

# Glasfaserverstärktes Polyphenylensulfid gefügig gemacht

## Laserschweißtechnik auch bei höher gefüllten PPS-Typen anwendbar

Hochleistungspolymere ersetzen gerade in der Automobilindustrie zunehmend Baugruppen aus Metall und konventionellen technischen Kunststoffen, stellen aber aufgrund ihrer Eigenschaften oft neue Herausforderungen an die Verbindungstechnik. Mit neuartiger Lasersystemtechnik lassen sich auch anspruchsvolle Materialien fügen.

**D**ank ihrer überlegenen Eigenschaften, wie hohe Hitze- und Chemikalienbeständigkeit, niedriges Gewicht und Dimensionsstabilität, ersetzen Hochleistungspolymere zunehmend Baugruppen aus Metall und konventionellen technischen Kunststoffen. Begünstigt wird dieser Trend insbesondere in der Automobilindustrie durch die steigende Systemkomplexität und Integration von Funktionalitäten bei gleichzeitiger Forderung nach Bauraum- und Gewichtsreduzierung.

Nicht zuletzt zwingt die global immer strenger werdende Emissionsgesetzgebung zu weiteren Maßnahmen, den Kraftstoffverbrauch und damit das Fahrzeuggewicht zu senken und treibt die Entwicklung von neuen Antriebskonzepten für die Elektromobilität voran.

Typische Einsatzgebiete für Hochleistungskunststoffe sind Anwendungen mit hoher thermischer und mechanischer Belastung entlang des gesamten Motor- und Antriebsstrangs, Baugruppen und Medienleitungen für das Thermomanagement, aber auch Komponenten speziell für die Elektromobilität, wie Batterieträger, Aktuatoren oder elektrische und elektronische Systeme im Allgemeinen.

### PPS prozesssicher verbinden

Als ein Vertreter dieser Hightech-Materialien ist Polyphenylensulfid (PPS) ein hochstabiles, teilkristallines Polymer mit einem bemerkenswerten Grad an molekularer Stabilität gegenüber thermischem Abbau, Chemikalien und Heißwasser. Neben dieser einzigartigen Kombination an Eigenschaften ist es bekannt für die präzise Spritzgießbarkeit mit engen Toleranzen, geringes Kriechverhalten und inhärente



Querschnitt einer Fügenaht: Der Schriff quer zur Nahrichtung zeigt eine Fügezone und charakteristischen Schmelzaustrieb für das Quasi-Simultanschweißen © Evosys, DIC

Nichtentflammbarkeit (UL94 V-0), die den Einsatz von Flammenschutzmitteln überflüssig macht. **Bild 1** zeigt beispielhaft eine Wasserpumpe, die in hochbelasteten Bereichen Komponenten aus DIC.PPS enthält.

Neben den Materialeigenschaften sind auch Verbindungstechnologien wie das Laserkunststoffschweißen gefragt, die diesen Anforderungen gerecht werden. So ließ sich PPS bisher aufgrund seiner optischen Eigenschaften nur bedingt mittels Laserstrahlung fügen. In einem gemeinschaftlichen Projekt der Bühler Motor GmbH, der DIC Corporation sowie der Evosys Laser GmbH konnte gezeigt werden, dass mit einer neuartigen Lasersystemtechnik auch ein anspruchsvolles Material wie PPS prozesssicher verbunden werden kann.

Um den Anforderungen an ein dichtes Packaging bei elektronischen Baugruppen und anderen Anwendungen gerecht zu werden, sollte die verwendete Verbindungstechnik die Gestaltungsfreiheit nicht einschränken. Sie sollte außerdem eine partikelfreie, mediendichte und robuste Verbindung sicherstellen und empfindliche, elektronische Baugruppen einer möglichst geringen mechanischen Belastung im Fügeprozess aussetzen.

Das Laserdurchstrahlschweißen von Kunststoffen hat sich unter diesen Gesichtspunkten bereits als ein ideales und häufig auch alternativloses Verfahren etabliert. Dabei wird ein für die Laserstrahlung transparenter mit einem laserabsorbierenden Fügepartner im Überlappstoß



**Bild 1.** Wasserpumpen wie die bFlow CSA-60x von Bühler Motor weisen in hochbelasteten Bereichen Komponenten aus Polyphenylensulfid auf © Bühler Motor

verbunden. Der Laserstrahl wird durch das lasertransparente Formteil hindurch auf das absorbierende fokussiert, wodurch dieses oberflächlich aufschmilzt. Durch das Aufeinanderpressen der beiden Komponenten wird das lasertransparente Kunststoffteil über Wärmeleitung ebenfalls plastifiziert, so dass eine stabile, stoffschlüssige Verbindung entsteht (**Titelbild**).

### Laserschweißen von Glasfasergefüllten Materialien

Die meisten thermoplastischen Polymere sind ungefüllt für den Wellenlängenbereich der üblicherweise eingesetzten Laserquellen (typischerweise 808–1064nm) transmissiv genug, um als lasertransparenter Fügepartner eingesetzt werden zu können. Dagegen wird das gewünschte Absorptionsverhalten meist durch die Zugabe von Additiven realisiert, im einfachsten Fall mittels Partikelruß. Eine typische Überlappkonfiguration aus lasertransparentem (natur) und laserabsorbierendem Fügepartner (schwarz) ist in **Bild 2** anhand von lasergeschweißten PPS-Musterplatten der DIC Corporation dargestellt.

Diese Abhängigkeit von der optischen Beschaffenheit der Fügeteile ist es jedoch, die das Laserschweißen von Hochleistungskunststoffen zu einer anspruchsvollen Aufgabe macht. Denn sie weisen material- und vorprozessbedingt häufig schon ungefüllt eine sehr niedrige Transparenz für die Laserstrahlung auf, beispielsweise aufgrund ihrer Gefügestruktur. Eine Füllung mit Glasfasern verschlechtert die optischen Eigenschaften

des transparenten Fügepartners zusätzlich, da die Laserstrahlung vermehrt an den Fasern reflektiert und gestreut wird. Dadurch wird das Strahlprofil räumlich aufgeweitet, sodass die Strahlungsintensität sowie der Energieeintrag in die Fügezone abnehmen. Bezogen auf die gleiche Fläche im Schweißbereich bedeutet das konkret, dass der Anteil der transmittierten Strahlung sinkt – dies stellt eine zusätzliche Herausforderung für den Schweißprozess dar.

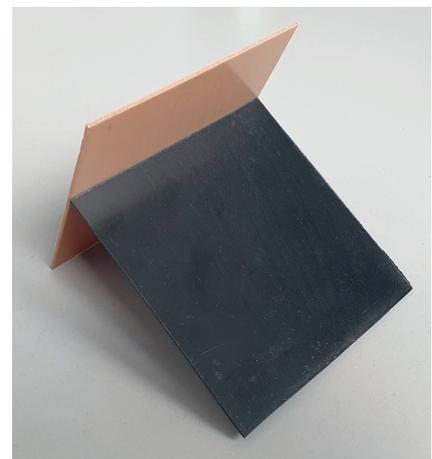
Um den herausfordernden Prozessbedingungen gerecht zu werden, hat Evosys für anspruchsvolle Anwendungen ein Maßnahmenpaket entwickelt, das ein besonderes optisches System (Next Generation Optics, NGO) mit einer speziellen Prozessführung kombiniert, die Bestrahlungsstrategie und Energieeintrag in die Baugruppe verbessern [1]. Gemeinsam mit der DIC Corporation hat Evosys hierzu bereits Ergebnisse von Versuchen an DIC.PPS veröffentlicht, die die Wirksamkeit und bessere Schweißnahtqualität in Verbindung mit NGO belegen – u.a. charakterisiert durch höhere Nahtfestigkeiten und kürzere Prozesszeiten [2]. Das Material hat sich seit mehr als 30 Jahren als ein Hochleistungswerkstoff der Wahl für eine breite Palette von Anwendungen erwiesen, der es Technikern ermöglicht, erhebliche Kosteneinsparungen in den Marktsegmenten Automobil, Elektro&Elektronik sowie Haushaltsgeräte und in der Lebensmittelindustrie zu erzielen.

### Untersuchung unterschiedlich gefüllter Typen

Die Schweißversuche erfolgten an dem Compound DIC.PPS FZ-2115, eine mit 15% Glasfasern gefüllte Spezialität basierend auf linearem PPS, die eine sehr niedrige Viskosität aufweist und somit ein dünnwandiges Spritzgießen ermöglicht. Aufgrund der guten Ergebnisse war der nächste Schritt, die Tests zusätzlich auf DIC.PPS FZ-2140 zu erweitern, das mit 40% Glasfaserfüllung ein typisches PPS-Standardmaterial darstellt und wegen seiner ausgewogenen Eigenschaften in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt wird. Es weist allerdings eine etwa 15% schlechtere Transmission auf als das weniger gefüllte Compound (**Bild 3**, gemessen mit einem Prüfgerät vom Typ Pictor Planar der Intego GmbH, Erlangen), was bei gleichen Laserparametern einen

entsprechend geringeren Energieeintrag in die Fügezone bedeutet. Grundsätzlich sollte die Lasertransmission für das lasertransparente Bauteil und für eine herkömmliche Lasersystemtechnik jedoch einen Wert von mindestens 20% aufweisen, um die Komponenten prozesssicher fügen zu können.

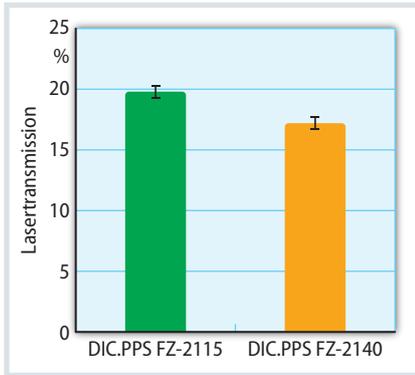
Daher führten die Partner wiederum bei Evosys eine erweiterte Versuchsreihe an einer konkreten Automotive-Anwendung durch. Die Schweißaufgabe bestand darin, ein flächiges, freigeformtes Oberteil mit einem Unterteil im Überlappstoß zu verbinden. Die Fügesehnittstelle besteht aus mehreren, komplex geformten Segmenten, die durch Schweißstege mit einer 3D-Geometrie realisiert werden. Das heißt, die Schweißnahtkontur verläuft nicht nur in der (horizontalen) Ebene, son-



**Bild 2.** Lasergeschweißte PPS-Musterplatten: Die schwarze Platte enthält Partikelruß und absorbiert daher die Laserstrahlung © Evosys, DIC

dern erhebt sich auch in vertikale Richtung. Die zu durchstrahlende Stärke des oberen Fügepartners sowie die Schweißstegbreite beträgt ca. 1 mm bei einer gesamten Nahtlänge von etwa 100 mm. Neben dem Laserschweißen wurde auch das Ultraschallschweißen als alternatives Fügeverfahren getestet, wobei sich das Laserschweißen aber besonders wegen der höheren Flexibilität bezüglich der Schweißnahtgeometrie, der einfacheren Systemtechnik und der mechanisch schonenden, vibrationsfreien Bearbeitung der empfindlichen Baugruppe als bevorzugter Prozess erwiesen hat.

Die eingesetzten Materialien waren für den lasertransparenten Fügepartner die genannten, naturfarbenen Com- ➤



**Bild 3.** Lasertransmission von DIC.PPS bei  $\lambda = 980 \text{ nm}$  und einer Materialdicke von 1 mm Quelle: Evosys; Grafik: © Hanser

pounds DIC.PPS FZ-2115 sowie DIC.PPS FZ-2140. Die zweite Komponente bestand aus dem schwarzen Material DIC.PPS FZ-2140 Black, das eine hohe Absorption für die Laserstrahlung aufweist.

### Vergleich von Fügeverfahren

Als Verfahrensvarianten wurde das Kon-turschweißen sowie das Quasi-Simultan-

schweißen mit kontrolliertem Fügweg gewählt und die Prozessparameter Laserleistung, Laservorschub, Spanndruck sowie Fügweg in verschiedenen Kombinationen variiert. Die optische Konfiguration bestand aus einem Diodenlaser mit 980nm Wellenlänge als Strahlquelle, der NGO als Teil der Strahlformung und einem Galvanometerscanner mit Planfeldoptik zur Strahlführung. Im Anschluss wurde die Nahtqualität anhand einer fraktographischen Analyse, Schlibbildern und den erzielbaren Abzugskräften des Oberteils durch Bühler Motor bewertet. Die Ergebnisse dieser mechanischen Prüfung sind im Vergleich zwischen den unterschiedlich gefüllten Materialien sowie den Verfahren Ultraschall- und Laserschweißen (jeweils mit optimalen Parametern) in **Bild 4** bzw. **Bild 5** dargestellt.

Die Resultate zeigen zum einen, dass sich die Abzugskräfte durch den erhöhten Glasfaseranteil nicht verschlechtern, sondern bei vergleichbarem Fügweg für DIC.PPS FZ-2140 sogar erhöhen. Ein maßgeblicher Einfluss können hier die mechanischen Eigenschaften des Materials selbst sein, die sich z.B. auf die Verformung und den Spannungsverlauf im Bauteil bei der Prüfung vorteilhaft auswirken (etwa die höhere Steifigkeit). Dennoch kann hervorgehoben werden, dass mit NGO bei gleicher Schweißzeit lediglich ca. 10% mehr Laserleistung nötig war, um die schlechtere Transmission des mit 40% Glasfasern gefüllten Materials zu kompensieren und einen vergleichbaren Fügweg zu erzielen. Diese moderate Leistungserhöhung führte auch zu keinen für den Schweißprozess nachteiligen Effekten, wie z.B. Verbrennungen an der Bauteiloberfläche. Auch hier wirkt sich die

homogene Bestrahlungsstrategie mittels NGO nachweislich positiv aus.

Zum anderen weisen die lasergeschweißten Muster deutlich höhere Abzugskräfte im Vergleich zu den ultraschallgeschweißten Baugruppen auf und übertreffen diese bei jeweils optimal gewählten Parametern um bis zu 40% für DIC.PPS FZ-2140. Neben verfahrenstechnischen Vorteilen, wie größere Designfreiheit, sehr flexible Systemtechnik sowie mechanisch schonende Materialbearbeitung, bietet das Laserschweißen also auch ein deutliches Plus an Schweißnahtqualität.

### Fazit

Das Laserkunststoffschweißen hat sich aufgrund seiner Vorteile in vielen Anwendungsfeldern bereits als bevorzugtes Fügeverfahren etabliert. Die Next Generation Optics (NGO) von Evosys erlaubt es, diese Vorzüge ebenfalls auf den Hochleistungswerkstoff PPS zu übertragen, der aufgrund seiner limitierten Lasertransparenz bisher lediglich unter günstigen Bedingungen mittels Laser gefügt werden konnte. Die gemeinsamen Versuche an einer konkreten Automobil-Anwendung aus den beiden unterschiedlich gefüllten PPS-Typen DIC.PPS FZ-2115 und FZ-2140 belegen, dass mit der NGO auch höher gefüllte PPS-Typen prozesssicher und in hoher Qualität lasergeschweißt werden können. Dies eröffnet ein breites Spektrum an neuen Anwendungsfeldern und leistet dadurch einen bedeutenden Beitrag, die steigenden Forderungen nach Gewichtsreduktion, höherem Packaging und einer außerdem gesteigerten Kosteneffizienz zu erfüllen. ■

## Die Autoren

**Frank Brunnecker** ist Geschäftsführer und Gesellschafter der Evosys Laser GmbH in Erlangen.

**Christian Ebenhöh** ist Key Account Manager der Evosys Laser GmbH; christian.ebenhoeh@evosys-laser.com

**Daniel Bierl** ist Polymer Technology Engineer R&D der Bühler Motor GmbH, Nürnberg

**Jürgen Brettschneider** ist Senior Process Engineer Operations der Bühler Motor GmbH.

**Guido Pengemann** ist Sales Representative der DIC Europe GmbH, Düsseldorf

**Uwe Behle** ist Marketing Manager der DIC Europe GmbH.

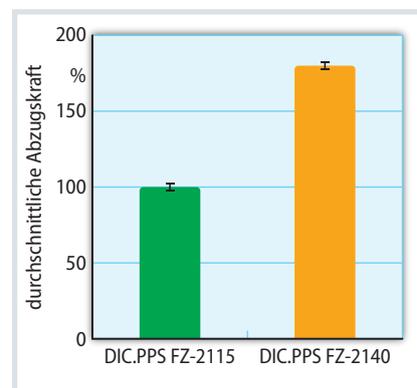
## Service

### Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-09](http://www.kunststoffe.de/2020-09)

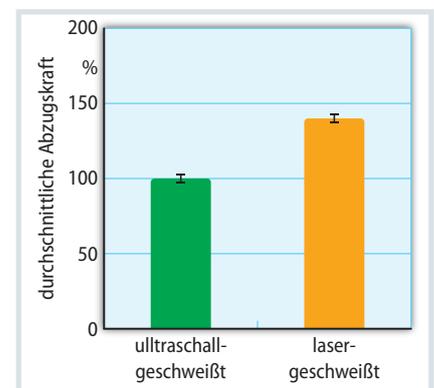
### English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Bild 4.** Durchschnittliche Abzugskräfte der lasergeschweißten DIC.PPS-Muster (n=3)

Quelle: Evosys; Grafik: © Hanser



**Bild 5.** Durchschnittliche Abzugskräfte bei DIC.PPS FZ-2140 abhängig von den Schweißverfahren (n=3)

Quelle: Bühler Motor; Grafik: © Hanser