

Manfred Rasche\*

## Brauchen SMD-Klebstoffe keine mechanischen Eigenschaften?

Das Versagen von Klebungen kann durch ungenügende Adhäsion, Alterungsprozesse oder mechanische Spannungen erfolgen. In der SMD-Technologie werden Werkstoffe geklebt, die verschiedene Ausdehnungskoeffizienten besitzen. Bei SMD-Kleberverbindungen gewährleistet die nachfolgende Lötung deren Langzeitfestigkeit. Wurde für eine gute Adhäsion reichlich Vorsorge getroffen und die Klebung versagt trotzdem, stellt sich die Frage: Spielen mechanische Eigenschaften für den Einsatz von SMD-Klebstoffen eine Rolle?

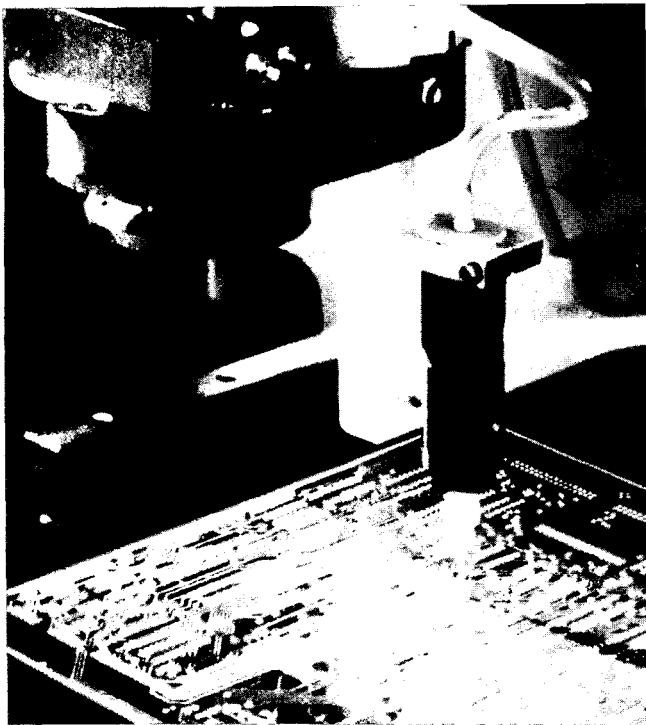


Bild: GLT

Oberflächenmontierbare Bauteile (SMD – surface mounted devices) werden mit Hilfe sogenannter SMD-Klebstoffe auf Leiterplatten fixiert und anschließend verlötet. Nach dem Lötvorgang hat die Klebverbindung keinerlei Funktion mehr, da die Verbindung Bauteil – Leiterplatte jetzt durch die Lötstelle übernommen wird. In Heft 4/1989 der Zeitschrift Adhäsion /1/ wurde ein neuer lichtinduziert abbinde-

- gute Haftung zum Bauteil und zur Leiterplatte
- Beständigkeit gegen Fluß- und Reinigungsmittel
- gute elektrische Eigenschaften und Korrosionsfreiheit (Chloridionen-frei).

Der neue Klebstoff wird dementsprechend charakterisiert. In Diagrammen sind Angaben zum Abbindeverhalten, zu Verarbeitungseigenschaften und zur Lagerstabilität gemacht. Darüber hinaus werden noch folgende Eigenschaften angegeben:

- Farbe
- Viskosität
- elektrolytische Korrosion nach DIN 53 489
- elektrolytische Korrosion nach dem Kammusterest
- Oberflächenwiderstand
- Ausscheidungsfreiheit bei Betriebstemperatur
- Klebstoffverlauf bei der Aushärtung
- Wärmeausdehnungskoeffizient
- Zugschersfestigkeit

Bei dieser Aufstellung fällt auf, daß Werte über die mechanischen Eigenschaften des ausgehärteten Klebstoffes fehlen. Es wird lediglich eine Zugschersfestigkeit angegeben, ohne daß näher gesagt ist, wie sie ermittelt wurde. Bei Zugschersfestigkeiten gilt es jedoch zu beachten, daß diese nicht den Klebstoff charakterisieren, sondern Zugschersfestigkeiten sind Verbindungsfestigkeiten /2, 3/, die stark von den Eigenschaften und der Geometrie der Füge-teile bestimmt werden. Es ist daher kein Rückschluß auf die Klebstoffeigenschaften möglich. Somit folgt, daß tatsächlich keine Angaben über das mechanische Verhalten des neuen Klebstoffes gemacht werden.

Was hier an einem Klebstoff exemplarisch gezeigt wurde, gilt auch für andere „SMD-Klebstoffe“ und Darstellungen des Klebens in der Mikroelektronik /4–8/. Mechanische Klebstoffeigenschaften spielen hier allenfalls eine untergeordnete, meist jedoch keine Rolle. Auch in dem von Wipfelder und Orthmann /9/ publizierten Artikel, der auf einer 1960 beginnenden Literaturrecherche basiert, wird auf mechanische Klebstoffeigenschaften nicht eingegangen. Hier werden lediglich Kleb-festigkeiten für SMD-Klebstoffe gefordert, die nach dem amerikanischen Military Standard MIL-STD 883 zu ermitteln sind. Es handelt sich dabei um eine Schersfestigkeit, die unter definierten Bedingungen ermittelt wird. Ausgehend von dem eben Geschilderten könnte man der Meinung sein, daß die mechanischen Eigenschaften eines Klebstoffes bei Klebverbindungen, und hier speziell beim Einsatz von SMD-Klebstoffen, keine Rolle spielen und daher tatsächlich nicht ermittelt und nicht dargestellt werden müssen. Dieses bedarf jedoch der Überprüfung.

\*Dr. Manfred Rasche, beratender Ingenieur für Klebtechnik, Oberflächentechnik und Niederdruckplasmatechnologie

## Versagen der Klebverbindungen

Es kommt immer wieder zum Versagen von Klebverbindungen, auch dann, wenn es eigentlich nicht eintreten dürfte, oder wenn es nicht erwartet wird. Die Ursachen hierfür werden oft nicht richtig geklärt. Klebverbindungen können aufgrund unterschiedlicher Mechanismen versagen. Sie versagen:

- aufgrund mangelhafter Adhäsion, weil die Oberflächen nicht adhäsionsfreudig waren oder nicht entsprechend vorbereitet wurden oder verunreinigt waren,
- aufgrund von mechanischer Überlastung, weil die Klebverbindung entweder zu klein dimensioniert, oder die Belastung falsch ermittelt worden ist oder
- aufgrund von Alterungsvorgängen in den Klebverbindungen, die zu einer Verminderung der Haftung führen.

## Versagen von SMD-Klebverbindungen

Bei einem Vergleich der Versagensmechanismen von Klebverbindungen mit den Anforderungen, die an SMD-Klebverbindungen gestellt werden, ergibt sich, daß das Versagen aufgrund von Alterungsvorgängen nicht eintreten kann, denn einer Langzeitbelastung werden diese Verbindungen nicht ausgesetzt. Die Langzeitfestigkeit der Verbindung gewährleistet die nachfolgende Lötverbindung.

Das Versagen aufgrund mangelhafter Adhäsion kann vielfältige Ursachen haben. Diese sollen hier jedoch nicht diskutiert werden. Es würde den gesetzten Rahmen sprengen. Schließt man aus, daß mangelhafte Adhäsion zum Versagen führt, weil durch entsprechende Maßnahmen für eine gute Adhäsion gesorgt ist, so bleibt als letztes Kriterium nur das Versagen aufgrund mechanischer Überlastung.

Dies scheint jedoch unwahrscheinlich zu sein, da eine von außen kommende mechanische Belastung der Klebverbindung nicht vorhanden ist. Somit scheidet auch dieses Kriterium auf den ersten Blick aus. Bei einer genaueren Betrachtung des Systems ergibt sich jedoch, daß in diesen Klebverbindungen unter bestimmten Bedingungen doch mechanische Spannungen vorhanden sein können.

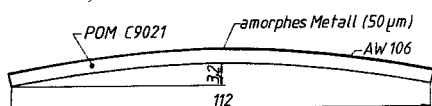
## Mechanische Spannungen

Sowohl bei der Fertigung als beim Betrieb können Spannungen in von außen unbelasteten Verbindungen entstehen. Eine Betriebsbelastung tritt bei SMD-Klebverbindungen nicht ein, daher gilt es nur die Spannungen zu betrachten, die bei der Fertigung von Klebverbindungen entstehen:

1. Spannungen entstehen aufgrund von Schrumpfvorgängen des Klebstoffes beim Abbindevorgang.
2. Spannungen entstehen beim Warmabbinden von Klebverbindungen aus unterschiedlichen Werkstoffen. Unterschiedliche Werkstoffe haben ein unterschiedliches Ausdehnungsverhalten bei Erwärmung und Abkühlung. Am Ende des Warmabbindevorgangs der Klebverbindung ist bereits bei erhöhter Temperatur eine gewisse Festigkeit in der Verbindung vorhanden. Wird jetzt die Klebverbindung auf Raumtemperatur abgekühlt, so schrumpfen die Werkstoffe entsprechend ihrer unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten. Nimmt man an, daß die Schrumpfung gleichmäßig erfolgt, so treten am Ende der Klebverbindung die größten Unterschiede in den Schrumpfwegen auf. Dadurch entstehen Spannungen, die beträchtliche Ausmaße annehmen können. Hier gilt es zu bedenken, daß diese „Thermospannungen“ mechanisch nicht aufgefangen werden können. Beispielsweise hat jede Brücke Dehnungsmöglichkeiten für die Wärmebewegung.
3. Spannungen entstehen, wenn beim Warmabbinden der Klebstoff einen Wärmeausdehnungskoeffizienten hat, der von denen der Fügeteile abweicht. In vorgegebenem Beispiel liegt er bei  $150 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  /1/ und weicht damit wesentlich von dem Ausdehnungskoeffizienten der meisten Fügeteile ab. Im folgenden Abschnitt soll das Ergebnis eines kleinen Experimentes zu dieser Problematik dargestellt werden.

## Unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten

Um die Auswirkung unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten auf das Fügeteilverhalten beim Warmabbinden zu demonstrieren, wurden Kunststoffteile aus Polyoxymethylen (POM): 4 mm dick, 112 mm lang und 25 mm breit an einer Seite mit amorphem Metall beklebt. Das amorphe Metall ist ebenfalls 25 mm breit, deckt also das Kunststoffteil voll ab, und hat eine Dicke von 25  $\mu\text{m}$ . Als Klebstoff ist der relativ verformungsfähige Epoxidharzklebstoff Araldit AW 106 mit Härter HV 953 U verwendet worden, Mischungsverhältnis 100 : 80. Die Fügeteile wurden im Ofen warm ausgehärtet (130 °C, 20 min.). Nach dem Abkühlen auf Raum-



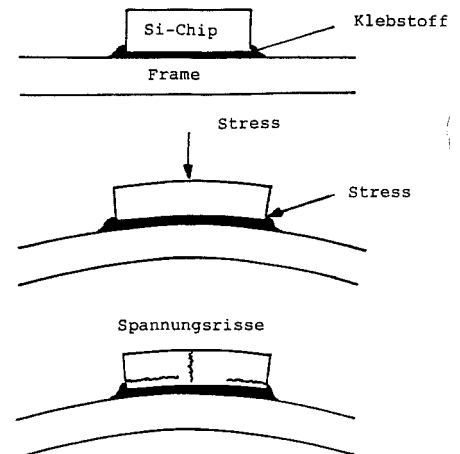
**Bild 1:** Verformung eines Verbundes aus amorphem Metall, POM und Epoxidharz aufgrund von Eigenspannungen beim Warmabbinden

temperatur hatten sich die Teile stark verformt, wie Bild 1 zeigt. Die Verformungen sind auf die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten zurückzuführen. Sie liegen für POM bei  $90 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  und für das amorphe Metall bei  $12,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

Die durch das Kleben entstandene feste Verbindung des Kunststoffes mit dem amorphem Metall führt dazu, daß beim Abkühlen am Gesamtteil der bekannte Bimetalleffekt auftrat. Die starke Verformung des immerhin vier Millimeter dicken Kunststoffteiles zeigt, daß doch beträchtliche Spannungen entstanden sind.

## Auswirkung der Wärmespannungen

Sind die Teile verformungsfähig, wie im dargestellten Beispiel, so führen die Wärmespannungen zu einer Fügeteilverformung. Sind die Teile oder ein Teil jedoch steif und haben sie nur eine geringe Festigkeit, so kann es zum Bruch in einem der Fügeteile kommen. Derartiges Versagen von SMD-Bauteilen ist bekannt, Bild 2 /4/.



**Bild 2:** Entstehung von Spannungen und dadurch verursachten Spannungsrisse /4/

Sind beide Teile steif und hochfest, so wird die Spannung in die Fuge induziert. Es stellt sich jetzt die Frage, ob der Klebstoff diese Spannungen aufnehmen kann oder nicht. Kann er es nicht, so kommt es zum Bruch der Verbindung in der Klebschicht.

Um die Spannungen aufnehmen zu können, bedarf es in diesem Falle jedoch nicht einer hohen Festigkeit des Klebstoffes, wie man zunächst vermutet, sondern der Klebstoff muß verformbar sein. Die unterschiedlichen Dehnungen der Fügeteile können nur durch eine Bewegung in der Klebfuge ausgeglichen werden, da eine Verformung der Fügeteile nicht auftritt. Ein fester Klebstoff, der vielfach nur ein geringes Verformungsvermögen hat, kann hohe Dehnungen nicht aufnehmen. Die Klebverbindung versagt, wenn der Kleb-

# QUALITÄTSSICHERUNG

stoff die von den Füge­teilen vorgegebene Verformung nicht ertragen kann.

Es zeigt sich deutlich, daß die Verformbarkeit eines Klebstoffes einen Einfluß auf seine Eignung als SMD-Klebstoff hat. Die Verformbarkeit eines Klebstoffes kann aus den Ergebnissen des Zugscherversuches und ähnlich konzipierter Versuche nicht abgeleitet werden. Die nach DIN 53 283 /10/ ermittelte Klebfestigkeit erfaßt nur die Bruchkraft nicht jedoch die Bruchdehnung.

Ein Beispiel soll die Auswirkungen verdeutlichen. Für Cyanacrylatklebstoffe und kaltabbindende Epoxidharze werden im Zugscherversuch nach DIN 53 283 in etwa gleiche Klebfestigkeiten ermittelt. Bei einer schlagartigen Beanspruchung versagen die mit Cyanacrylaten geklebten Metallteile eher als Teile, die mit Epoxidharzen geklebt wurden. Der Grund hierfür ist das wesentlich geringere Verformungsvermögen der Cyanacrylate.

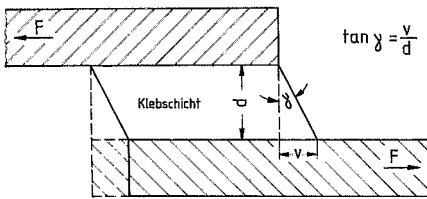


Bild 3: Geometrische Beziehungen an einer verformten Klebprobe

## Schubspannungs-Gleitungsverhalten von Klebschichten

Mit einem speziellen Zugscherversuch kann das Schubspannungs-Gleitungsverhalten einer Klebschicht ermittelt werden. Die Versuchsanordnung, Prüfbedingungen, sowie Versuchsauswertung sind in DIN 54 451 /11/ festgelegt. Dieser Zugscherversuch wird mit dicken Füge­teilen durchgeführt, wobei im Überlappungs­bereich der Klebprobe eine Verformungsmessung bis zum Bruch der Probe erfolgt.

Aus dem im Versuch ermittelten Kraft-Verformungsverhalten werden die Schubspannungs-Gleitungs-Diagramme erstellt.

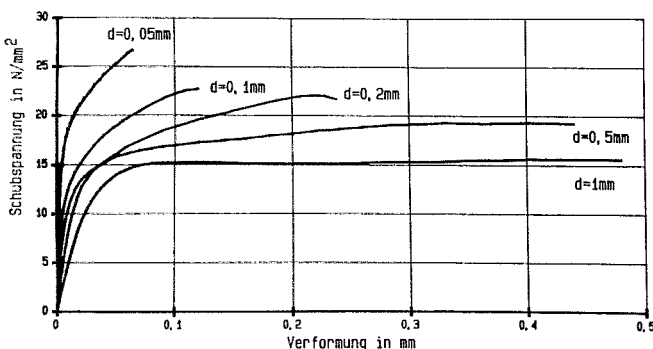


Bild 5: Schubspannungs-Verformungs-Diagramm nach DIN 54 454 bei unterschiedlicher Klebschichtdicke, Füge­teilwerkstoff St 37 k, PUR-Klebstoff Tegocoll 1636 S /13/

Dazu wird die Kraft auf die Klebfläche bezogen und die Verformung zur Klebschichtdicke in Beziehung gesetzt. Der Quotient aus der Schubverformung und aus der Klebschichtdicke ist die Gleitung, Bild 3.

Diese Diagramme zeigen das Verformungsverhalten eines Klebstoffes in einer Klebschicht. Sie können zur Beurteilung von Klebstoffen für bestimmte Anwendungen benutzt werden. Bild 4 zeigt das Schubspannungs-Gleitungsverhalten einiger Klebstoffe /12/.

Zwischen den verschiedenen Klebstoffen ergeben sich beträchtliche Unterschiede. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß alle dargestellten Klebstoffe Epoxidharze sind. Andere Klebstoffe, wie zum Beispiel die Polyurethane dürften ein noch anderes Schubspannungs-Gleitungsverhalten zeigen.

Der in diesen Diagrammen dargestellte Zusammenhang zwischen Schubspannung und Gleitung erweckt den Eindruck, als wäre die Gleitung eine Klebstoffeigenschaft, die unabhängig von der Klebschichtdicke ist. Dies ist jedoch nicht der Fall /13, 14/. Die Dicke der Klebschicht beeinflusst auch die Gleitung.

Bild 5 zeigt das Spannungs-Verformungsverhalten nach DIN 54 454 für Klebverbindungen mit unterschiedlicher Klebschichtdicke. Die Bruchdehnung ist bei dickeren Klebschichten größer als bei dünneren. Sehr dünne Klebschichten haben nur ein geringes absolutes Verformungsvermögen.

Aus Bild 5 entsteht durch Umrechnung Bild 6. Wird nur das reine Schubspannungs-Gleitungsverhalten von Klebschichten unterschiedlicher Dicke betrachtet, Bild 6, so können falsche Schlußfolgerungen gezogen werden. Die Gleitung ist bei

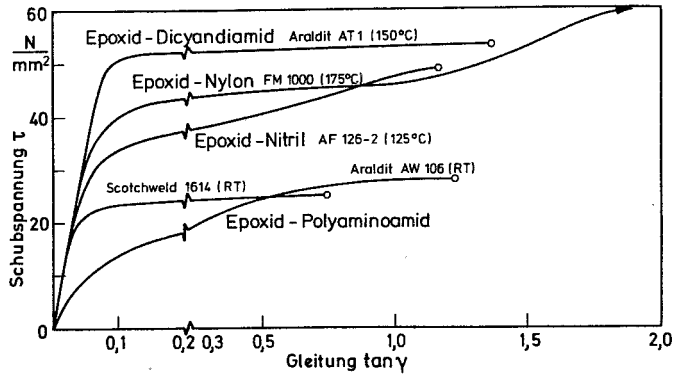


Bild 4: Schubspannungs-Gleitungsverhalten verschiedener Klebstoffe /12/

dünnen Klebschichten größer als bei dicken; man könnte meinen, daß dünne Schichten große Verformungen besser zulassen als dicke. Dies ist jedoch, wie Bild 5 zeigt, nicht der Fall. Absolut gesehen sind dickere Schichten besser verformbar als dünne.

Aus dem in Bild 5 gezeigten Verhalten des Klebstoffes folgt, daß zur Aufnahme einer bestimmten Verformung eine Mindestklebschichtdicke vorhanden sein muß. Die Dicke einer Klebschicht und die dem Klebstoff eigene Verformbarkeit ergeben in Verbindung miteinander das Verformungsvermögen einer Klebschicht. Dieses Verformungsvermögen muß im Versuch ermittelt werden, da derzeit der Einfluß der Klebschichtdicke auf das Verformungsverhalten des Klebstoffes noch nicht hinreichend bekannt ist.

In Bild 7 ist für drei verschiedene Klebstoffe die Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Klebschichtdicke dargestellt. Die Werte für Redux 410 und Tegocoll 1636 S wurden aus /13/ entnommen, Werte für EP 4 aus /14/. Redux 410 ist ein Epoxidharz, Tegocoll 1636 S ein Polyurethanklebstoff; beim Klebstoff EP 4 handelt es sich um einen heißhärtenden lösungsmittelfreien pasteusen einkomponentigen Epoxidharzklebstoff auf Bisphenol A-Basis, der mit Dicyandiamid gehärtet wird.

Es zeigt sich, daß zwischen den Klebstoffen ein beträchtlicher Unterschied bei

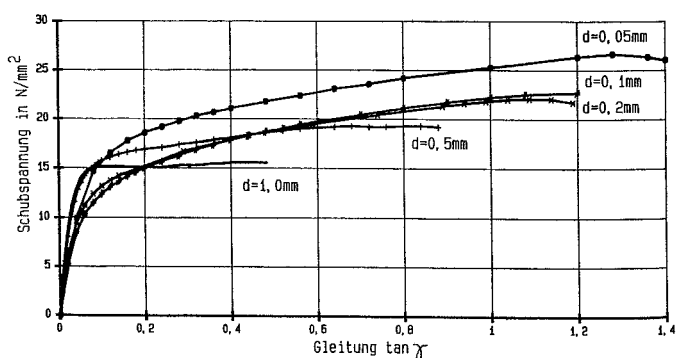
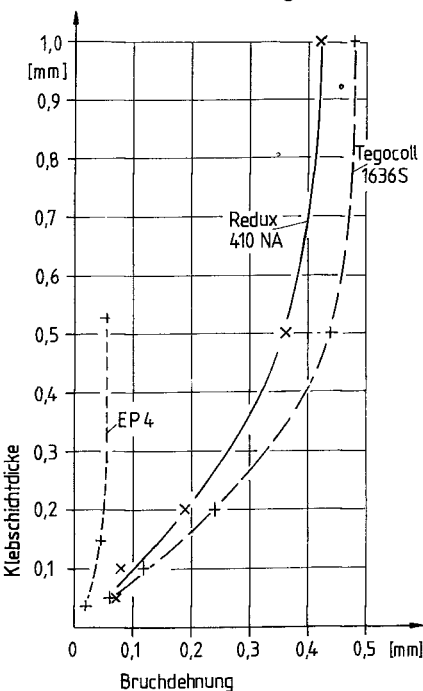


Bild 6: Schubspannungs-Gleitungs-Diagramm nach DIN 54 454 bei unterschiedlicher Klebschichtdicke, Füge­teilwerkstoff St 37 k, PUR-Klebstoff Tegocoll 1636 S /13/

steht. Das mit EP 4 bezeichnete Klebstoffsystem hat eine wesentlich geringere Verformbarkeit als die Klebstoffe Redux 410 und Tegocoll 1636 S. Die Unterschiede zwischen den Systemen setzen sich bis in Bereiche dünnster Klebschichten fort. Diese sehr dünnen Klebschichten sind in der SMD-Technologie anzutreffen. Bei sehr dünnen Klebschichten wurde ein großer Streubereich der Bruchdehnung festgestellt /14/. Sie schwankte bei einer Klebschichtdicke von 0,04 mm um etwa +/- 25 Prozent. Es empfiehlt sich daher, bei der Realisierung dünnster Klebschichten, die maximal zulässige Dehnung der Klebschicht wesentlich geringer als die ermittelte mittlere Bruchdehnung anzusetzen.



**Bild 7:** Bruchverformung von Zugscherverbindungen nach DIN 54454 in Abhängigkeit von der Klebschichtdicke

Mit Hilfe des in Bild 7 aufgezeigten Zusammenhanges zwischen Klebschichtdicke und Bruchdehnung kann die Eignung des Klebstoffes für bestimmte Anwendungen überprüft werden. Dies soll ein Beispiel zeigen.

### Beispiel 1

Bekannt ist, daß bei zunehmender Größe der SMDs die Gefahr des Versagens von Bauteil oder Klebschicht wächst. Es soll deshalb die Bauteilgröße und die maximale Ausdehnung der Klebfläche ermittelt werden, bei der mit einem Versagen in der Klebschicht gerechnet werden muß. Grundlage des Beispiels ist, daß das Bauteil eine hohe Festigkeit besitzt, ein Bauteilbruch ist daher ausgeschlossen. Die Klebverbindung versagt folglich durch Überdehnung der Klebschicht. Als Klebstoff wird EP 4 (Bild 7) verwendet.

Die Wärmeausdehnungsdifferenz der Teile kann nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\Delta l = l_0 \cdot \Delta T \cdot a_1 - l_0 \cdot \Delta T \cdot a_2$$

$$\Delta l = l_0 \cdot \Delta T \cdot (a_1 - a_2)$$

$\Delta l$  = Wärmedehnungsdifferenz

$\Delta T$  = Abkühlspanne = Temperaturdifferenz

$l_0$  = Bauteillänge bzw. Klebflächenlänge

$a_1$  = Wärmeausdehnungskoeffizient Bauteil

$a_2$  = Wärmeausdehnungskoeffizient Leiterplatte

Ermittlung der maximal zulässigen Bauteillänge bzw. Klebfläche

$$l_0 = \Delta l / \Delta T (a_1 - a_2)$$

Abbinde-temperatur

$$= 200 \text{ °C geplamt}$$

Glastemperatur

$$= 105 \text{ °C nach Bild 8}$$

damit ergibt sich

$$\Delta T = 85 \text{ °C}$$

mindeste Klebschichtdicke

$$d = 0,045 \text{ mm aus Bild 9a}$$

$$\Delta l = 0,020 \text{ mm aus Bild 7}$$

zulässiges  $\Delta l$

$$= 0,013 \text{ mm } (\Delta l \text{ vermindert um } 30\%)$$

$$a_1 = 40 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1} \text{ für Epoxidharz, gefüllt}$$

$$a_2 = 15 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1} \text{ für Glas/Epoxidharz}$$

$$l_0 = 7 \text{ mm}$$

Bei Verwendung des Klebstoffes EP 4 ist unter den gegebenen Randbedingungen und Vereinfachungen eine maximale Bauteillänge und Kleblänge von 7 mm zulässig. Mit den Klebstoffen Redux 410 und Tegocoll 1636 S ließen sich, wegen der höheren Bruchdehnung, Bild 7, größere Bauteile kleben.

### Bewertung des Beispiels

Das Beispiel enthält einige Vereinfachungen, die bei der Übertragung der Ergebnisse auf die Praxis berücksichtigt werden müssen.

– Die Schubspannungs-Gleitungs-Diagramme, auf die im Rahmen dieses Beitrages Bezug genommen wird (mit Bild 7), wurden bei Raumtemperatur aufgenommen.

Der Abkühlvorgang erfolgt hingegen bei höheren Temperaturen. Bei höheren Temperaturen haben die Klebstoffe jedoch eine bessere Verformbarkeit: eine höhere Bruchdehnung und einen verringerten

Kraftaufwand um eine bestimmte Verformung zu erreichen. Es müßten daher richtigerweise Schubspannungs-Gleitungs-Diagramme verwendet werden, die bei entsprechend höheren Temperaturen aufgenommen werden.

– Es wurde für den gesamten Abkühlbereich ein gleichmäßiges Klebstoffverhalten vorausgesetzt. Dies ist aus zwei Gründen nicht der Fall:

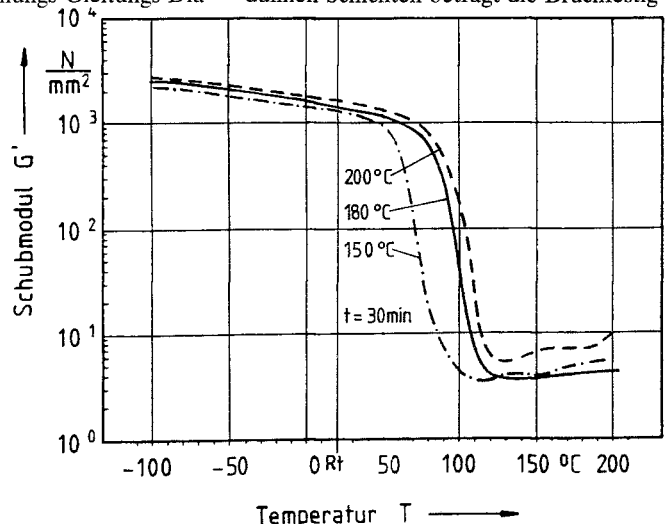
1. Beim Abkühlen wird häufig die Glastemperatur des Klebstoffes überschritten. Dadurch ändert sich das Verformungsverhalten des Klebstoffes beträchtlich. Oberhalb der Glastemperatur sind die Klebstoffe wesentlich leichter zu verformen. Der überwiegende Spannungsanteil entsteht im Bereich zwischen Glastemperatur und Raumtemperatur. Nur dieser Temperaturbereich wird in der Abschätzung berücksichtigt.

2. Unterhalb der Glastemperatur steigt der Verformungswiderstand des Klebstoffes mit sinkender Bauteiltemperatur stetig an, Bild 8.

Es gilt weiterhin zu beachten, daß die Abbindebedingungen eines Klebstoffes seine mechanischen Eigenschaften mit beeinflussen. Bild 8 zeigt, daß der Gleitmodul eines Klebstoffes mit erhöhter Abbinde-temperatur zu höheren Werten hin verschoben wird. Die Ergebnisse des Schubspannungs-Gleitungs-Diagramms können folglich nur dann exakt auf ein Bauteil übertragen werden, wenn die Abbindebedingungen der Prüflinge und der Bauteile einander entsprechen.

Die Auswirkung der Wärmeausdehnung des Klebstoffes sowie die Schrumpfspannung des Klebstoffes wurde nicht berücksichtigt.

Beim Versagen der Klebverbindung in obigem Beispiel treten hohe Kräfte auf. In dünnen Schichten beträgt die Bruchfestig-



**Bild 8:** Schubmodul einer Klebschicht in Abhängigkeit von den Abbindebedingungen /15/

# QUALITÄTSSICHERUNG

keit des Klebstoffes EP 4 im Zugscherversuch nach DIN 54 451  $\tau_B = 60 \text{ N/mm}^2 / 14/$ . Diese Belastung dürften viele SMD-Bauteile nicht ertragen, da sie aufgrund ihrer Geometrie (Höhe) einerseits steif sind, andererseits jedoch meistens nur eine relativ geringe Festigkeit haben. Die dem Beispiel zugrunde liegende Voraussetzung, daß kein Fügeiteilveragen eintritt, dürfte folglich nur in Ausnahmefällen zutreffen. Es ist vielmehr mit dem im Bild 2 gezeigten Bauteilversagen zu rechnen.

Wenn die Klebschicht nicht bis in die Nähe der Bruchspannung belastet werden darf, sondern nur bis zu einem niedrigen Niveau, kann folglich auch nicht die Bruchverformung als Bezugsgröße zugelassen werden. In diesem Falle ist nur eine geringere Verformung der Klebschicht zulässig. Die Grenze der Verformung wird durch die zulässige Bauteilbelastung festgelegt. Sie ergibt sich aus der Bauteilfestigkeit und aus der um einen entsprechenden Sicherheitsfaktor verminderten Bauteilfestigkeit. Zu ihrer Ermittlung ist eine

Belastung anzulegen, die der Belastung durch die Schrumpfspannungen entspricht.

### Beispiel 2

Ist die zulässige Bauteilbelastung bekannt, kann dem Schubspannungs-Gleitungs-Diagramm die maximal zulässige Gleitung entnommen werden. Hiermit läßt sich die zulässige Verformung ermitteln, woraus dann über die Differenz der Ausdehnungskoeffizienten die maximale Abkühlspanne und damit die Glas- und die Abbinde-temperatur ermittelt werden können. Der Klebschichtdickeneinfluß muß dabei berücksichtigt werden. Dies gelingt am besten, wenn das Schubspannungs-Gleitungs-Diagramm mit der gleichen Klebschichtdicke erstellt wurde, mit der die SMDs geklebt werden sollen.

Für eine angenommene zulässige Bauteilbelastung von  $20 \text{ N/mm}^2$  soll für die

	zulässige Gleitung	zulässige Verformung	max. zul. Temperaturspanne	Abbinde-temperatur
AW 106	0,3	0,06 mm	400 grd	420 °C
FM 1000	0,03	0,006 mm	40 grd	60 °C

Tabelle 10: Zulässige Gleitung und sich daraus ergebende maximale Abbinde-temperaturen für Klebstoffe

wohl der Klebstoff FM 1000 eine wesentlich höhere Bruchdehnung hat, Bild 4, ist der Klebstoff AW 106 bei der geringen vorgegebenen Belastung wegen seiner flacheren Schubspannung-Gleitungs-Kurve besser geeignet. Er läßt eine wesentlich höhere Abkühlspanne und damit auch höhere Abbinde-temperaturen zu. Voraussetzung für den in dieser einfachen Form durchgeführten Vergleich ist natürlich, daß das Abbindeverhalten (Abbinde-temperatur und -geschwindigkeit sowie Glas-temperatur) der Klebstoffe einander entsprechen. Ist dies nicht der Fall, so sind entsprechende Umwertungen vorzunehmen.

Die Abschätzung in Beispiel 2 zeigt, daß unter den gegebenen Voraussetzungen für den Klebstoff FM 1000 nur eine Abbinde-temperatur von  $60 \text{ °C}$  zulässig ist. Diese reicht nicht aus, um den Klebstoff auszuhärten. Der Klebstoff kann folglich nicht eingesetzt werden.

### Beurteilung der Beispiele

Trotz der angeführten Einschränkungen bezüglich der verwendeten Ausgangswerte, zeigen die beiden Beispiele doch, wie mit Hilfe der mechanischen Eigenschaften der Klebstoffe bzw. der Klebschichten, die Eignung der Klebstoffe für bestimmte Klebaufgaben miteinander verglichen werden können. Es können, ausgehend von der Klebaufgabe, exakt definierte mechanische Anforderungen an den Klebstoff gestellt werden. Diese werden in der in Versuchen ermittelten Leistungsfähigkeit der Klebstoffe verglichen. Es ergibt sich damit ein klarer Weg zur Klebstoffauswahl, der weitaus effektiver ist, als die derzeit vielfach rein empirisch auf experimenteller Basis durchgeführte Klebstoffauswahl.

### Schlußfolgerungen für SMD-Klebstoffe

In der SMD-Technologie werden üblicherweise unterschiedliche Werkstoffe und damit Werkstoffe mit unterschiedlichen Ausdehnungsverhalten durch Kleben miteinander verbunden. Die Klebverbindungen werden vielfach warm ausgehärtet, wodurch es zu Relativbewegungen zwischen SMD und Leiterplatte kommt. Da diese Relativbewegung nicht durch eine Verformung der Bauteile oder der

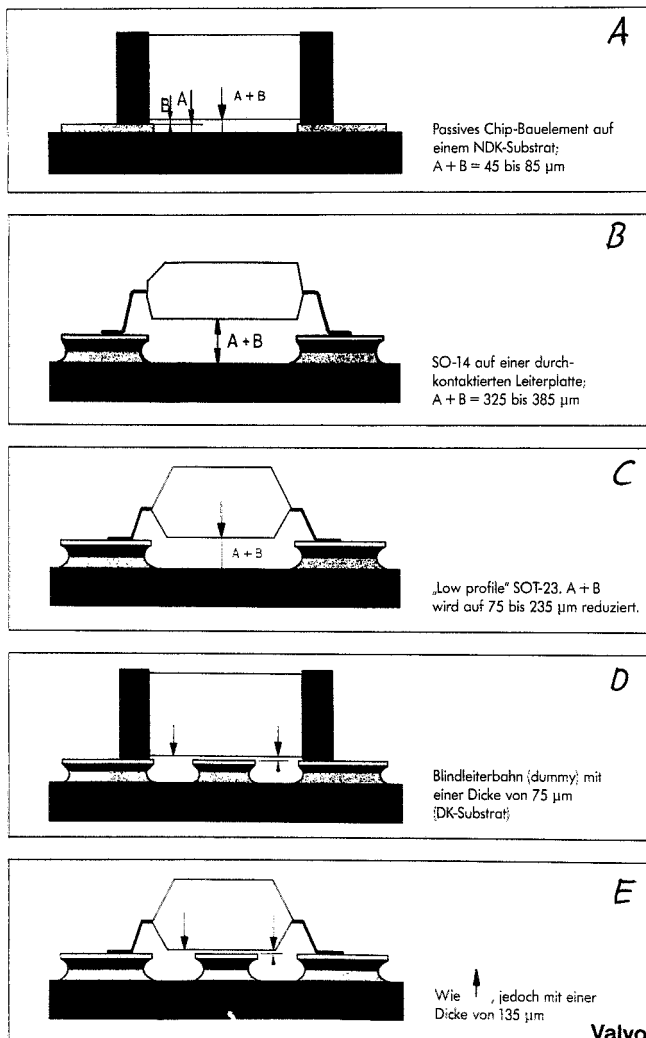


Bild 9: Klebspalte bei der Verwendung verschiedener SMDs und unterschiedlicher Bearbeitung der Leiterspalte /16/

Leiterplatte aufgefangen werden kann, muß die Klebschicht die Verformung aufnehmen. Das heißt, die Klebschicht muß eine Mindestverformbarkeit aufweisen. Die Verformbarkeit ist abhängig vom Klebstofftyp und von der Klebschichtdicke. Sehr dünne Klebschichten lassen nur geringe Klebschichtverformungen zu. Da beim Kleben von SMDs mit sehr dünnen Klebschichten gearbeitet wird, liegt hier auch nur eine sehr geringe Verformbarkeit der Klebschicht vor, so daß dieser Problematik erhöhte Beachtung geschenkt werden muß.

Bild 9 zeigt Klebspalte, wie sie bei Verwendung unterschiedlicher SMDs und bei verschiedener Leiterplattenbearbeitung entstehen. Ausgehend von dem oben Gesagten kann festgestellt werden, daß die in Bild 9 gezeigte Bauform für große Bauteile oder Klebflächen am besten geeignet ist. Die in 9 gezeigten Bauformen sind hingegen für große Klebflächen am wenigsten brauchbar.

Es ist weiterhin zu bedenken, daß die durch die Warmaushärtung induzierten Spannungen eine gute Haftung zwischen Klebstoff und Oberfläche bedingen. Hier kann der Fall eintreten, daß bei einer Kalthärtung des Klebstoffes keinerlei Probleme auftreten. Bei einer Warmaushärtung hingegen kommt es dann zum Versagen der Klebverbindung, weil jetzt zusätzliche Spannungen auftreten.

## Zusammenfassung

Aus dem oben Gesagten ergibt sich, daß ein Klebstoff für die SMD-Technologie nicht nur durch sein Lager-, Verarbeitungs- und Abbindeverhalten beschrieben werden kann, sondern es sind auch Angaben über sein mechanisches Verhalten, über Verformbarkeit und Festigkeit notwendig.

Weiterhin können an Klebstoffe zum Kleben größerer SMDs aufgrund der Festigkeits- und Verformungsbetrachtungen folgende Anforderungen gestellt werden:

- eine hohe Viskosität für eine gute Naßfestigkeit,
- eine große Bruchdehnung um ein hohes Verformungsvermögen der Klebschicht zu haben und
- einen kleinen Schubmodul um nur geringe Thermospannungen zu erhalten. □

## Literatur

- /1/ Wanek, Erich und Koran, Peter: Neues lichttechnisches Kleben für die Oberflächmontage, Adhäsion Heft 4/1989
- /2/ Rasche, Manfred: Schwache Basis; Ergebnisse aus Zugscherversuch wenig aussagefähig beim Dimensionieren von Klebverbindungen, Maschinenmarkt, 95 (1989) 3, S. 30-33

/3/ Rasche, Manfred: Kritische Betrachtung des Zugscherversuches, Klebtechnisches Forum am 13.-14. 06. 1988, Düsseldorf

/4/ Kühnlein, Gerd: Elektrisch leitfähige Klebstoffe für die Halbleitertechnik, Seminar 11/1989 der Int. Klebtechnik Seminare Rosenheim, München 1989

/5/ Kayed, Jalal: Möglichkeiten, Chancen und Grenzen der Klebstoffe in der Optik und Optoelektronik, Seminar 11/1989 der Int. Klebtechnik Seminare Rosenheim, München 1989

/6/ Bejenke, Vera: Klebstoffe im Milligrammbereich, Adhäsion Heft 10 (1989), S. 13-20

/7/ Hof, Manfred: Angewandte Klebetechniken in der Mikroelektronik, Adhäsion Heft 10 (1989), S. 21-26

/8/ Rautenberg, Heinz J.: Welche Grundgrößen bestimmen das Klebeergebnis in der SMD-Technik, Firmenschrift Grace N. V.

/9/ Wipfelder, Ernst und Orthmann, Kurt: Elektrisch leitfähige Klebstoffe für elektronische Bauelemente, Adhäsion 11 (1989), S. 26-31

/10/ DIN 53 283: Bestimmung der Klebfestigkeit von einschnittig überlappten Klebungen (Zugscherversuch) 09/79

/11/ DIN 54 451: Zugscher-Versuch zur Ermittlung des Schubspannungs-Gleitungs-Diagramms eines Klebstoffes in einer Klebung 11/78

/12/ Althof, Walter: Verformungs- und Festigkeitsverhalten von Klebstoffen bei Kurz- und Langzeitbeanspruchung, Fachtagung Fertigungssystem Kleben TU Berlin, 1984

/13/ Wahono, Wiyu: Untersuchung von geometrischen Einflußfaktoren auf das Festigkeitsverhalten überlappter Kunststoff-Metall-Klebeverbindungen, Diplomarbeit TU 1987

/14/ Yi, Xiao-Su: Beitrag zum strukturabhängigen mechanischen Verhalten von Klebstofftechniken, Schweißtechnischer Forschungsbericht Band 19, Düsseldorf 1988

/15/ Hahn, Ortwin und Mathias, Arnd: Fertigungsbedingte Eigenschaften von Klebverbindungen, Adhäsion (5) 1989, S. 31-34

/16/ N. N.: SMD Technologie, Firmenschrift Valvo Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH, Ausgabe November 1988

# UMSTELLEN AUF PACTAN® - HEISST DICHTGIESSEN WIE AUS EINEM GUSS.



Elektronische Bauteile brauchen Schutz gegen Vibration, Temperaturwechsel oder aggressive Medien.  
Die Lösung; Dichtgessen mit bewegungsausgleichenden PACTAN®-Vergußmassen.

PACTAN®-Produkte haften auf Kunststoffen, Keramik, Metallen u.v.m. und sichern zuverlässig Funktion und Lebensdauer der Elemente. Ihr ungewöhnliches Eigenschaftsprofil führt zu entscheidenden Kosten-, Qualitäts- und Marktvorteilen.

Ausführliche Informationen durch

COMPAKTA-WERKE GMBH  
D-8225 Traunreut  
Postfach 1160  
Telefon 0 86 69/34 10-0  
Fax 0 86 69/97 84

 **PACTAN®**

Vergußmassen für bewegungsausgleichende Verbindungen.