



Kunststoff und Metall im festen Verbund

Verbindungstechnik für Kunststoff-Metall-Hybridstrukturen

*Ulrich Endemann, Stefan Glaser
und Martin Völker, Ludwigshafen*

Das Kragenfügen ist eine neue Technik zum Verbinden von Kunststoff und Metallblech. Sie eröffnet neue Möglichkeiten in der Hybridbauweise. Die Verbindung ist verblüffend einfach, zuverlässig, sehr preiswert und bietet gute mechanische Eigenschaften.

Sowohl in der Automobilindustrie als auch in anderen Branchen führt die Forderung nach Leichtbau und Wirtschaftlichkeit zur Entwicklung von Hybridbauteilen, bei denen zwei oder mehrere Werkstoffe kombiniert sind. Hybridbauteile haben Eigenschaften, die ein einzelner Werkstoff in der Regel nicht bieten kann.

Bei Kunststoff-Metall-Hybridstrukturen kann die Verbindung zwischen Kunststoff und Metall grundsätzlich auf zwei Arten hergestellt werden: durch Anspritzen des Kunststoffs an das Metallblech im Spritzgießprozess (In-Mould Assembly, IMA) oder durch Zusammenfügen einer Kunststoff- und einer Metallstruktur (Post Moulding Assembly, PMA).

Beim IMA wird das fertig geformte Blech in das Spritzgießwerkzeug eingelegt und an diskreten Stellen mit der angespritzten Kunststoffstruktur form-

schlüssig verbunden. Am Ende des Spritzgießzyklus kann das Hybridbauteil aus dem Werkzeug entnommen werden [1, 2].

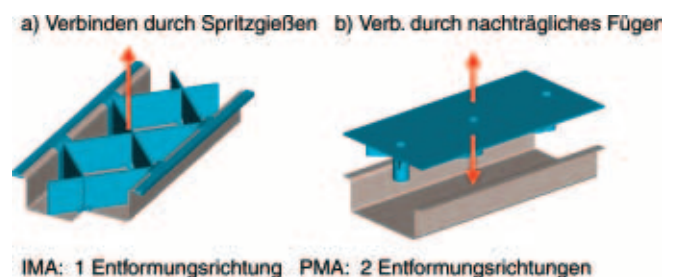
Bei der PMA-Technik hingegen werden Blech- und Kunststoffteil separat hergestellt. Nach dem Spritzgießen des Kunststoffteils muss dieses in einem folgenden Arbeitsschritt mit dem Blechteil verbunden werden. Dies erscheint zunächst als nachteilig, da es einen zusätzlichen Arbeitsschritt bedeutet. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass das

PMA gegenüber dem IMA deutliche Vorteile aufweist.

Vorteile des Post Moulding Assembly

Bei der Gestaltung des Kunststoff- und des Blechteils hat der Konstrukteur eine deutlich größere Gestaltungsfreiheit. Das PMA ermöglicht so eine beanspruchungsgerechte Konstruktion, die sich mit dem IMA nicht realisieren lässt.

Bild 1. Entformungsmöglichkeiten beim In-Mould Assembly (IMA) und beim Post Moulding Assembly (PMA)



- ▶ Die höhere Gestaltungsfreiheit ermöglicht außerdem eine bessere Funktionsintegration.
- ▶ Die Blechstruktur kann beim PMA mit größeren Blechdickentoleranzen hergestellt werden, da das Blech nicht im Spritzgießwerkzeug abgedichtet werden muss.
- ▶ Das Spritzgießwerkzeug kann beim PMA bezüglich Aufbau und Toleranzen einfacher ausgeführt werden.
- ▶ Die Zykluszeit zur Herstellung eines Hybridbauteils ist beim PMA kürzer, wenn der Montagevorgang weniger Zeit als das Spritzgießen des Kunststoffteils erfordert.
- ▶ Der durch die Verarbeitungsschwindigkeit des Kunststoffs beim IMA verursachte Bimetall-Effekt (Verzug) tritt beim PMA nicht auf.

Von besonderer Bedeutung ist die größere Gestaltungsfreiheit beim PMA:

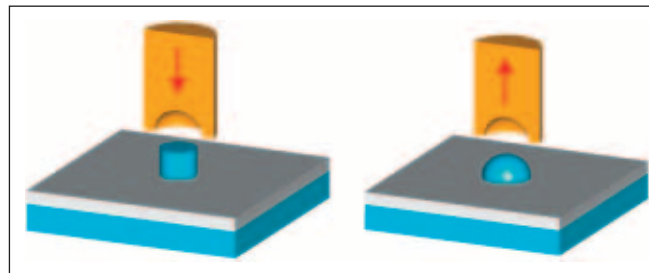


Bild 3. Verbinden von Kunststoff und Metallblech durch Heißnieten

bauweise übergegangen wird (Bild 2 rechts).

Es zeigt sich somit, dass das PMA dem IMA technisch überlegen ist. Darüber hinaus ergeben sich aus den oben aufgeführten Vorteilen Kosteneinsparpotenziale beim PMA. Ob ein Kunststoff-Metall-Hybridbauteil nach dem PMA aber günstiger hergestellt werden kann, hängt wesentlich von der Art der verwendeten Verbindungstechnik ab.

satzteile auskommen. Die letztgenannten Verbindungstechniken sind meist wirtschaftlicher und werden daher bevorzugt eingesetzt, sofern sie in der Lage sind, die mechanischen Anforderungen zu erfüllen [2].

Auf separate Verbindungselemente können z. B. Nietverfahren verzichten, bei denen ein angespritzter Kunststoffstift so umgeformt wird, dass ein Formschluss entsteht (Formung eines Nietkopfes, Bild 3). Zur Nietkopfformung muss der Kunststoff lokal erweicht werden, was bevorzugt durch heißes Gas erfolgt.

Unabhängig von der Art der Nietkopfformung hat dieses Verfahren mehrere Nachteile:

- ▶ Es wird Energie zur Erweichung des Kunststoffs benötigt.
- ▶ Die Positionen der Kunststoffstifte und der zugehörigen Bohrungen im Metallblech müssen genau zusammenpassen. Dies wird durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Kunststoff und Metall sowie durch Verzug des Kunststoffteils erschwert. Als Folge müssen die Bohrungsdurchmesser auch bei relativ kleinen Bauteilen meist größer als die Stiftdurchmesser ausgeführt werden.
- ▶ Die Verbindung garantiert keine dauerhafte Vorspannung, sondern kann sich z. B. beim Durchfahren von Temperaturzyklen lockern.

Neben diesem Nietverfahren gibt es weitere Möglichkeiten, Kunststoff und

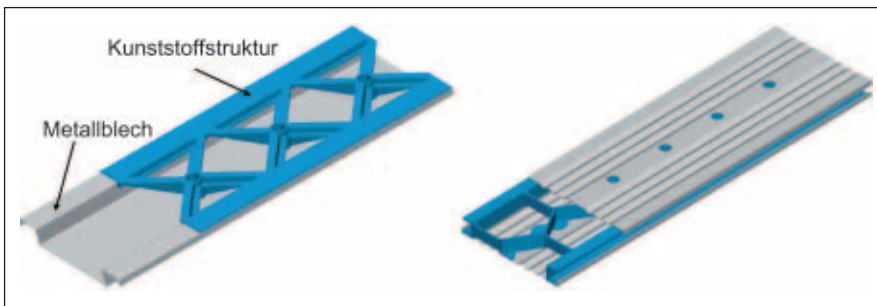


Bild 2. Beanspruchungsgerecht optimierte Kunststoff-Metall-Hybridstruktur: Die Herstellung ist nur mit PMA, nicht mit IMA möglich (Konzept der BASF AG)

Wie Bild 1 zeigt, kann ein separat hergestelltes Kunststoffteil in mindestens zwei Richtungen entformt werden, während beim IMA die Entformungsmöglichkeiten durch das Blech eingeschränkt sind.

Die beim PMA gegebene zusätzliche Entformungsrichtung erlaubt es z. B., Material an solchen Stellen einzusparen, die mechanisch nur gering belastet sind. Zusätzlich werden beim PMA quer zur Hauptentformungsrichtung verlaufende Rippen realisierbar (Bild 2 links). Ohne derartige Versteifungen neigen die Hauptrippen unter Belastung oft zu Instabilität (Ausknicken). Aufgrund der größeren Gestaltungsfreiheit können daher mit dem PMA die gleichen mechanischen Eigenschaften bei geringeren Bauteilabmessungen und geringerem Bauteilgewicht erreicht werden. Dies gilt besonders dann, wenn von der bekannten U-Form des Metallblechs [3, 4] abgewichen und auf eine Sandwich-

Mechanische Verbindungstechniken (PMA)

Für das Verbinden einer Kunststoffstruktur mit einem Metallblech nach dem Spritzgießprozess kommen unterschiedliche Verfahren in Betracht. Dabei kann grundsätzlich unterschieden werden zwischen Verbindungstechniken, die ein separates Verbindungselement erfordern (z. B. Blindnieten, Stanznieten und Schrauben) und solchen, die ohne Zu-

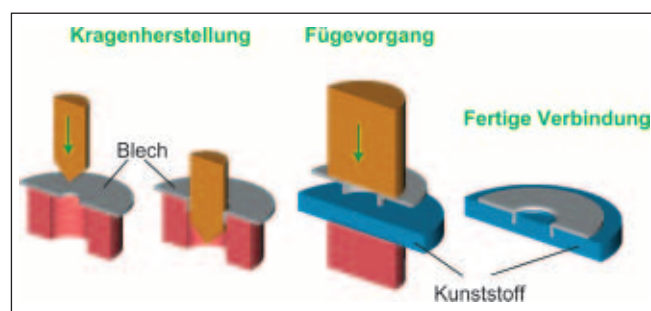


Bild 4. Schematische Darstellung der Prozessschritte des Kragenfügens

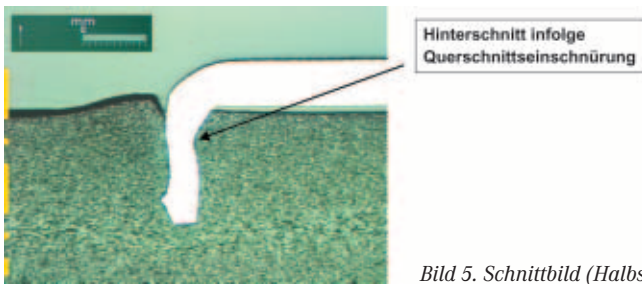


Bild 5. Schnittbild (Halbschnitt) eines Kragens

Metallblech zu verbinden, ohne dass ein separates Fügeelement benötigt wird (z. B. Bördeln).

Neue Verbindungstechnik: Kragenfügen

Eine völlig neue Verbindungstechnik für Kunststoff und Metallblech hat die BASF AG, Ludwigshafen, entwickelt. Diese Verbindungstechnik wird Kragenfügen (Collar Joining) genannt. Sie ist verblüffend einfach und preiswert und inzwischen so weit entwickelt, dass sie zum praktischen Einsatz kommen kann.

Das Verfahren besteht im Wesentlichen aus drei Schritten (Bild 4): zunächst wird in dem Metallblech eine Bohrung hergestellt, dann an dieser Stelle mit Hilfe eines Stempels ein so genannter Kragen in das Blech gezogen, der schließlich im dritten Schritt direkt in die Wand eines Kunststoffteils eingepresset wird. Aufgrund der speziellen Form des Kragens ergibt sich auf diese Weise ein fester formschlüssiger Verbund zwischen Metallblech und Kunststoff.

Wesentliche Voraussetzung für den festen Verbund ist das Vorhandensein eines Formschlusses. Dieser lässt sich z. B. durch die gezielte Herstellung einer Rille außen am Kragen erreichen. Diese Rille ist entweder eine Folge des Kragenziehens (Querschnittseinschnürung; Bild 5) oder wird mit Hilfe einer entspre-

chend geformten Matrize vor dem Kragenziehen in das Blech eingeprägt. Aber auch an der Kragenstirnseite lässt sich durch eine geeignete Prozessführung ein Hinterschnitt erzeugen.

Die Technik ist toleranzunempfindlich hinsichtlich der Position der Verbindungspunkte (keine Vorbereitung des Kunststoffteils erforderlich!) und kann

nig Platz in Anspruch und bieten andererseits eine hohe Festigkeit. Bild 7 zeigt die Festigkeit einer Verbindung mit 5 mm Kragendurchmesser bei kombinierten Normal- und Scherbelastungen. Die Auszugsfestigkeit beträgt ca. 520 N und die Scherfestigkeit ca. 1700 N.

Versuche belegen, dass weder eine thermisch forcierte Relaxation von Eigenspannungen noch oszillierende Belastungen zu einer Lockerung der Verbindung führen (Bild 8). Dies lässt sich durch den Formschluss erklären, der eine Art Verkrallung des Kragens im Kunststoff bewirkt.

Das Einpressen der Kragen in den Kunststoff kann entweder mit Hilfe eines Roboters oder mittels einer konventionellen Presse erfolgen. Als Presse kann prinzipiell auch die Spritzgießmaschine

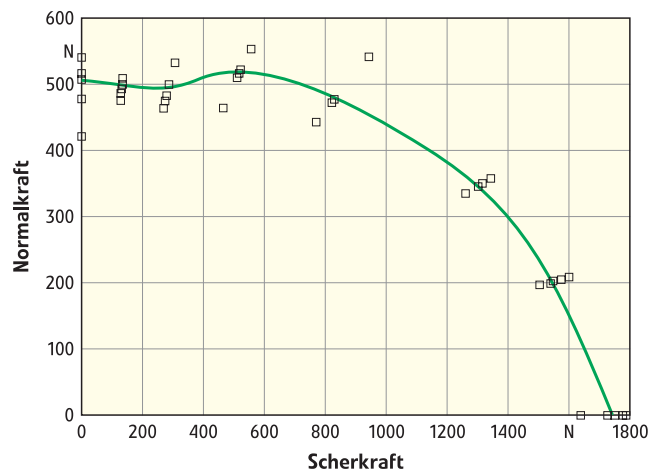


Bild 7. Festigkeit von Verbindungspunkten (Kragenfügen) bei Normal- und Scherbelastung eines Metall-PA-Verbunds

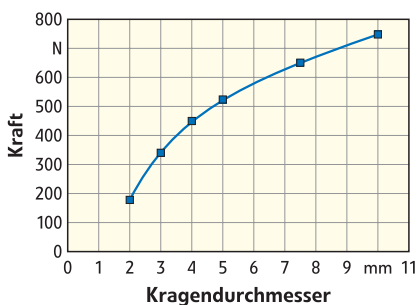


Bild 6. Auszugsfestigkeit eines Verbindungspunktes als Funktion des Kragendurchmessers in einem Metall-PA-Verbund

sowohl für unverstärkte wie für verstärkte Thermoplaste eingesetzt werden. Das Einpressen der Kragen in den Kunststoff erfolgt in der Regel bei Raumtemperatur. Eine Wärmezufuhr ist auch bei glasfaserverstärkten Werkstoffen nicht erforderlich. Durch das Einpressen der Metallkragen wird der Kunststoff plastisch verformt, ohne dass es in ihm dabei zu Rissbildungen kommt. Eine auf dem Metallblech eventuell vorhandene KTL-Schicht wird durch den Fügeprozess nicht beschädigt.

Der Kragendurchmesser liegt im Bereich von ca. 2 bis 10 mm. Die Auszugsfestigkeit ist in Bild 6 dargestellt (Einzelverbindungspunkt zwischen dem Stahlblech ZSTE 340 (0,8 mm dick) und PA6-GF30 Typ Ultramid B3WG6, luftfeucht bei 23 °C). Als sehr günstig hat sich ein Durchmesser von 4 bis 5 mm erwiesen. Derartige Kragen nehmen einerseits we-

verwendet werden. Dabei ist es von Vorteil, dass das Kunststoffteil durch eine Werkzeughälfte optimal für den Fügevorgang abgestützt werden kann. Nachteilig ist die Zykluszeitverlängerung, die durch den sequenziellen Ablauf von Spritzgießen und Fügen bedingt ist.

Kragenfügen im Vergleich mit anderen Fügeverfahren

Im Vergleich zum oben beschriebenen Heißenieten zeichnet sich das Kragenfügen unter vergleichbaren Randbedingungen durch folgende Eigenschaften aus: schnellere und kostengünstigere Herstellung der Verbindung, gleiche oder höhere Festigkeit und geringere Toleranzempfindlichkeit. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Verbindungspunkte beim Kragenfügen eine spielfreie Verbindung gewährleisten,

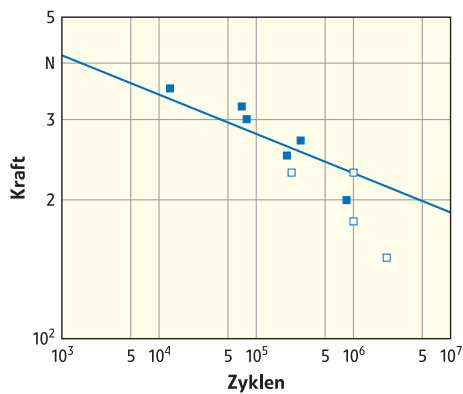


Bild 8. Wöhlerkurve eines Verbindungspunktes für den Zugschwellbereich

eine relative Bewegung der verbundenen Teile zueinander also verhindert wird.

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich verschiedener mechanischer Fügeverfahren. Die mit dem Kragenfügen erreichten Festigkeiten sind hierbei als günstig (Scherbelastung) bis mittel (Normalbelastung) angegeben.

Ausblick

Das Kragenfügen eröffnet völlig neue Möglichkeiten in der Kunststoff-Metall-Verbundbauweise. Diese innovative Verbindungstechnik macht es jetzt möglich, die konstruktiven Vorteile der PMA-Technik voll auszuschöpfen. Aufgrund der hohen Festigkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der Verbindung ist die Technologie auch für mechanisch hoch belastete Strukturbauteile bestens

geeignet. Hierzu gehören z. B. Frontends, Querträger, Fahrzeugsitze und Heckklappen in der Automobilindustrie, aber auch Strukturbauteile in anderen Branchen, z. B. in „Weißer Ware“ (Waschmaschinen, Trockner usw.). Für viele Bauteile ergeben sich durch das Kragenfügen ganz neue Perspektiven.

Literatur

- 1 Goldbach, H.; Hoffner, J.: Hybridbauteil in der Serienfertigung. Anwendungstechnische Information der Bayer AG, Leverkusen 2000
- 2 Op de Laak, M; Pötsch, G.; Schwitzer, K.: Kunststoff-Metall-Hybride. Kunststoffe 91 (2001) 9, S. 112–118
- 3 Lutter, F.; Münker, M.; Wanders, M.: Rechnen bis zum Versagen. Kunststoffe 92 (2002) 1, S. 62–65
- 4 Zhao, G.; Ehrenstein, G. W.: Kunststoff-Metall-Hybridstrukturen. Vortrag, Erlanger Kunststofftage 2001, Erlangen 2001

Die Autoren dieses Beitrags

Dr.-Ing. Ulrich Endemann, geb. 1959, ist bei der BASF AG, Ludwigshafen, Leiter der Anwendungsforschung Hybridbauteile in der Geschäftseinheit Engineering Plastics Europe.

Kontakt: ulrich.endemann@basf-ag.de

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Stefan Glaser, geb. 1961, ist bei der BASF AG, Ludwigshafen, Leiter der CAE-Methodenentwicklung der Anwendungsforschung in der Geschäftseinheit Engineering Plastics Europe.

Dipl.-Ing. Martin Völker, geb. 1961, ist bei der BASF AG, Ludwigshafen, in der Anwendungsforschung Hybridbauteile der Geschäftseinheit Engineering Plastics Europe tätig.

	Stanznieten	Blindnieten	Schrauben	Schnappen	Heißnieten	Kragenfügen
Festigkeit	+	+	+	o	o	o / +
Spelfreiheit	+	+	+	o	-	+
Wiedermontage	-	-	+	+	-	-
Toleranzanforderungen	+	-	-	o	-	+
Fertigungszeit	+	+	+	+	-	+
Kosten	-	-	-	+	o	+
	+ günstig		o mittel		- ungünstig	

Tabelle 1. Vergleich verschiedener mechanischer Fügeverfahren