

KLEBEN VON VERBUNDWERKSTOFFEN

Welche Kriterien müssen eingehalten werden?

Das Fügen von Composite-Werkstoffen in der Automobilindustrie ist ohne den Einsatz der Klebtechnik kaum denkbar. Dank verschiedener Klebstoffentwicklungen hat dieses moderne Fügeverfahren auch in dieser Branche seit Jahren seine Zuverlässigkeit in zahlreichen Anwendungen unter Beweis stellen können. Damit aber die Haftung der Klebschicht noch nach Jahren der Alterung stärker ist als der Verbundwerkstoff und auch die anderen hohen Qualitätsanforderungen dieses Industriebereichs erfüllt werden, müssen Klebstoffauswahl, Bauteildesign, Prozessauslegung und verschiedene andere Kriterien stimmen.

DR. HARTWIG LOHSE

Für den Einsatz von Composite-Werkstoffen, z.B. aus SMC und BMC, in der Automobilindustrie sind heute auf dem Markt zahlreiche maßgeschneiderte Klebstoffe verfügbar. Das Fügeverfahren Kleben ist zum Verbinden von Verbundwerkstoffen untereinander oder mit anderen Materialien wie z.B. beschichteten Metallen unverzichtbar geworden und gewinnt weiter an Bedeutung. So verwendet die Automobilindustrie Verbundwerkstoffe in zunehmendem Maße nicht nur aufgrund ihres Potentials für den Leichtbau, sondern auch wegen der damit gegebenen

Designmöglichkeiten und der Wettbewerbsfähigkeit zu Stahl in Kleinserienanwendungen z.B. für besonders hochwertige Fahrzeuge oder bei der Individualisierung von auf den gleichen Plattformen basierenden Fahrzeugen.

Klebstoffe für Verbundwerkstoffe

Aufgrund der verschiedenen Technologien der heutigen Klebstoffe für Composite-Anwendungen (Polyurethan-, Acrylat-, Epoxid- oder MS-Polymertechnologien) im Automobilbau sind Klebstoffe mit einem weiten Spektrum an mechanischen Eigenschaften verfügbar (Bild 1).

Es kommen sowohl feuchtigkeitshärtende 1-k- als auch reaktive 2-k-Klebstoffe zum Einsatz. Während feuchtigkeitshärtende 1-k-Klebstoffe (auf Polyurethan- oder MS-Polymerbasis) den Vorteil einer einfachen Applikation mit relativ niedrigen Investitionen in die Dosierertechnik bieten, zeigen 2-k-Klebstoffe eine wesentlich schnellere Härtung und erlauben somit kürzere Taktzeiten.

Worauf kommt es bei der Klebstoffauswahl an?

In den meisten Fällen bieten die ausgewogenen mechanischen Eigenschaften der als zähelastisch bezeichneten strukturellen 2-k-Polyurethanklebstoffe sowohl eine ausreichende Festigkeit bei hohen (kurzzeitig bis zu etwa 190 °C, über längere Zeit bis zu 100 °C) als auch eine ausreichende Elastizität bei niedrigen Temperaturen (-40 °C). Die resultierenden Verklebungen widerstehen den auftretenden Schwingungs- und thermisch bedingten Dehnbeanspruchungen. Ferner bietet diese Klebstofffamilie im Vergleich zu den feuchtigkeitshärtenden Klebstoffen den Vorteil eines schnelleren Festigkeitsaufbaus insbesondere wenn die Aushärtung durch eine Wärmebeaufschlagung un-

Vorteile von Klebverbindungen

- Hervorragende Dauerfestigkeit
- Geeignet für das Verbinden verschiedenartiger Materialien
- Gleichmäßige flächige Kräfteinleitung
 - Bauteile aus dünnen und somit leichten Materialien können miteinander verbunden werden
 - Die Werkstoffeigenschaften bleiben erhalten
- Thermische und elektrische Isolierung sowie gute Geräuschkämpfungs- und Dichtungseigenschaften
- Keine oder nur minimale Oberflächenstörungen, geeignet für Class-A-Oberflächen
- Erhöhung der Produktivität

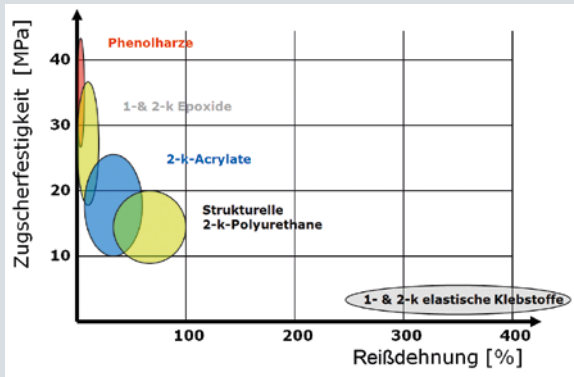


Bild 1: Mechanische Klebstoffeigenschaften

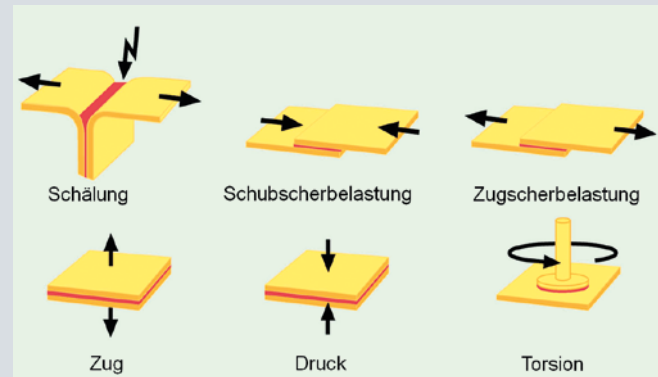


Bild 2: Beanspruchungen, die auf eine Klebverbindung wirken können

terstützt wird. Fixierzeiten von zwei bis drei Minuten sind, eine entsprechende beheizte Fügevorrichtung vorausgesetzt, realistisch.

Erfordert das Bauteil entweder während des regulären Betriebs oder aber während der Herstellungsphasen eine größere Wärmebeständigkeit – wie beispielsweise beim Durchlauf durch die Öfen der Lackstraßen – so muss der Einsatz von Klebstoffen auf Epoxidbasis in Betracht gezogen werden. Epoxidharzklebstoffe sind allgemein weniger flexibel und erfordern zumeist engere Klebspalttoleranzen als Polyurethanklebstoffe.

Beim Kleben großer Teile – z.B. bei der Klebung der Composite-Außenhaut eines Schienenfahrzeugs auf den tragenden Stahlrahmen muss ein hochflexibler Klebstoff eingesetzt werden, der in der Lage ist, die im Fahrbetrieb auftretenden Relativbewegung der Bauteile über die gesamte Lebensdauer hinweg zu kompensieren. Während höher modulige Klebstoffe bei der zerstörenden Prüfung ein Versagen des Fügeteils bewirken, zeigen die elastischen, niedrig moduligen Klebstoffe aufgrund der geringeren Festigkeit ein Versagen innerhalb der Klebschicht (Kohäsionsbruch). Eine Vergrößerung der Klebfläche gleicht den Mangel an Festigkeit aus. In Kleinserienanwendungen, bei denen lange Handhabungs- und Festigkeiten von mehreren Stunden mög-

lich sind, werden feuchtigkeitshärtende Klebstoffe mit hohen Reißdehnungen verwendet. Wird ein schneller Festigkeitsaufbau verlangt, können durch sogenannte Booster beschleunigte 1-k-Klebstoffe mit Härtingszeiten von wenigen Stunden verwendet werden. Sind noch kürzere Taktzeiten erforderlich, empfiehlt sich die Verwendung von niedrig moduligen 2-k-Klebstoffen mit entsprechend schnellem Festigkeitsaufbau.

Bei der Klebstoffauswahl für einen bestimmten Anwendungsfall muss eine Vielzahl von Parametern berücksichtigt werden. Neben den bereits erwähnten Kriterien (mechanische Eigenschaften, thermische Beständigkeit) und dem notwendigen Haftungsspektrum sind die folgenden Parameter des Klebprozesses zu berücksichtigen:

- Offene Zeit des Klebstoffs (maximale Zeitspanne zwischen dem Auftragen

des Klebstoffes auf das Bauteil und dem Zusammenfügen der Bauteile)

- Die zur Verfügung stehende Zeit bis zum Erreichen einer für die weiteren Prozessschritte notwendigen Festigkeit
- Härtingsbedingungen (Härtung bei Raumtemperatur oder wärmebeschleunigt)
- Rheologische Eigenschaften des Klebstoffs (Standvermögen bzw. Abtauffestigkeit der Klebstoffraupe bei Anwendungen an vertikalen Bauteilen bzw. ggf. geforderte Verlaufeigenschaften)
- Farbe
- ...

Konstruktive Auslegung von Klebverbindungen

Um Klebverbindungen herzustellen, die unter den zu erwartenden Betriebsbe-

Grundsätzliche Kriterien für die Gestaltung der Verbindung

- Es sollte die maximale Verbindungsfläche genutzt werden.
- Die Verbindung sollte nur in Scher-, Zug- und Torsionsrichtung beansprucht werden, Belastungen in Schäl- und Spaltrichtung sollten vermieden werden (Bild 2).
- Spannungen aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung in den geklebten Teilen sollten vermieden bzw. berücksichtigt werden.
- Idealerweise sollten alle Klebflächen senkrecht zu den auftretenden Kräften ausgelegt werden.

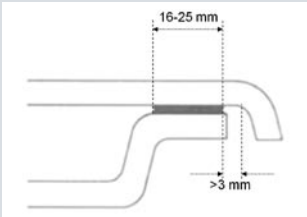


Bild 3: Typische Klebverbindung von SMC-Kunststoffteilen



Bild 4: Der Kofferraumdeckel des BMW M3 CSL, bestehend aus zwei miteinander verklebten SMC-Kunststoffteilen

dingungen über die vorgesehene Lebensdauer hinweg zuverlässig die Gebrauchsfähigkeit des Bauteils gewährleisten, müssen nicht nur die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Klebstoffes und der geklebten Teile und die auftretenden Kräfte und Belastungsarten frühzeitig bedacht werden. Unabhängig von der Geometrie der zu verbindenden Bauteile müssen die grundsätzlichen Gestaltungskriterien für Klebverbindungen berücksichtigt werden.

Typische Klebflansche sollten eine Breite von 16 bis 25 mm haben (Bild 3). Flansche mit einer minimalen Weite von 6 mm können, wenn nötig, an kleineren Bauteilen wie Spoilern verwendet werden. Ein minimaler Abstand des Innenteils zur Außenkante des Außenhautteils von 3 mm hat sich in der Praxis als ausreichend herausgestellt, um eine gute Fixierung des Bauteils in der Fügevorrichtung zu gewährleisten und das Entfernen überschüssigen Klebstoffes zu ermöglichen. Eine Klebschichtdicke von

0,5 bis 1,5 mm ist für die meisten Anwendungen mit Strukturklebstoffen passend. Bei Klebstoffen mit niedrigem E-Modul wird in vielen Fällen mit dickeren Klebstoffschichten gearbeitet, um so den größten Nutzen aus der Elastizität des Klebstoffes zu ziehen.

Werden – wie häufig beim Kleben von Composite-Bauteilen in der Automobilindustrie – hohe Anforderungen an die optische Qualität des Bauteils (Class A Oberfläche) gestellt, müssen Klebstoffabzeichnungen in der Außenhaut unbedingt vermieden werden. Klebstoffabzeichnungen können nicht nur durch eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Schrumpfung des Klebstoffs während der Härtung, sondern auch durch andere, weitestgehend klebstoffunabhängige Faktoren ausgelöst werden. Dazu gehören z. B. Unterschiede im thermischen Ausdehnungsverhalten der verklebten Bauteile, sei es aufgrund unterschiedlicher Werkstoffe mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten oder aufgrund einer unterschiedlichen Aufheiz-

bzw. Abkühlgeschwindigkeit bei der Klebstoffhärtung. Unterschiede in der Klebschichtdicke, insbesondere wenn diese sprunghaft auftreten, im Fügepart bereits eingebaute Abstandshalter, aus dem Klebflansch herausquellender überschüssiger Klebstoff sowie variierende Temperaturen und Drücke in der Fügevorrichtung können ebenfalls zu Abzeichnungen führen.

Zur Vermeidung von Abzeichnungen kann natürlich die Steifigkeit des Außenhautteils durch höhere Materialstärken erhöht werden, was aber häufig aus Gewichtsgründen nicht möglich ist. Auch die Verwendung von niedrig moduligen Klebstoffen ist nicht immer möglich, da ja bestimmte Festigkeiten erforderlich sind. Auf jeden Fall sollten die verwendeten Klebstoffe keine Substanzen enthalten, die über die Zeit aus dem gehärteten Klebstoff ausgasen und dadurch zu einem Schrumpf führen oder in die Bauteile migrieren könnten. Um optisch ansprechende Teile wie z. B. Motorhauben oder Heckdeckel in Class A Qualität zu fertigen, ist es empfehlenswert, die Klebungen auf die Kantenbereiche oder Bereiche mit Radien, wie z. B. Sicken, zu beschränken (Bild 4). Sind allerdings Flächenklebungen nötig – z. B., um die Außenhaut gegenüber Schwingungen zum Innenteil hin abzustützen – sollten Klebstoffe mit niedrigem E-Modul zum Einsatz kommen. In diesen Bereichen treten meist nur geringe Kräfte auf, die von diesen so genannten „Anti-Flutter-Klebstoffen“ (schwingungsdämpfende Klebstoffe) sehr gut übertragen werden können. Alle geschlossenen Profile müssen belüftet werden, damit eingeschlossene Luft bei einem späteren Ofendurchlauf keinen Druckanstieg verursacht, der Deformationen der Außenhaut zur Folge hätte.

Bei der Bauteilkonstruktion sollte ebenfalls bedacht werden, dass Klebverbindungen in der Regel unter Einsatz einer Klebvorrichtung hergestellt werden. Idealerweise sollten alle Klebflächen

senkrecht zur Anpresskraft ausgerichtet sein, um ein Abschieben des Klebstoffs beim Zusammenbringen der Teile und daraus resultierend Verschmutzungen und unzureichend mit Klebstoff versehene Klebflansche zu vermeiden. Gegebenenfalls kann bei großen und komplexen Baugruppen die Verwendung von mehreren überlappenden Innenteilen notwendig werden.

Oberflächenvorbehandlung

Die Voraussetzung für eine zuverlässig haltbare Klebung ist eine ausreichende Substratbenetzung durch den Klebstoff. Da die für das Kleben ausschlaggebenden Kräfte nur über extrem kurze Entfernungen im Nanometer-Bereich wirken, ist es offensichtlich, dass die Adhäsionskräfte nur zum Tragen kommen können, wenn der Klebstoff das Substrat gut benetzen kann. Verschmutzungen wirken sich in der Regel ungünstig auf die Adhäsion des Klebstoffs zum Substrat aus.

Moderne Klebstoffe für die Verbindung vieler Composite-Werkstoffe wie SMC (Sheet Molding Compound) und BMC (Bulk Molding Compound) erfordern lediglich eine trockene Reinigung, um Staub zu entfernen oder eine Reinigung mit Lösemittel, um zusätzlich leichte Verschmutzungen wie Öl und überschüssiges Formtrennmittel zu beseitigen. Diese Klebstoffe sind, sofern die Aushärtung in einer beheizten Fügevorrichtung stattfindet, in der Lage, übliche Mengen an Formtrennmittel auf der Oberfläche zu kompensieren. Wie bereits beschrieben, beschleunigt die Wärme nicht nur die Aushärtung des Klebstoffes, sondern agiert auch sozusagen als „Primer“, indem Formtrennmittel durch den Klebstoff absorbiert werden. Für bei Raumtemperatur härtende 2-k- und 1-k- feuchtigkeitshärtende Klebstoffe ist ein leichtes Anschleifen der Oberfläche oder die Verwendung eines speziellen Primers empfehlenswert. Werden Primer verwendet, ist

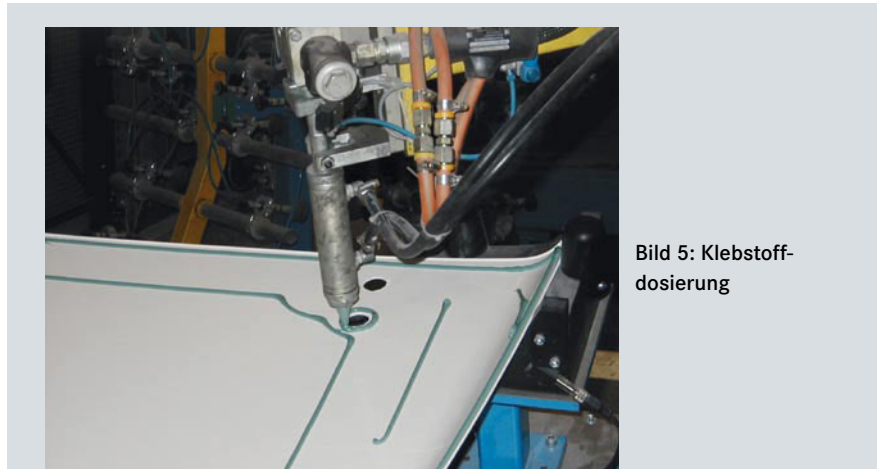


Bild 5: Klebstoffdosierung

Bild 6: Festigkeitsaufbau bei Zweikomponenten-Klebstoffen

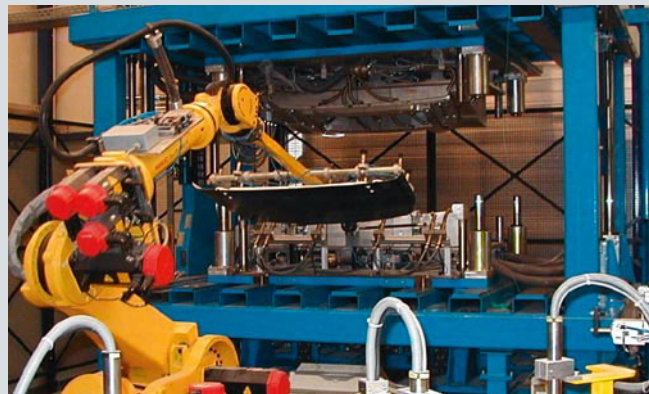
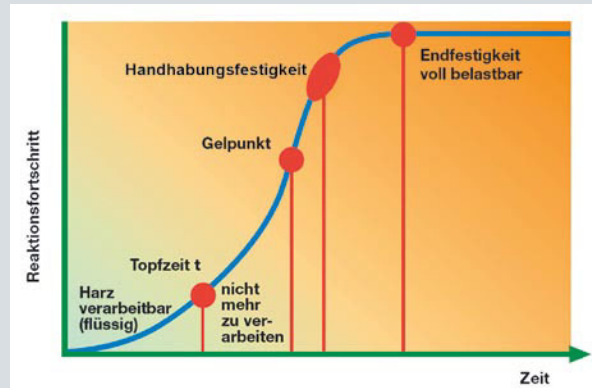


Bild 7: Beheizte Vorrichtung zum Kleben eines Kofferraumdeckels

darauf zu achten, dass diese nicht auf Class A Oberflächen aufgetragen werden, da dadurch die Qualität der folgenden Lackierung negativ beeinflusst werden kann. Das relativ neue Verfahren einer Vorbehandlung durch „Atmosphärenplasma“ leistet nicht nur bei der Vorbehandlung von SMC und BMC gute Ergebnisse, so dass durch Einsatz

dieses automatisierbaren Verfahrens auf ein nur bedingt als prozesssicher zu bezeichnendes manuelles Reinigen verzichtet werden kann. Auch andere Polymerwerkstoffe, einschließlich solcher mit niedrigerenergetischen, also schlecht benetzbaren Oberflächen, können nach einer Plasmavorbehandlung sicher verklebt werden.

