

Schaumspritzgießen dynamisch temperiert

Gezielte Verbesserung der Oberflächenqualität und der Schaumstrukturverteilung durch dynamische Werkzeugtemperierung

Insbesondere unter den Gesichtspunkten Leichtbau und Mobilität gewinnen geschäumte Bauteile vermehrt an Bedeutung. Im Falle des Schaumspritzgießens muss das Verfahren bekanntlich mit einer dynamischen Werkzeugtemperierung kombiniert werden, um eine ansprechende Oberflächenqualität für den Einsatz im Sichtbereich zu erzielen. Das IKV in Aachen hat nun erstmalig nachgewiesen, wie dieser Prozess zusätzlich die mechanischen Eigenschaften und Schaumstrukturen der Bauteile beeinflusst.

Als Sonderverfahren des Spritzgießens ermöglicht das Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) die Herstellung geschäumter Bauteile mit dem Ziel, das Teilgewicht bei gleich bleibenden oder verbesserten mechanischen Eigenschaften zu verringern. Der TSG-Prozess erlaubt zudem die Herstellung leichterer Bauteile mit minimiertem Verzug. Neben der möglichen Materialersparnis ergeben sich verfahrensbedingt sowohl im Prozess als auch am Bauteil weitere Vorteile. Dabei ist vor allem die herabgesetzte Schmelzeviskosität zu nennen, die niedrigere Einspritzdrücke und somit den Einsatz kleinerer Maschinen ermöglicht.

Den Vorteilen des TSG-Verfahrens stehen jedoch die verfahrenstypischen Oberflächendefekte wie Silberschlieren gegenüber, die eine breite Marktdurchdringung erschweren (**Titelbild**). Den stärksten Einfluss auf die Qualitätseigenschaften geschäumter Spritzgussteile üben dabei die thermischen Bedingungen im Werkzeug aus, denn mit einer aufgeheizten Kavitätswand lässt sich eine hohe Oberflächenqualität erzielen [1–3]. Konstant hohe Werkzeugwandtemperaturen bedeuten jedoch deutlich längere Zykluszeiten. Die dynamische Temperierung löst diesen Zielkonflikt zwischen Qualität und Wirtschaftlichkeit, indem die hohen Werkzeugtemperaturen während der Einspritz- und Fixierungsphase sich mit niedrigeren Temperaturen während der Kühlphase abwechseln.



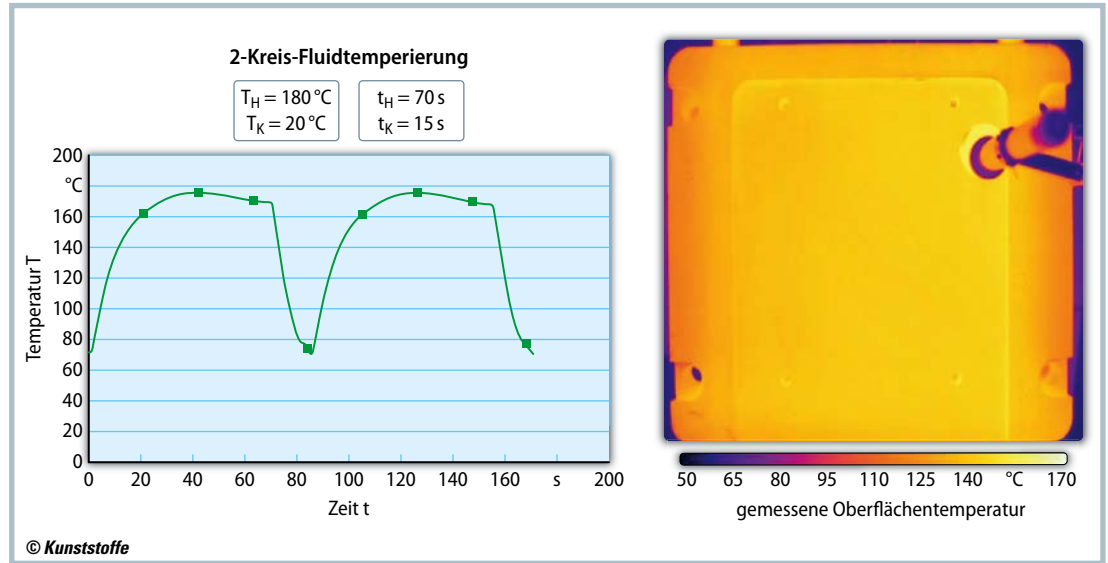
Typische Oberflächendefekte auf einem PMMA-Probekörper mit vier Oberflächenstrukturierungen (© IKV)

Um die Potenziale des Schaumspritzgießens zu verdeutlichen, hat das Institut für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen den Einfluss der dynamischen Werkzeugtemperierung anhand eines plattenförmigen Musterbauteils (145 x 170 x 2,5 mm) mit vier unterschiedlichen Oberflächenstrukturierungen (Hochglanzpolitur, Strichpolitur, Ledernarbung, Gehäusenarbung) untersucht. Die Kavität wird dabei über einen rheologisch ausgelegten Filmanguss fließwegparallel gefüllt.

Externe und interne dynamische Temperierverfahren im Vergleich

Die dynamische Werkzeugtemperierung kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Im Wesentlichen werden werkzeugexterne und -interne Verfahren unterschieden, wobei grundsätzlich jede dynamische Temperierung über eine fluidbasierte interne Grundtemperierung zum Kühlen der Kavität verfügt. Die internen Verfahren, wie die 2-Kreis-Fluidtemperierung oder elektrische Widerstandsheizung, sind werkzeuggebunden und funktionieren als Temperierung von innen heraus. Externe Verfah- »

Bild 1. Die interne, fluidbasierte dynamische Temperierung ermöglicht eine homogene Temperaturverteilung auf der Kavitätsoberfläche zu Beginn der Einspritzphase (Quelle: IKV)



ren, wie die Strahlungs- oder die Induktionstemperierung, führen die Energiequelle gezielt an die Kavitätsoberfläche heran und erhitzen diese von außen.

Externe Systeme können lediglich bei geöffnetem Werkzeug genutzt werden und sind somit nur zum oberflächennahen Aufheizen der Kavität geeignet. Sie müssen vor dem Schließen des Werkzeugs aus dem Bereich zwischen den Formhälften herausbewegt werden. In dieser Zeit – im Folgenden als Handlingzeit bezeichnet – kühlt die aufgeheizte Kavitätsoberfläche bis zum

Start des Einspritzvorgangs ab, sodass die Temperatur zum Einspritzzeitpunkt deutlich unter der Maximaltemperatur liegt. Dieser Effekt muss in der Temperatursteuerung berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu können die internen Verfahren die volle Temperierleistung bis zum Einspritzzeitpunkt zur Verfügung stellen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden externe und interne dynamische Temperierverfahren verglichen, um die jeweiligen Auswirkungen auf die Oberflächenqualität, Schaumstruktur und die mechanischen Eigenschaften der Bauteile zu untersuchen. Im einen Fall handelt es sich um eine 2-Kreis-Fluidtemperierung (Typ: Vario-5; Hersteller: HB-Therm AG, St. Gallen/Schweiz), im anderen um eine externe Induktionstemperierung (Hersteller: Emag eldec Induction GmbH, Dornstetten). Das fluidbasierte System verfügt über 8 kW Heizleistung und 90 kW Kühlleistung bei einem Umlaufvolumen von 6,5 l. Der Mittelfrequenzgenerator der Induktionstemperierung liefert eine maximale Leistung von 15 kW.

Um die Aufheiz- und Abkühlcharakteristika der beiden Temperierverfahren zu ermitteln, wurden zunächst thermologische Untersuchungen durchgeführt. Auf Basis der Untersuchungen werden die Korrelationen zu den resultierenden Bauteileigenschaften hergestellt. Wie die zusammen mit dem relevanten Temperaturgradienten und einer exemplarischen Aufheiz- und Abkühlcharakteristik einander gegenübergestellten Temperaturverteilungen (**Bilder 1 und 2**) zeigen, ist die erreichbare Homogenität direkt von der Gestaltung der Applikationssysteme, wie Temperierkanallayout und Induktorlayout, abhängig. Die Temperierkanäle liegen 7 mm hinter der Kavitätswand. Der Abstand des Induktors zur Kavität beträgt 5 mm. Die konturnahe Temperierung ist besonders geeignet, die Dynamik der Temperaturwechsel zu optimieren, denn indem die aktive thermische Masse herabgesetzt wird, verkürzen sich die Aufheiz- und Abkühlzeiten.

Da die Handlingzeit integraler Bestandteil der externen Temperierverfahren ist, ergibt sich eine fließwegabhängige Temperaturverteilung durch die abkühlende Kavitätsoberfläche. So liegt bei einer Einspritzzeit von 1,4 s bereits eine Temperaturdifferenz von 12 K über dem Fließweg vor. Dieser Problemstellung bei

Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG)

Der TSG-Prozess ist mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen verbunden.

Potenziale:

- Die Treibmittelbeladung der Schmelze setzt die Glasübergangstemperatur und die Viskosität herab.
- Aufgrund der geringeren Viskosität der treibfluidbeladenen Schmelze können entweder längere Fließwege gefüllt oder Verarbeitungsparameter wie Schmelzetemperatur und Einspritzdruck gesenkt werden.
- Das TSG-Verfahren ermöglicht die Herstellung von Integralschaumstrukturen mit nahezu kompakter Randschicht.
- Die Integralschaumstruktur bewirkt hohe gewichtsspezifische mechanische Eigenschaften.

Herausforderungen:

- Um geschäumte Spritzgussteile trotz prozessbedingter Oberflächendefekte, wie Silberschlieren, Schmelzeeruptionen oder kaltverschobene Bereiche, im Sichtbereich einsetzen zu können, müssen Verfahrenskombinationen genutzt werden.
- Die vollständige Ausschöpfung der Potenziale ist nur durch angepasste Bauteilgestaltungsrichtlinien möglich.
- Erst die Quantifizierung der fließwegabhängigen Bauteileigenschaften auf Basis der unternvolumetrischen Füllung ermöglicht eine anforderungsgerechte Bauteilauslegung.
- Die Nutzung der Verfahrensvariante Negativprägen ist bezüglich der schäumbaren Bauteilgeometrie eingeschränkt.

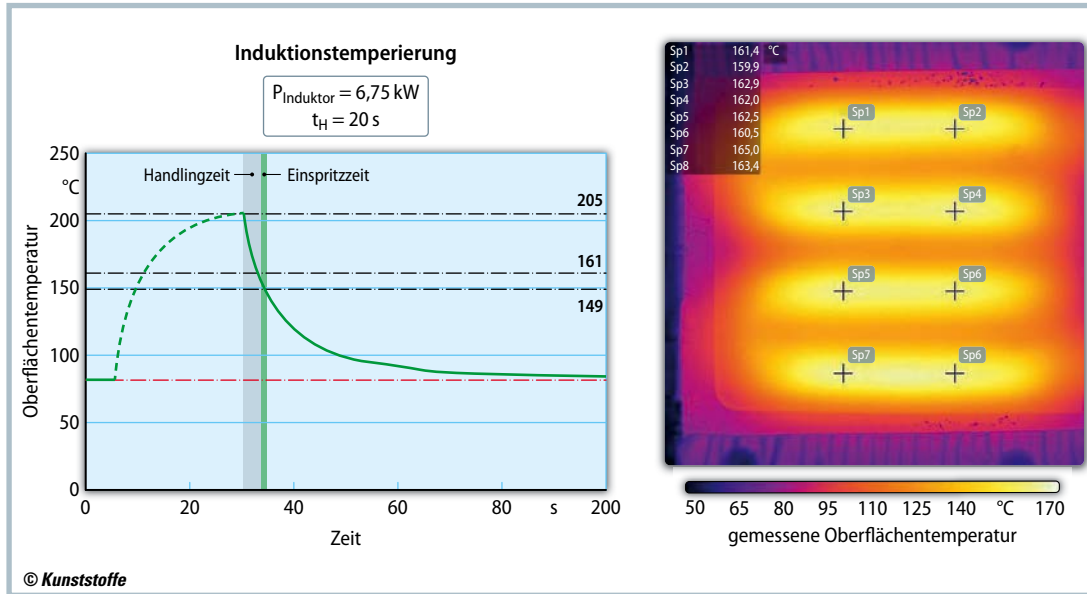


Bild 2. Um die Zeitspanne für das Herausfahren des Induktors aus dem Werkzeug zu überbrücken, muss die externe induktionsbasierte dynamische Temperierung ein gezieltes Überheizen sowie einen hohen Temperaturgradienten berücksichtigen. Sp1 bis 8 sind Messpunkte zur Bestimmung der lokalen Temperatur (Quelle: IKV)

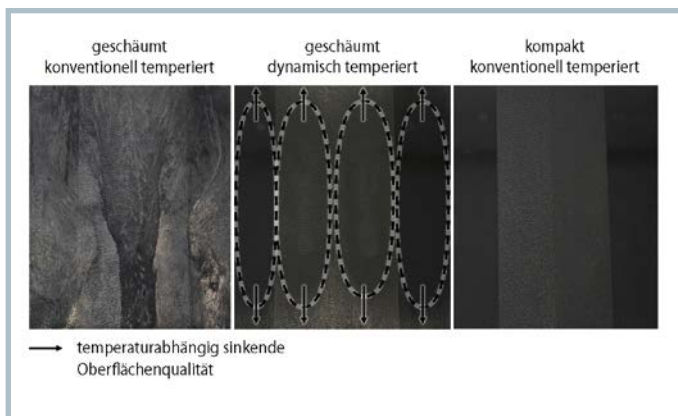


Bild 3. Die resultierende Oberflächenqualität ist direkt abhängig von der Werkzeugtemperatur (siehe Bild 2). Dabei zeigt sich die höhere Oberflächenqualität der mit dynamischer Temperierung geschäumten Probekörper (Mitte, Induktion 85 auf 155 °C) im Vergleich zu den mit konventioneller Temperierung geschäumten Probekörpern (links, 85 °C); daneben die kompakten Bauteile (rechts, 85 °C) als Referenz

(Quelle: IKV)

der Temperierung großflächiger Bereiche müssen sich alle externen dynamischen Temperierverfahren stellen. Interne Verfahren wie die 2-Kreis-Fluidtemperierung können demgegenüber eine homogene Temperaturverteilung über die Kavitätsoberfläche während der Einspritzphase bereitstellen.

Höhere Werkzeugwandtemperaturen verbessern die Oberflächenqualität

Die erzielbare Oberflächenqualität hängt direkt von der Werkzeugwandtemperatur beim Eintreffen der Schmelzefront ab. Die Schaumspritzgieß-Versuche mit dynamischer und im Vergleich dazu mit konventioneller Temperierung wurden im sogenannten MuCell-Verfahren (Trexel GmbH, Siegen) bei 17% Gewichtsreduktion mit einem PC/ABS (Typ: Bayblend T85 HG; Hersteller: Covestro AG, Leverkusen) unter Nutzung der (externen) Induktionstemperierung durchgeführt (**Bild 3**). Dabei erreicht die mög-

liche Oberflächenqualität ein Maximum, das von den material-spezifischen Übergangstemperaturen sowie der eingestellten Gewichtsreduktion abhängig ist.

Betrachtet man den gemessenen Glanzwert (als Eigenschaft der Oberflächenqualität) in Abhängigkeit der anliegenden Werkzeugtemperatur, so lassen sich jenseits der Plateau-Werkzeugtemperatur, die sich auf den Bereich konstanter Glanzwerte »

Oberflächen von TSG-Bauteilen

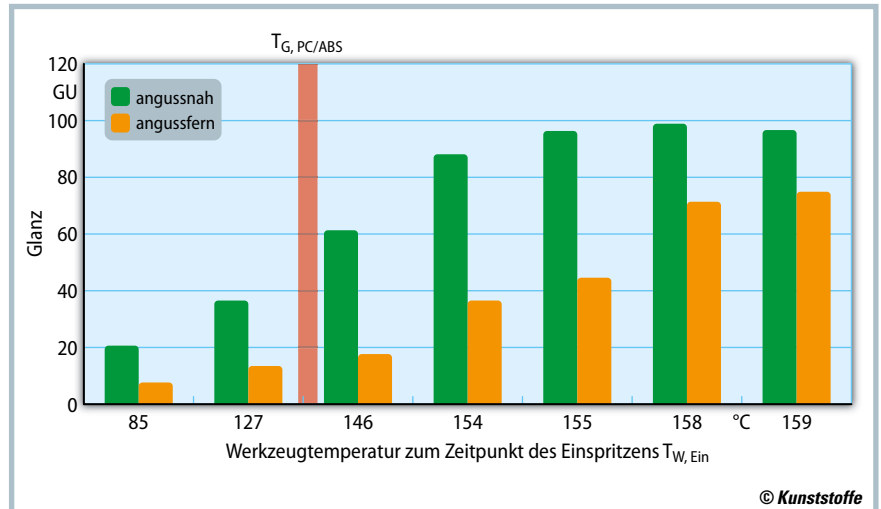
Beim Thermoplast-Schaumspritzgießen bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Bauteiloberflächen zu verbessern [6–8]:

- Durch Kombination hoher Schmelzefestigkeit und Fließ-eigenschaften eines modifizierten Materials friert eine kompakte Randschicht ohne eingeschlossene Treibfluidbläschen ein.
- Beim Negativprägen (auch „Dolphinprozess“ oder „Atmen“) wird die Kavität vollständig mit der treibfluidbeladenen Schmelze gefüllt und mit Nachdruck beaufschlagt. Bei der anschließenden Werkzeugöffnungsbewegung führt der Schaumdruck zu einer Expansion der Schmelze.
- Beim Gasgedrücktverfahren wird in der nicht gefüllten Kavität ein Gasdruck aufgebaut, der das Austreten von Treibfluidbläschen an der Front der Kunststoff-Quellströmung reduziert. Zu beachten ist der erhöhte Fertigungsaufwand eines gasdichten Spritzgießwerkzeugs sowie die erschwerte Prozessführung.
- Durch passive dynamische Temperierung lässt sich die Kontakttemperatur zwischen Schmelze und Kavität anheben, sodass Oberflächendefekte ausheilen können. Hierzu werden die Kavitäten wärmeisolierend beschichtet. Nachteilig ist hier die verfahrenstypische schlechte Kühlwirkung der Temperierung.
- Die aktive dynamische Temperierung wechselt zwischen hoher und niedriger Werkzeugtemperatur (Einspritz-/ Abkühlphase). Dadurch verkürzt sich die Zykluszeit im Vergleich zur passiven dynamischen Temperierung. Diese Variante bietet das größte Potenzial zur Oberflächenverbesserung.

bezieht, keine weiteren Oberflächenverbesserungen erfassen (Bild 4). Die Werkzeugtemperatur, bei der die maximale Oberflächenqualität erreicht wird, ist abhängig vom Fließweg und den materialspezifischen Übergangstemperaturen [4]. Dabei besteht zwischen dem Fließweg und der lokalen Gewichtsreduktion ein direkter Zusammenhang.

So stellt sich beim Thermoplast-Schaumspritzgießen mit konstanten Werkzeugtemperaturen und einer untermometri-schen Füllung eine fließwegabhängige Dichteverteilung ein (Bild 5). Hier wurde ein Polypropylen (PP, Typ: Hostacom EYC 136 N; Hersteller: Basell Polyolefine GmbH, Frankfurt) eingesetzt. Durch die Dichtereduktion entlang der Fließweglänge wird die fließ-

Bild 4. Die erreichbare Oberflächenqualität (hier: 2-Kreis-Fluidtemperierung) ist von der Fließweglänge (Position am Bauteil) und der anliegenden Temperatur abhängig. Es stellt sich ein Plateau-Bereich ein (Quelle: IKV)



Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann ist Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) und Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen.

Nicolai Lammert, M.Sc. RWTH, ist seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IKV und leitet dort die Arbeitsgruppe „Spritzgießwerkzeugtechnik/Additive Fertigung“.

Yuxiao Zhang, M.Sc. RWTH, ist seit 2015 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IKV und leitet dort die Arbeitsgruppe „Schaumspritzgießen“; yuxiao.zhang@ikv.rwth-aachen.de

Dank

Das IGF-Forschungsvorhaben (18133 N) der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1418983

English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

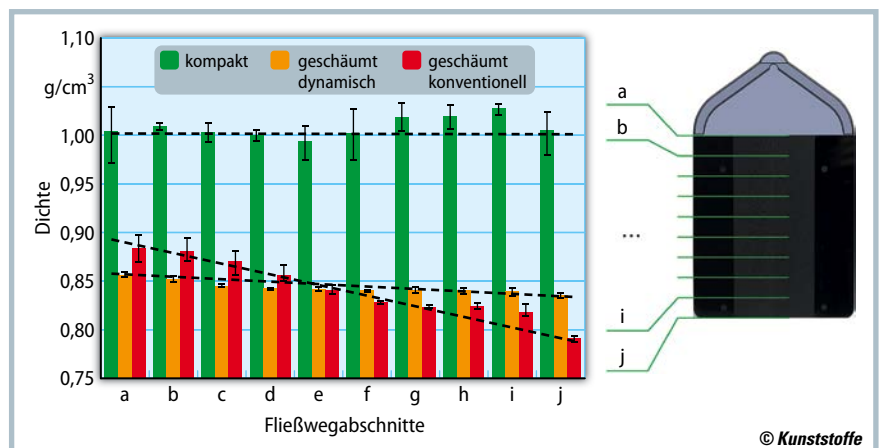


Bild 5. Die dynamische Werkzeugtemperierung (hier: 2-Kreis-Fluidtemperierung) liefert eine homogenisierte Dichteverteilung entlang des Fließwegs (Quelle: IKV)

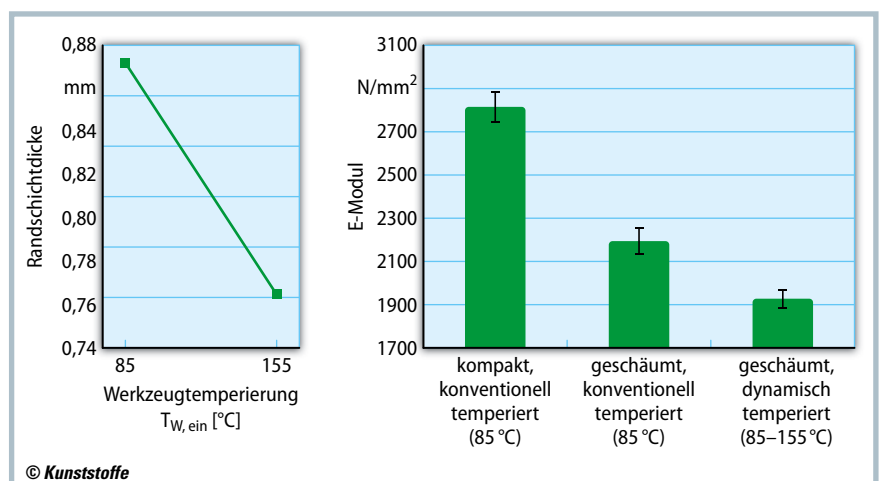


Bild 6. Hohe Werkzeugtemperaturen während der Einspritz- und Fixierungsphase verschlechtern aufgrund sinkender Randschichtdicken die mechanischen Eigenschaften (Quelle: IKV)

wegabhängige Verteilung der Oberflächenqualität ersichtlich. Die maximal erreichbare Oberflächenqualität steigt dabei in dem Maß, wie die Gewichtsreduktion abnimmt. Die dargestellte fließwegabhängige Dichteverteilung kann durch die dynamische Werkzeugtemperierung verringert werden, sodass sich eine homogene Dichteverteilung erreichen lässt.

Homogene Schaumstrukturen in Fließweg- und Bauteildickenrichtung

Die bereits dargestellten Auswirkungen der dynamischen Temperierung auf die makroskopischen Eigenschaften der Schaumstruktur, z. B. die Dichteverteilung über den Fließweg, geben Anlass zu weiterführenden Untersuchungen. Diese sollen den Einfluss auf die lokale Schaumstruktur sowie die resultierenden mechanischen Eigenschaften klären. So beeinflusst die dynamische Temperierung neben der Dichteverteilung im Bauteil auch die kompakte Randschichtdicke der integralen Schaumstruktur. Die Abnahme der Randschichtdicke ergibt sich als Folge der höheren Werkzeugwandtemperatur und wurde mikroskopisch aus Schlibbildern und durch eine rechnergestützte Auswertung quantitativ ermittelt (**Bild 6**).

Der Einfluss auf die Schaumstruktur muss, wenn es um die resultierenden mechanischen Eigenschaften geht, sowohl in Fließwegrichtung als auch in Bauteildickenrichtung berücksichtigt werden. So können mit der Homogenisierung der fließwegabhängigen Dichteverteilung auch die fließwegabhängigen mechanischen Eigenschaften im gleichen Maß homogenisiert werden. Der Einfluss der dynamischen Werkzeugtemperierung auf die Randschichtdicke lässt sich im Biege-E-Modul ablesen (**Bild 6**).

Es wird deutlich, dass der E-Modul der geschäumten Probekörper (Bayblend T85 HG) aufgrund der 17%-igen Gewichtsreduktion im Vergleich zum kompakten Referenzbauteil sinkt. Ein weiterer Abfall der mechanischen Biegeeigenschaften lässt sich nun auf die geringeren Randschichtdicken zurückführen, da die Umverteilung von Randschichtmaterial in Richtung Bauteilmitte eine Reduzierung des Flächenträgheitsmoments zweiten Grades nach sich zieht [5].

Anforderungsgerechte Bauteilauslegung

Die Kombination des Thermoplast-Schaumspritzgießens mit der dynamischen Temperierung ermöglicht durch eine deutliche Verbesserung der Oberflächenqualität den Einsatz der so erzeugten Bauteile im Sichtbereich. Gleichzeitig offenbaren die Untersuchungen, wie sehr die hohen Werkzeugtemperaturen während der Einspritz- und Schaumfixierungsphase die Schaumstruktur und die mechanischen Eigenschaften beeinflussen.

Hier geht die dynamische Temperierung zwar mit einer grundsätzlichen Homogenisierung der Schaumstruktur und somit der mechanischen Eigenschaften einher. Allerdings stellen sich durch die hohen Werkzeugwandtemperaturen niedrigere kompakte Randschichtdicken ein, die die mechanischen Eigenschaften herabsetzen. Die gleichzeitige Berücksichtigung von Oberflächen- und mechanischen Eigenschaften versetzt Anwender in die Lage, diese Eigenschaften in der Bauteilauslegung einzubeziehen, und ermöglicht somit die zielgerichtete Gestaltung anforderungsgerechter Bauteile für den TSG-Prozess. ■