kunststoff in die Kavität im Verhältnis zum eigentlichen Bauteilvolumen. Dafür wird, analog zu Teilschüssen bei einer Füllstudie, das Dosiervolumen der Schnecke verringert und gleichzeitig die Kavität nicht vollständig gefüllt. Die Nachdruckphase entfällt. Durch die hohen Temperaturen in der Kavität beginnt das Treibmittel zu zerfallen und das noch freie Volumen in der Kavität auszuschäumen. Sobald die Kavität durch den Kunststoffschäum ausgefüllt ist, kommt es durch den weiteren Zerfall des Treibmittels zu einem Druckanstieg in der Kavität, der den maschinenseitigen Nachdruck ersetzt. Gleichzeitig härtet der Duroplast in der Kavität aus und die Schaumstruktur verfestigt sich.

Die Düse bleibt während des Prozesses auf dem Werkzeug angelegt, um einen Austritt des Schaums aus dem Anguss zu verhindern. Sobald der Siegel- punkt erreicht ist und somit kein Material mehr in die Kavität hinein- oder herausfließen kann, beginnt die Dosierphase, ebenfalls mit anliegender Düse. Nach Ablauf der Restheizzeit wird das geschäumte Bauteil ausgeworfen.

Wie beim Schaumspritzgießen von Thermoplasten wirkt sich der lokal ent-

stehende Forminnendruck durch das Treibmittel besonders bei komplexen und verzweigten Bauteilgeometrien vorteilhaft aus. Bei diesen werden die Fließwegenden vom maschinenseitig aufgebrauchten Nachdruck häufig nicht erreicht. Die Ausbildung eines Forminnendrucks am Fließwegende ist bei diesem Prozess außerdem ein Indikator für eine vollständige Formfüllung der Kavität durch den Schaum. Die eingespritzte Masse an Kunststoffschmelze, bei der gerade noch ein Anstieg des Forminnendrucks in der Kavität beobachtet werden kann, stellt die Grenze der maximal möglichen Dichtereduktion des Prozesses dar. Diese kann je nach Bauteilgeometrie stark variieren.

Der große Vorteil dieser Verfahrensvariante ist die Anwendbarkeit auf nahe- »

Die Autoren

Martin Bayer ist Doktorand bei der Robert Bosch GmbH im Bereich „Materials and Manufacturing Technologies Polymers“ im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung;
martin.bayer2@de.bosch.com

Dr. Torsten Maenz arbeitet als Forschungsingenieur bei Robert Bosch im Bereich „Materials and Manufacturing Technologies Polymers“ im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung.

Dr. Gerrit Hülde ist Gruppenleiter bei Robert Bosch im Bereich „Materials and Manufacturing Technologies Polymers“ im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung.

Prof. Dr. Michael Gehde leitet seit 2005 die Professur Kunststoffe an der TU Chemnitz

Dank

Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags im Rahmen des Projekts FoamSet (Förderkennzeichen: 03ET1424C).

Service

Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-07

Bild 3. Verfahrensablauf beim Duroplastschäumen mit einem atmenden Werkzeug
Quelle: Robert Bosch; Grafik: © Hanser

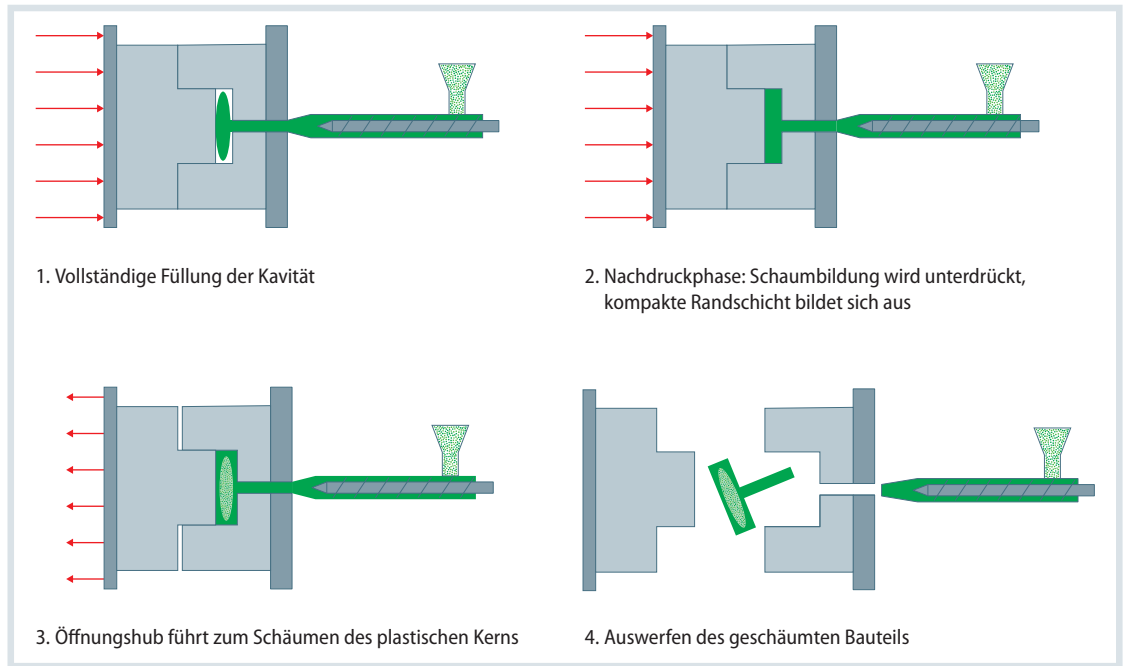
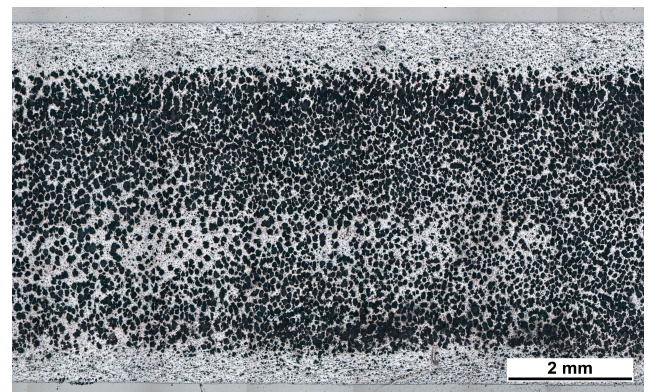


Bild 4. Duroplast-Schaum aus einem atmenden Werkzeug: Die Kunststoffmatrix erscheint in hell, die Schaumporen in Schwarz. Gut zu erkennen ist die Abgrenzung zwischen Randschicht und geschäumtem Kern

© Robert Bosch



Das Projekt FoamSet

Im Rahmen des FoamSet-Projekts soll eine energieeffiziente Fertigung naturbasierter duroplastischer Phenol-Hartschäume entwickelt werden, um Endenergieverluste im Hochbau und in technischen Anlagen zu reduzieren. Neben dem Schaumspritzgießen wird auch an einem kontinuierlichen Extrusionsprozess von Phenol-Harzschaumen gearbeitet [7]. Die Forschungskoordination erfolgt durch die Professur Kunststoffe der Technischen Universität Chemnitz. Projektträger ist das Forschungszentrum Jülich. Aus der Industrie beteiligen sich die Robert Bosch GmbH, die Hexion GmbH, die KraussMaffei Technologies GmbH, die KraussMaffei Extrusion GmbH, die Ejot Baubefestigungen GmbH und die Schöck Bauteile GmbH. Das Projekt läuft noch bis zum 31.10.2020.

zu alle bestehenden Duroplast-Spritzgießmaschinen, ohne zusätzliche Komponenten oder aufwendige Werkzeugtechnik. Das Verfahren eignet sich daher besonders für erste Testversuche einer prinzipiellen Umsetzbarkeit des Duroplastschäumens bei bestehenden Produkten. Da die Schmelze im Vergleich zum Thermoplast-Schaumspritzgießen nicht mit gelöstem Treibmittel gesättigt ist, kommt es beim Einspritzen zu keiner spontanen Blasenbildung in der Fließfront. Die Oberflächen geschäumter Duroplaste weisen daher weniger Schlieren auf als Thermoplastschäume. Durch die Teilfüllungen kann es bei Bauteilen mit langen Fließwegen jedoch zu einer inhomogenen Dichteverteilung kommen (**Bild 2**). Verhindern lässt sich das durch die zweite Verfahrensvariante mit einem atmenden Werkzeug.

Mit einem atmenden Werkzeug ist es möglich eine kompakte Randschicht mit

geschäumtem Kern (Skin-Core-Struktur, Integralschaum) im Hochdruckverfahren herzustellen. Die Dichtereduktion wird bei diesem nicht durch Verringerung der eingespritzten Kunststoffmasse, sondern durch Erweiterung des zur Verfügung stehenden Volumens in der Kavität erreicht. Das kann lokal durch einen Prägestempel oder großflächig über die Werkzeugbewegung mithilfe einer Tauchkante erfolgen. Der Zeitpunkt der Volumenerweiterung kann variabel gewählt werden. Daraus ergibt sich im Vergleich zum Niederdruckverfahren ein veränderter Prozessablauf (**Bild 3**).

Wie beim herkömmlichen Spritzgießen üblich, wird dabei die Kavität vollständig gefüllt. Anschließend erfolgt eine weg- oder druckabhängige Umschaltung auf Nachdruck, um die Kunststoffschmelze noch weiter zu kompaktieren und eine vollständige Formfüllung zu garantieren. Durch die standardmäßige Anwendung

von bekannten Umschaltstrategien erhöht sich, im Gegensatz zur untermetrischen Füllung, ebenfalls die Reproduzierbarkeit des Prozesses.

Nach einer kurzen Haltezeit wird die Nachdruckphase unterbrochen und das Volumen der Kavität mittels eines Prägehubs erweitert. Durch den Formindendruck des Treibmittels angetrieben, expandiert daraufhin die Kunststoffschmelze in das frei werdende Volumen und verringert dadurch seine Dichte. Bei dieser Variante ist die Grenze der maximalen Dichtereduktion ebenfalls an dem Punkt erreicht, an dem der Schaumdruck nicht mehr ausreicht, um das gesamte Volumen des Bauteils auszufüllen.

Zeitpunkt der Volumenerweiterung steuern

Nach Ablauf der Resthärtezeit wird das geschäumte Bauteil ausgeworfen. Die Dosierphase beginnt, analog zur untermetrischen Füllung, mit anliegender Düse sobald der Siegelpunkt des Angusses erreicht ist und kein Material mehr in die Kavität eintreten kann. Besonders vorteilhaft an dieser Variante ist die Möglichkeit, den Zeitpunkt der Volumenerweiterung steuern zu können. Während bei der untermetrischen Füllung die Nachdruckphase entfällt, kann sie in dieser Variante für einen beliebigen Zeitraum aufrechterhalten werden. Dichtegradienten über den Fließweg lassen sich dadurch verhindern (Bild 2). Zudem kann die Vorrückrichtung des Schaumes durch Richtung und Betrag des Prägehubs gesteuert werden.

Die Nachdruckphase bringt außerdem noch einen weiteren positiven Aspekt mit sich: So lange der Formindendruck in der Kavität über dem Dissoziationsdruck des Treibmittels (abhängig von Temperatur und Art des Treibmittels) gehalten wird, kommt es zu keinem Treibmittelzerfall und somit auch zu keinem Aufschäumen des Kunststoffs. Ein Nachdruckniveau von 200 bis 300 bar reicht dafür in den meisten Fällen aus. Die Aushärtereaktion des Duroplasts beginnt jedoch, sobald die Kavität gefüllt ist. Angetrieben durch den Wärmegradienten in die vergleichsweise kalte Schmelze in der Mitte der Kavität, beginnt zuerst die Randschicht zu erstarren und wächst, durch das Unterdrücken des Schäumens, in kompakter



Bild 5. Durch die Werkzeugtemperatur und die Nachdruckdauer lässt sich die Schaumstruktur des Bauteils einstellen. Je nach gewählten Parametern unterscheidet sich die Struktur deutlich. Gut zu sehen ist das bei den abgebildeten aufgesägten Probestücken (oben: 155 °C Werkzeugtemperatur und 11 s Nachdruckdauer; Mitte: 155 °C Werkzeugtemperatur und 7 s Nachdruckdauer; unten: 185 °C Werkzeugtemperatur und 11 s Nachdruckdauer

© Robert Bosch

und blasenfreier Form in die Bauteilmitte hinein. Sobald die Nachdruckphase beendet und das Volumen der Kavität erweitert wird, schäumt nur noch der viskose Bereich in der Bauteilmitte auf, während der bereits ausgehärtete Randbereich in seiner festen Form bestehen bleibt.

Blasenfreie Randschicht und ein geschäumter Kern

Das Ergebnis ist ein Bauteil mit einer kompakten, blasenfreien Randschicht und einem geschäumten Kern (Skin-Core-Struktur). Die Höhe der Randschicht und der Schaumgrad des Kerns können über die Werkzeugtemperatur und die Dauer der Nachdruckphase gezielt eingestellt werden.

Erste Versuchsreihen mit diesen Techniken brachten vielversprechende Ergebnisse hervor. Mit einer Spritzgießmaschine (Typ Allrounder 370S der Arburg GmbH + Co KG, Loßburg) mit Duroplast-Aggregat (Durchmesser der Schnecke 30 mm) wurden mithilfe eines Tauchkanntenwerkzeugs Probestücke in Plattengeometrie (80 mm x 100 mm x 4 mm) hergestellt. Als Material kam das im Rah-

men des Projekts eigens entwickelte Bakelit FoamSet 18135 der Hexion GmbH, Iserlohn, mit eincompoundiertem Treibmittel zum Einsatz. Bei untermetrischer Füllung konnte eine Dichtereduktion von etwa 25 % erreicht werden. Mit der Technik eines atmenden Werkzeugs gelang sogar eine Dichtereduktion von 40 %. Zudem konnten Schaumstrukturen mit Skin-Core-Struktur erfolgreich hergestellt werden (Bild 4). Unterschiedliche Prozesseinstellungen brachten verschiedene Strukturen hervor. Die Werkzeugtemperatur und die Nachdruckdauer sind bei Verwendung eines atmenden Werkzeugs die entscheidenden Einflussfaktoren, über die sich die gewünschte Schaumstruktur einstellen lässt (Bild 5).

Das Schaumspritzgießen von Duroplasten steht trotz dieser Fortschritte erst noch am Anfang. In weiterführende Untersuchungen sollen die Auswirkungen der einstellbaren Prozessparameter gezielt untersucht werden. Im Fokus stehen dabei der Einfluss auf den Schaumgrad der Proben sowie die Gestalt der erzeugten Skin-Core Struktur. Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen wird **Kunststoffe** in einer nachfolgenden Ausgabe berichten. ■