

# Thermoplastische Systemlösungen im Automobilbau

Thermoplastische Kunststoffe gewinnen zunehmend an Bedeutung im Automobilbau, sodass auch die Frage der einzusetzenden Verbindungstechnik immer wichtiger wird. Welche Maßnahmen sind zu ergreifen, um in der Automobilproduktion langzeitbeständige Klebverbindungen unter Beachtung wirtschaftlicher Aspekte herzustellen, und welche Beispiele gibt es bereits?

HARTWIG LOHSE

Der Anteil von Kunststoffen am Materialmix der im Automobilbau verwendeten Werkstoffe nimmt nicht nur kontinuierlich zu, sondern die Kunststoffe erobern sich auch neue Anwendungsgebiete im Bereich der Anbauteile (Bild 1). Neben den fast schon traditionellen Anwendungen im Innenraum haben die Kunststoffe mittlerweile auch im Außenbereich an Bedeutung gewonnen. Die Anwendungen beschränken sich schon lange nicht mehr auf Spoiler, Stoßfänger und Heckdeckel, bzw. Klappen. Es wird erwartet, dass in naher Zukunft auch Türen, Fronthauben und Dächer aus Kunststoffen in der Serienfertigung Verwendung finden werden. Während bisher Außenhautteile vorwiegend aus faserverstärkten Duroplasten (SMC, BMC, etc) hergestellt wurden, gewinnen die Thermoplaste zunehmend an Bedeutung. Die Gründe für diese Entwicklung hin zu einer verstärkten Verwendung von Kunststoffen liegen nicht allein in ihrer Korrosionsbeständigkeit sowie ihrem Potenzial zur Gewichtsreduzierung, sondern auch in der Designfreiheit. Darüber hinaus haben Kunststoffe bei kleineren Serien bzw. bei der Individualisierung von Großserien-Plattformen den Vorteil geringerer Werkzeugkosten.

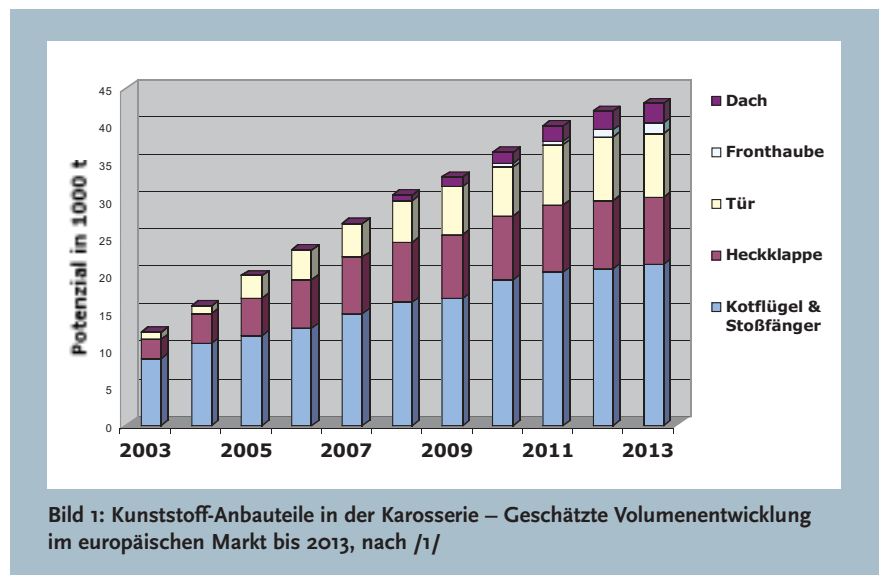
Neben den erwähnten Vorteilen zeigen Kunststoffe jedoch auch einige Nachteile von denen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, an dieser Stelle die Punkte

- Class A Oberfläche, Lackierfähigkeit, Colormatching, Kratzfestigkeit
- Chemikalienbeständigkeit
- Crash-Verhalten, insbesondere bei niedrigen Temperaturen
- Relativ lange Taktzeiten in der Produktion
- Recyclingfähigkeit, Thermoplasten werden bevorzugt genannt werden sollen.

Ein weiterer Problempunkt der Kunststoffe ist in der Auswahl des für den jeweiligen Anwendungsfall optimalen Fügeverfahrens zu sehen. Während für Duroplasten neben Schrauben und Nieten überwiegend das Kleben infrage kommt, kann das Verbin-

den von thermoplastischen Werkstoffen untereinander auch mittels thermischer Schweißverfahren erfolgen.

Die im Vergleich zu Duroplasten wesentlich größere Vielfalt in der Zusammensetzung von Thermoplasten und den daraus resultierenden großen Unterschieden in ihren Eigenschaften macht diese Materialgruppe nicht nur für unterschiedlichste Anwendungen sehr interessant, sondern führt auch zu der Überlegung, dass es ein universelles Fügeverfahren nicht geben kann. Dem Kleben kommt sicherlich eine große Bedeutung zu, erfordert aber oft eine Anpassung an die jeweilige Aufgabe.



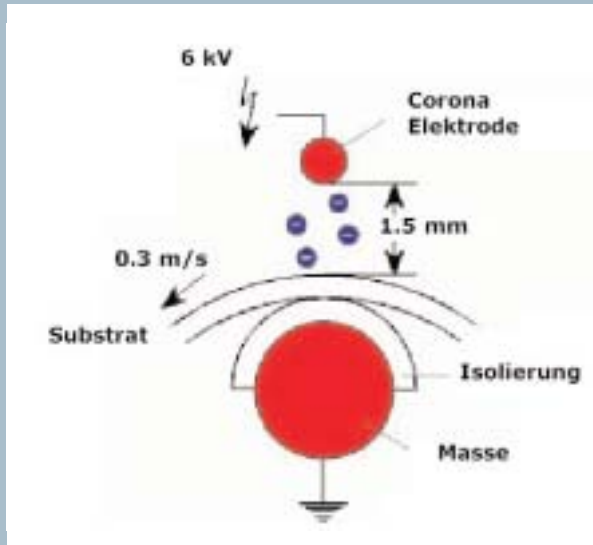


Bild 2: Schematische Darstellung einer Anlage zur Corona-Vorbehandlung /2/

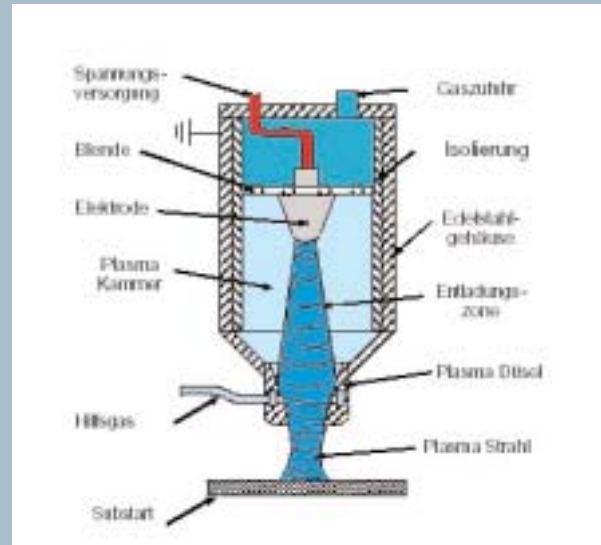


Bild 3: Schematische Darstellung einer Anlage zur Vorbehandlung mittels Atmosphären-Plasma /3/

## Richtig vorbehandeln

Der Oberfläche der zu verbindenden Substrate kommt beim Kleben bekanntlich eine besondere Bedeutung zu. Viele Thermoplaste zeigen eine geringe Oberflächenenergie und bedürfen daher vor dem Verkleben einer Oberflächenvorbehandlung. In manchen Fällen reicht eine Reinigung nicht aus, die Oberfläche muss aktiviert werden. Hier haben sich neben der Verwendung von speziellen Primern Verfahren wie das Beflammen, die Corona- aber auch die Plasmavorbehandlung, insbesondere das Atmosphärenplasma bewährt.

Beim Beflammen erfolgt durch Behandeln der Fügeiteiloberfläche mit einer Gas-Sauerstoff-Flamme (Propan, Acetylen) eine chemische und mechanische Modifizierung der Oberfläche. Der resultierende Effekt wird im Wesentlichen durch

- die Flammentemperatur, die kurzzeitig im Sekundenbereich zu Temperaturen von 200 – 400 °C an der Grenzschicht führt,
- die oxidative Wirkung, bestimmt durch den Sauerstoffüberschuss in der Flamme,
- die Vorbehandlungsgeschwindigkeit und
- den Abstand der Flamme zur Oberfläche

bestimmt. Wie Oberflächenanalysen gezeigt haben, nimmt bei der Flammenvorbehandlung der Sauerstoffanteil in der oberflächennahen Schicht des Fügeteils zu, d.h. es werden polare Gruppen eingebaut. Ein ähnlicher Effekt lässt sich durch die Co-

rona-Vorbehandlung (Bild 2) erzielen. Die Corona-Entladung erfolgt als leuchtende Hochspannungs-Entladung zwischen zwei Elektroden bei einer Wechselspannung im Bereich von 10 – 20 kV und Frequenzen von 10 – 30 kHz. Die austretenden Elektronen werden im elektrischen Feld beschleunigt und geben einen Teil ihrer Energie bei Zusammenstoßen an Sauerstoff- und Stickstoffmoleküle der Umgebungsluft ab, die dadurch dissoziieren bzw. ionisiert werden. Als Folge kommt es zur Bildung von Ozon und Stickoxiden. Die Energie der auf die Fügeiteiloberfläche auftretenden Elektronen liegt über der Bindungsenergie für Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen, sodass es zur Spaltung einzelner solcher Bindungen in der Substratoberfläche kommt. Die entstandenen freien Valenzen reagieren mit dem erzeugten Ozon bzw. freiem Sauerstoff unter Einbau von Sauerstoff in die Oberfläche.

Der Effekt der Corona-Vorbehandlung wird im Wesentlichen durch die Entladungsspannung, den Abstand der Substratoberfläche zur Coronadüse und der Vorbehandlungsgeschwindigkeit bestimmt.

Das Atmosphären-Plasma stellt insofern eine Weiterentwicklung des Niederdruckplasmas dar, als es eine kontinuierliche Vorbehandlung bei Normaldruck erlaubt. Das Niederdruckplasma erfolgt dagegen Chargenweise im Vakuum, was in vielen Fällen die Anwendung beim Kleben erschwert, da oft nur kleine Bereiche verklebt und somit vorbehandelt werden müssen und ein kontinuierliches Arbeiten gewünscht wird. Das

Atmosphären-Plasma (Bild 3) beruht auf einem elektrischen Potenzial von etwa 20 kV, durch das eine Entladungsreaktion in der Plasma-Kammer initiiert wird. Das dadurch entstandene Plasma (ein ganz oder teilweise ionisiertes, auch radikalische Verbindungen enthaltendes sehr reaktionsfähiges Gas) wird durch einen Gasstrom auf das Substrat geleitet und reagiert dort mit der Oberfläche. Durch Auswahl des Trägergases können gezielt chemische Funktionalitäten in die Substratoberfläche eingebaut werden, was nicht nur eine Erhöhung des polaren Anteils der Fügeiteiloberfläche bewirkt, sondern eine Erhöhung der Adhäsionskräfte ermöglicht. Prozess-Parameter sind neben dem verwendeten Gas im Wesentlichen die Vorbehandlungsgeschwindigkeit und der Abstand der Plasma-Kammer zur Fügeiteiloberfläche.

## Prüfmethode

Sowohl bei der Entwicklung als auch bei der Auswahl eines Klebstoffs für eine spezielle Klebanwendung ist die Durchführung von standardisierten Prüfungen an Laborprüfkörpern unumgänglich, um Vorhersagen über das Langzeitverhalten von Klebungen machen zu können. Allerdings gibt es für Kunststoffklebungen bisher nur wenige allgemeingültige Normen. Der weit verbreitete Zugscherversuch nach DIN/EN 1465 bzw. dessen amerikanisches Äquivalent nach ASTM D 1002 sind auf metallische Substrate beschränkt, werden aber trotzdem auch vielfach für Kunststoffe eingesetzt. Im ASTM Normenwerk ist hierfür

mit der ASTM D 3163 eine nur leicht abgewandelte Form veröffentlicht. Die sowohl in der DIN-, als auch in den beiden ASTM-Normen empfohlene Überlappungslänge von 12,5 mm bezieht sich auf Fügeiteilwerkstoffe mit einem, dem Aluminium ähnlichen Elastizitätsmodul bzw. ähnlicher Streckgrenze. Im Prinzip müsste die Überlappungslänge den jeweiligen Eigenschaften des Fügeiteil-Werkstoffs angepasst werden. Auf jeden Fall sollte darauf geachtet werden, dass das Versagen im Bereich der Klebung auftritt (Adhäsion-, Kohäsionsbruch oder ggf. Laminatausriss; Fügeiteilbruch, auch in der Nähe der Klebung ist wenig aussagekräftig); ggf. muss die Überlappungslänge verringert werden. Neben dem hinlänglich bekannten Phänomen der inhomogenen Spannungsverteilung kommt es bei der Anwendung des Zugscherversuchs auf Kunststoff-Prüfkörper zum Auftreten von Biegemomenten aufgrund der Fügeiteilnachgiebigkeit (Bild 4), was im Endeffekt zu einer wenig definierten Mischung aus verschiedenen Belastungsarten (Scher- und Schälbelastung) mit einer entsprechend hohen Streuung der Messergebnisse führt. Da in den meisten Fällen eine Aussage über die Haftung des Klebstoffs zu den jeweili-

gen Kunststoffsubstraten (Versagensbild) eine wesentlich höhere Bedeutung zukommt als das Wissen um die unter bestimmten Bedingungen zu erreichende Klebfestigkeit, werden Schälversuche wie z.B. der Cleavage Peel Test nach ASTM D 3807 (Bild 5) eingesetzt. Dieser Versuch erlaubt eine sehr gute Differenzierung der Haftungseigenschaften.

Im Arbeitskreis von Prof. Schlimmer an der Universität Kassel läuft derzeit ein Forschungsprojekt mit dem Ziel, die bestehende Lücke in der Normung durch Entwicklung einer weitreichenden Methode zur Bestimmung des mechanischen Verhaltens von Kunststoffklebverbindungen zu füllen [4]. Ziel ist es, die unbestritten vorhandenen Einflüsse des Fertigungsverfahrens der polymeren Fügeiteile und ihrer Vorbehandlung auf bestimmte Verbindungskennwerte hin vergleichend untersuchen zu können und dem Ziel einer Berechenbarkeit auch von Kunststoffklebungen näher zu kommen.

### Klebstoffauswahl

Bei der Auswahl eines für die Verklebung von Thermoplasten geeigneten Klebstoffsystems müssen neben den üblichen Para-

metern wie Haftung und Festigkeitsniveau im infrage kommenden Temperaturbereich sowie dem Alterungsverhalten auch die mechanischen Eigenschaften der jeweiligen Fügeiteile berücksichtigt werden. Insbesondere sind hier die Fügeiteilfestigkeiten und -verformungen sowie deren Abhängigkeiten von der Temperatur zu nennen. In jedem Fall kann davon ausgegangen werden, dass der Klebstoff eine entsprechende Elastizität haben muss, um die bei Belastungen auftretenden Spannungsspitzen kompensieren zu können. Das die mechanischen Eigenschaften des jeweiligen Thermoplasten beschreibende E-Modul liegt um einige Größenordnungen niedriger als das der im Automobilbau immer häufiger durch Kleben verbundenen Metalle. Darüber hinaus nimmt es mit zunehmender Temperatur weiter ab, sodass eine für die Verklebung z. B. von einem Kunststoffkotflügel ein anderer Klebstoff verwendet werden sollte als für die Verklebung eines ähnlichen Teils aus Metall. Aus der Gruppe der reaktiven Klebstoffsysteme (Bild 6) kommen daher primär die reaktiven 2-K-Polyurethanklebstoffe infrage. Sie zeigen ein ausgewogenes Verhältnis von Festigkeit und Elastizität und gewährleisten auch bei höheren Gebrauchstemperaturen eine ausreichende Festigkeit.

### Reduzierte Fertigungskosten

Um zu zeigen, dass durch den Einsatz von großen im Spritzgussverfahren hergestellten Kunststoffbauteilen neben einer deutlichen Gewichtsreduzierung auch deutliche Kosteneinsparungen in der Fertigung erzielt werden können, startete Chrysler in

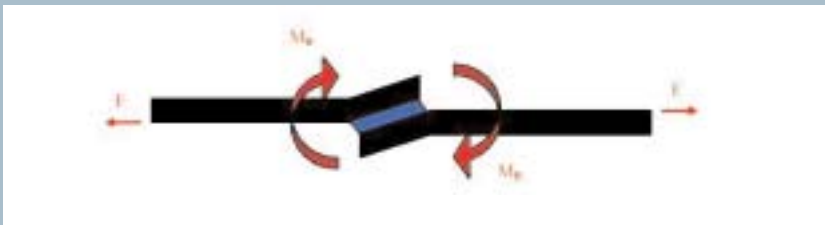


Bild 4: Auftretende Biegemomente aufgrund der Fügeiteilnachgiebigkeit beim Zugscherversuch [3]



Bild 5: Cleave-Peel-Test

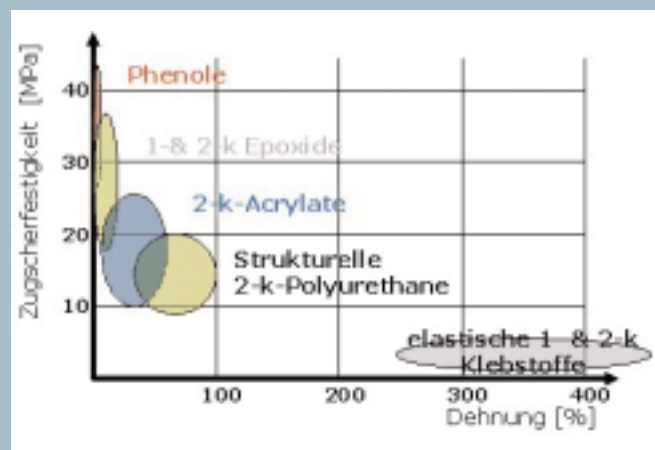


Bild 6: Festigkeits- Dehnungsverhalten von kommerziell verfügbaren reaktiven Klebstoffgruppen



Bild 7: Aufbau der CCV Karosserie /5/

den 90er Jahren die Entwicklung eines Konzeptfahrzeuges (CCV). Die Karosserie besteht im Wesentlichen aus nur vier (Bild 7) faserverstärkten thermoplastischen Polyesterteilen, die mittels eines auf das Substrat abgestimmten 2-K-PU-Klebstoffs miteinander verbunden wurden. Um die notwendige Fahrzeugsteifigkeit zu gewährleisten, wurde ein System mit einem E-Modul von etwa 700 MPa ausgewählt. Wie für ein Konzeptfahrzeug üblich, wurden nur wenige Fahrzeuge aufgebaut, sodass sich eine beheizte Fügevorrichtung zur wärmebeschleunigten Klebstoffaushärtung nicht gerechnet hätte. Es wurde also auf ein bei Raumtemperatur aushärtenden Klebstoff zurückgegriffen. Zur Fixierung während der Härtung wurden einige wenige Bolzen verwendet. Um eine gute Haftung zum thermoplastischen Polyester bei alleiniger Raumtemperaturhärtung zu erzielen, erwies sich die Verwendung eines isocyanathaltigen Primers als hilfreich. Das positive Gesamtergebnis einer deutlichen Gewichtsreduzierung (95 kg gegen-

über 167 kg der Audi A2 Aluminiumkarosserie) die Verringerung der zu verbindenden einzelnen Bauteile um 75 % von ca. 4000 auf 1100 und die daraus resultierende Arbeitskosteneinsparung von 40 % hat dazu geführt, dieses Konzept im kleineren Maßstab für die Serienfertigung von Hardtops der Chrysler Jeep Fahrzeuge zu übernehmen.

### Intelligenter Leichtbau

Vor dem Hintergrund der Gewichtreduzierung werden zunehmend Karosseriebestandteile aus Leichtwerkstoffen gefertigt. Ziel ist nicht nur, das Gesamtgewicht zu reduzieren, sondern auch durch eine ausgewogene Gewichtsverteilung einen positiven Einfluss auf die Fahreigenschaften auszuüben. So ist es durchaus sinnvoll, im Bereich des Vorderwagens, der bei den meisten Fahrzeugen gewichtsmäßig durch den Motor stark belastet ist, Leichtwerkstoffe zu verwenden. So bestehen die vorderen Kotflügel beim 6er BMW Coupé und Cabrio aus PPE (Polyphenylen-Ether-Polymer) verstärktem Polyamid mit eingeklebten Verstärkungselementen aus dem gleichen Werkstoff. Für das gleiche Bauteil verwendet VW beim Tuareg (ca. 180 Fahrzeuge/ Tag), Phaeton (ca. 15 Fahrzeuge/Tag) und Bentley (ca. 5 Fahrzeuge/Tag) PUR-RRIM für die Außenhaut. Die Verstärkungsteile bestehen modelabhängig aus PUR-RRIM, PPE verstärktem Polyamid bzw. KTL-beschichtetem Metall /8/. Auch hier werden die Verstärkungselemente in das Außenhautbauteil eingeklebt. Neben den hinreichend be-

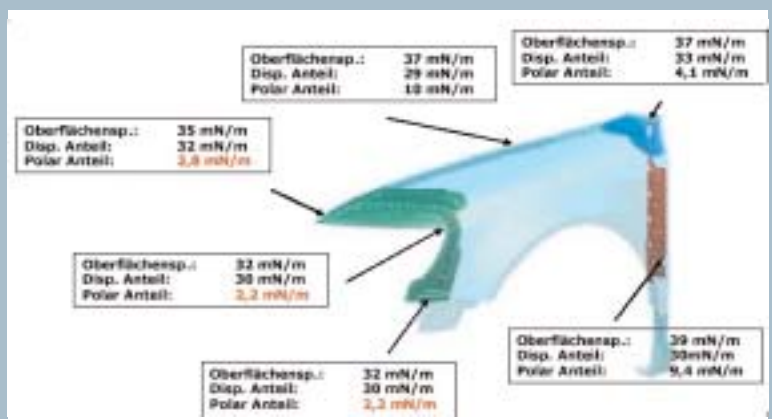
kannten Anforderungen an das Klebstoffsystem hinsichtlich Festigkeit und Zuverlässigkeit ist hier wichtig, dass der Klebstoff

- die Qualität der Kotflügeloberfläche nicht nachteilig beeinflussen darf (keine Abzeichnungen),
- den nachfolgenden Lackierprozess mit Temperaturbelastungen von 20 Minuten bei 160 °C, gefolgt von 25 Minuten bei 145 °C, unbeschadet überstehen muss,
- sowohl für die Serie beim Tuareg mit 180 Fahrzeugen am Tag (automatisiertem Klebstoffauftrag, maximale Fixierzeit bis zum Erreichen der Handhabungsfestigkeit von 40 Minuten bei Raumtemperaturhärtung) als auch für die Kleinserie des Bentley (manueller Klebstoffauftrag aus Kartuschen mit mindestens 8 Minuten offener Zeit) geeignet sein muss.

Bei beiden Anwendungen kommen auf den jeweiligen Fertigungsablauf abgestimmte 2-K-Polyurethan-Klebstoffe zum Einsatz. Während man sich bei BMW für eine Oberflächenvorbehandlung mittel Atmosphärenplasma entschieden hat, wählte man bei VW nach entsprechenden Laborversuchen das Reinigen mit n-Heptan. Die Reinigung ist ausreichend, wenn das verwendete n-Heptan die PUR-RIM Oberfläche benetzt; es werden dann Oberflächenspannungen von etwa 40 mN/m mit einem polaren Anteil von > 5 mN/m erreicht. In der Praxis erwies sich dennoch als problematisch, dass reproduzierbar in einigen Bereichen gute und in anderen Bereichen schlechte Haftungsergebnisse auftraten. Bei der Messung der Oberflächenspannung sieht man, wenn nur der Gesamtwert betrachtet wird, keine signifikanten Unterschiede. Eine differenzierte Messung des polaren und dispersen



Bild 8: VW Phaeton Kotflügel – Bereiche mit guter und solche mit mangelnder Klebstoffhaftung – Korrelation mit dem jeweils vorliegenden polaren Anteil der Oberflächenspannung /6/ (Grafiken: VW AG)



Anteils zeigt jedoch eine deutliche Korrelation zwischen dem polaren Anteil der Oberflächenspannung und den beobachteten Haftungseigenschaften (Bild 8). Dieses Beispiel verdeutlicht zum einen, dass die Klebbarkeit eines Kunststoffes sich sogar an ver-

schiedenen Stellen des gleichen Bauteils unterscheiden kann. Da die Klebbarkeit der Oberfläche durch den Herstellprozess beeinflusst wird, sollte möglichst im Rahmen der Klebstoffauswahl auch auf Klebversuche am realen seriennahen Bauteil zurückgegriffen werden, um spätere unliebsame Überraschungen zu vermeiden.

Ein weiterer Effekt, der bei der Verklebung von Thermoplasten häufig beobachtet wird, ist die Verbesserung der Klebstoffhaftung durch eine nachfolgende Wärmebehandlung, wie sie z.B. bei der Lackierung des Bauteils erfolgt. Am Beispiel so genannter Organobleche (mit Glasgewebe verstärktes Polyamid) soll dieser Effekt näher erläutert werden. Bei orientierenden Versuchen zur Verklebung dieses neuartigen Werkstoffs mit verschiedenen 2-K-Polyurethanklebstoffen mit E-Moduli im Bereich von 5 – 700 MPa wurde nach wärmebeschleunigter Aushärtung (3' bei 60 °C) im Zugversuch nahezu ausschließlich adhesives Klebstoffversagen mit Festigkeiten von knapp 2 bis ca. 7 MPa beobachtet. Wurden die Prüfkörper jedoch 72 h nach der Härtung einer Wärmebehandlung von 20 Minuten bei 160 °C unterzogen, verbesserte sich nicht nur das Versagensbild, son-

dern auch die Klebfestigkeit (Bild 9). Diese guten Werte blieben auch nach Alterung (10 Runden BMW PR 308.1) erhalten.

### Elektromagnetisches Fügen

In diesem Zusammenhang sei auf das so genannte Emabond-Verfahren hingewiesen, das sich zur sicheren, dauerhaften und absolut dichten Verbindung von thermoplastischen Kunststoffen empfiehlt und prinzipiell in Konkurrenz zu den typischen Schweißverfahren steht. Alle diese Verfahren wie Reib-, Laser-, Ultraschallschweißen, das Schweißen mittels heißer Werkzeuge und auch das Emabond-Verfahren haben ihre offensichtlichen Vorteile, aber auch einige oft nicht auf den ersten Blick ersichtlichen Nachteile.

Das „Emabond“-Verfahren beruht auf der Anregung von Metallpartikeln im elektromagnetischen Wechselfeld und der daraus resultierenden Erzeugung von kontrollierter Wärme (Bild 10). Vorkonfektionierte Bänder oder Stränge bestehend aus einer Polymermatrix eingebetteten ferromagnetischen Rezeptoren werden in den Klebflansch des einen Bauteils eingelegt. Im nächsten Schritt werden die zu verbindenden Bauteile unter leichtem Druck zu-



Bild 9: Versagensbild bei der Verklebung von Organoblechen. Links mit nachfolgender Wärmebehandlung, rechts ohne Wärmebehandlung.

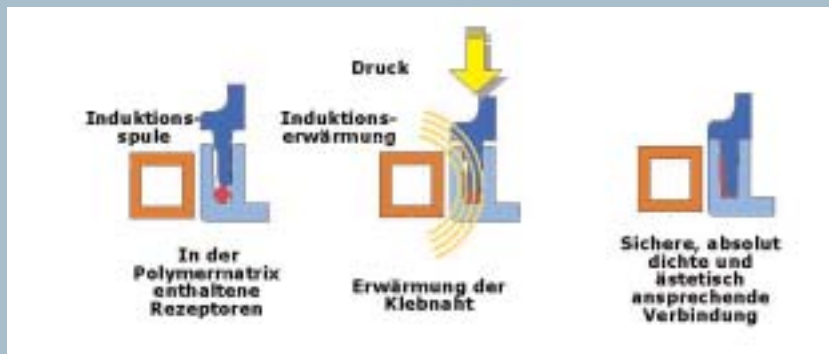


Bild 10: Prinzip des „Emabond“-Verfahrens



Bild 11: Bremsflüssigkeitsbehälter, PA 6 mit 33 % Glasfaser, 4 druckdichte (4,8 bar) Verbindungen



Bild 12: Ansaugstutzen

#### Anforderungen:

- Verbindung von PA 6 GF 30
- 100%ige Dichtigkeit
  - Dauerbetrieb 210 mbar
  - Testdruck 6 bar
- Drei Verklebungen in einem Durchgang (2,4 m Klebnaht)
- Komplexe 3-dimensionale Klebung
- Kompensierung der Spritzguss Toleranzen



#### Anforderungen:

- Verbindung von PA 6 GF 30, Durchmesser 20 cm
- 100%ige Dichtigkeit
  - Dauerbetrieb 3,5 bar
  - Druckprüfung mit Helium
- Null Fehler Forderung

Bild. 13: Kühlwasserausgleichsbehälter

## Quellenverweis Autoren & Vita

sammengefügt, wobei gleichzeitig über eine Induktionspule die Rezeptoren in dem Emabond-Material durch das elektromagnetische Wechselfeld angeregt werden und Wärme erzeugen, die nun die Polymermatrix erweichen lässt. Ergebnis ist eine feste, sichere, absolut dichte und ästhetisch ansprechende Verbindung beider Bauteile. Dieses Verfahren wird hauptsächlich für schlecht zu verklebende Thermoplasten wie Polyethylen und Polypropylen eingesetzt. Aber auch die so genannten Engineered Plastics, wie sie im Automobilbau vielfach für Anwendungen im Motorraum zum Einsatz kommen, können auf diese Weise oft gut und zuverlässig miteinander verbunden werden (Bilder 11 bis 13). Ausführliche Beschreibungen liefert die weiterführende Literatur unter /7, 8, 9/.

### Zusammenfassung und Ausblick

Bedingt durch den verstärkten Einsatz neuartiger Kunststoffe und insbesondere von Thermoplasten, auch im Materialmix mit anderen Werkstoffen, gewinnt die Auswahl des jeweiligen Fügeverfahrens immer mehr

an Bedeutung. Wenn auch in Zukunft der „Universalklebstoff“ zum Verbinden der vielfältigen Thermoplaste nicht realisiert werden kann, so können doch heute unter Beachtung verschiedener Randbedingungen nahezu alle Kunststoffe miteinander durch

Kleben bzw. die beschriebene elektromagnetische Variante sicher und dauerhaft verbunden werden. Dem vielfältig prognostizierten weiteren Anstieg des Kunststoffanteils im Automobil steht somit aus Sicht der Verbindungstechnik nichts im Wege. ■

Dr. Hartwig Lohse (Tel. 04821/778-480, hlohse@ashland.com) ist European Technical Manager – Transportation der Ashland – Drew Ameroid Deutschland GmbH in Itzehoe.

/1/ Automobilwoche, 10. Nov. 2003

/2/ A. Groß, Vortrag Otti Februar 2004

/3/ Schlimmer, Foschum, Seminar „Deformation und Bruchverhalten von Kunststoffen“ in Merseburg 17.06.2005

/4/ AiF-Nr. 13.675N/DVS-Nr. 11.005

/5/ Chrysler

/6/ Michael Stege, R. Jozwowicz, 'Kunststoff-Kleben am Beispiel des Kotflügels des VW Phaeton' Adhesive Bonding in Automobile Production, Conference Bad Nauheim 2002

/7/ Chung-Yuan Wu, Bryan Agosto, 'Implant Induction Welding of Nylon 6.6' ANTEC 2005/1039

/8/ Steve Chookazian, 'Bonding with Electromagnetic Energy' Assembly, January 2000

/9/ Val A. Kagan, Russell J. Nichols, 'Recent Advances and Challenges in Induction Welding of Reinforced Nylon in Automotive Applications' SAE Conference 2004