

Wärmetransport mit Kunststoff statt mit Metall

Welche Füllstoffe sich am besten für wärmeleitfähige Kunststoffe eignen und wie sich damit Metall ersetzen lässt

Der Ersatz von Metallen durch Kunststoffe ist bei vielen Bauteilen eine interessante Möglichkeit, um Gewicht zu sparen und eine höhere Designfreiheit zu erhalten. Bei verschiedenen Anwendungen spielt dabei auch die Wärmeleitfähigkeit der Polymere eine wichtige Rolle. Um diese zu steigern, kommen verschiedene Additive in Frage. Welche dafür besonders geeignet sind, hat Domo Engineered Materials bei der Entwicklung zweier Polyamid-Familien untersucht. Zur Untersuchung griff das Unternehmen auf die Light-Flash-Analyse der Materialien zurück.

Die thermische und die elektrische Leitfähigkeit sind zwei wichtige Eigenschaften von technischen Kunststoffen, die als Ersatz für Metalllegierungen bei der Konstruktion von Bauteilen zum Einsatz kommen sollen. Für die Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen und wie diese abhängig von der Füllstofforientierung variiert, bietet die Light-Flash-Analyse (LFA) als schnelle und zuverlässige Technologie zahlreiche Vorteile. Domo Engineered Materials hat einige thermisch leitfähige Polymere auf der Basis von Polyamiden (PA) entwickelt, um Metalle bei verschiedenen Bauteilen zu ersetzen. Für die Untersuchung dieser Formulierungen arbeitete der Kunststoffhersteller mit der Netzsch Gerätebau GmbH zusammen.

Für wärmeleitfähige Kunststoffe gibt es generell zwei Optionen: thermisch leitfähige aber elektrisch isolierende Materialien und thermisch und gleichzeitig elektrisch leitfähige Materialien. Für die erste Variante hat Domo das PA Domamid ZT und für die zweite das PA Domamid ZTE entwickelt. Beide Produktfamilien umfassen sowohl isotrope als auch anisotrope Materialien.

Leitfähige Materialien erfordern häufig eine sehr hohe Individualisierung, da die Leitfähigkeit des Materials ebenso von den verwendeten Additiven wie von der Geometrie der Endanwendung abhängt. Bei der Entwicklung wurden verschiedene Additive berücksichtigt, hauptsächlich auf Kohlenstoffbasis wie Ruß, Graphen und Graphit, aber auch anorga-

nische Materialien wie Aluminiumoxid und Bornitrid. Für die Untersuchungen wurden u.a. Messungen an In-Plane-Proben durchführt, die gut zeigten, wie die Wärmeleitfähigkeit (TC) bei PA mit den verschiedenen Füllstoffen und je nach Mengenanteil variiert (**Bild 1**). Ein deutlicher Anstieg der Leitfähigkeit ist meist erst oberhalb von 40 % Füllstoffanteil erkennbar.

Zwei Additive haben die Nase vorne

Der maximale Leitfähigkeitswert hängt von den Eigenschaften des Füllstoffs ab. Eine erhebliche Variation in der Zusammensetzung des gesamten Füllstoffs kann zu sehr unterschiedlichen TC-Werten

führen. Die Füllstoffe, die sich als am effektivsten erwiesen haben, sind Bornitrid und Graphit. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die „In-Plane“ (in Fließrichtung) gemessenen TC-Werte bei anisotropen Materialien im Allgemeinen am höchsten sind.

Es wurden außerdem TC-Messungen mit der Through-Plane-Technologie durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass für anisotrope Materialien die TC-Werte bei Through-Plane-Messungen allgemein niedriger sind als bei der In-Plane-Messung (**Bild 2**). Der Grund dafür besteht in der unterschiedlichen Anordnung des Füllstoffs innerhalb der Probe, die sich aus der tatsächlichen Geometrie der Partikel ergibt. Bei isotropen Materialien sind hingegen die TC-

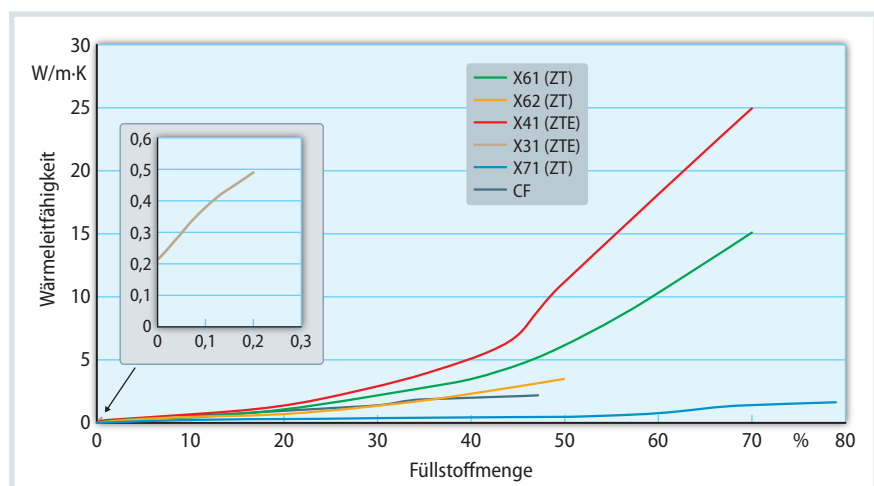


Bild 1. In-Plane-Messung für PA 6 mit verschiedenen Füllstoffen: Je nach zugemischtem Additiv unterscheidet sich die Wärmeleitfähigkeit des PA. Ab einem Anteil von 40 % steigt die Wärmeleitfähigkeit teilweise deutlich an. Quelle: Domo Engineered Materials; Grafik: © Hanser

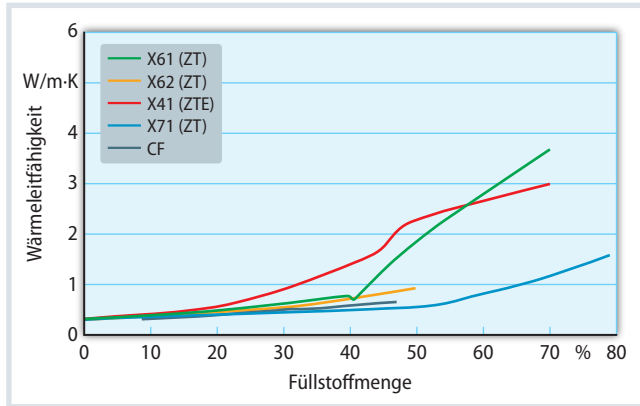


Bild 2. Through-Plane-Messung für PA 6 mit verschiedenen Füllstoffen: Bornitrid und Graphit liefern die besten Werte hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit Quelle: Domo Engineered Materials; Grafik: © Hanser

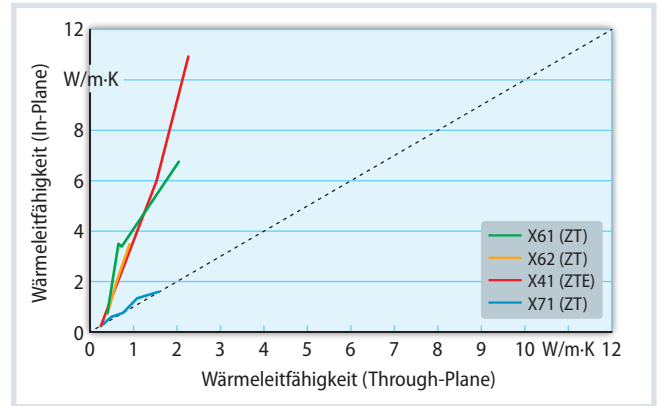


Bild 3. Zusammenführung der In-Plane- und Through-Plane-Messungen: Isotrope Materialien besitzen TC-Werte auf der Winkelhalbierenden des Quadranten Quelle: Domo Engineered Materials; Grafik: © Hanser

Werte in den drei Raumdimensionen gleich. Bornitrid und Graphit haben sich auch bei dieser Messung als die effektivsten Füllstoffe erwiesen.

Bauteilgeometrie bestimmt die Wärmeleitfähigkeit

In **Bild 3** sind die Ergebnisse der beiden vorherigen Messungen zusammengefasst. Wie erkennbar ist, weisen isotrope Materialien TC-Werte nahe der Winkelhalbierenden des Quadranten auf, während bei anisotropen Materialien die Werte weit von dieser Achse entfernt liegen. Je weiter die Werte von der $x=y$ -Achse abweichen, desto stärker ausgeprägt ist das anisotrope Verhalten des Materials. Die Untersuchungen zeigen, dass die Wahl des Materials und des Füllstoffs daher stark vom Design und der Geometrie des Bauteils abhängen müssen. Die eigentliche Wärmeleitfähigkeit des Materials kann nicht das einzige Auswahlkriterium sein.

Die LFA-Untersuchungen wurden mit dem Messgerät LFA 467 HyperFlash von

Netzsch durchgeführt (**Bild 4**). Das Gerät wurde ausgewählt, weil es damit einfach möglich ist, die Wärmeleitfähigkeit sowohl Through-Plane als auch In-Plane zu messen. Tatsächlich wird die Messung immer auf die gleiche Weise durchgeführt. Für die In-Plane-Untersuchungen wird die für die Through-Plane-Messung verwendete quadratische Probe in Streifen geschnitten, um 90° gedreht, anschließend wieder in quadratischer Form zusammengesetzt und danach erneut in die spezielle Probenhalterung für Laminate eingelegt. Physikalisch findet die Messung immer Through-Plane in Bezug auf den Probenhalter statt. Die Drehung der Platten innerhalb des Messinstruments ermöglicht es allerdings, Daten bezüglich der Leitfähigkeit In-Plane zu erhalten.

Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen hat sich Domo entschieden für wärmeleitende und elektrisch isolierende Werkstoffe Bornitrid und Aluminiumoxid, gemischt in verschiedenen Kombinationen, als Additive zu verwenden. Für thermisch und elektrisch leitfähige Werkstoffe wird hingegen hauptsächlich Graphit verwendet.

Metalle oft überdimensioniert

Neben diesen Erkenntnissen zur Leitfähigkeit von verschiedenen Additiven konnte auch nachgewiesen werden, dass sich wärmeleitfähige Kunststoffe in vielen Fällen als Ersatz für Metall eignen. Die Untersuchungen zeigten, dass die verwendeten Metalle, die in Anwendungen eine gewisse Wärmeleitfähigkeit sicherstellen sollen, oft überdimensioniert sind. Der

notwendige Effekt kann ebenfalls mit einem Material mit wesentlich geringerer Wärmeleitfähigkeit erreicht werden (**Tabelle**).

Als Beispiel wurde der Fall einer LED betrachtet (**Bild 5**). Liegt bei freier Konvektion die zu erreichende Grenze etwa bei einer Temperatur von 120,5 °C, ist gut erkennbar, dass Aluminium als eines der in diesen Anwendungen hauptsächlich verwendeten Metalle mit einer Leitfähigkeit von 100 W/m-K deutlich überdimensioniert ist. Um das gleiche Maß an Schutz und Temperaturregulierung zu gewährleisten, lässt sich mit einem Kunststoff mit 10 W/m-K ein sehr ähnliches Ergebnis erzielen. In diesem Fall reicht sogar ein Material mit einer Leitfähigkeit von nur 2 W/m-K aus. Bei erzwungener Konvektion ist hingegen eine höhere Wärmeleitfähigkeit erforderlich. In diesem Fall müssen auch die Geometrie des Bauteils und die daraus resultierenden Anforderungen betrachtet werden.

Thermisch leitfähige technische Kunststoffe besitzen viele Vorteile gegenüber Metallen. Die wichtigsten sind eine größere Flexibilität und Effizienz. Ein Kunststoffmaterial bietet mehr Designfreiheit, reduziert die Zykluszeiten und vermeidet viele Nachbearbeitungen, die bei metallischen Werkstoffen erforderlich sind. Bei Kunststoffen treten außerdem die für metallische Werkstoffe charakteristischen Korrosionsprobleme nicht auf. Darüber hinaus ist ihre Dichte geringer, was das Gewicht der Endanwendung reduziert. Ein PA wiegt beispielsweise bis zu 33 % weniger als Aluminium, was insbesondere bei Fahrzeuganwendungen zu einer Gewichtsreduzierung des Fahrzeugs und da-

Der Autor

Tobias Epple ist Business Development Manager New Mobility bei Domo Engineering Plastics Europe; tobias.epple@domo.org

Service

Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

mit zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß beiträgt.

Darüber hinaus kann ein Kunststoffbauteil im Vergleich zu Metallelementen Schwingungen deutlich reduzieren. Unter Verwendung unterschiedlicher Grundstoffe lassen sich außerdem weitere Anforderungen an das Material erfüllen, wie z. B. eine gute Verarbeitbarkeit, chemische Beständigkeit, Flammenschutz (z. B. in Übereinstimmung mit den FMVSS302-Automobilstandards) und angepasste mechanische Eigenschaften. Kunststoffe können ebenfalls relativ unkompliziert eingefärbt werden, bieten Möglichkeiten zur Funktionsintegration in das Bauteil und können sowohl elektrisch isolierend als auch leitfähig wirken. Typische Zielanwendungen für wärmeleitfähige Kunststoffe sind Kühlkörper, Kühlmittelmanagementsysteme, LED-Beleuchtungssysteme, Bauteile für die Miniaturisierung in elektronischen Systemen und unterschiedliche Automobilanwendungen.

Zwei Beispiele aus der Praxis

Die beiden entwickelten wärmeleitfähigen PA kommen bereits in der Automobilindustrie zum Einsatz. Anhand von zwei Beispielen ist gut zu erkennen, welche Möglichkeiten sie für den Metallsatz bieten. Im ersten Fall wurde ein Material für die Herstellung einer Motorabdeckung für ein Elektrofahrzeug gesucht. Die vorgegebenen Materialspezifikationen waren eine langfristige Hitzebeständigkeit, chemische Beständigkeit, sehr gute Verarbeitbarkeit und Wärmeleitfähigkeit. Dafür wurde durch den Tier 1 das auf PA 6 basierende, wärmostabilisierte Material Domamid ZT 6X70H1 X71 NC91 mit einer Through-Plane-Wärmeleitfähigkeit von 1,2 W/m-K zugelassen.

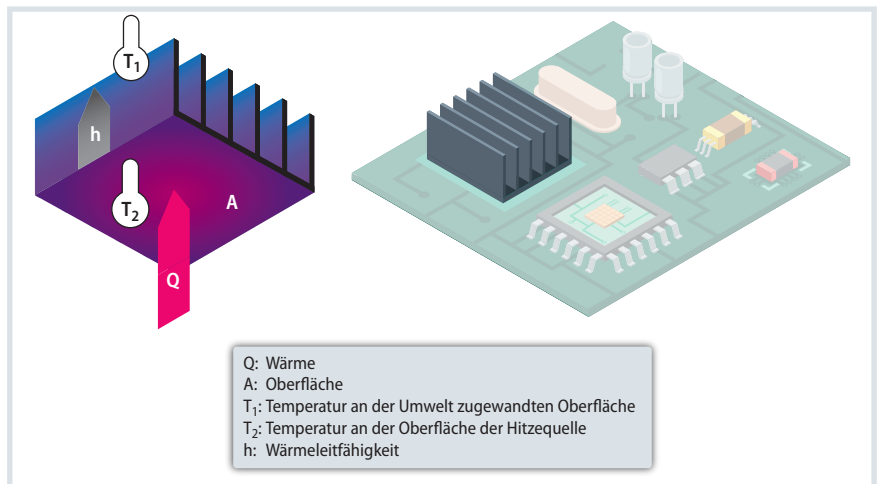


Bild 5. Beispiel für den Wärmetransport durch den Kühlkörper einer LED: Die an der Oberfläche A entstehende Wärme (T₂) wird durch den Kühlkörper transportiert (Wärmestrom Q) und kann dort an die Umgebung abgegeben werden. Aus der Differenz zwischen T₂ und T₁ ergibt sich die Wärmeleitfähigkeit (h) Quelle: Domo Engineered Materials; Grafik: © Hanser

Bei der zweiten Anwendung handelte es sich um eine Motorhaube als Teil des Kühlkreislaufs eines Elektromotors. Gefordert war ein thermisch und elektrisch leitfähiges Material. Der Kunde erwartete eine Through-Plane-Wärmeleitfähigkeit gleich oder größer als 2 W/m-K. Die Anwendung erforderte eine hohe Fließfähigkeit aufgrund der reduzierten Wanddicke und der Abmessungen der Form (Bauteilwanddicke

1 mm und Länge 50 mm), eine Wärmestabilisierung, die Spitzentemperaturen um 210 °C standhält, und gute mechanische Eigenschaften, etwa eine maximale Bruchspannung von ungefähr 70 MPa. Entschieden wurde sich schließlich für das wärmostabilisierte Compound auf PA-66-Basis Domamid ZTE 66X50H1 X41 NC99 mit 2 W/m-K Wärmeleitfähigkeit Through-Plane und 12 W/m-K In-Plane. ■

	Freie Konvektion			Erzwungene Konvektion			
	Standardkunststoff	Wärmeleitfähiger Kunststoff		Standardkunststoff	Wärmeleitfähiger Kunststoff		Metall
Wärme [W]	3	3	3	15	15	15	15
Wärmeübertragung [W/m ² -K]	7	7	7	50	50	50	50
Wärmeleitfähigkeit [W/m-K]	0,1	2	10	0,1	2	25	100
Temperatur der Umwelt zugewandten Oberfläche T ₁ [°C]	120,5	120,5	120,5	118,4	118,4	118,4	118,4
Temperatur an der Oberfläche zur Hitzequelle T ₂ [°C]	142	122,9	120,9	264,1	134,3	121	118,5
Temperaturdifferenz ΔT [°C]	21,5	2,4	0,4	145,7	15,9	2,6	0,1

Tabelle. Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von Metall und Kunststoff: Je geringer die Differenz in der Temperatur an den beiden untersuchten Punkten, desto höher ist die Wärmeleitfähigkeit des Materials Quelle: Domo Engineered Materials

Bild 4. Das Messgerät LFA 467 Hyper-Flash von Netzsch ermöglicht durch eine Probenanpassung nicht nur Through-Plane-, sondern auch In-Plane-Messungen © Netzsch Gerätebau