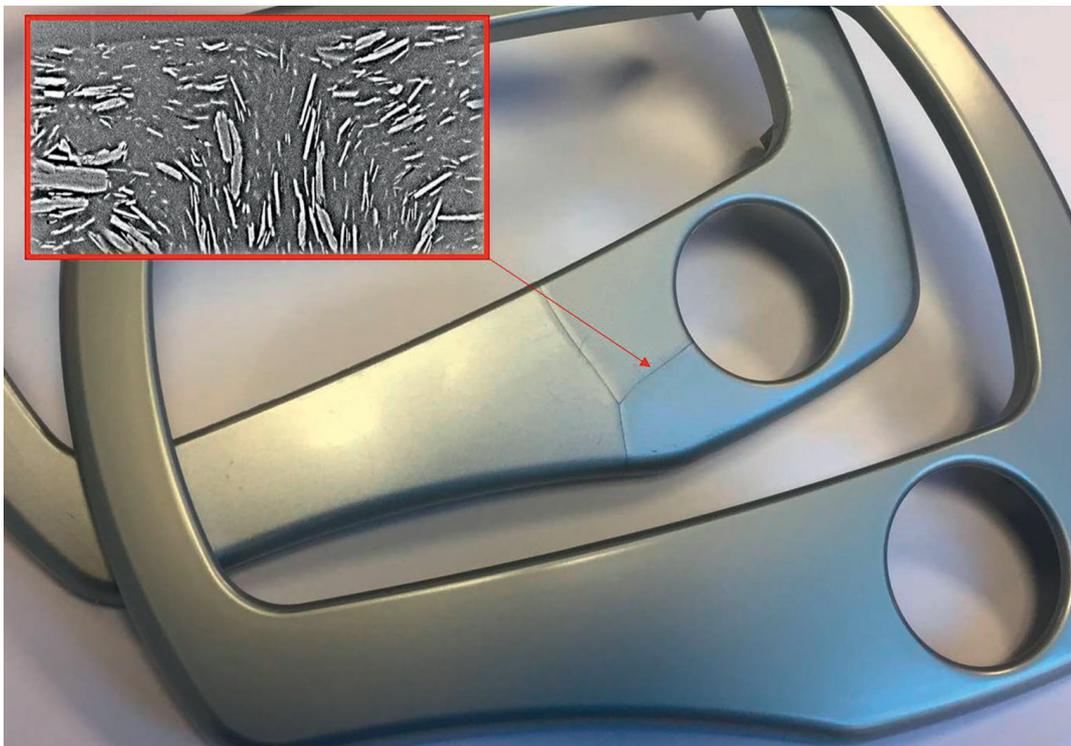


Eine Frage der Orientierung

Über den Einfluss wärmeleitfähiger Füllstoffe auf die Bindenahtfestigkeit

Die gezielte Integration wärmeleitfähiger Kunststoffe in Baugruppen bietet enorme Vorteile in puncto Designfreiheit und technische Funktionalität. Werden bereits in der Produktentwicklungsphase die Weichen gestellt, kann die Anwendung das vollständige Potenzial dieser Werkstoffe nutzen. Hierzu gehört auch die Auslegung des Formteils in Bezug auf die Entstehung von Bindenähten. Das zum Einsatz kommende Material entscheidet über die Auswirkung auf die Bindenahtfestigkeit.



Orientierung des Füllstoffs Bornitrid im Bereich der Bindenaht auf der Blende eines Navigationsgeräts (© KI Lüdenscheid)

Beim Einsatz wärmeleitfähiger Kunststoffe in Baugruppen muss es Ziel sein, die Möglichkeiten dieser Materialien mit Blick auf eine intelligente Funktionsintegration voll auszuschöpfen. Dabei ist es für viele Anwendungen im Elektroniksegment von Bedeutung, dass wärmeleitfähige Kunststoffe gleichzeitig elektrisch isolierend sind. Um den Vorteil dieser Werkstoffe nutzen zu können, ist für viele Anwendungen jedoch ein Umdenken im Bereich der herkömmlichen Bauteilentwicklung erforderlich. Eine „Eins-zu-eins“-Substitution herkömmlicher Kühlkörper-

materialien aus metallischen Werkstoffen ist in vielen Fällen aus Kostengründen nicht sinnvoll. Vielmehr geht es darum, den Systemgedanken in den Vordergrund zu stellen, indem z.B. ein Kunststoffgehäuse direkt leitfähig ausgestattet wird, sodass der Einsatz eines Kühlelements entfallen und die Wärme direkt über das Gehäuse abgeleitet werden kann. Des Weiteren können geschickt gewählte Produktionsverfahren Kosten und Ressourcen in erheblichem Umfang sparen. Ein Beispiel ist die Fertigung einer elektronischen Baugruppe durch direktes Umspritzen.

Priorität in der Formteilauslegung

Durch den Einsatz wärmeleitfähiger Kunststoffe treten vermehrt anwendungstechnische Fragestellungen zur Verarbeitung solcher Materialien in den Vordergrund. Innerhalb eines Verbundprojekts am Kunststoff-Institut Lüdenscheid (Thema: „Wärmeleitfähige Kunststoffe 2“) wurde unter anderem der Einfluss wärmeleitfähiger Kunststoffe auf die Bindenahtfestigkeit untersucht.

Im Zuge der Produktentwicklung und somit auch der kunststoffgerechten »

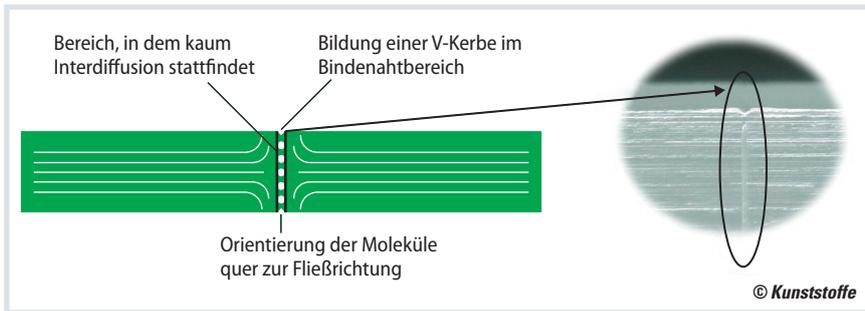
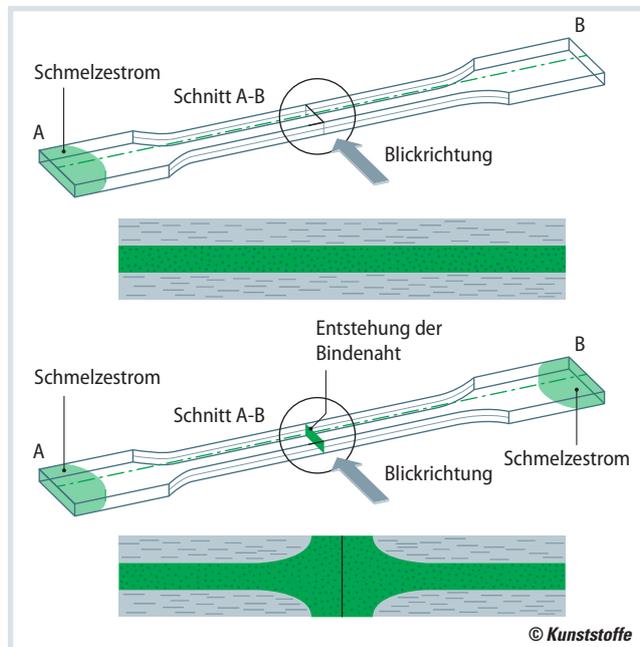


Bild 1. Wie sich die Entstehung einer Bindenaht auf das Materialgefüge auswirkt (Quelle: [1], TU Chemnitz)

Bild 2. Bei einseitiger Anspritzung sind die Fasern in der Randschicht in Fließrichtung orientiert (oben). Eine beidseitige Anspritzung (unten) bedeutet, dass sich die Fasern im Bindenahtbereich quer zur Fließrichtung orientieren (Quelle: KI Lüdenscheid)



Formteilauslegung muss die Entstehung von Bindenähten bzw. Fließnähten berücksichtigt werden. Bindenähte entstehen im Bauteil immer dann, wenn zwei Fließfronten aufeinandertreffen. Die häufigsten Ursachen für die Entstehung von Bindenähten sind

- die Trennung der Fließfront durch Fließhindernisse,
- Durchbrüche,
- Wanddickensprünge sowie
- die damit verbundene Wiedervereinigung im weiteren Fließfrontverlauf.

Bindenähte sind in der Regel unerwünschte Nebeneffekte in der Formteilauslegung, weil sie im Bauteil partiell zu mechanischen und optischen Schwachstellen führen. Demzufolge lautet die oberste Priorität in der Formteilauslegung, Bindenähte zu vermeiden oder in mechanisch unkritische Bauteilbereiche zu verlegen.

Nicht immer lassen sich Bindenähte vermeiden, sodass die Materialfestigkeit in diesen Bereichen zu bewerten ist. Der Grund, warum die Festigkeit im Zentrum

der Bindenaht eingeschränkt wird, ist die mangelnde Interdiffusion der Makromoleküle im Bereich der Schmelzefront. Die Makromoleküle orientieren sich in der Bindenaht quer zur Fließrichtung, und an der Bauteiloberfläche entsteht eine sogenannte V-Kerbe (**Bild 1**).

In der Bindenaht wird die Faserorientierung unterbrochen

Enthält eine Kunststoffschmelze Füllstoffe, verteilen sich diese gemäß der Quellströmung im Werkzeug. Betrachtet man die Bindenaht in einem Zugstab, so werden anisotrope Füllstoffe (Fasern) quer zur Fließrichtung ausgerichtet, sodass sie beim Entstehen der Bindenaht in Zugrichtung keinen festigkeitssteigernden Effekt ermöglichen. Die Randschichten mit längsorientierten Fasern, die maßgeblich zur Festigkeitssteigerung beitragen, werden im Bereich der Bindenaht unterbrochen und wie im Kern quer zur Fließrichtung orientiert (**Bild 2**).

Bei einseitiger Anspritzung entsteht eine durchgehend orientierte Randschicht in Fließrichtung, die die Festigkeit im Bauteil erhöht. Durch den Einfluss der Bindenaht erfolgt im Zentrum des Zugstabs eine Querorientierung der Faser, die die Festigkeit verringert.

Der Vergleich eines ungefüllten Polyamids 66 mit zwei glasfaserverstärkten PA-66-Materialien veranschaulicht den Unterschied im Festigkeitsverlust der Bindenaht (**Bild 3**). Es wird deutlich, dass die Glasfaser hinsichtlich der Zugfestigkeit im Bindenahtbereich keine signifikante Wirkung zeigt. Der Verstärkungsstoff erhöht die Zugfestigkeit nur, wenn er in Richtung der Längsachse (Zug) orientiert ist.

Unterschiede bei wärmeleitfähigen Füllstoffen

Wärmeleitfähige Füllstoffe weisen je nach Geometrie stark richtungsabhängige Eigenschaften oder auch isotrope Eigenschaften auf. Diese werden sowohl in den mechanischen Kennwerten als auch in der Wärmeleitfähigkeit sichtbar. Ein wärmeleitfähiges Bornitrid-Plättchen (mit richtungsabhängigen Eigenschaften) kann in einer Kunststoffmatrix schon bei einem Füllgrad von 30 Gew.-% die Wärmeleitfähigkeit in Orientierungsrichtung auf 3 W/mK erhöhen. Die Zugfestigkeit wird gegenüber dem Ausgangsmaterial um ca. 15 % reduziert.

Aluminiumoxid als Füllstoff besitzt in der Regel eher sphärische isotrope Eigenschaften. Somit wird die Wärmeleitfähigkeit bei ca. 60 Gew.-% Füllstoffanteil auf 1,5 W/mK erhöht. Gleichzeitig wird die Zugfestigkeit gegenüber dem ungefüllten Ausgangsmaterial gesteigert.

Eine Versuchsreihe sollte Aufschluss darüber geben, wie die Geometrie des wärmeleitfähigen Füllstoffs die mechanischen Eigenschaften im Hinblick auf die Bindenahtfestigkeit beeinflusst. Für die Untersuchungen wurden zwei unterschiedliche Füllstoffsysteme bewertet. Bei dem ersten Füllstoffsystem handelt es sich um ein Aluminiumoxid mit überwiegend sphärischen isotropen Eigenschaften, bei dem zweiten um stark anisotrope Plättchen auf Basis von hexagonalem Bornitrid.

Beide Füllstoffsysteme wurden im Compoundierprozess in ein PA66 eingearbeitet. Für die Untersuchungen wurden im Spritzgießprozess Zugstäbe nach

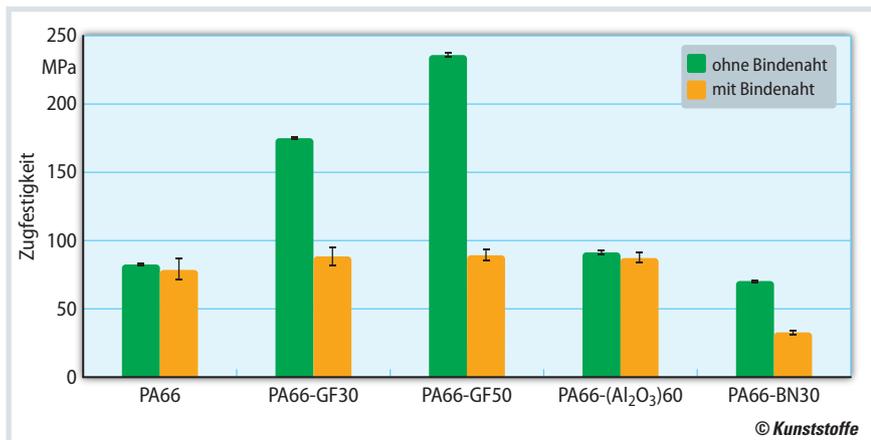


Bild 3. Einfluss der Bindenahtfestigkeit bei wärmeleitfähigen Polyamiden im Vergleich zu glasfaserverstärkten Materialien. Wärmeleitfähige Füllstoffe wirken sich je nach Geometrie unterschiedlich aus (Quelle: KI Lüdenschaid)

DIN EN 527 des Typs 1A verwendet, die über einen Filmanguss angebunden waren. Bei der Herstellung der Zugstäbe mit Bindenaht wurde der Zugstab beidseitig angespritzt, sodass durch eine gleichmäßige Formfüllung die Fließfronten zentral in der Mitte des Zugstabs zusammenfließen konnten.

Die Ergebnisse der Zugfestigkeitsuntersuchungen zeigen, dass der isotrope Füllstoff des Aluminiumoxids auch bei hohen Füllgraden (60 Gew.-%) die Bindenahtfestigkeit kaum beeinflusst. Bei dem mit anisotropem Bornitrid gefüllten Material wirkt sich schon ein niedriger Füllgrad (30 Gew.-%) stark auf die Bindenahtfestigkeit aus, ähnlich wie bei dem glasfasergefüllten PA 66 (Bild 3).

Betrachtet man die Gefüge im Querschnitt im oberflächennahen Bereich mit-

hilfe einer REM-Analyse der beiden Materialien, so lässt sich im Bindenahtbereich des mit Aluminiumoxid gefüllten Materials keine Änderung der Orientierung erkennen. In der Bindenaht des mit Bornitrid gefüllten Materials ist hingegen eine veränderte Orientierung deutlich sichtbar. Durch das Zusammenströmen der Schmelze richten sich die Plättchen im Bindenahtbereich quer zur Fließrichtung aus (Bild 4). Die Längsausrichtung der Plättchen in den Randbereichen wird durch die Strömungsgegebenheiten im Bindenahtbereich unterbrochen, sodass die Festigkeit stark beeinflusst wird.

Fazit

Je nachdem, welches wärmeleitfähige Füllstoffsystem Verwendung findet, muss

der Konstrukteur in der formteilgerechten Gestaltung ein Augenmerk auf die Entstehung von Bindenähten legen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, wie sich eine veränderte Orientierung im Bindenahtbereich auf die Wärmeleitpfade auswirkt. Ein Bornitrid-Plättchen hat in Orientierungsrichtung der hexagonalen Struktur eine um über 300 W/mK höhere Wärmeleitfähigkeit als quer zur Orientierungsrichtung. In der Formteilauslegung sollte demnach auch das Wärmeableitungsverhalten in diesem Bereich berücksichtigt werden.

Quer orientierte Partikel in einer Bindenaht stellen eine Wärmestrombarriere dar, sodass die Wärmespreizung in diesen Bereichen unterbunden werden kann. Allerdings wird die Wärmeleitfähigkeit durch die Materialebene hindurch positiv beeinflusst, sodass eine bessere Wärmeableitung durch die Bauteilwand in diesen Bereichen zu erwarten ist. ■

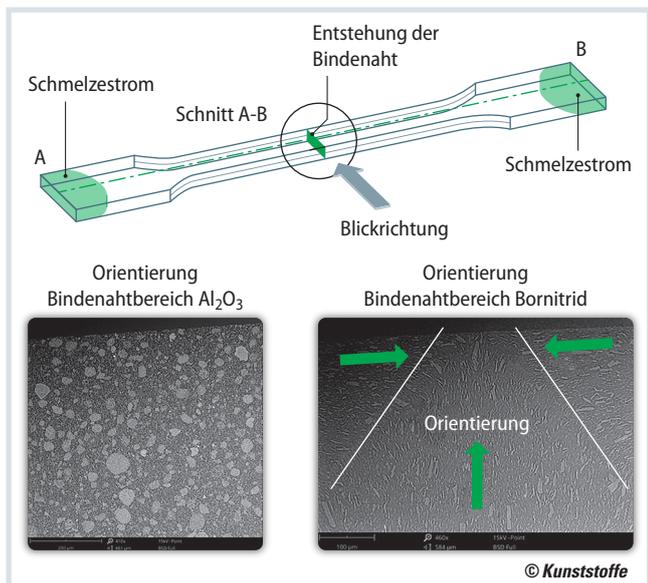


Bild 4. REM-Untersuchung der Füllstofforientierung in den Bindenahtbereichen Al₂O₃ (links) und Bornitrid (rechts). Die BN-Plättchen richten sich im Bindenahtbereich quer zur Fließrichtung aus

(Quelle: KI Lüdenschaid)

Der Autor

Thies Falko Pithan, B. Eng., ist seit 2013 am Kunststoff-Institut Lüdenschaid als Projektingenieur im Bereich Werkstofftechnik/Neue Materialien verantwortlich für die Materialentwicklung; pithan@kunststoff-institut.de

Neues Verbundprojekt

Im November 2019 hat das Kunststoff-Institut Lüdenschaid ein neues Verbundprojekt mit dem Titel „Wärmeleitfähige Kunststoffe 3“ gestartet. Das Projekt beinhaltet zum einen die Auswirkungen von Flammenschutzmodifizierungen auf die thermischen und mechanischen Eigenschaften. Zum anderen soll das Spritzgießen von 2K-Thermoplast/Thermoplast-Verbindungen im Hinblick auf wärmeleitfähige Kunststoffe untersucht werden.

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-12

English Version

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