

Wirtschaftliches Trennen von strukturellen Klebverbindungen

Einleitung

Die Fügetechnik Kleben gewinnt auch in sicherheitsrelevanten Bereichen des Fahrzeugbaus an Bedeutung. Neben den in Deutschland seit den 70er Jahren eingesetzten, elastischen Klebungen von feststehenden Glasscheiben hat die Klebtechnik inzwischen auch ihren festen Platz in den strukturellen Verbindungen der Rohkarosserie. Die Umsetzung des Leichtbaugedankens mit neuen Materialien und ständig steigende Designansprüche forcieren diesen Trend.

Allerdings stellen geklebte Fahrzeuge die Hersteller auch vor neue Aufgaben:

Gesetzesrichtlinien wie die Altfahrzeugverordnung „Richtlinie 2000/53/EG“, ein hoher Kostendruck und ständig steigende Umweltaforderungen erfordern zukünftig eine schnelle und kostengünstige Reparatur und Instandsetzung strukturell geklebter Fahrzeuge.

Hauptaugenmerk liegt bei Reparatur oder Bauteilersatz dabei auf einem definierten, schnellen und insbesondere beschädigungsfreien Trennen der beschädigten von den verbleibenden, intakten Bauteilen. Optimal wäre die rückstandsfreie Trennung von Klebverbindungen, um die arbeitsintensive Nacharbeit bzw. Vorbereitung zur erneuten Bauteilverbindung nahezu entfallen zu lassen und eine Materialschädigung an Restbauteilen zu vermeiden.

Im Folgenden wird eine neue Methode vorgestellt, die in Sekundenbruchteilen eine saubere, dauerhafte Trennung von geklebten Bauteilen ohne Resttrennkraft erwirkt.

Aktuelle Trennmethoden von Klebverbindungen

Die aktuellen Reparaturtechniken in der Kraftfahrzeugbranche lassen sich in die Kategorien mechanisches Trennen bei Montageklebungen und thermisch-mechanischen Trennen bei Strukturklebungen aufteilen.

Die bedeutendsten Montageklebungen stellen im Fahrzeugbau die Klebungen feststehender Glasscheiben mit Polyurethanklebstoffen (PUR) dar. Diese Dickschichtklebungen werden nach heutigem Stand mittels zweier Austrenntechniken gelöst.

Bei Variante 1 wird an einer gut zugänglichen Stelle ein Draht durch die Klebraupe geschoben und auf der Innenseite mit einem Saugnapf befestigt. Anschließend führt der Werker das andere Drahtende außerhalb des Fahrzeugs an der Scheibenkante entlang und erwirkt nach 360° Umlauf des Drahtes ein Austrennen der Scheibe. Eine weitere Verwendung der Scheibe ist möglich, scheitert jedoch teilweise an mechanischen Schäden des Glasscheibenrands.

Variante 2 verwendet ein oszillierendes Schneidemesser, das sich im Kleinwinkelbereich in einer Ebene hin und her bewegt und vom Werker entlang des Klebflansches gezogen wird. Die Scheibe kann nur in sehr seltenen Fällen wieder verwendet werden, da sie meistens beschädigt wird. Abhängig vom Geschick des Werkers und der Zugänglichkeit des Klebflansches treten dabei durch Berührungen des Messers mit dem Untergrund häufig Lackschäden der Karosserie auf, die aus Korrosionsschutzgründen eine zeitaufwändige Lackreparatur erforderlich machen.

Die oben beschriebenen mechanischen Verfahren funktionieren, weil Scheibenklebungen mit PUR-Klebstoffen durchgeführt werden, die eine elastische Klebschicht ausbilden und sehr große Klebschichtdicken von einigen Millimetern zum Toleranzausgleich verwendet werden müssen. Diese Randbedingungen liegen bei strukturellen Klebungen nicht vor. Die verwendeten Epoxidharzsysteme bilden harte Klebschichten aus, die nicht geschnitten werden könnten. Zudem beträgt die Klebschichtdicke nur einige Zehntel Millimeter, was den Zugang der Schneidewerkzeuge nahezu unmöglich macht.

Aus diesen Gründen werden Strukturklebungen nach heutigem Stand mit Hilfe von Heißluft (oder sehr selten auch mittels offener Flamme) gelöst. Bei dieser Methode wird die Oberfläche des Bauteils erwärmt, wodurch sich durch Wärmeleitung nach einiger Zeit auch die dahinterliegende Klebschicht erwärmt und dadurch an Festigkeit verliert, so dass in diesem Zustand mit zusätzlichen mechanischen Hilfsmitteln, beispielsweise Meißel und Hammer, der Verbund aufgehebelt und getrennt werden kann. Das Trennen der Klebverbindung folgt dabei dem Prinzip „Versuch und Irrtum“, da keine Angabe über die erreichte Temperatur in der Klebschicht sowie die erreichte Schwächung der Verbindung möglich ist.

Entwicklung einer Trennmethode für Strukturklebstoffe

Aus den beschriebenen Gründen besteht somit Bedarf nach einer neuen Trennmethode für strukturelle, also hochfeste Klebverbindungen, die das definierte Öffnen derartiger Klebverbindungen unter Werkstatttrandbedingungen erlaubt.

Zur Entwicklung dieser neuen Lösemethode wurden aus Serienkarossen typische Flanschverbindungen aus der Fahrzeugstruktur ausgetrennt. Die Klebflanschbreite beträgt üblicherweise 10 bis 20 mm, die Klebschichtdicke einige Zehntel Millimeter. Beim Klebstoff handelte es sich um einen crashstabilen Standard-Strukturklebstoff auf Epoxidharzbasis. Um eine vollständige Trennung der Bauteile zu ermöglichen und die Funktionsweise der Trennmethode besser bewerten zu können, wurden die zusätzlichen punktuellen Fixierstellen der Flansche vor den Entklebeversuchen ausgebohrt.

Aus Gründen der späteren Einsetzbarkeit sollte die neue Trennmethode auf einem thermischen Prinzip beruhen. Zur Ermittlung der optimalen Wärmeeinbringung wurden zunächst umfangreiche Grundsatzversuche mit diversen Erwärmungsmethoden durchgeführt. Dazu zählten Aufheizmethoden wie Konvektion (Brennofen), Strahlung (Infrarot-Lampe) und Induktion im Hochfrequenzbereich mittels Schwingkreisgeneratoren und im Mittelfrequenzbereich mittels luftgekühlter Hardchopper-Induktionsgeneratoren. Bei der konvektiven Erwärmung im Brennofen konnten die Bauteilprüfkörper selbst bei bis zu 300° C nach 30 min mittels Keilwirkung eines Schraubendrehers (Spaltbelastung) nicht getrennt werden.

Proben, die einer kurzweiligen IR-Bestrahlung mit 43 W/cm in ca. 3 cm Abstand bis zum Erreichen einer Temperatur von rund 300° C ausgesetzt waren, konnten mittels Schraubendreher und mittlerem Kraftaufwand aufgebogen werden.

Eine weitere Probengruppe, die induktiv mittels Schwingkreis bei HF-Frequenzen von einigen Hundert Kilohertz erwärmt wurde, konnte nicht einheitlich auf ein Temperatur-Niveau erwärmt werden. Randeffekte und Materialanhäufungen ließen Bereiche weit unter bzw. weit über der Zieltemperatur entstehen. Wärmebildaufnahmen zeigten hier für die verwendete Geometrie eine Temperaturdifferenz von nahezu 100° C. Dem folgend zeigte auch das Bruchbild der Proben eine entsprechende Variation von intakter Klebung bis hin zu einer verbrannten Klebschicht.

Beschreibung des neuen Verfahrens

Die letzte Probengruppe wurde induktiv mittels Hardchopper-Generatoren mit einer Typenleistung von maximal 5 kW und speziell entwickelten Kleininduktoren (Bild 1) erwärmt, die eine homogene Erwärmung eines Abschnitts des Klebflansches in sehr kurzen Zeiten erlauben.

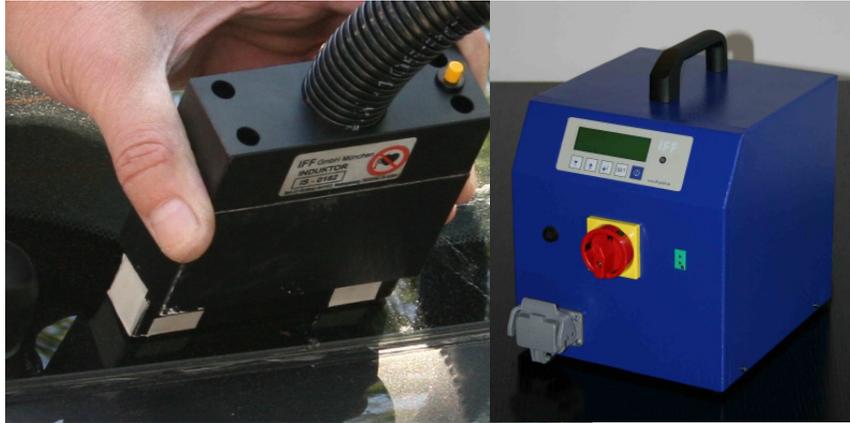
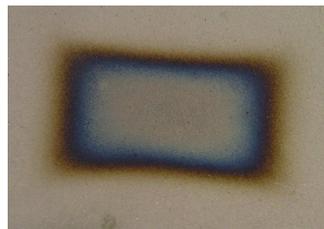


Bild 1: Vollvergossener Handinduktor und Werkstattgenerator

Bei den Versuchen wurden bei einem knapp einsekündigen Entklebprozess, der das dem Induktor zugewandte Blech auf 250 bis 300 °C bringt, ein Flanschabschnitt von ungefähr 50 bis 100 mm geöffnet - je nach verwendeter Induktorgeometrie. Jeder Induktionszyklus führt dabei zur Erwärmung eines geometrisch genau definierten Bauteilbereichs (Bild 2); die Peripherie bleibt bei Stahlteilen aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit signifikant kälter.



*Bild 2: Definierte Wärmeeintragszone beim Induktionsheizen
(Blech zur Verdeutlichung absichtlich überhitzt)*

Für das Trennen des gesamten Flansches muss dieser Prozess sequentiell wiederholt werden. Da sich das gesamte Bauteil bei jedem Trennprozess aufheizt und die Wärme bei linearem Verschieben kumulieren würde, ist eine Positionierung des Induktors entsprechend der abgebildeten Farben sinnvoll (Bild 3). Zunächst rot links, dann rot rechts, dann blau links, danach blau rechts und schließlich gelb links und gelb rechts.

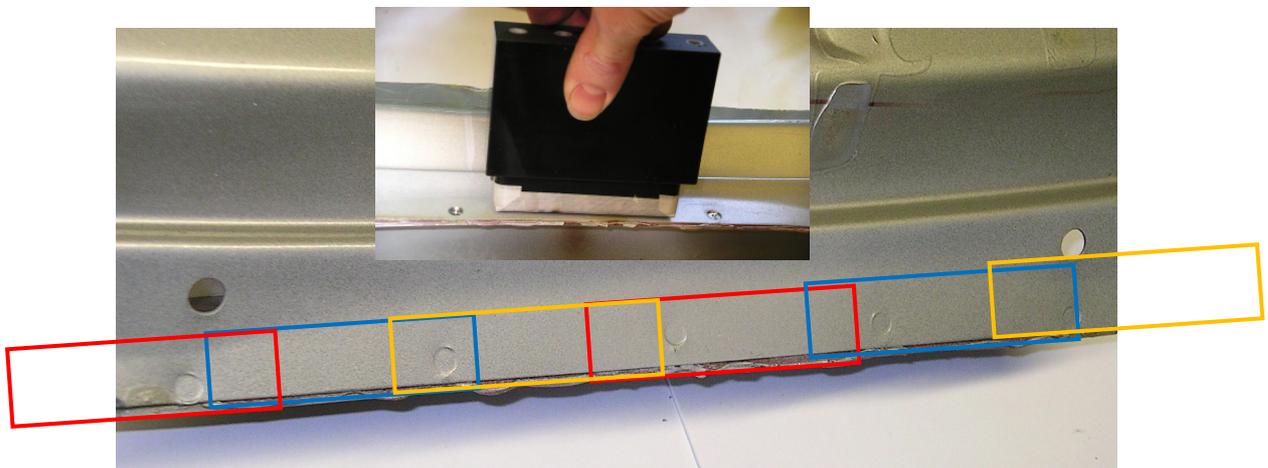


Bild 3: Sinnvolle Induktorpositionen für das Öffnen des Klebflansches

Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren

Um ein einfaches und schnelles Lösen von Strukturklebungen zu ermöglichen, wurde diese neue Trennmethode entwickelt, die die Prozessprobleme bisheriger Methoden vermeidet und die über entsprechendes Potential für zukünftige Reparaturkonzepte verfügt. Das Prinzip besteht aus einer extrem schnellen, lokal begrenzten Bauteilerwärmung mittels spezieller Induktionstechnik, die innerhalb von Sekunden eine definierte Öffnung einer dünnen, strukturellen Klebschicht zur Folge hat ohne den Lack zu verbrennen (Bild 4).



Bild 4: Adhäsives Trennen einer Strukturklebung ohne Klebstoffpyrolyse

Entscheidend bei dem neuen Verfahren ist, dass es sich nicht um ein Verbrennen einer duromeren Kunststoffschicht handelt, sondern dass durch die plötzliche, einseitige Temperaturerhöhung eines Fügeteils die Klebung definiert adhäsiv versagt. Der Adhäsionsbruch beruht nach derzeitigem Kenntnisstand wahrscheinlich auf einer thermischen Schwächung der Grenzschicht und einer gleichzeitigen Extrembelastung durch die sehr hohen mechanischen Spannungen, die aufgrund der hohen lokalen Temperaturunterschiede in der Klebschicht durch den kalten und warmen Fügepartner entstehen.

Die induktive Lösemethode verfügt über folgende Eigenschaften:

1. Lokal begrenztes Entkleben möglich
Verbindungselemente können bis zu einer definierten Grenze gelöst und getrennt werden, die nicht zwangsweise die Bauteilgrenze darstellt.
2. Universelle Anwendbarkeit
Die neue Entklebmethode verfügt über einen breiten Anwendungsbereich, da auch Klebverbindungen älterer Fahrzeuge bzw. andere Klebstoffe mit ähnlichen strukturellen Klebschichteigenschaften gelöst werden konnten.
3. Eindeutigkeit
Den Messwerten und Ergebnissen zufolge gibt es nur zwei Zustände: Klebung zerstört oder Klebung intakt.
4. Bauteilschonung
Aufgrund der extremen Aufheizraten der Induktionstechnik kann der Prozess so eingestellt werden, dass nur die zu trennende Seite signifikant erwärmt wird.

Die Versuche an Realbauteilen einer Fahrzeugkarosse zeigten nach Abschluss eines Trennvorgangs, dass die einseitige Bearbeitung der Verbindung, ein völlig unbeeinträchtigtes Bauteil auf der Gegenseite hinterlässt. Verzinkung, Lackierung, Schäume und Unterbodenschutz zeigten keinerlei Veränderung (Bild 5).

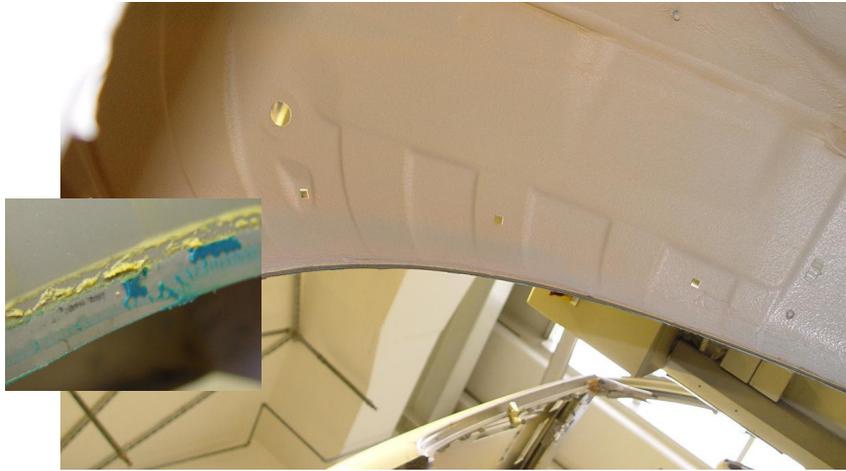


Bild 5: Optische Unversehrtheit der Oberseite eines getrennten Radlaufs

5. Dauerhaftigkeit

Im Gegensatz zu den eingangs beschriebenen thermischen Methoden, die auf einer temporären Schwächung der Klebfestigkeit beruhen, bewirkt die neue Technik mittels Induktion eine dauerhafte Trennung. Es ist daher nicht notwendig, ein zu lösendes Bauteil gleichzeitig komplett zu erwärmen oder den erwärmten Bereich bei hohen Temperaturen abzunehmen.

6. Energieersparnis

Im Gegensatz zu den alternativen Heizverfahren, die das Aufheizen von großflächigen Bereichen über mehrere Minuten mit sich bringen, wird bei der neuen Methode nur so viel Energie in die Bauteile eingebracht wie nötig. Ein Vorheizen ist nicht nötig.

7. Schnelligkeit

Aufgrund der extremen induktiven Aufheizraten ist es möglich, Karosserieklebstoffe in Sekundenbruchteilen zu lösen.

8. Einfachheit

Das neue Verfahren kann ohne spezielle Ausbildung von handwerklich geschickten Werkstattmitarbeitern durchgeführt werden. Zum Entkleben werden zeitlich vorgegebene Heizzyklen verwendet, die durch Knopfdruck am Induktor ausgelöst werden.

Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Methode erlaubt das einfache und schnelle Trennen von strukturellen Klebverbindungen, ist also für Recycling und speziell für anspruchsvolle Reparaturprozesse geeignet. Durch den extrem geringen Gesamtwärmeeintrag erspart sie Abrüstarbeiten und verkürzt die Gesamtreparaturzeit durch Entfall von Nacharbeit.

Im Rahmen der Entwicklung wurden an aktuellen Bauteilkonturen erfolgreiche Versuche durchgeführt, allerdings wirken sich geometrisch schwer zugängliche Stellen wie Sicken, Ecken oder andere Kontursprünge nachteilig aus, da sie die Annäherung des Induktors an die Bauteiloberfläche behindern können. Die aktuell für Strukturverbindungen verwendete Hybridfügetechnik Kleben plus Nieten oder Kleben plus Schweißen bedingt zum vollständigen

Bauteiltrennen das Ausbohren der Punktfügestellen und verkompliziert den Reparaturprozess erheblich.

Aus diesen Betrachtungen folgt, dass zukünftig reine Klebverbindungen anzustreben sind, was seitens der Anforderungen der Fahrzeughersteller durchaus möglich wäre. Zudem sollten bei der Konstruktion der Fahrzeuge auch die Belange des Reparierens stärker als bisher Berücksichtigung finden.

Autoren

Prof. Dr. Christian Lammel (+49 89 9699890, christian.lammel@iff-gmbh.de) ist Geschäftsführer des Induktionsanlagenherstellers IFF GmbH in Ismaning und Lehrbeauftragter für die Klebtechnik an der Technischen Universität München.

Dipl.-Ing. Peter Schaumeier (+49 89 9699890, peter.schaumeier@iff-gmbh.de) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der IFF GmbH.