

Compoundmaterialien für Brennstoffzellen

Spritzgießen von Graphit-Compounds zu elektrisch leitfähigen Artikeln



Dipl.-Ing. Can Kreuz, Zentrum für Brennstoffzellentechnik

Moderne Materialien und Werkstoffe zur Anwendung in Technik, Elektrotechnik oder Elektrochemie erfordern oftmals elektrische und/oder thermische Leitfähigkeit, hohe chemische Beständigkeit bei gleichzeitig geringen Rohstoffkosten. Graphite können unter diesen Voraussetzungen ihre ausgezeichneten Materialeigenschaften ausspielen. Dem steht aber ihre aufwändige Verarbeitung gegenüber. Graphitartikel werden vornehmlich mittels Heißpressverfahren hergestellt, die im Anschluss spannend zu bearbeiten sind, um die gewünschte Artikelendform zu erhalten. Jedoch sind Graphitartikel sehr spröde – jedem ist die Brüchigkeit einer Bleistiftmine bekannt – was ihr Einsatzgebiet darüber hinaus beschränkt.

Eine Möglichkeit, die positiven Eigenschaften von Graphit zu nutzen und gleichzeitig die Verarbeitbarkeit zu komplex strukturierten Artikeln zu ermöglichen, liegt in der Nutzung von Graphit-Compounds (Kunststoff-Feststoff-Gemische), die sich ähnlich wie ein reiner Kunststoff verarbeiten lassen. In der Kunststoffindustrie ist die Verwendung von Compounds zur Beeinflussung der Materialeigenschaften seit langem bekannt. So lassen sich z.B. durch Zugabe von Talkum oder Glasfasern in die Kunststoffschmelze, die Warmformbeständigkeit und die mechanischen Materialkennwerte der Artikel steigern. Ebenso werden speziell abgestimmte Hochleitfähigkeitsruße in den Kunststoff

eingearbeitet, um diesem antistatische Eigenschaften zu verleihen, dies wird insbesondere für Verpackungsfolien der Mikroelektronik und Chip-Industrie benötigt. In diesen Anwendungen ist der Feststoffpartikelanteil jedoch selten höher als 30-50 %, weswegen diese Compounds in der Verarbeitbarkeit dem reinen Kunststoff ähneln und sehr leicht mit den gleichen Verfahren verarbeitet werden können.

Bei hochleitfähigen Graphit-Compounds liegen die notwendigen Feststofffüllgrade im Compound jedoch mit Werten von über 70-80% erheblich höher. Es geht demnach hierbei nicht um die Verarbeitung von Kunststoff mit Feststoffpartikelzusatz,

sondern vielmehr um Graphit mit einem Kunststoffzusatz als Binde- und Fließmittel. Um die Notwendigkeit des sehr hohen Graphitanteils darzulegen, dient das Diagramm des volumenspezifischen Durchgangswiderstands eines Compounds über den Graphit-Füllgrad (Abb. 1).

Es ist gut zu erkennen, dass zum Erreichen möglichst geringer elektrischer Widerstände im Bereich von 10^0 - 10^{-1} Ωcm (volumenspezifischer Widerstand) der Graphit-Füllgrad Werte von über 70% annehmen muss.

Diese geringen Widerstände sind zum Beispiel für die Anwendung als Bipolarplatten-Material in Brennstoffzellen Voraussetzung, um einen effizienten Betrieb der Zelle zu gewährleisten. Die Abbildung 2 zeigt die Anordnung und den Aufbau einer Brennstoffzelle.

Bipolarplatten sind die elektrisch leitfähigen Kontaktplatten zwischen den einzelnen Zellen eines Brennstoffzellen-Stapels (engl. Stack) und haben hierbei eine Vielzahl von Funktionen zu erfüllen: Durch die Bipolarplatten werden die beiden Reaktionsgase (Wasserstoff und Luft-Sauerstoff) an die einzelnen, reaktiven Zellen geleitet und dort über die Fläche der katalysatorbeschichteten Polymermembran (MEA), an der die eigentliche chemische Reaktion abläuft, verteilt. Die Bipolarplatten trennen hierbei die Reaktionsgase voneinander sowie nach außen und leiten die bei der chemischen Reaktion entstehenden Elektronen senkrecht durch die Platte zur Nachbarzelle. Zudem muss die entstehende Prozesswärme über die Bipolarplatten zu einem Kühlmedium geleitet werden. Die gesamte mechanische Verspannung einer Brennstoffzelle wird über die Bipolarplatten durch den Stack geleitet, was bei einer Kontaktflächenanpressung von 15-25 bar eine beachtliche Verspannungskraft ausmacht.

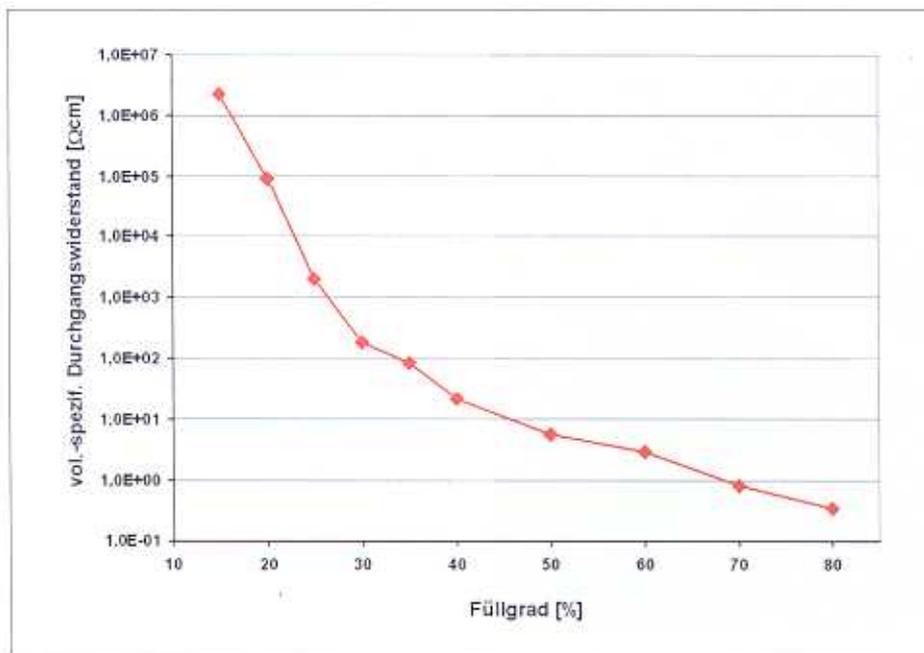


Abb. 1: Volumenspezifischer Durchgangswiderstand einer Compoundprobe in Abhängigkeit vom Graphit-Füllgrad

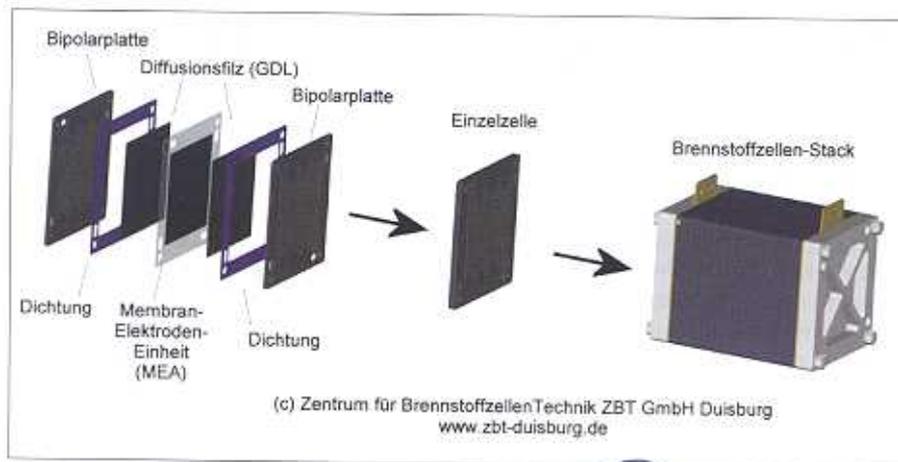


Abb. 2: Aufbau eines Brennstoffzellen-Stapels (Stack)

All diese Forderungen an die Bipolarplatte und deren Material hinsichtlich elektrischer und thermischer Leitfähigkeit, Gasdichtigkeit und mechanischer Stabilität müssen unter Brennstoffzellen-Betriebsbedingungen erfüllt werden. Dazu zählen Betriebstemperaturen von 60–80 °C, ein stetig anliegendes elektrisches Potential von 0,5–1,0 V, eine sehr feuchte Umgebung mit deionisiertem Wasser und bedingt durch den sauren Charakter der Membran ein pH-Wert von etwa 1–2. Alternativwerkstoffe wie Stähle und Stahllegierungen können diesen Umgebungsbedingungen ohne aufwändige Beschichtung nur kurzfristig widerstehen, bevor es zu Korrosion und membranschädigender Ionenauslösung kommt. Graphitische Compounds bestehen die Anforderungen der Brennstoffzellentechnik und hatten bisher lediglich in der aufwändigen Verarbeitung einen Nachteil.

Seit mehreren Jahren arbeitet das Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT) gemeinsam mit der Universität Duisburg-Essen erfolgreich an der spritzgusstechnischen Verarbeitung von Graphit-Compounds zu Bipolarplatten. Neben der Materialentwicklung wurde der Herstellungsprozess so weit optimiert, dass derzeit bis zu 200 Bipolar-Halbplatten pro Stunde hergestellt werden können (entspricht einer Zykluszeit von 18 Sek. pro Halbplatte). Die hierbei verwendeten Graphit-Compounds werden in einem Doppelschneckenextruder hergestellt und haben, je nach Füllstoffzusammensetzung, Rohstoffpreise von 5–10 €/kg. Die eigene Compoundierung der Rohstoffe ermöglicht es dabei, das Compound-Material dem späteren Verarbeitungsprozess sowie dem zu produzierenden Artikel anzupassen und zu optimieren. Der Spritzgussprozess hochgefüllter Graphit-Compounds setzt dabei höhere Anforderungen an die Verarbeitungsmaschinen als im Kunststoffspritzguss bekannt. Neben hohen Einspritzdrücken von mehr als 3.000 bar sind ebenso hohe Einspritzgeschwindigkeiten erforderlich, um eine Formfüllung zu erreichen. Dieses hängt mit der im Vergleich zu reinen Kunststoffen sehr hohen Wärmeleitfähigkeit und der demzufolge sehr kurzen Erstarrungszeit des Graphit-Compounds zusammen. Vor diesem Hintergrund wird klar, dass die erreichbaren Fließweglängen und damit die Artikelgrößen dieser Compounds nicht mit denen reiner Kunststoffe zu vergleichen sind. Den-

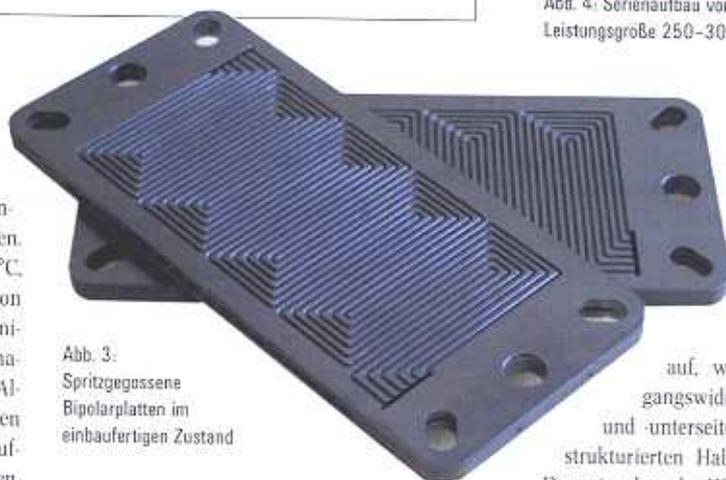


Abb. 3: Spritzgegossene Bipolarplatten im einbaufertigen Zustand

noch ist es gelungen, dünne, beidseitig strukturierte Bipolar-Halbplatten mit allen Funktionsklüchern und Durchführungen spritzgusstechnisch herzustellen (siehe Abb. 3).

Aus diesen spritzgegossenen Bipolarplatten wurden bisher schon mehrere Dutzend Brennstoffzellen aufgebaut (siehe Abb. 4) und diese wiederum erfolgreich in verschiedenen Applikationen vom Stromgenerator bis zum Elektroroller eingesetzt.

Neben der im Spritzgussverfahren einfachen, kostengünstigen und massenproduktionsgeeigneten Verarbeitung der Bipolarplatten, weisen diese Compound-Artikel weitere und für die Anwendung sehr vorteilhafte Eigenschaften auf. Wie im Querschnitt einer Bipolarplatte (Abb. 5) ersichtlich, lassen sich feine dreidimensionale Strukturen abbilden, die hierbei verschiedene Funktionen wie z. B. die Reaktionsgas- oder Kühlmediumsführung und die Dichtungsaufnahme gewährleisten.

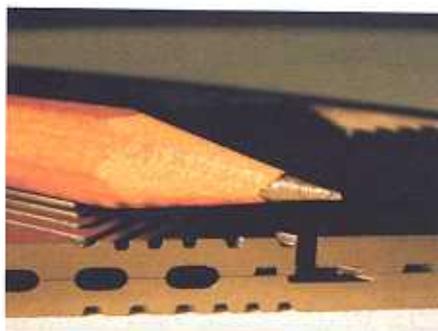


Abb. 5: Querschnitt durch eine spritzgegossene Bipolarplatte, bestehend aus zwei Halbplatten



Abb. 4: Serienaufbau von Brennstoffzellenstacks der Leistungsgröße 250–300 W

Die abgebildete Bipolarplatteneinheit weist senkrecht zur Plattenebene einen volumenspezifischen Durchgangswiderstand von ca. 110 mΩcm (entspricht einem elektrischen Leitwert von 9–10 S/cm) auf, wobei die drei Kontaktübergangswiderstände an der Plattenober- und -unterseite sowie zwischen den beiden strukturierten Halbplatten berücksichtigt sind. Der rein ohmsche Widerstand des Materials – bezogen auf das Volumen – liegt bei Werten von lediglich 8,5–14 mΩcm (Leitwerte: 70–120 S/cm).

Besonders vor dem Hintergrund, dass es sich hierbei um ein spritzgießbares, gleichzeitig elektrisch hochleitfähiges und chemisch inertes Compoundmaterial handelt, sind über die Verwendung in der Brennstoffzellentechnik hinaus eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für dieses Material und die auf Massenproduktion ausgelegte Verarbeitungstechnologie vorstellbar. Bei elektrischen Verbindungen, die eine große Kontaktfläche bieten und kurze elektrische Wege zu überbrücken haben, können diese Compounds selbst zu komplexeren und bis zu einem gewissen Grad auch mikrostrukturellen Artikeln verarbeitet werden. Die Größe der zu verarbeitenden Graphitpartikel setzt dabei im Wesentlichen die Grenze des mikrostrukturell Machbaren. Ebenso ist der in der Kunststoffindustrie übliche Mehrkomponenten-Spritzguss denkbar, um die Eigenschaften verschiedener spritzgießfähiger Materialien vorteilhaft in nur einem Bauteil zu integrieren.

KONTAKT:

Dipl.-Ing. Can Kreuz
ZBT gGmbH Duisburg
Zentrum für Brennstoffzellentechnik
Tel.: 0203/7598-4285
Fax: 0203/7598-2222
c.kreuz@zbt-duisburg.de
www.zbt-duisburg.de