

Setzeffekte in Hybridbauteilen verhindern

Oberflächenstruktur sorgt für sichere Verankerung von Gewindeeinlegern in Organoblechen

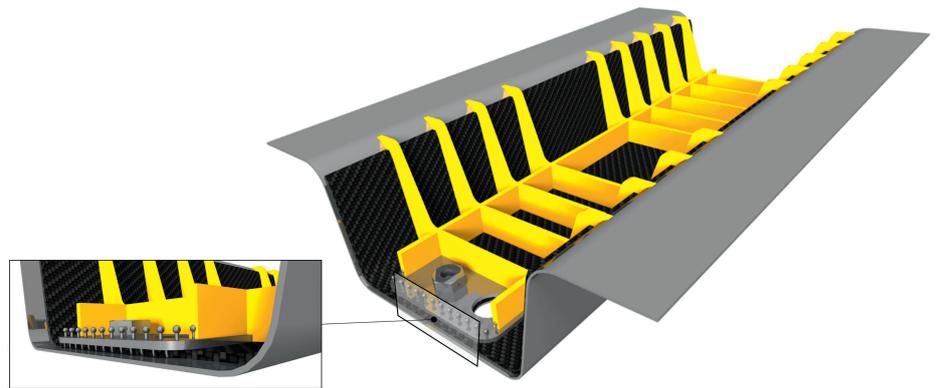
Gewindeeinsätze sorgen für eine sichere Anbindung von Hybridbauteilen. Bei Langzeitbelastung kann es bei Thermoplasten allerdings aufgrund von Druck und Temperatur zu Setzeffekten kommen, wodurch eine beständige Verschraubung nicht mehr gewährleistet ist. Verhindern lassen sich solche Setzeffekte durch Gewindeeinsätze mit einer speziellen Oberflächenstruktur.

Konventionelle Leichtbauarten stoßen in Volumenmärkten wie der Automobilindustrie an ihre Grenzen. Um dennoch ökonomisch sinnvolle Gewichtseinsparungen erzielen zu können, rückt der funktionale Leichtbau durch Multimaterialbauweise, sogenannte Hybridbauteile aus Metallen und Kunststoffen, in den Vordergrund. Der Vorteil dabei besteht in der Möglichkeit, durch Material- und Verfahrenskombination Verbesserungen, z.B. die Integration von Funktionen oder die Schaffung von Anbindungspunkten, umzusetzen. Durch die Kombination von metallischen Werkstoffen mit Kunststoffen sind jedoch aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften veränderte Befestigungskonzepte für die Anbindung von Anbauteilen notwendig.

Mit der Hybridbauweise lässt sich das Gewicht von Bauteilen reduzieren, die Bauteilperformance durch Funktionsintegration verbessern, der Produktionsprozess optimieren und die Wirtschaftlichkeit von Großserien erhöhen [1, 2]. Die Umsetzung einer hybriden Bauweise bei strukturelevanten Bauteilen im Fahrzeugbau kann in zwei grundlegende Prinzipien unterteilt werden [3]:

- komplexe Spritzgussbauteile mit hohem Formfreiheitsgrad und integrierten Lasteinleitungselementen, sogenannten Inserts oder Onserts, sowie Versteifungen wie Profile und Sickenbleche aus Metallen;
- flächige Schalenkonstruktionen auf Basis von Metallblechen oder endlosfaserverstärkten Kunststoffhalbzeugen (Laminat).

Ergänzend dazu werden Funktionselemente wie Gewindeeinleger und Strukturen wie z.B. Rippen oder Klipse in Form von faserverstärkten Kunststoffen über Guss- und Pressverfahren (z.B. Spritzgie-



Metallgewindeeinleger mit beidseitiger Oberflächenstrukturierung verhindert ein Kriechen von Thermoplasten in Hybridbauteilen © IK, IWF

ßen, Fließpressen und Thermoformen) auf die Schalenkonstruktion appliziert. Das Bauteilgewicht lässt sich durch die Reduzierung der Wanddicke des Blechhalbzeugs und dem Einsatz von sehr festen Stählen und Leichtmetallen senken [4]. In Kombination mit dem Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen kann gegenüber einer monolithischen Vergleichsvariante aus Stahl eine gleiche oder sogar verbesserte Leistung des Bauteils bei reduziertem Gewicht erreicht werden [5, 6].

Das Anbinden von Anbauteilen über im Kunststoff ausgeformte Gewindestrukturen kann die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften sowie die Langzeitbeständigkeit nicht erfüllen. Deshalb werden beim Aufbringen der Funktionsstruktur im Fertigungsprozess häufig metallische Komponenten in Form von flächigen Inserts oder Gewindeeinsätzen als belastbare Anbindungspunkte im Kunststoff eingebettet. Dabei sind die Metallkomponenten mit Hinterschnitten wie Sicken, Bohrungen oder Oberflächenstrukturierungen versehen [7]. Diese Einsätze werden mit einem schmelzeflüssigen Thermoplasten oder

einem Harzgemisch benetzt. Nach dem Erstarren der Schmelze bzw. dem Vernetzen des Harzes entsteht eine überwiegend formschlüssige Verbindung. Diese Verbindungsart wird üblicherweise bei Verschraubungen direkt auf der Funktionsseite von Kunststoff- und Hybridbauteilen eingesetzt. Im Falle einer Verschraubung von Anbauteilen durch den Materialverbund hindurch hat der Einsatz von Kunststoffen in Kombination mit metallischen Gewindeeinsätzen jedoch den Nachteil, dass permanent belastete Kunststoffe aufgrund ihres viskoelastischen Verhaltens teilweise kriechen.

Anhand **Bild 1** ist dieses Problem gut zu erkennen. Darin gezeigt ist ein Hybridverbund aus Metallblech und einem endlos faserverstärkten Kunststoffhalbzeug mit thermoplastischer Matrix nach dem zweiten Grundprinzip der Multimaterialbauweise. Um die Schraubverbindung im Hybridverbund zu realisieren, wird auf das Laminat ein metallischer Einleger mit einem Gewinde platziert. Dieser wird durch den Hybridverbund mit einem Anbauteil verschraubt, sodass der aus der Schraubkraft resultierende Kraftfluss auch durch

die Kunststoffkomponente des Hybridverbundes verläuft. Bei der Verwendung eines Faserverbundhalbzeugs mit thermoplastischer Matrix tritt aufgrund der permanenten Druckspannungen im Kunststoff durch dessen viskoelastische Eigenschaften ein Relaxationseffekt und damit ein Fließen der Matrix auf. Durch den Spannungsabbau im Kunststoff kommt es zu einem Verlust der Vorspannkraft der Schraubverbindung. Gerade dauerhaft belastete Anbauteile können deshalb materialbedingten Setzeffekten unterliegen, die eine Änderung der Einbaulage über die Betriebsdauer des Anbauteils zur Folge hat.

Kraftfluss durch den FVK überbrücken

Um das Setzen der Verbindung zu verhindern und die Lastwirkung der Verschraubung besser in den Hybridverbund einleiten zu können, muss der Kraftfluss durch den faserverstärkten Kunststoff überbrückt werden. Gegenstand der Untersuchung ist in diesem Fall eine Oberflächenstrukturierung an der Kontaktseite des Gewindeeinlegers zum Faserhalbzeug. Die Struktur in Form von stiftförmigen Aufsätzen (**Bild 2**) durchdringt beim Verpressen des Hybridverbundes die aufgeschmolzene thermoplastische Matrix des Kunststoffhalbzeuges und stützt sich an der Metallseite ab. Die Länge der Struktur ist ungefähr 25 % größer als die Dicke des zu durchdringenden Kunststoffes gewählt. Dadurch verformt sich die Struktur beim Einpressen an der Metallseite des Hybridverbundes und kann Hinterschnitte ausbilden, die zu einer formschlüssigen Verbindung führen. Die Abstützung der Anschraubkräfte, des Anzugsmomentes und der Betriebslasten durch den Hybridverbund ist auf diese Weise gewährleistet und das Setzverhalten der Verbindung wird gemindert.

Zur Ausbildung der Oberflächenstrukturierungen auf dem Gewindeeinleger kommen Verfahren wie 3D-Druck, die Laserstrukturierung, eine Umformung der Oberfläche und Schweißen in Frage [8–11]. Für den im weiteren Verlauf beschriebenen Gewindeeinleger kommt das Cold-Metal-Transfer-Schweißverfahren (CMT) zum Einsatz. Es stellt eine gute Möglichkeit dar, die benötigte Struktur in Form von Pins auf der Oberfläche umzusetzen. Der Vorteil des Verfahrens ist die Möglichkeit zur robotergesteuerten Ap-

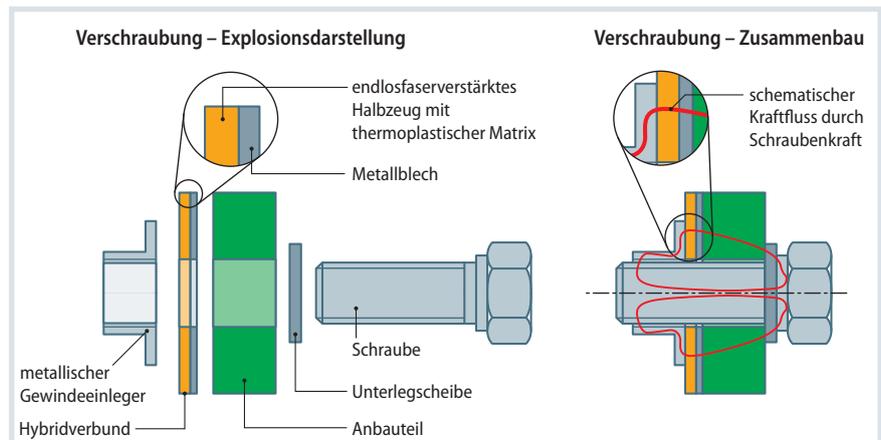


Bild 1. Metallgewindeeinleger im Hybridverbund ohne Oberflächenstrukturierung führen zu Setzeffekten an der Schraubverbindung Quelle: IK, IWF, Grafik: © Hanser

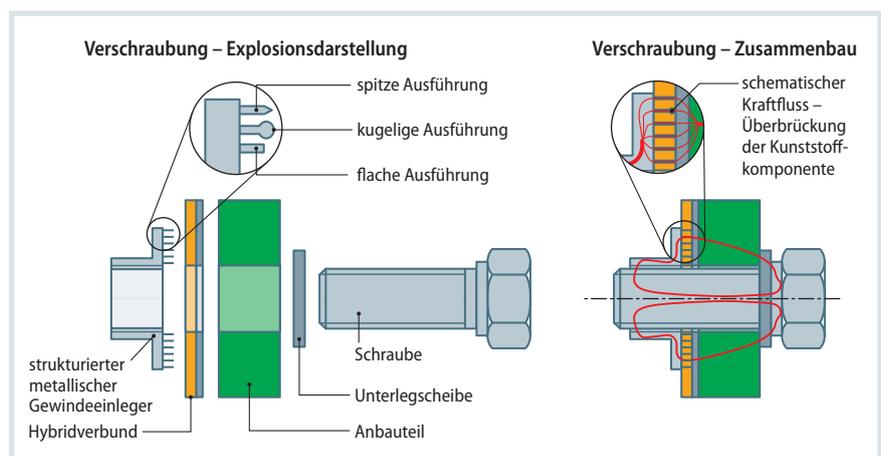


Bild 2. Bei Metallgewindeeinlegern mit strukturierter Oberfläche durchdringen Pins das Tapegelege und verhindern Setzeffekte an der Schraubverbindung Quelle: IK, IWF; Grafik: © Hanser

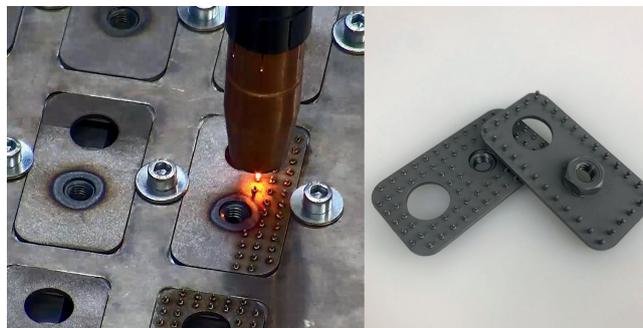


Bild 3. Durch CMT-Schweißen können auf den Gewindeeinlegern Pins in definierter Länge und mit verschiedenen Kopfformen angebracht werden

© IK, IWF

plikation und damit eine hohen Wiederholgenauigkeit bei reproduzierbarer, definierter Dimensionierung (Länge und Spitzenform) der Oberflächenstruktur.

Das CMT-Schweißen ist eine Weiterentwicklung des klassischen Metall-Aktivgas- (MAG) und Metall-Inertgas-Schweißens und somit ein Lichtbogenschweißverfahren. Die Besonderheit davon stellt die aktive Regelung des Schweißzusatzwerkstoffs während des Schweißvorgangs dar. Eine digitale Prozessregelung erkennt während des Schweißens einen

Kurzschluss zwischen Werkstück und Zusatzwerkstoff. Durch gesteuertes Zurückziehen des Schweißdrahtes wird ein stabiler Schweißprozess gewährleistet. Im Vergleich zum MIG-Verfahren zeichnet er sich durch eine verbesserte Tropfenabläsung und einen geringeren Wärmeeintrag in das Werkstück aus. Die Einstellung der Prozessparameter ermöglicht es, einen Teil des Schweißdrahtes an der Oberfläche anzubinden und in definierter Länge abzutrennen. Die Länge der so erzeugten stiftförmigen Aufsätze, Pins »

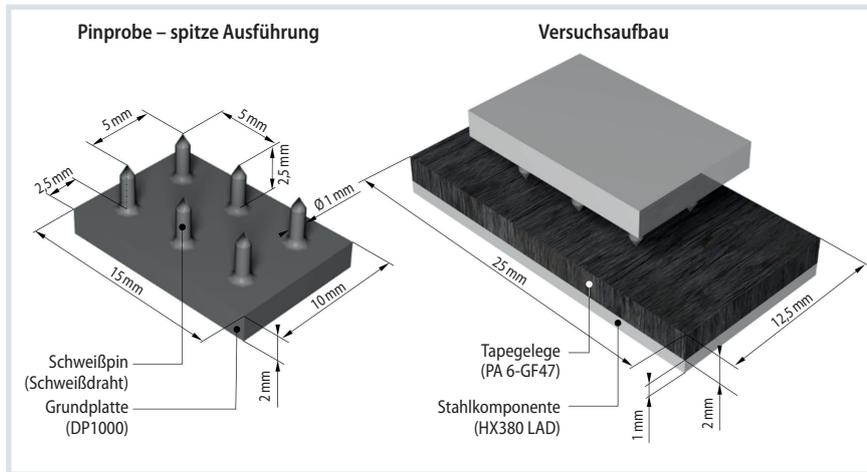


Bild 4. Spitze Pins (links) eignen sich vor allem bei textilen Halbzeugen. Im Versuch wurde ein glasfaserverstärktes PA-6-Tapegelege mit ihnen durchdrungen Quelle: IK, IWF; Grafik: © Hanser

genannt, liegt zwischen 0,8 und 3,0 mm. Die Köpfe der Pins können durch Prozesseinstellungen als Stumpf, Spitze oder Kugel ausgebildet werden [12].

Zur Verbindung von faserverstärkten Kunststoffen und Metallen eignen sich

Pins mit kugelförmigen Köpfen, um Hinterschnitte für eine formschlüssige Verbindung auszubilden [11]. Für eine schädigungsarme Durchdringung von Werkstoffen sollten hingegen Pins mit einer spitzen Ausprägung des Kopfes gewählt werden. Gerade textile Halbzeuge, wie endlosfaserverstärkte Laminaten in Form von Organoblechen oder Tapegelegen, lassen sich mit diesen ähnlich einer Nadel durchdringen ohne die Fasern stark zu beschädigen [13].

Für die Herstellung der Gewindeeinleger kam ein automatisierter Schweißprozess mit einem Roboter zum Einsatz (Bild 3). Die Probenbleche wurden für eine reproduzierbare Herstellung der Pinstrukturen in eine festmontierte Halterung auf dem Tisch vor dem Roboter eingespannt. Zur Untersuchung des Eindringverhaltens der Pinstrukturen in ein Tapegelege wurden auf einer Grundplatte aus einem

Dualphasenstahl (DP1000) jeweils sechs Pins in spitzer Ausführung aufgebracht (Bild 4 links). Diese Pinproben wurden im Anschluss jeweils in einen Hybridverbund aus einem Karosseriestahl (HX380 LAD) und einem Tapegelege mit einer Matrix aus Polyamid 6 (PA 6) mit einem Glasfaseranteil von 47 % (Bild 4 rechts) eingepresst.

Richtige Länge der Pins wählen

Dabei beginnt die Durchdringung auf der Seite der Kunststoffkomponente. Im Vorfeld schmilzt die Matrix des Tapegeleges durch Erwärmung für 300 s bei 220 °C in einem Kunststoffofen auf. Der Versuch wurde ebenfalls bei 220 °C durchgeführt, um den schmelzflüssigen Zustand der Matrix während der Durchführung aufrechtzuerhalten. Die gewählte Temperatur entspricht der Schmelztemperatur des Matrixwerkstoffs PA 6. Der Versuch orientiert sich an der Druckprüfung für Kunststoffe nach der Norm DIN EN ISO 604. Es wurde eine Vorkraft von 50 N appliziert, um zu gewährleisten, dass alle Pins der Probe zu Beginn des Versuches Kontakt zum Hybridverbund haben. Im Anschluss wurde die Probe 3 mm in den Hybridverbund gepresst. Die Pinlängen sind mit 2,5 mm so ausgelegt, dass nach der Durchdringung des Tapegeleges mit einer Nenndicke von 2,0 mm noch ein Spalt von 0,5 mm zwischen der Probe und dem Tapegelege vorliegt. Im weiteren Verfahren wird dieser Spalt geschlossen. Dabei verformen sich die Pins aufgrund der wirkenden Einpresskräfte.

Während des Versuches wurde die zum Einpressen benötigte Kraft aufge-

Die Autoren

Dipl.-Ing. Benjamin Bader ist seit 2015 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik (IK) der Technischen Universität (TU) Braunschweig tätig;

b.bader@tu-braunschweig.de

M. Sc. Werner Berlin arbeitet seit 2018 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der TU Braunschweig;

w.berlin@tu-braunschweig.de

M. Sc. Michael Demes ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWF;

m.demes@tu-braunschweig.de

Prof. Klaus Dröder leitet seit 2012 das

IWF; k.dröder@tu-braunschweig.de

Prof. Thomas Vietor ist seit 2009 Leiter

des IK; t.vietor@tu-braunschweig.de

Service

Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-05

English Version

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

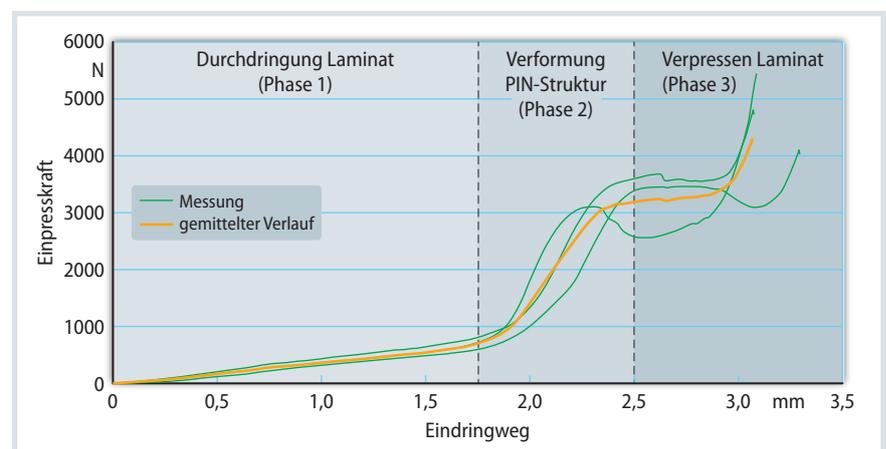


Bild 5. Kraft-Weg-Verlauf beim Einpressen der Pinproben in den Hybridverbund in Anlehnung an DIN EN ISO 604 unter Temperatureinfluss Quelle: IK, IWF; Grafik: © Hanser

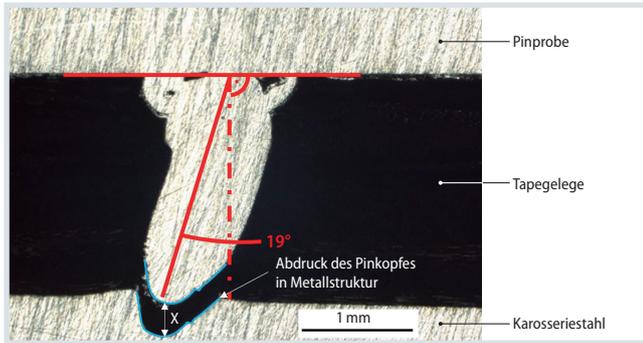


Bild 6. Die abgeformte Kontur der Pinspitze zeigt deutlich, dass es während des Einpressvorgangs zu einem Kontakt von Pin und Karosseriestahl gekommen ist

Quelle: IK, IWF, Grafik: © Hanser

zeichnet. Die Kraft-Weg-Kurven der Einzelproben lassen sich danach zu einem gemittelten Verlauf zusammenfassen, bei dem zu jedem Wegpunkt ein Mittelwert der benötigten Eindringkräfte aller Proben zugeordnet wird (**Bild 5**).

Im Wesentlichen lassen sich drei Phasen ausmachen. In der ersten Phase durchdringen die Pins das Tapegelege. Mit der Eindringtiefe steigt die Kraft nahezu linear an. Zurückzuführen ist das auf eine zunehmende Verdrängung der Matrix und Fasern beim Eindringen, wodurch die am Pin wirkenden Klemmkräfte größer werden, was die der Bewegung entgegen gerichteten Reibkräfte erhöht. Nach ca. 1,75 mm beginnt die zweite Phase. Der Verfahrensweg entspricht dabei noch nicht der Dicke des Tapegeleges. Dennoch ist davon auszugehen, dass bereits jetzt eine zunehmende elastische Verformung der Pins auftritt. Das äußert sich in einer Erhöhung des Anstiegs im Kraft-Weg-Diagramm und kann durch Abweichungen zur Sollstärke des Tapegeleges, Toleranzen in der Länge der einzelnen Pins und Ansammlungen von Fasern vor den Pins beim Durchdringen erklärt werden. Der Anfang der dritten Phase ist durch den Beginn der plastischen Verformung der Pins gekennzeichnet. Zunächst lässt sich ein geringerer Anstieg als zuvor im Kraft-Weg-Diagramm feststellen. Ab ca. 3,0 mm Eindringtiefe beginnt eine verstärkte Komprimierung des Tapegeleges, was den Kraftgradienten erhöht. Das Kraftmaximum bei einem Verfahrensweg von 3,0 mm liegt im Mittel bei 3700 N.

Die Bildung eines Hinterschnitts an den plastisch verformten Pins wurde mittels der Anfertigung und Mikroskopierung von Schliffbildern untersucht. **Bild 6** zeigt eine solche Aufnahme, bei der der Pin im Vergleich zu seiner ursprünglichen Ausrichtung um etwa 19° gebogen wurde. Im Karosseriestahl ist die abgeformte

Kontur der Pinspitzen zu erkennen. Ein klares Anzeichen dafür, dass während des Einpressvorganges der Pin Kontakt zur Stahlkomponente hatte. Der sich einstellende Abstand X (**Bild 6**) ist auf die Rückformung der elastischen Anteile des Tapegeleges zurückzuführen, die zu einer Abhebung der Pins vom Karosseriestahl führen. Diese Abhebung wird durch das Anzugsmoment der Schraube aufgrund elastischer und plastischer Verformung des Kunststoffes reduziert. Sind die Anzugsmomente zu gering, verbleibt ein mit Kunststoff gefüllter Spalt zwischen den Pins und der Metallkomponente. Dieser kann durch viskoelastisches Fließen des Kunststoffes zu einer Verminderung der Schraubkräfte führen. Ein ausreichend hohes Anzugsmoment, das zu Kontakt zwischen Pins und Metallkomponente führt, ist deshalb notwendig.

Setzeffekte minimieren

In lasttragende Verschraubungen in Hybridverbunden treten Setzeffekte durch Schwinden des Kunststoffhalbzeugs unter Belastung und Temperatur auf. Die Folge ist eine Veränderung der Einbaulage des Anbauteils. Mit einem Metall-Gewindeeinleger mit spezieller Oberflächenstrukturierung lässt sich das Setzverhalten minimieren und die Lasteinleitung in die Hybridstruktur verbessern. Gewindeeinleger mit stiftförmigen Pins durchdringen beim Verpressen die thermoplastische Matrix des Kunststoffhalbzeugs und stützen sich an der Metallseite ab. Dadurch wird die Kunststoffkomponente aus Sicht des Kraftflusses der Verschraubung überbrückt und der Setzeffekt gemindert. Eine Verformung der Pins während des Pressens im Kunststoffhalbzeug sorgt durch einen zusätzlichen Formschluss für eine weiter verbesserte Lasteinleitung. ■

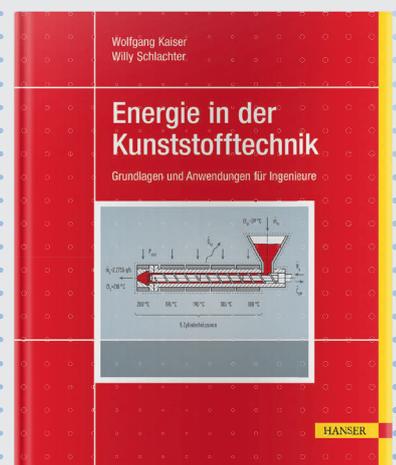
Sie wollen mehr wissen?



ISBN 978-3-446-45880-2 | € 69,99



ISBN 978-3-446-45832-1 | € 249,99



ISBN 978-3-446-45409-5 | € 129,-