

Hybridbauteile auf dem Prüfstand

Testverfahren zur Haltbarkeit von PPS-umspritzten Metallbauteilen

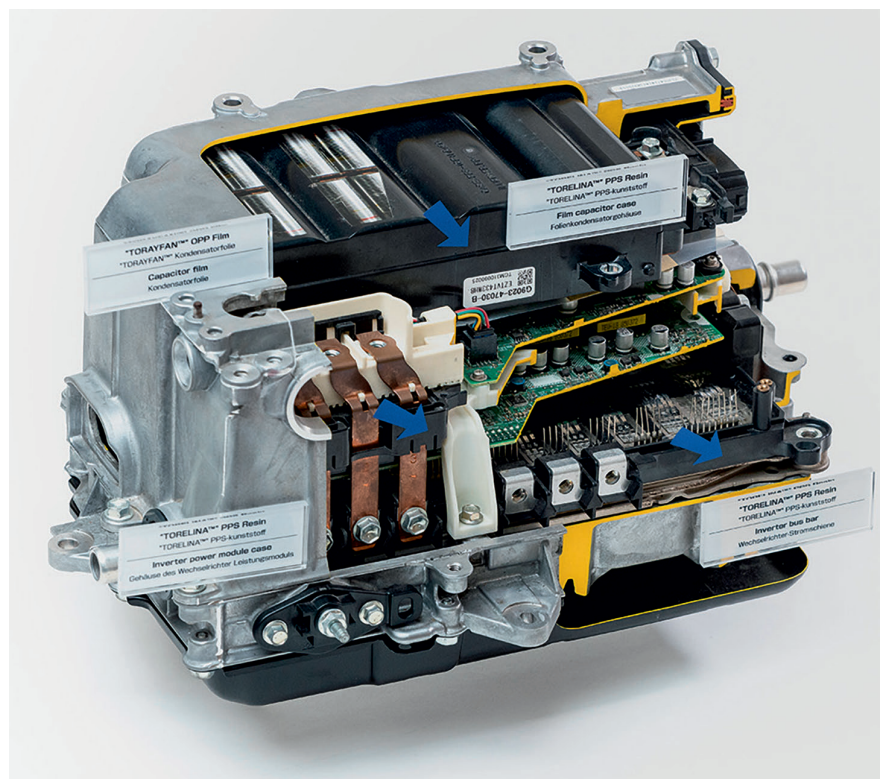
Die unterschiedliche Wärmeausdehnung von Kunststoffen im Vergleich zu Metallen macht die Konstruktion von Hybridbauteilen schwer. Ein neues Prüfverfahren simuliert den Alterungsprozess von Kunststoff-Metall-Bauteilen bei Temperaturwechseln im Zeitraffer. Zusammen mit zwei verschiedenen Prüfkörpern lassen sich damit belastbare Hinweise für die Konstruktion ableiten.

Metall oder Kunststoff – viele Automobilbauteile bestehen klassischerweise entweder aus dem einen oder aus dem anderen Material. Gerade im Bereich Elektromobilität vermischt sich dies zunehmend. In Elektrofahrzeugen stecken viele Hybridbauteile, die Metall enthalten, um den Strom zu leiten, zugleich aber eine tragende Struktur aus Kunststoff aufweisen, die für Steifigkeit und elektrische Isolierung sorgt (**Titelbild**).

Ein typisches Beispiel sind Stromschienen im Umrichter. Einleger aus Kupfer werden hier mit Polyphenylensulfid (PPS) umspritzt, das sich besonders gut für viele Anwendungen im Fahrzeug eignet. Die Herausforderung dabei: Die Stromschiene und weitere stromführende Bauteile sollen immer kompakter und leichter werden (**Bild 1**). Dazu müssen die Einleger näher zusammenrücken. Gleichzeitig steigen aufgrund höherer Motorleistungen die Stromstärken, die die Hybridbauteile bewältigen müssen. Das stellt die Konstrukteure vor neue dringende Herausforderungen, etwa im Hinblick auf die Wärmeausdehnung der tragenden Kunststoffe.

Unterschiedliche Wärmeausdehnung

Während die Wärmeausdehnung von Metallen wie Kupfer oder Aluminium im festen Zustand linear verläuft, ist dies bei Kunststoffen wie PPS ohne angepasste Zusammensetzung nicht der Fall. Im Vergleich zu Werkstoffen wie Polybutylenterephthalat (PBT) oder Polyamid (PA) ist die Wärmeausdehnung zwar deutlich ähnlicher als die von Metall. Dennoch



In Umrichtern für Elektroautos stecken Hybridbauteile aus Metall und Kunststoff (mit blauem Pfeil gekennzeichnet). Die unterschiedliche Wärmeausdehnung der beiden Werkstoffe macht eine verlässliche Konstruktion schwierig (© Toray)

schumpft herkömmliches PPS bei Minustemperaturen stärker als beispielsweise Kupfer und tendiert dazu, auf das Metall im Inneren aufzuschrumpfen. Dadurch kommt es zu Spannungen im Kunststoff, die wiederum zu Rissen führen können. Auch zu hohe Temperaturen sind problematisch: Die Glasübergangstemperatur von PPS liegt bei rund 90 °C, darüber steigt die Wärmeausdehnung stärker an. Kritisch ist bei umspritzten Metall-

einlegern jedoch eher die Abkühlung der Bauteile.

Der Konstrukteur muss beides einkalkulieren und einen sinnvollen Kompromiss finden. Diese Strategie umfasst die Wahl des richtigen Kunststoffs, eine sichere Auslegung des Bauteils, etwa bezüglich der Dicke des Kunststoffmantels, sowie einen passenden Prozess zum Umspritzen des Metalls. Dabei müssen die Bindenähte so liegen, dass sie später

bei starken Temperaturänderungen und Belastungen nicht zur Schwachstelle werden.

Viele dieser Probleme sind aufgrund fehlender Labortests ungelöst. Einen Anfang macht nun der japanische Materialspezialist Toray Industries Inc., Tokio: Das Unternehmen entwickelte Prüfkörper, die im Labor Temperaturwechseln ausgesetzt werden, um den Alterungsprozess im Zeitraffer nachzubilden. Diese Tests sollen so verfeinert werden, dass sie Konstrukteuren belastbare Hinweise geben, wie sie Bauteile aus Metall und PPS entwerfen und produzieren müssen.

Konkret hat Toray zwei Prüfkörper unterschiedlicher Größe entwickelt (**Bild 2**). Der eine ist quadratisch, mit einer Kantenlänge von 50 mm und einer Höhe von 30 mm. Der Anspritzpunkt des Kunststoffes befindet sich oben in der Mitte. Ein zweiter Prüfkörper ist etwas länger und besitzt zwei Bohrungen. Der Anspritzpunkt befindet sich hier an der Seite. Beide Prüfkörper gibt es in zwei Varianten, mit unterschiedlich dicken PPS-Schichten von 1,5 mm und 0,6 mm. Sie umhüllen jeweils einen Block aus massivem Metall. Es können verschiedene Materialien als Einleger untersucht werden.

Zwei Prüfkörper mit unterschiedlichen Voraussetzungen

Die beiden unterschiedlichen Prüfkörper sollen etwas über den Einfluss der Anspritzpunkte und die daraus resultierende Zahl und Lage der Bindenähte aussagen. Beim ersten Prüfkörper entstehen keine Bindenähte, weil der Kunststoff von oben zentral auf das Metall gespritzt wird und gleichmäßig um dieses herumfließt. Anders beim zweiten Prüfkörper: Durch das seitliche Einspritzen und die beiden Bohrungen entstehen zwangsläufig Bindenähte, weil der Kunststoff um die Bohrungen herum und dahinter wieder zusammenfließen muss.

Mit dem zweiten Prüfkörper soll untersucht werden, was in komplex geformten Bauteilen geschieht, die mit mehreren Anspritzpunkten gefertigt werden und bei denen der flüssige Kunststoff etliche Bindenähte bildet. Solche Bauteile werden an Bedeutung gewinnen, weil die Konstrukteure versuchen, materialsparender und damit leichter zu bauen. Ein Beispiel: Stromschienen mit drei Kupfereinlegern für die drei Phasen werden

immer komplexer (**Bild 1**). Durch eine mehrfache Umlenkung der Kupfereinleger und diverser Anschraubpunkte entstehen immer mehr Bindenähte, die im Einsatz mögliche Schwachstellen sein können. Daher ist es umso wichtiger, die richtige Materialauswahl zu treffen und einen Kunststoff wie PPS mit möglichst geringer Wärmeausdehnung zu wählen.

Umfangreiche Tests geben Anhaltspunkte

Zahlreiche Temperaturwechseltests wurden mit diesen Prüfkörpern ausgeführt und deren mechanische Eigenschaften anschließend beurteilt (**Bild 3**). Der Test wurde solange wiederholt, bis der Prüfkörper erste Spuren von Rissen aufwies. Ein Temperaturzyklus dauert zwei Stunden und startet bei -40°C . Innerhalb von 15 min steigt die Temperatur auf $+130^{\circ}\text{C}$ und hält diese konstant für 45 min. Anschließend fällt die Temperatur innerhalb von 30 min wieder auf -40°C . Diese Temperatur wird weitere 30 min gehalten, bevor ein neuer Zyklus startet.

Ziel des Testverfahrens war es, Aussagen zu treffen sowohl über geeignete PPS-Compounds als auch über Prozessparameter beim Umspritzen, die möglichst unempfindlich sind gegen zyklische Temperaturveränderungen. Die Tests ebenso wie entsprechende Simulationen identifizierten Bereiche wie Ecken und Kanten oder auch Bindenähte als neuralgische Stellen an den Prüfkörpern. Die Spannungen sind hier besonders hoch. So kam es beim ersten Prüfkörper zu einem Riss von einer Ecke hin zur Mitte.

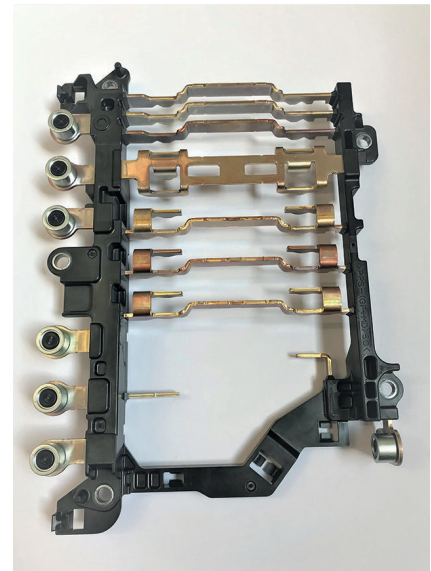


Bild 1. In dieser komplex geformten Hochvolt-schiene für Elektrofahrzeuge wurden Kupfereinleger mit PPS umspritzt. Durch die vielen Einleger und diversen Anschraubpunkte entstehen Bindenähte, die bei Temperaturwechseln Schwachstellen sind (© Toray)

Allerdings betrug die PPS-Wanddicke hier nur 0,6 mm. Beim zweiten Prüfkörper mit derselben Wanddicke entstand ein Riss entlang einer Bindenah, ausgehend von einer der Bohrungen. Auch hier zeigte die Simulation höhere Spannungen um die Bohrung.

Große Unterschiede ergaben sich bei der Wahl der PPS-Compounds (**Bild 4**). Während zum Beispiel das Compound A575W20B von Toray bei Prüfkörper zwei nur 15 Temperaturwechselzyklen überstand, schaffte das Compound A675GS1B des gleichen Herstellers »

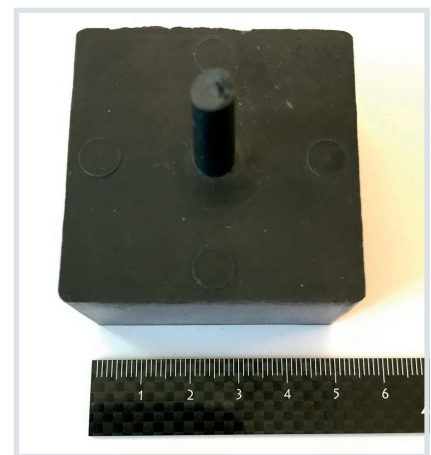
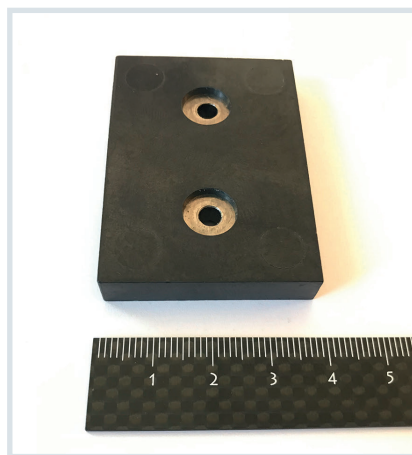


Bild 2. Die zwei für die Temperaturwechseltests entwickelten Prüfkörper aus Metalleinleger und Kunststoff. Die Version links: seitlich angespritzt und dezidiert mit Bindenähten, rechts: von oben angespritzt und ohne Bindenähte (© Toray)

ganze 100 Zyklen. Dieses Compound profitiert von einer ausgewogenen Mischung aus Glasfasern und Mineralfüllstoffen mit einem Anteil von insgesamt 50 %. Simulationen zeigen, dass ein hoher Anteil an Fasern allein eher negative Ergebnisse bringt. Ein rein glasfaserverstärktes Material (z. B. PPS GF40) hat eine viel ausgeprägtere Wärmeausdehnung in und quer zur Faserorientierung als beispielsweise ein modifiziertes PPS. Die darin enthaltenen Mineral- und Elastomerfüllstoffe wirken sich positiv auf die unterschiedliche Wärmeausdehnung im Material aus.

Fazit und Ausblick

Kein Compound zeigte für alle Prüfkörpervarianten optimale Ergebnisse. Welches Compound man einsetzen sollte, hängt sehr davon ab, um welches Bauteil es sich handelt. Es macht einen erheblichen Unterschied, wie viele Anspritzpunkte und Bindenähte ein Bauteil enthält. Je größer die Komplexität des Bauteils, desto wichtiger die richtige Materialauswahl. Toray hat umfangreiche Tests mit unterschiedlichen Compounds durchgeführt und diese nach sechs Eigenschaften bewertet: Der Zahl der Temperaturwechselzyklen ohne Bindenähte bei PPS-Dicke 0,6 mm, der Zahl der Temperaturwechselzyklen mit Bindenähten bei PPS-Dicke 1,5 mm, nach Fließfähigkeit, Zugfestigkeit, Stärke der Bindenäht und Formstabilität. Jedes Compound zeigte innerhalb dieser Dimensionen unterschiedliche Stärken und sollte passend zur jeweiligen Anwendung gewählt wer-

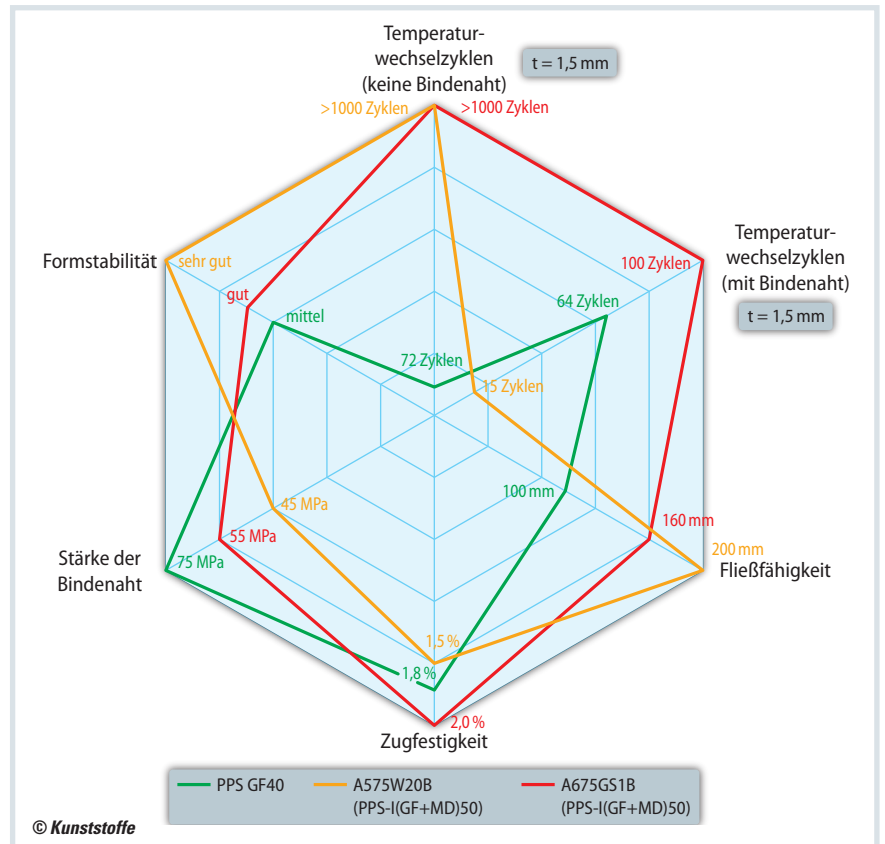


Bild 3. Das thermische Eigenschaftsportfolio der untersuchten Kunststoffe im Überblick: Kein Compound zeigt perfekte Ergebnisse, aber Typ A675GS1B schneidet in allen Dimensionen zumindest gut, in manchen auch sehr gut ab (Quelle: Toray)

den. Dennoch hat sich mit A675GS1B eine Mischung herauskristallisiert, die in allen Dimensionen zumindest gute, in manchen auch sehr gute Ergebnisse liefert. Ausgehend von diesem Compound wird Toray weitere angepasste Varianten vorstellen.

Für Toray liefern die beschriebenen Tests erste wichtige Hinweise, wie sich un-

terschiedliche PPS-Compounds beim Umspritzen von Metallprüfkörpern im Labor verhalten. Um klare Aussagen zur Serienfertigung und zur Lebensdauer geben zu können, sind jedoch erst weitere Tests und verfeinerte Methoden notwendig. Diese wird Toray in einem nächsten Schritt mit Partnern aus der Forschung und Industrie entwickeln. ■

Der Autor

René Krämer ist seit 2017 Business Development Manager und bei Toray Resins Europe in Neu-Isenburg tätig; kraemer@toray-resins.eu

Service

Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-09

English Version

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

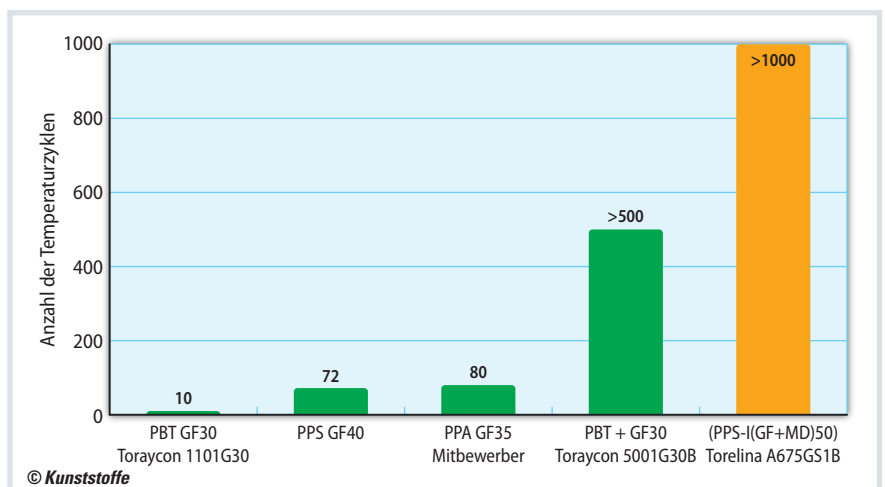


Bild 4. Überstandene Temperaturzyklen verschiedener Compounds bis zum Rissbeginn. Dabei wurde jeweils die thermische Ausdehnung beurteilt (Quelle: Toray)