

Sortentrennung in der Zentrifuge

Fliehkraft zieht Thermoplastschmelze aus Werkstoffverbunden

Werner Hoffmanns, Wolfgang Diegmann, Frank Adam und Rüdiger Tiedeck, Wuppertal

Verbundwerkstoffe kombinieren die Eigenschaften verschiedener Materialien und erfüllen so Anforderungen, die einzelne Werkstoffe nicht erbringen können. Die Wirtschaftlichkeit dieser Lösungen sorgt für zunehmenden Einsatz der Verbunde. Bei Kunststoffverbunden ist ein stoffliches Recycling bisher nicht möglich, weil die Werkstoffe adhäsiv oder formschlüssig fest miteinander verbunden und daher nicht ohne weiteres separierbar sind.

Formschlüssig verbundene Werkstoffe zu zerkleinern und über die Dichte zu trennen, führt immer zu einem Restgehalt des einen Werkstoffs im anderen. Dies setzt die Reinheit und die mechanischen Eigenschaften der Produkte herab. Adhäsiv verbundene Werkstoffe entziehen sich dieser Aufbereitungsart gänzlich. Ein neues Verfahren lässt erstmals zu, thermoplastische Verbundkomponenten einzeln und stofflich rein für

eine Wiederverarbeitung zurückzugewinnen [1].

Verbundprodukte entziehen sich bisher einem werkstofflichen Recycling, da sich die Einzelkomponenten nur schwer voneinander trennen lassen. Ein neues Verfahren ermöglicht es jetzt, Thermoplaste aus Werkstoffverbunden sortenrein zurückzugewinnen. In einer Zentrifuge wird dabei der Verbund unter Einwirkung von Wärme einer starken radialen Beschleunigung ausgesetzt, die zur Abtrennung der geschmolzenen Bestandteile führt.

eine Wiederverarbeitung zurückzugewinnen [1].

Trennung über die Schmelze

Verbunde aus Kunststoffen mit unterschiedlicher Schmelztemperatur werden dabei einer Temperatur ausgesetzt, die der Schmelztemperatur der niedrigst schmelzenden Komponente entspricht. Diese wird fließfähig, während die restlichen Komponenten fest bleiben. Die hohe Viskosität hindert die Schmelze jedoch weitgehend daran, unter Einwirkung der Erdbeschleunigung aus dem Verbund herauszufließen. Die treibende Kraft muss vielfach größer sein.

Im Rahmen einer bei Delphi Automotive Systems Deutschland GmbH, Wuppertal, durchgeführten Diplomarbeit [2] wurde als Prototyp eine Zentrifuge (Bild 1) erstellt, in welcher der zu trennende Verbund unter Einwirkung von

Wärme einer radial wirkenden Beschleunigung von bis zu 1350 g ausgesetzt wird. Durch die Lochung des Zentrifugenmantels schleudert die dabei entstehende Schmelze ab, während die noch festen Bestandteile des Verbundes zurückgehalten werden. Sind diese ebenfalls Thermoplaste, so kann mit Erhöhung der Temperatur die nächste Komponente abgetrennt werden. Dies geschieht stufenweise mit allen thermoplastischen Komponenten, bis nicht schmelzende Anteile wie Metalle, elastomere und duroplastische Bestandteile zurückbleiben.

Versuchsergebnisse

Die Trennfähigkeit des Systems wurde mit formschlüssig verbundenen Komponenten (Kabelsatzsteckern) und adhäsiv verbundenen Komponenten (Mehrkomponentengehäusen und Pkw-Säulenver-

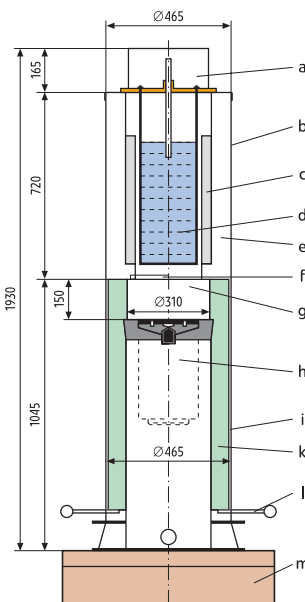


Bild 1. Trennzentrifuge für Verbundteile mit thermoplastischen Kunststoffen.
links: Prototyp, rechts: schematische Darstellung [2] mit Hauptmaßen in mm, a: Klemmkasten Beheizung, b: schwenkbare Oberteil, c: Warmgas-Rückführungsringkanal, d: Heizspiralen, e: Ringraum zur Aufnahme des Materialauffangzylinders, f: Thermoelement, g: Zentrifugenkorb, h: Antriebsmotor, i: stationäres Unterteil, k: höhenverschiebbarer Materialauffangzylinder mit vier Auffangringen, l: Höhenverstellmechanismus für Auffangzylinder, m: Transportpalette

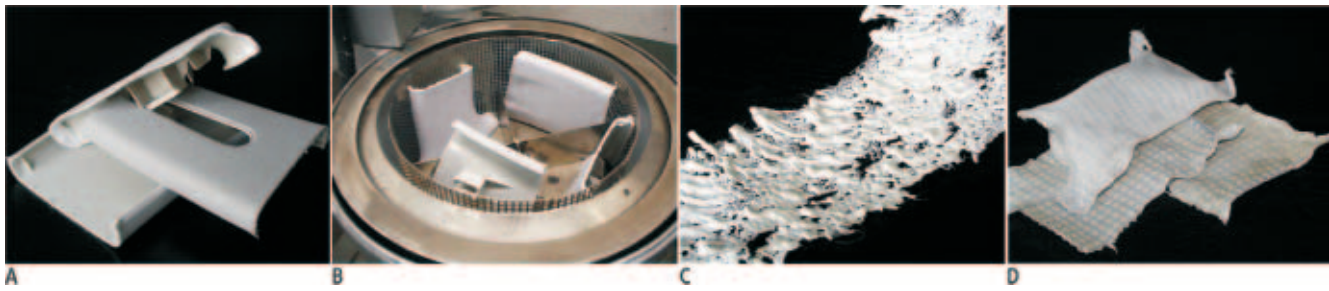


Bild 2. Trennung von adhäsiv verbundenen Komponenten. A: Ausgangsmaterial Pkw-Säulenverkleidungsabschnitte aus PA/PETP-Gewebe mit PP-Hinterspritzung, B: Blick in die geöffnete Zentrifuge mit eingefüllten Pkw-Säulenverkleidungsstücken, C: separiertes PP, das zur Weiterverarbeitung noch zu granulieren ist, D: zurückgehaltenes Gewebe der Verbundbauteile

kleidungen) getestet. Die Trennfähigkeit des Systems zeigt Bild 2 am Beispiel einer Pkw-Säulenverkleidung aus hinter-spritztem Gewebe. Die aufgefangene und erstarrte Schmelze ist nach Granulierung mit üblichen Kunststoffverarbeitungs- verfahren zu neuen Produkten ver- arbeitbar.

Ein weiteres Beispiel für die Trennfähigkeit des Systems zeigt Bild 3. Hier wurden Steckergehäuse aus adhäsiv verbundenem PA 6 und PA 66 in ihre Ausgangsmaterialien zerlegt. Verfärbungen des Polyamids sind auf den Sauerstoffgehalt des Warmgases zurückzuführen. Da das Material unter thermischer Belastung teilweise sehr fein ausgezogen wird und so große Oberflächen bildet, bewirkt der Sauerstoff der Luft bei empfindlichen Materialien eine Schädigung des Werkstoffs. Dies kann durch eine Inertgasatmosphäre im Gerät verhindert werden, wie orientierende Versuche im Rahmen einer Diplomarbeit [3] zeigten.

Es stellte sich heraus, dass das Abscheidungsverhalten teilkristalliner und amorpher Kunststoffe erheblich voneinander abweicht, aber mit geeigneten Prozessparametern beherrschbar ist [4, 5, 6]. Mit teilkristallinen Thermoplasten werden gute Ergebnisse erzielt, da diese bis zu ihrem Schmelzpunkt durch die Kristallite eine ausreichend hohe Rest-Reißfestigkeit aufweisen. Diese Reißfestigkeit geht sprunghaft gegen Null, wenn sich die Kristallite beim Übergang in die Schmelze auflösen. Bei amorphen Thermoplasten fällt die Reißfestigkeit dagegen im Bereich der Glas- temperatur drastisch ab. Danach erfolgt über den gesamten thermoelastischen Bereich ein allmähliches stetiges Absinken bis auf Null im Fließtemperaturbereich, der den Übergang in die Schmelze kennzeichnet.

Die Zentrifugendrehzahl muss daher bei teilkristallinen Kunststoffen so ein-

gestellt werden, dass im Werkstoff eine Spannung erzeugt wird, die kleiner als die Restreißfestigkeit ist. Teilkristalline Kunststoffe werden dadurch erst bei Überschreiten der Kristallitschmelztemperatur abgetrennt. Dagegen scheiden sich amorphe Kunststoffe bei allen Zentrifugendrehzahlen auch unterhalb des Fließtemperaturbereichs ab, weil sich mit steigender Temperatur die Reißfestigkeit des Materials verringert. Damit besteht, obwohl unterschiedliche Schmelztemperaturen bzw. Fließtemperaturbereiche vorliegen, die Gefahr der gleichzeitigen Abscheidung verschiedener amorpher Kunststoffe. Diese Erscheinung gefährdet das Ziel der fraktionierten Abscheidung. Es war daher erforder-

lich, für die in Frage kommenden amorphen Kunststoffe in der Temperatur-Drehzahl-Ebene das Feld zu bestimmen, das die Abscheidungsparameter umreißt. Dies erfolgte bisher für die Werkstoffe PS, PC und PMMA. Ein Übereinanderlegen dieser Felder (Bild 4) zeigt nun am Beispiel der Werkstoffe PC und PS, welche Prozessparameter gewählt werden müssen, um trotz der beschriebenen Schwierigkeiten zu einer getrennten und sortenreinen Abscheidung zu kommen. Geeignete Parameter liegen innerhalb des eingekreisten Bereichs vor. Damit zeigt sich die Methode der Stofftrennung über die Schmelze als gangbarer Weg beim Recycling von Verbundprodukten, die thermoplastische Komponenten enthalten.

Wirtschaftlichkeit

Der Aufwand an elektrischer Energie für die Trennung der Verbunde ist dabei vergleichsweise niedrig gegenüber der Herstellung neuer Kunststoffe. Er beträgt etwa 1,3 kWh/kg [7]. Unter Berücksichtigung eines erforderlichen Handlings erhöht sich dieser Wert auf etwa 4 kWh/kg. Die Kosten für die Primärenergie betragen damit für PA nur etwa 15 % der Kosten für den Neuwerkstoff (Bild 5). Hinzu kommen geringe Kosten für die Granulierung. Dieser Vergleich ist zulässig, da die ursprünglichen Produkte aus dem zurück gewonnenen Werkstoff erneut gefertigt werden können.

Fazit und Ausblick

Die bisherigen Arbeiten zeigen, dass mit dem Prototypen das Recycling von bisher nicht trennbaren thermoplastischen Verbundwerkstoffen in vielen Bereichen möglich ist. Allerdings haben die Arbeiten [4, 5, 6, 8] auch gezeigt, dass zur Beherrschung des Verfahrens in weiteren

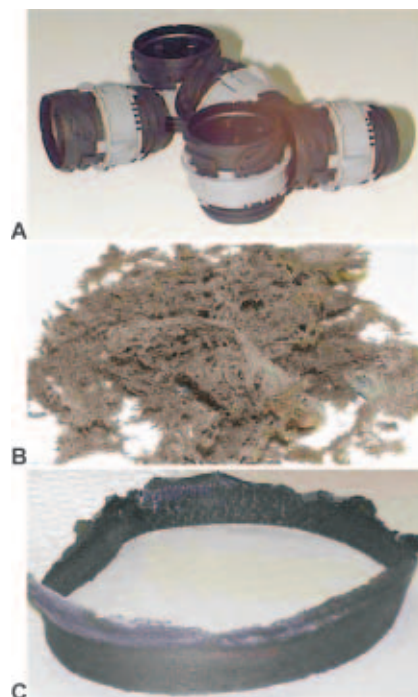


Bild 3. Recycling von formschlüssig verbundenen Komponenten. A: Ausgangsmaterial Steckergehäuse aus PA 6 (grau) und PA 66 (schwarz), B: abgetrenntes PA 6, C: abgetrenntes PA 66

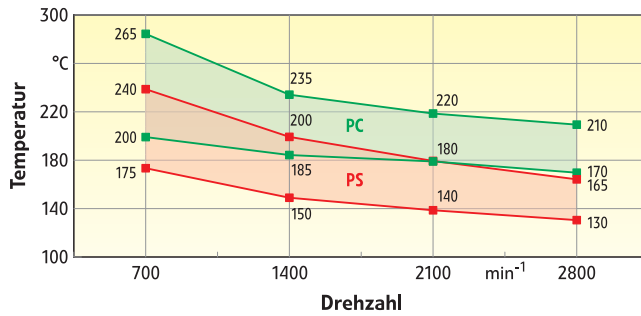
gezielten Untersuchungen die geeigneten Prozessparameter für die Vielzahl bekannter und verwendeter Kunststoffe ermittelt werden müssen.

Der zur Verfügung stehende Prototyp arbeitet diskontinuierlich und erlaubt die stufenweise Abtrennung bei bis zu vier einstellbaren Schmelztemperaturen.

sich die Zahl der Temperaturstufen und damit auch der Komponenten im zu trennenden Gemisch beliebig einstellen lässt.

Höher oder nicht schmelzende Anteile im Gemisch können das Abfließen geschmolzener Bestandteile behindern oder sogar verhindern, wenn sie sich

Bild 4. Bereiche für das Abschleudern von PS und PC im Temperatur-Trommeldrehzahl-Feld



Nicht immer kann dabei die am besten geeignete Temperatur eingestellt werden, da Zuschlag- und Verstärkungsstoffe Verschiebungen der Schmelztemperatur bewirken. Es ist daher zweckmäßig, einen kontinuierlichen und beobachtbaren Austrag zu realisieren, um so eine geeignete Temperatur einstellen und so lange halten zu können, bis die jeweils schmelzende Komponente ausgetragen worden ist. Vorteilhaft ist dabei, dass

zwischen der Schmelze und dem äußeren Siebmantel der Zentrifuge befinden. Die Beladung der Zentrifugentrommel muss daher laufend umgewälzt werden, um so alle Bestandteile im Verlauf des Zentrifugierens an den Außenrand des Zentrifugenraums zu verlagern. Eine im Rahmen einer Diplomarbeit [9] durchgeführte Studie zeigt, dass dies möglich ist. Die hierbei erzielten Erkenntnisse liegen einer Patentanmeldung [10] zugrunde.

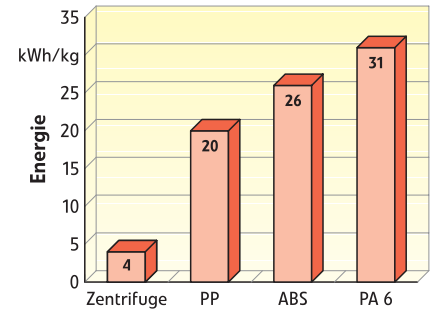


Bild 5. Primärenergieverbrauch bei der Rückgewinnung von Kunststoff mit der Trennzentrifuge im Vergleich zur Herstellung verschiedener Kunststoffe [6]

Literatur

Das Literaturverzeichnis kann unter www.hoffmanns-langenfeld.de/Recycling abgerufen werden.

Die Autoren dieses Beitrags

Prof. Dr.-Ing. Werner Hoffmanns ist an der Bergischen Universität GH Wuppertal Professor für Kunststoffverarbeitung und -anwendung im Fachbereich Maschinentechnik.
 Kontakt: werner@hoffmanns-langenfeld.de
 Dipl.-Ing. Wolfgang Diegmann, Dipl.-Phys. Frank Adam und Dipl.-Ing. Rüdiger Tiedeck sind bei Delphi Deutschland GmbH, Wuppertal, im Customer Technology Center tätig.