

Dr. Hartwig Lohse
ASHLAND – DREW AMEROID DEUTSCHLAND GMBH
ELEKTROMAGNETISCHES KLEBEN VON
THERMOPLASTEN – WENN ÄSTHETIK UND
DICHTHEIT GEFORDERT WERDEN

Abstract

Elektromagnetisches oder Induktions-Kleben von thermoplastischen Kunststoffen stellt ein einfaches, schnelles und sicheres Montageverfahren dar um strukturelle, hermetisch- und druckdichte Verbindungen zwischen nahezu allen thermoplastischen Kunststoffen zu erzeugen. Die notwendige Temperatur zur oberflächlichen Verschmelzung der Substrate wird durch den Einsatz eines modifizierten Polymers erreicht. Die Modifizierung des Polymerharzes bedingt die Absorption der Energie eines elektromagnetischen Feldes und deren Umwandlung in Wärmeenergie. Das Verfahren wird eingesetzt für schwer zu verklebende olefinische Thermoplaste aber auch Polyamide und andere Thermoplaste. Mit dem Verfahren können unterschiedliche und auch verstärkte Thermoplaste, wie sie zunehmend für spezielle Anwendungen verwendet werden sicher und ästhetisch ansprechend miteinander verbunden werden.

1. Einleitung

Thermoplastische Kunststoffe gewinnen nicht nur im modernen Automobilbau, sondern auch in anderen Industriezweigen zunehmend an Bedeutung, sodass die Frage der Verbindungstechnik an Bedeutung zunimmt. Die typischen Schweißverfahren für Thermoplaste aber auch das Kleben haben ihre offensichtlichen Vorteile, aber auch einige, oft nicht auf den ersten Blick ersichtlichen Nachteile. Das EMABOND™-Verfahren der Ashland Specialty Chemical kann hier in vielen Fällen als Problemlöser helfen eine prozesssichere Fertigung zu erreichen.

2. Verbindungstechnik für thermoplastische Kunststoffe

2.1. Kleben mittels reaktiver Klebstoffsysteme

Wenn man von Kleben spricht versteht man hierunter in der Regel und dies soll auch für diesen Beitrag gelten das verbindende Fügen gleicher oder ungleicher Werkstoffe unter Verwendung eines Klebstoffs, worunter üblicherweise ein nichtmetallischer Stoff, der Füge-teile durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbindet (DIN 16920 [1]) verstanden wird. Ein Klebstoff muss also während des Klebens einen Zustand erlangen der eine Benetzung der Füge-teileoberflächen erlaubt um dann auch die

Adhäsion zu der Oberfläche aufzubauen. Eine optimale Benetzung ist dann gegeben, wenn die Oberflächenenergie des Fügeteils gegenüber der des Klebstoffs sehr groß ist, die Benetzung also mit einem entsprechend großen Energiegewinn verbunden ist. Aufgrund der ähnlichen Werte der Oberflächenenergien der zu verklebenden Substrate zu denen der Klebstoffe, muss generell von einer geringen Benetzungsfreundlichkeit der Kunststoffe ausgegangen werden.

Neben dem Benetzungsvermögen muss ergänzend die Ausbildung von zwischenmolekularen Adhäsionskräften möglich sein. Diese lassen sich bei Kunststoffen im Wesentlichen auf Nebenvalenz-, Dipol- und Dispersionskräfte zurückführen. Polare Kunststoffe, wie z.B. (weichmacherfreies) PVC lassen sich aufgrund der regelmäßig an der Oberfläche verteilten, auf die elektronegative Chloratome zurückzuführende Dipole meist recht gut verkleben. Kunststoffe, wie z.B. Epoxidharze weisen keine regelmäßig angeordneten, sondern auf bestimmte Molekülbereiche (C-O-Bindungen) verteilte Dipole auf (nebenvalenter Typ). Aufgrund von einer verstärkten inneren Elektronenbewegung bei aromatischen Ringstrukturen entstehen in einer eigentlich dipollosen Struktur (z.B. Polystyrol) fluktuierende Dipole, die wiederum zu einer Polarisierung benachbarter Atome und Moleküle führen (dispenser Typ). Als gänzlich unpolarer Typ gelten zum Beispiel die gesättigten Polyolefine, wie z.B. Polyethylen und Polypropylen.

Die große Vielfalt in der chemischen Zusammensetzung von Kunststoffen und den daraus resultierenden großen Unterschieden in ihren mechanisch- physikalischen Eigenschaften macht diese Materialgruppe für unterschiedlichste Anwendungen sehr interessant. Die aber ebenfalls großen Unterschiede in den Oberflächen- und daraus resultierenden Klebeigenschaften führt aber auch dazu, dass es ein universelles Fügeverfahren nicht geben kann.

Dem Kleben kommt sicherlich, wie ja auch die vielfältigen industriellen Anwendungen zeigen eine große Bedeutung zu, man muss aber bedenken, dass der verwendete Klebstoff und auch der Klebprozess selbst auf die jeweilige Aufgabe abgestimmt werden muss. [3]

2.2. Schweißverfahren für Thermoplaste

Die Grundlagen der verschiedenen, in der Kunststoffverarbeitung eingesetzten Schweißverfahren unterscheiden sich in der Art der Wärmeeinbringung in die Fügeebene. Es steht eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, die in der einschlägigen Literatur [4 und 5] ausführlich beschrieben sind. Die zur Wärmeerzeugung verwendeten Technologien können prinzipiell in die folgenden Gruppen unterteilt werden (vgl. auch Abb. 1):

- Wärmeeinbringung durch feste Körper (direktes und indirektes Heizelementschweißen)
- Wärmeeinbringung durch Bewegung (Vibrations-, Ultraschall-, Rotations-Schweißen)
- Wärmeeinbringung durch Gase (Warmluft/-gas-, Extrusionsschweißen)
- Wärmeeinbringung durch Strahlung (Heizstrahlerstumpf-, Lichtstrahl-extrusions-, IR-, Laserschweißen)
- Wärmeeinbringung durch elektr. Strom (Elektromagnetisches-, HF-Schweißen)

Eine Kurzbeschreibung der wichtigsten Verfahren ist diesem Artikel als Anhang beigelegt.

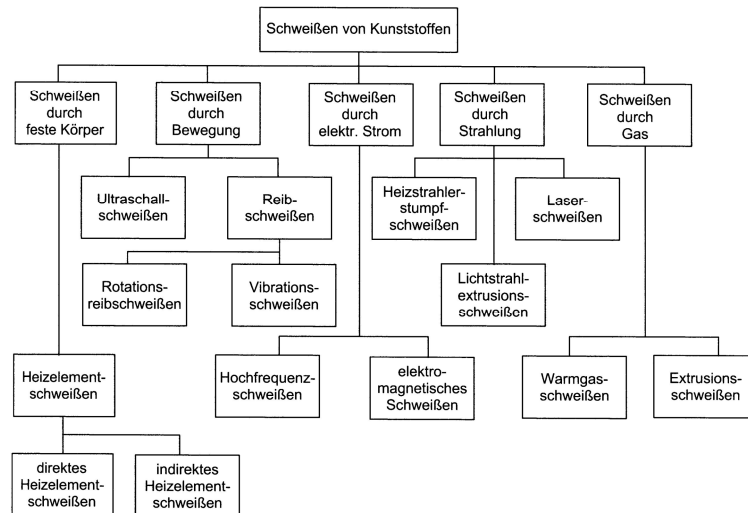


Bild 1. Technologien zur Wärmeerzeugung für das Schweißen von Thermoplasten

3. Elektromagnetisches Kleben

Alle heute verfügbaren, oben erwähnten Methoden haben, abhängig von dem jeweiligen Anwendungsfall ihre offensichtlichen Vorteile, aber auch ihre z.T. nur schwer erkennbaren Nachteile. Auch das elektromagnetische Kleben und hier insbesondere das Induktionskleben stellt kein ‚Universalverfahren‘ für alle denkbaren Anwendungsfälle dar, es kann aber aufgrund seiner vielfältigen verfahrensspezifischen Vorteile (Abb. 2) oft als Problemlöser beim Fügen von Thermoplasten zum Einsatz kommen.

Design-Vorteile:

- Verbinden unterschiedlicher, auch gefüllter Thermoplasten
- Komplexe Bauteilgeometrien problemlos realisierbar

Ästhetik:

- Vermeidung ungewollter Bauteil Verformungen
- keine Abdrücke auf der Oberfläche
- glatte, ästhetisch anspruchsvolle Oberfläche nach dem Fügen

Fertigungs-Vorteile:

- Verbinden unterschiedlicher, auch gefüllter Thermoplasten
- komplexe Bauteilgeometrien problemlos realisierbar
- Ausgleich von Toleranzen durch die Verwendung von Zusatzmaterial
- hohe Prozesssicherheit (druckdichte strukturelle Verbindung)
- wieder lösbare Verbindung

Bild 2. Verfahrensbedingte Vorteile des EMABOND™ Induktions-Kleb-Verfahren

So können nicht nur unterschiedliche thermoplastische Kunststoffe mit von einander verschiedenen Erweichungstemperaturen, sondern auch gefüllte Materialien sicher miteinander verbunden werden.

3.1. Verfahrensvarianten des elektromagnetischen Klebens

Bei den elektromagnetischen Schweißverfahren wird die Erwärmung von Thermoplasten in einem elektromagnetischen Feld ausgenutzt. Je nach Frequenz, bzw. Wellenlänge der eingesetzten elektromagnetischen Strahlung unterscheidet man zwischen

- Mikrowellenschweißen (mit Frequenzen von etwa 10^9 Hz). Es kann für Folien, Platten und Formteile eingesetzt werden, hat aber industriell bisher keine große Bedeutung.
- Hochfrequenz- (HF-)schweißen (mit Frequenzen von etwa 10^7 Hz). Es hat vor allem im Folien- und geschichteten Gewebesektorbereich bei polaren Thermoplasten eine große Bedeutung erlangt
- Induktionsschweißen –oder kleben (mit Frequenzen von etwa 10^6 Hz). Diese auch als EMABOND™ Verfahren bekannte Technologie stellt ein Nischenverfahren dar, dass insbesondere für Formteile mit besonderen Anforderungen eingesetzt wird.

3.2. Grundlagen des Induktions-Kleben nach dem EMABOND™ Verfahren

Bei diesem Verfahren wird das Prinzip der Induktionserwärmung genutzt. Zwischen die zu verbindenden Bauteile wird ein Schweißhilfsmaterial (Induktionsklebstoff) gelegt, das üblicherweise aus dem Thermoplasten besteht, aus dem die Fügeteile gefertigt sind und zusätzlich ferromagnetische Partikel enthält. Die zum Verbinden der Fügeteile notwendige Wärme wird durch Hysterese- und Wirbelstromverluste in den ferromagnetischen Partikel erzeugt, wenn diese einem elektromagnetischem Wechselfeld ausgesetzt werden. Die so erzeugte Wärme führt zu einem Aufschmelzen der Polymermatrix des Induktionsklebstoffs und letztendlich auch zum Anschmelzen der Fügeteile im Bereich der Fügefläche. Im Sinne der oben zitierten DIN 16920 ist der Begriff Kleben für diese Verfahren also nicht ganz zutreffend. Es wird zwar ein nichtmetallischer Werkstoff in den Flansch eingebracht, wobei aber die Verbindung zum Substrat nicht durch Adhäsion, sondern durch ein partielles Verschmelzen erfolgt.

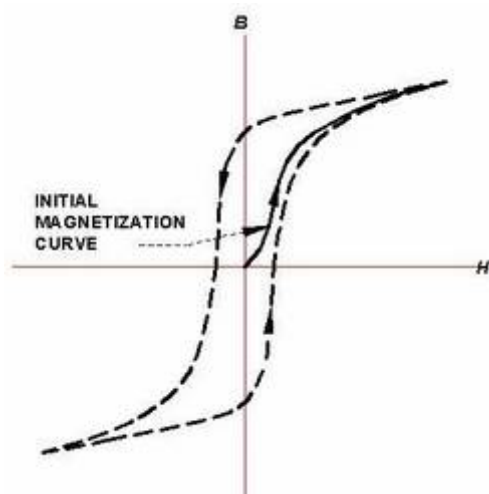


Abb. 3. Prinzip der Erwärmung durch Hysterese

Der Vorgang der Hysterese-Erwärmung kann am besten dargestellt werden, indem man die Feldintensität H gegen die magnetische Induktion aufträgt B (Abb. 3). Die Magnetisierungskurve startet im Ursprung bei H_0B_0 , hier wird dem Rezeptor das erste Mal Energie zugefügt. Die Magnetisierung steigt, bis das Maximum der Feldstärke erreicht ist, um dann mit sinkender Feldstärke entlang der gestrichelten Kurve wieder abzufallen. Bei jedem Zyklus der eingestrahelten elektromagnetischen Wechselstrahlung vollführt das Rezeptorteilchen einen vollen Zyklus. Die von dieser Kurve eingeschlossene Fläche ist proportional zu der in Wärme überführten Energie. Bedingt durch die verhältnismäßig schlechte Energieumsetzung in den zum Einsatz kommenden ferromagnetischen Partikeln sind Frequenzen im Bereich von etwa 3 bis 10 MHz notwendig um eine hinreichende Erwärmung zu erreichen.

Während der Aufwärmphase werden die Fügeteile durch leichten Druck in Position gehalten um dann im nächsten Schritt nach Erreichen der zum Fügen notwendigen Temperatur und dem damit verbundenen Aufschmelzen des Induktionsklebstoffs und dem Anschmelzen der Fügeteile unter erhöhtem Druck miteinander verbunden zu werden. Abschließend wird das elektromagnetische Wechselfeld abgeschaltet und nach einem ausreichenden Abkühlen kann das Bauteil entnommen werden. (vgl. Abb. 4)

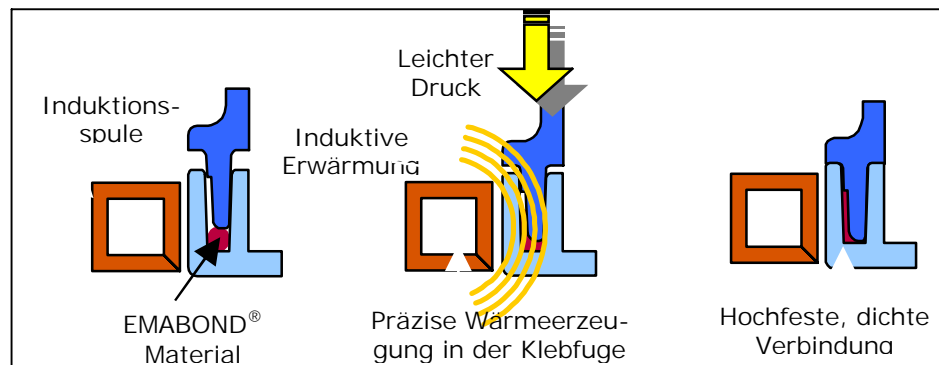


Abb. 4: Verfahrensschritte beim Induktionskleben nach dem EMABOND™ Verfahren

3.3. Anlagentechnik

Die Anlagen zum Induktionskleben bestehen grundsätzlich, ganz gleich ob es sich um einfache Anlagen mit manuellem Einlegen und Entnehmen der Teile oder um vollautomatisierte Anlagen mit Robotern zum Teilehandling handelt aus den gleichen Schlüsselkomponenten (Abb. 5):

- Hochfrequenzgenerator zur Erzeugung des elektromagnetischen Wechselfeldes mit einer Frequenz im Bereich von 3 – 10 MHz
- Üblicherweise in das Aufnahmewerkzeug integrierte Induktionsspule zur Einstrahlung der elektromagnetischen Energie in den Induktionsklebstoff. Der Auslegung der Spule und deren Anpassung an die Bauteilgeometrie kommt eine besondere Bedeutung zu, um eine optimale und gleichmäßige Energieeinbringung über die gesamte Kleblinie zu gewährleisten. Da die Feldstärke des von der Spule erzeugten elektromagnetischen Wechselfeldes quadratisch mit der Entfernung zum Spulenmittelpunkt abnimmt, sollte die Spule möglichst eng der Kontur der Kleblinie folgen, um die Klebzeiten kurz zu halten.

- Presse zur Fixierung der Bauteile relative zueinander während der oben beschriebenen einzelnen Prozessschritte.
- Kontroll- und Steuereinrichtung



Abb. 5: EMABOND™-Anlage

3.4. Anwendungsbeispiele

Mit dem Induktionsklebverfahren können nahezu alle und in gewissen Grenzen auch unterschiedliche Thermoplaste miteinander verbunden werden. Ein Vorteil gegenüber anderen Schweißverfahren, liegt darin, dass sogar gefüllte Thermoplaste (Glasfaser, Talkum und andere nicht leitfähige Verstärkungsmaterialien) sicher miteinander verbunden werden können. Wie die Abb. 6, in der die prozentuale Verteilung der verschiedenen Thermoplaste der bisherigen Anwendungen dargestellt ist zeigt, liegt der Schwerpunkt auf den, mit konventionellen Klebstoffen nur schwierig, meist nur nach aufwendiger Oberflächenvorbehandlung zu verbindenden Polyolefinen PE und PP.

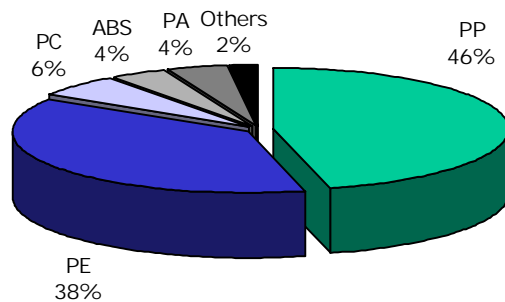


Abb. 6: Prozentuale Verteilung der bisher nach dem EMABOND™-Verfahren miteinander verbundenen Thermoplasten

Das EMABOND™-Verfahren kommt in nahezu allen Industriezweigen, wie z.B.

- der Automobilindustrie, sowohl im Fahrzeug-Innenbereich (Mittelkonsole, Ladeboden, Airbagabdeckung im Lenkrad) als auch für Anwendungen im Motorraum (Luftansaugstutzen, Notabschaltungssysteme in der Kraftstoffzuführung, für Flüssigkeitsbehälter, z.B. für Servolenkung und Kühlwasser, etc.)
- der Hausgeräteindustrie (Campingtoiletten, Toilettenspülsysteme, Dampfbügeleisen, Heißwasserbereiter, Düsenarme von Geschirrspüler, Wasserfiltersysteme, etc.)
- der Unterhaltungselektronik (Lautsprecherfertigung)
- der allgemeine Industrie (Toner Kartuschen, Kunststoffpaletten, Ventile in der Bewässerungstechnik, Ausgleichbehälter für Heißwasserheizungsanlagen, Filtrationstechnik, etc.)
- der Medizintechnik (Blut-Sauerstoffanreicherung, Entwässerungsgeräte)

zum Einsatz.

Im Folgenden sollen an einigen ausgewählten Beispielen die Vorteile des Induktionsklebens gegenüber den anderen Kunststoffschweißverfahren dargelegt werden, die dazu geführt haben, dass diese Technologie trotz der höherer Anlagen- und Materialkosten unterm Strich mit einem Kostenvorteil für den jeweiligen Gesamtprozess verbunden ist.

3.4.1. Flushmate® - Druckbehälter einer automatischen WC-Spülung

Das Flushmate® System stellt eine Komponente innerhalb eines Toiletten-Spülkastens dar wobei der Druck der Wasserversorgungsleitung genutzt wird um den Spülvorgang durchzuführen. Abb. 7 zeigt eine Aufbauskizze des Systems. Während des Füllvorgangs wird die verdrängte Luft komprimiert, die dann beim später folgenden Spülvorgang, initiiert durch den Sensor das Wasser herausdrückt. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Spülung, bei der das Wasser allein durch die Schwerkraft in das Becken fließt wird durch das Druck unterstützte wesentlich kräftigere Spülen eine bessere Spülwirkung erzeugt.

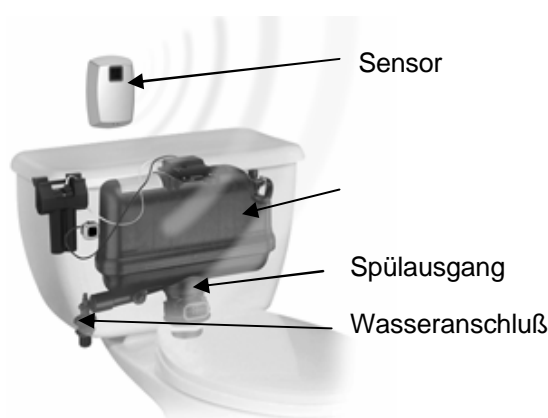


Abb. 7: Prinzip des Flushmate® Systems [8]

Es leuchtet unmittelbar ein, dass kleinste Undichtigkeiten im Druckbehälter nicht nur zu einer Leckage führen, sondern das gesamte Systems außer Funktion setzen. Die aus langfaser verstärktem Polypropylen (30 % Glasfaseranteil) bestehenden Bauteile des Druckbehälter wurde ursprünglich mittels Vibrationsschweißen miteinander verbunden. Nach Markteinführung hatte man aber bei wenigen Prozent der Druckbehälter Rückläufer wegen Undichtigkeiten. Eine Fehleranalyse ergab drei mögliche Ursachen:

- Erzeugung einer faserreichen Schicht im Bereich der Verbindungsfläche als Folge des Vibrationsschweißprozesses
- Unterbrochene Energiezufuhr in diesen Bereichen
- Toleranzen in der Parallelität des Klebflansches

Daraufhin wurde der Klebflansch zu einer Nut-Feder-Verbindung umkonstruiert und auf das EMABOND™ umgestellt. Die Abb. 8 zeigt einen Schnitt durch den Druckbehälter mit der Nut-Feder-Verbindung.



Nut-Feder-Verbindung
nach dem EMABOND™ Verfahren

Abb. 8: Querschnitt des Flushmate® Druckbehälters mit dem Nut-Feder-Flansch

Festigkeitsuntersuchungen an, aus Druckbehältern herausgeschnitten Prüfkörpern ergaben in allen Fällen ein Versagen im Polypropylen. Bei der Ermittlung des Berstdrucks der kompletten Druckbehälter zeigte sich, dass die Werte um mehr als 10% über den der durch Vibrationsschweißen gefertigten Variante liegen. Zur Ermittlung der Dauerfestigkeit unter realen Bedingungen wurden die Druckbehälter einem Druck von 3,5 Bar für 5 Sekunden ausgesetzt um dann in weiteren 5 Sekunden auf Normaldruck entspannt zu werden. Üblicherweise wird der Druckbehälter nach 50.000 dieser Zyklen einem hydrostatischem Drucktest bis zur Zerstörung ausgesetzt. Dieser wurde in allen Fällen bestanden. Auch nach 1 Millionen Lastwechsel zeigten sich noch keine Anzeichen eines Versagens. Versuche mit 50.000 Spülzyklen bei einem Wasserdruck von 5,5 bar haben ebenfalls keine Anzeichen einer Schwächung gezeigt. Diese Ergebnisse werden durch Informationen aus dem Markt bestätigt; nach Umstellung auf das

EMABOND™ Verfahren hat es keine Rückläufer mehr gegeben, der Hersteller hat sich daher entschlossen eine ‚lifetime warranty‘ für das Produkt zu geben.

3.4.2. Camping-Mobil-Toilette (Abb. 9)

Ohne Frage ist die absolute Dichtigkeit des Verbundes eine der wichtigsten, vom Kunden gestellte Anforderung an dieses Produkt. Durch Einsatz des EMABOND™-Verfahrens konnte eine 100%ige Dichtigkeit, bis zu einem Druck von 0,4 bar, der aus mehrten PP-Teilen, mit insgesamt 335 cm Klebnaht miteinander verbundenen Toiletten erreicht werden. Darüber hinaus konnten Ventile integriert werden, was bei dem, aus Blasteilen gefertigten Vorgänger, nicht möglich war. Weiterhin wurde eine Reduzierung der Wandstärken verbunden mit einem geringeren Gewicht möglich.



Abb. 9: Mobil-Toilette – Links Gesamtansicht, rechts Klebverbindung

3.4.3. Automobilindustrie – Motor-Ansaugstutzen (Abb. 10)

Hauptanforderung an dieses geometrisch anspruchsvolle, aus PA 6 GF 30 mit einer Klebnaht von 2,4 m Länge gefertigten Teils ist eine Druckdichtigkeit bis zu 210 mbar im Dauerbetrieb und einem Prüfdruck von 6 bar. Das Induktionskleben nach dem EMABOND™-Verfahren wurde ausgewählt, da es neben der geforderten Festigkeit und Zuverlässigkeit auch die Toleranzen der drei Einzelteile ausgleichen kann.

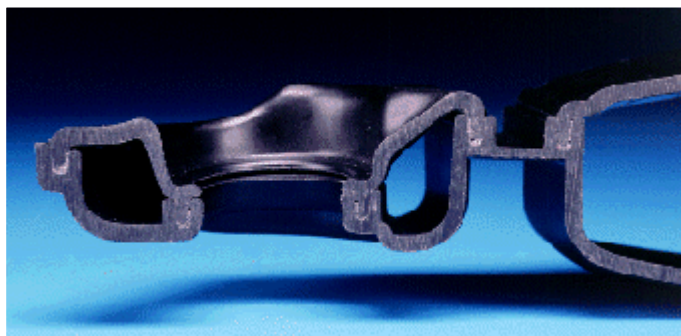


Abb. 10: Ansaugstutzen, Querschnitt mit Klebungen

3.4.4. Automobilindustrie – Ventil zur Unterbrechung der Treibstoffversorgung bei einem Unfall (Abb. 11)

Die drei aus PPS bestehenden Einzelteile wurden ursprünglich durch Ultraschallschweißen miteinander verbunden. Durch Einführung des

Induktionsklebens wurde nicht nur die Festigkeit der Verbindung, sondern auch die Prozesssicherheit erhöht. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass die drei Einzelteile in einem Arbeitsgang gefügt werden können, wobei gleichzeitig eine Dichtung montiert wird.

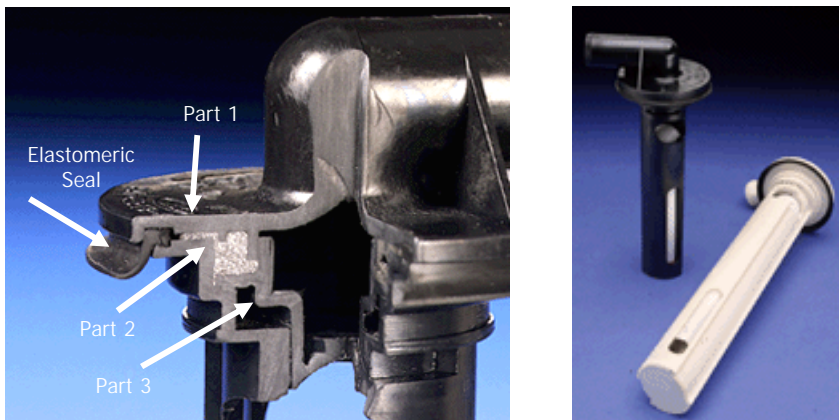


Abb. 11: Ventil zur Notabschaltung der Treibstoffzufuhr

3.4.5. Automobilindustrie – Servolenkung Flüssigkeitsbehälter (Abb. 12)

Die Herstellung des aus einem PA6/PP-Blend gefertigten Behälters erfordert vier Klebungen, die nach einer entsprechenden Auslegung der Fügevorrichtung in einem Schritt durchgeführt werden können. Der Behälter muss dauerhaft einem Druck von 4,8 bar standhalten, Undichtigkeiten dürfen nicht auftreten.

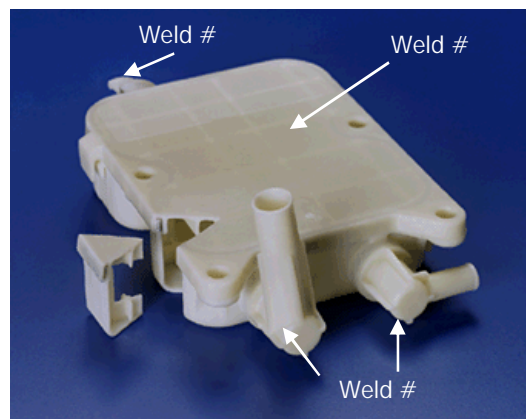


Abb. 11: Behälter für Servolenkungs-Flüssigkeit

3.4.6. Medizintechnik – Sauerstoffanreicherung von Blut

Die Herstellung dieses aus Polycarbonat bestehenden Geräts zur Sauerstoffanreicherung von Blut erfordert insgesamt acht, nacheinander auszuführende Klebungen bei denen die z.T. erheblichen Bauteiltoleranzen ausgeglichen werden müssen und trotzdem eine absolute Dichtigkeit über 20 Jahre gewährleistet sein muss. Konventionelle Klebstoffe oder gar Lösungsmittel enthaltende Klebstoffe können wegen des direkten Kontakts zum Blut nicht verwendet werden, so dass sich das Induktionskleben als einziges praktikables Verfahren herausstellte.



Eine separate
Klebung je
Ring

Abb. 12:Gerät zur Sauerstoffanreicherung im Blut

4. Ausblick und Zusammenfassung

Die geschilderten Anwendungsbeispiele machen deutlich, dass das Induktionskleben in der Reihe der thermischen Fügeverfahren und der verschiedenen Klebtechnologien eine gewisse Sonderstellung einnimmt. Es kommt meist immer dann zur Anwendung, wenn aus bestimmten Gründen die klassischen Verfahren aufgrund ihrer Schwächen nicht akzeptable sind und die geforderten Produkteigenschaften nicht sicher gewährleisten können. Dann sind auch die mit dem Induktionskleben verbundenen meist etwas höheren Kosten akzeptabel und werden durch eine erhöhte Prozesssicherheit (= weniger Ausschuss, weniger Reklamationen, erhöhte Kundenzufriedenheit) zumindest kompensiert.

Mit dem Ziel einer weiter verbesserten Prozesssicherheit werden z. Z. Untersuchungen mit ferritischen Rezeptoren durchgeführt. Ferrite unterscheiden sich z.B. in ihrer sog. Curie-Temperatur, d.h. der Temperatur ab der sie ihre magnetischen Eigenschaften, also auch die Fähigkeit im elektromagnetischen Wechselfeld Wärme zu generieren verlieren. Es erscheint somit möglich, und die bisherigen Versuchsergebnisse bestätigen dieses, in den Induktionsklebstoff einen Überhitzungsschutz einzubauen. Durch geeignete Wahl des Rezeptormaterials kann man die maximal zu erreichende Temperatur im Induktionsklebstoff gezielt nach oben begrenzen und somit von einem Zeit gesteuerten Prozess, wie ihn das klassische Induktionskleben darstellt zu einem Temperatur gesteuerten Prozess übergehen, was im Endeffekt die Prozesssicherheit weiter erhöhen wird.

Es ist auch vorstellbar das, die Rezeptoren enthaltene Polymer bereits bei der Herstellung der zu fügenden Bauteile Es muss dann später kein Klebstoff mehr aufgebracht werden, was einem weiteren Zeitvorteil darstellt.

5. Anhang

5.1. Vibrationsschweißen

Beim Vibrationsschweißen werden zwei Teile, die sich an den Kontaktflächen berühren, relativ zueinander bewegt. Durch die entstehende Reibung erwärmen sie sich und werden gleichzeitig unter hohem Druck verbunden [7]

5.2. Rotationsschweißen

Rotationsschweißen setzt voraus, dass es sich um rotations-symmetrische Teile handelt. Durch das rotierende Aneinandereiben des aufzuschweißenden Teils gegenüber dem verdrehsicher fixierten Werkstück wird zusammen mit dem aufgebracht Vertikaldruck die erforderliche Schmelzwärme in der Nahtzone erreicht [6]

5.3. Ultraschallschweißen

Beim Ultraschallschweißen werden die Füge Teile durch gezieltes Umwandeln von Schallenergie in Wärme in der Fügezone unter Druck plastifiziert. Das Verfahren ist kostengünstig und bietet mit sehr kurzen Zykluszeiten Potenzial für große Losgrößen. [7]

5.4. Heizelementschweißen

Beim Heizelement-Schweißen werden die zu verschweißenden Kunststoffteile jeweils von vertikal verfahrbaren Ober- und Unterwerkzeugen auf das Heizelement geführt, bis die Schweißnähte plastifiziert sind. Danach wird das Heizelement horizontal aus der Fügeebene herausgefahren, um das nachfolgende Aufeinanderpressen der angeschmolzenen Flächen zu ermöglichen. Nach dem Erkalten ist die Verbindung hergestellt.

Anschließend fährt die Maschine in Grundstellung, damit die fertig geschweißten Kunststoffteile entnommen werden können. [6]

5.5. Warmgasschweißen

Das Warmgasschweißen wird von Hand ausgeführt. Beim Warmgasschweißen werden die zu verschweißenden Flächen mit einem Schweißstab und Warmluft auf Schmelztemperatur erwärmt und unter Druck verschweißt. [7]

6. Literatur

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung. Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10772 Berlin
- [2] G. Habenicht, Kleben - Grundlagen, Technologien, Anwendungen Springer Verlag 4. Auflage 2002
- [3] H. Lohse, Adhäsion – Kleben und Dichten September 2005, Vieweg Verlag Wiesbaden

- [4] D. A. Greweed, A. Benatar, J. Park – Plastics and Composites Welding Handbook, Verlag Hanser, München 2003
- [5] HG. Potente, Fügen von Kunststoffen , Hanser Verlag, München, 2004
- [6] <http://www.bransoneurope.net/de/mind/index.html>
- [7] <http://www.kunststoff-schweisstechnik.de/html/schweissen.html>
- [8] <http://www.flushmate.com>