

Äthoxylharze als Gießharze und Bindemittel für Metalle

Von Dr. KARL FREY

Ciba Aktiengesellschaft, Basel

Wissenschaftliche Laboratorien der Kunststoffabteilung

A. Einleitung

1. Während längerer Zeit besaßen thermohärtende Kunstharze, wie Phenoplaste, Aminoplaste und Melaminharze, vorwiegend für die Herstellung von Preßmassen große technische Bedeutung. Erst in neuerer Zeit scheint sich – durch das Auffinden neuer Harzklassen stark gefördert – das Interesse wieder mehr den Gießharzen zuzuwenden, deren Verarbeitung keiner komplizierten Preßformen und Preßeinrichtungen bedarf, dagegen erlaubt, Metallteile oder ganze Apparate, Schaltelemente usw. in einen geschlossenen Block einzugießen, und der äußern Gestaltung der Gußkörper weitgehende Möglichkeiten läßt.

Diese Entwicklung knüpft an die ersten Arbeiten von BAKELAND und anderen Pionieren auf dem Gebiete der Phenolharze an, deren früheste Anstrengungen bekanntlich ebenfalls darauf gerichtet waren, Kunstharze in geschmolzenem Zustande zu vergießen und anschließend durch eine Wärmebehandlung in den festen Zustand überzuführen. Daß dieses Vorhaben nur bedingt zu einem Erfolge führte, lag, wie noch gezeigt werden soll, in den Schwierigkeiten begründet, welche die damals zugänglichen Harze ihrer Verarbeitung entgegenstellten. Diese Schwierigkeiten waren grundsätzlicher Art, da sie mit dem chemischen Bau der Harze in unmittelbarem Zusammenhange standen. Auch die später entwickelten Aminoplaste konnten als Gießharze aus dem gleichen Grunde keine technische Bedeutung gewinnen.

2. Mehr Erfolg hatte dagegen die Verwendung thermohärtender Kunstharze als Bindemittel, vor allem für einen porösen Werkstoff, wie Holz. Während hier die Verleimungstechnik einen hohen Stand erreichte, war anderseits die Verwendung von Phenoplasten und Aminoplasten als Bindemittel für dichte Werkstoffe sehr eingeschränkt durch Erscheinungen, die sich zwangsläufig während der Verfestigung der Verbindungsfuge zeigten.

Nachdem nunmehr neue, besser geeignete Kunstharze für diesen Verwendungszweck bekanntgeworden sind, scheint deren Verwendung als Bindemittel für Metalle und andere nichtporöse Werkstoffe in konstruktiver und fertigungstechnischer Hinsicht für die mannigfaltigsten Industriezweige zahlreiche neue Möglichkeiten zu erschließen. Obgleich nämlich diese Verbindungsmethode erst seit relativ kurzer Zeit weiteren Kreisen bekanntgeworden ist, hat sie doch schon eine vielseitige

praktische Anwendung gefunden, welche an Umfang ständig zunimmt. Davon wird im folgenden noch zu sprechen sein.

B. Theoretisches über Gießharze und Bindemittel

Wenn zunächst die Frage aufgeworfen wird, welche Eigenschaften vom Standpunkte des Chemikers aus von Gießharzen und Bindemitteln gefordert werden müssen, dann dürfte es sich empfehlen, zu unterscheiden zwischen

1. rheologischen Eigenschaften,
2. Bindungsfestigkeit (Adhäsion und Kohäsion),
3. mechanischen Eigenschaften.

1. Rheologische Eigenschaften

Gießen setzt voraus, daß das zur Verarbeitung gelangende Harz zunächst in flüssiger Form vorliegt und anschließend durch geeignete Maßnahmen in den festen Zustand übergeführt werden kann. Beim Metallguß erfolgt diese Überführung bekanntlich durch Abkühlung. Bei thermohärtenden Kunstharzen besteht dagegen die Möglichkeit, den Übergang «Flüssig–Fest» durch intermolekulare Vernetzungsreaktionen zu vollziehen, ohne daß dazu eine Temperatursenkung notwendig ist; im Gegenteil nimmt die Geschwindigkeit der Verfestigung mit steigender Temperatur zu. Der Mechanismus dieser Vernetzungsreaktion, kurz als Härtung bezeichnet, besteht seinem Wesen nach darin, daß die im flüssigen Harz vorhandenen, niedermolekularen Elementarbausteine durch Brückenbildungen zwischen reaktionsfähigen Atomgruppierungen miteinander verknüpft und so zu hochmolekularen Komplexen vereinigt werden. Es entstehen dadurch im Festkörper Netzwerke starker Valenzbindungen zwei- oder dreidimensionaler Ausdehnung, welche die Eigenbeweglichkeit der Elementarbausteine unterbinden.

Der Übergang «Flüssig–Fest» wirkt sich natürlich im rheologischen Verhalten der Harze sehr deutlich aus. Werden die gießtechnischen Eigenschaften der Harzschmelze in erster Linie durch deren Viskositätskoeffizienten charakterisiert, welcher mit zunehmender Härtung steigende Tendenz hat, so tritt mit der Erreichung des Punktes, an dem die Schmelze in ein zunächst noch leicht deformierbares Gel übergeht, der Schubmodul bzw. der Elastizitätsmodul als kennzeichnende Größe

an dessen Stelle. Der weitere Verlauf der Härtung bewirkt eine stetige Verfestigung des Gels, bis schließlich im ausgehärteten Festkörper die Deformierbarkeit nur noch gering ist. Es ist für das Verhalten organischer Kunststoffe sehr charakteristisch, daß der Deformationsmechanismus gleichzeitig rein elastische und plastische Verformungen umfaßt. Das gegenseitige Verhältnis beider Vorgänge wird durch die Relaxationszeit des Harzes bestimmt, welche ihrerseits stark vom Aushärtungsgrad und von der Temperatur abhängt. Bei hohen Temperaturen ist die Relaxationszeit relativ klein, wodurch das plastische Verhalten begünstigt wird; bei tiefen Temperaturen überwiegt der elastische Zustand.

Diese Verhältnisse sind stets im Auge zu behalten, wenn die Frage zur Diskussion steht, welche Temperaturen von einem organischen Kunststoff ertragen werden können, ohne daß untolerierbare, bleibende Deformationen auftreten. Neben der Temperatur selbst muß in diesem Falle auch die Dauer der Beanspruchung und der bestehende Spannungszustand mit in Berücksichtigung gezogen werden.

2. Bindungsfestigkeit (*Adhäsion und Kohäsion*)

Die Verwendung von Kunstharzen als Bindemittel setzt einerseits voraus, daß in den Grenzschichten zwischen Metall und Bindemittel eine gute Adhäsion besteht und andererseits innerhalb des Bindemittels dessen Kohäsion Werte erreicht, welche größer sind als die an der Verbindung angreifenden äußeren Kräfte.

Es ist seit langem bekannt, daß Adhäsion nicht rein mechanisch durch das grobe Bild einer Verankerung des Bindemittels in Unebenheiten oder Poren des Metalles erklärt werden kann, sondern daß spezielle molekulare Kräfte angenommen werden müssen, um die sehr beträchtliche Bindungsfestigkeit zu erklären. Maßgebend für die Ausbildung derartiger Kraftfelder ist einerseits eine gute Benetzung des Metalles durch das Bindemittel, eine Forderung, welche voraussetzt, daß die freie Energie durch die Benetzung eine Abnahme erfährt. Andererseits ist wesentlich, daß zwischen Metall und Bindemittel sich ein Valenzfeld aufbaut, dessen Zustandekommen in enger Beziehung zu der chemischen Natur des Bindemittels steht (polarer bzw. apolarer Charakter von Bindemittel usw.).

3. Mechanische Eigenschaften

Die im Bindemittel selbst vorhandene Kohäsion wird wertmäßig durch dessen Bruchfestigkeit erfaßt, wobei die Problemstellung von Bedeutung wird, welche Materialanstrengung für den Bruch ausschlaggebend ist. Sind – was normalerweise immer der Fall ist – die elastischen Konstanten von Metall und Bindemittel verschieden, dann ist mit dem Auftreten sehr komplizierter, inhomogener Spannungszustände zu rechnen mit kombinierter Beanspruchung durch Zug, Druck und Schub (dreiaxiale Spannungszustände).

Endlich sei darauf hingewiesen, daß für die Verklebung nichtporöser Werkstoffe gefordert werden muß, daß während der Verfestigung des Bindemittels keine flüchtigen Bestandteile abgespalten werden, da andernfalls mit dem Auftreten hoher, innerer Spannungen gerechnet werden muß, die eine Trennung der vereinigten Teile begünstigen.

C. Über den Chemismus der Harzbildung

Um die Schwierigkeiten erkennen zu können, welche bei der Verwendung von Phenoplasten und Amino-plasten als Gießharze und Bindemittel auftreten, erscheint es zweckmäßig, in aller Kürze auf die Vorgänge einzugehen, welche zur Bildung synthetischer Harze führen. Grundsätzlich betrachtet, waren früher zwei Wege bekannt, um aus niedermolekularen, einfach gebauten Verbindungen synthetische Harze mit komplizierter makromolekularer Struktur aufzubauen:

1. durch Aneinanderlagerung ungesättigter, d. h. Mehrfachbindungen aufweisender, niedermolekularer Verbindungen durch bloße Addition unter Aufrichtung der Mehrfachbindung: *Polymerisation*;
2. durch Verknüpfung niedermolekularer Verbindungen durch Umsetzung der in ihnen enthaltenen reaktiven Atomgruppen unter Abspaltung flüchtiger, einfach gebauter Verbindungen, wie z. B. Wasser, Formaldehyd usw.: *Polykondensation*.

So sehr sich beide Bildungsweisen hinsichtlich des Reaktionsmechanismus und der Reaktionskinetik unterscheiden, so ist doch beiden gemeinsam, daß sie unter einer Abnahme der Volumen vor sich gehen, da die makromolekularen Endprodukte eine engere Packung der monomeren Bauelemente aufweisen als die Ausgangssubstanzen.

So besitzt z. B. monomeres Styrol ein spezifisches Gewicht von 0,907, währenddem das daraus durch Polymerisation entstandene Polystyrol ein spezifisches Gewicht von 1,05 aufweist. Aus der Differenz beider Werte errechnet sich eine Volumenabnahme von etwa 13,6% als Folge der dichteren Packung im polymeren Endprodukt.

Bei Polykondensationen wird zusätzlich zu der erwähnten Kontraktion eine weitere Volumenabnahme durch das Entweichen der während der Härtung abgespaltenen flüchtigen Bestandteile verursacht. Diese mit dem Reaktionsmechanismus der Härtung zwangsläufig gekoppelten Volumenkontraktionen sind eine sehr wesentliche Ursache dafür, daß im fertig angehärteten Harz, sei es in einem Gußstück oder in einer Verbindungsfuge, innere Spannungszustände bestehen bleiben, die sich im erhärteten Werkstoff nicht ausgleichen können. An Stellen maximaler Spannung kann die Materialanstrengung so hohe Werte erreichen, daß sich Risse bilden, die das Gefüge zerstören.

Nach diesen Ausführungen ist leicht zu verstehen, daß die Volumenverminderung, die schon bei der Polymerisation bzw. Polykondensation und nochmals bei der Härtung mancher Kunstharze sich störend auswirken kann, unangenehme Folgen für die Verarbeitung hat, sobald Gießstücke von genau vorgeschriebenen Abmessungen hergestellt werden sollen.

Es ist zwar bei den durch Polymerisation erzeugten Kunststoffen gelungen, die schädlichen Folgen des Schwindens durch gewisse Kunstgriffe, wie z. B. die Mitverwendung bereits vopolymerisierter Anteile, weitgehend zu beheben. Viel mehr Schwierigkeiten bietet es jedoch, bei den thermohärtenden Kondensationsharzen die unerwünschten und die Verwendbarkeit ernstlich gefährdenden Vorgänge des Schwindens und der Abspaltung flüchtiger Bestandteile zu beeinflussen. Die Entdeckung einer neuen Harzklasse, deren anders gearteter Härtungsmechanismus die erwähnten Vorgänge völlig ausschließt oder wenigstens auf ein geringes und unschädliches Ausmaß herabsetzt, mußte deshalb für die Weiterentwicklung der Gießharze als ein sehr wesentlicher Fortschritt gewertet werden und hatte auch auf die weitere Entwicklung von Bindemitteln richtungsweisenden Einfluß.

D. Äthoxylinharze, ein neuer Typ härtender Kunstharze

Äthoxylinharze, welche unter der geschützten Markenbezeichnung «Araldit»* von der CIBA Aktiengesellschaft in Basel seit einigen Jahren auf den Markt gebracht werden, sind Produkte der eben erwähnten Art.

Im Prinzip stellen diese Äthoxylinharze Kondensationsprodukte mehrwertiger Phenole mit Epichlorhydrin dar und sind dadurch gekennzeichnet, daß in den ungehärteten Harzen aus dreigliederigen Ringen bestehende Epoxygruppen $\text{CH}-\text{CH}_2$ enthalten sind, auf

O

deren Reaktionsfähigkeit im wesentlichen der Härtungsvorgang beruht. Zu dessen Durchführung werden den Harzen Härtungsmittel zugefügt, welche aus anorganischen oder organischen Basen, Säuren oder deren Anhydriden usw. bestehen können. Die Härtung selbst, d. h. der Übergang der Harzschmelze in den festen Zustand, vollzieht sich bei erhöhter Temperatur unter Abspaltung der Epoxydringe durch Anlagerung, ohne daß dabei flüchtige Reaktionsprodukte abgespalten werden. Diesem Reaktionsmechanismus ist zu verdanken, daß nur eine ganz geringe, von der Härtungstemperatur etwas abhängige Schwindung von 0,5 bis 2,5% auftritt, welche so klein ist, daß das ausgehärtete Harz praktisch frei von inneren Spannungen ist.

Wegen der Eigenschaften der ausgehärteten Gießharze sei auf das bestehende Schrifttum hingewiesen,

in welchem auch weitere Literaturangaben zu finden sind¹.

Die erstaunlich hohe Haftfestigkeit, welche die Äthoxylinharze gegenüber den meisten Werkstoffen aufweisen, wie auch der Umstand, daß ihre Aushärtung ohne Abspaltung flüchtiger Reaktionsprodukte vor sich



Abb. 1. 10-kV-Innenraum-Stromwandler mit Isolation aus Araldit-Gießharz B

Mit freundlicher Genehmigung der Maschinenfabrik Oerlikon

geht, haben ihnen den Weg für die erfolgreiche Verwendung als Bindemittel für Metalle und andere, nicht-poröse Materialien geöffnet.

Die Erfahrungen hatten indessen rasch gezeigt, daß die vielseitigen Anforderungen, welche die Praxis speziell hinsichtlich der Verarbeitungsbedingungen an Gießharze und Bindemittel stellt, nicht durch ein einziges Produkt, das für die Formgebung und die Aushärtung bestimmten Bedingungen, z. B. hinsichtlich der Aushärtungstemperatur, unterworfen ist, erfüllt werden können. Bei der Weiterentwicklung der Äthoxylinharze mußte diesem Umstand durch die Schaffung verschiedener Handelstypen so weit als möglich Rechnung getragen werden.

1. Bei den Gießharzen gingen die Forderungen in erster Linie dahin, sowohl den Gießprozeß selbst wie auch die anschließende Härtung bei Raumtemperatur oder nur wenig erhöhter Temperatur vornehmen zu können. Dies einerseits, um in den Gußstücken Temperaturspannungen ganz zu vermeiden, andererseits, um eingegossene Apparateile, z. B. mit Wachsen oder anderen leichtschmelzenden Stoffen imprägnierte Kondensatorenwickel, Drahtisolationen usw., nicht zu schädigen. Ferner ergab sich für manche Verwendungszwecke das Bedürfnis, zum Gießen möglichst niedrigviskose Harze anzuwenden, die speziell zum Eingießen bzw. Imprägnieren von Spulen und Wicklungen befähigt sind und auch in engste Zwischenräume einzudringen vermögen.

* Auf dem Gebiete der «Araldit»-Produkte besitzt die CIBA Aktiengesellschaft in den hauptsächlichsten Industriegebieten zahlreiche Patente bzw. Patentanmeldungen.

¹ Neuere zusammenfassende Veröffentlichungen, z. B.: K. MEYERHANS, *Kunststoffe* 41, 365 (1951), 41, 457 (1951); *Metall* 6, 229 (1952). E. PRISWERN, *Elektrotechn. Z.*, Ausgabe B, Heft 1, S. 5 (1953); daselbst auch weitere Literaturhinweise.

Zur Hauptsache sind die Versuchsarbeiten, welche in diesen Richtungen unternommen wurden, erfolgreich abgeschlossen, und es besteht heute die Möglichkeit, bestimmte Typen von Äthoxylinharzen zu erzeugen, welche hinsichtlich der Aushärtungsbedingungen, der Viskosität der flüssigen Harze usw. spezielle Wünsche der Verbraucher weitgehend befriedigen können.

2. In ähnlicher Weise hat sich auch die Entwicklung der Metallbindemittel vollzogen. Neben die nur bei hohen Temperaturen aushärtenden Bindemittel sind die bei Raumtemperatur härtenden Bindemittel getreten. Die Anwendung wurde in vielen Fällen dadurch erleichtert, daß pastenförmige oder flüssige Produkte zur Verfügung stehen, die viel leichter aufgetragen werden können als feste Bindemittel, welche zum Auftrag eine Erwärmung der zu verbindenden Metallteile bis über den Schmelzpunkt der Harze erfordern.

E. Einige praktische Anwendungen von Äthoxylinharzen

In den nachfolgenden Ausführungen sollen einige praktische Anwendungsbeispiele von Äthoxylinharzen als Gießharze und Metallbindemittel geschildert werden, die heute bereits eine gewisse technische Bedeutung erlangt haben. Es wird sich dabei die Gelegenheit bieten, kurz auf einige Problemstellungen mehr theoretischer Natur einzugehen, welche sich im Laufe dieser Entwicklungsarbeiten gestellt haben.



Abb. 2. Schnitt durch ein mit Araldit-Gießharz B ausgegossenes Telephonfrequenzfilter

Mit freundlicher Genehmigung der Firma Hasler AG., Bern

1. Gießharze

Die Anwendung härtender Gießharze hat sich im wesentlichen nach zwei Hauptrichtungen vollzogen:

a) *Herstellung von Gußstücken.* Neben der Herstellung von fertig gestalteten Konstruktionselementen durch spanabhebende Bearbeitung von Platten, Stäben, Rohren usw. dürfte das Gießen komplizierter Stücke in

einfachen und darum billigen Gießformen wachsendem Interesse begegnen, sei es zur Herstellung einzelner Prototypen oder sei es zur Serienfabrikation.

Das sehr geringfügige Schwinden der Äthoxylinharze während der Härtung wie auch der thermische Ausdeh-

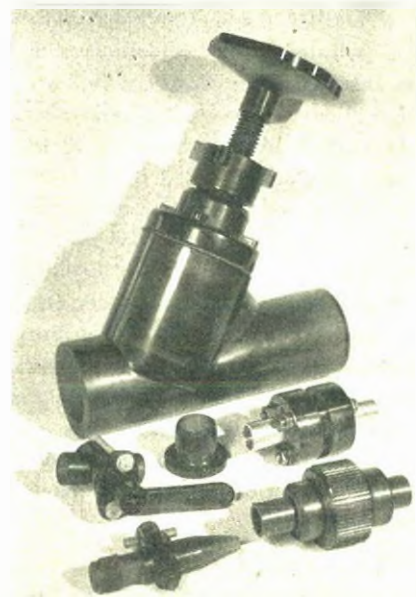


Abb. 3. Freiflußventil mit Stopfbüchse und verschiedene Gußstücke aus Araldit-Gießharz B, teilweise spanabhebend bearbeitet

nungskoeffizient der ausgehärteten Harze können durch Mitverwendung von Zusatzstoffen, z. B. von Gesteinsmehl, Porzellanmehl, Quarzsand, Kaolin, Talkum, Titandioxyd oder anderer Oxyde usw., günstig beeinflußt, d. h. stark reduziert werden. Durch derartige Zusätze wird auch das Auftreten innerer Spannungen, welche durch die nach vollzogener Härtung einsetzende Abkühlung hervorgerufen werden, in weitgehendem Maße vermieden. Ferner kann die Mitverwendung geeigneter Zusatzstoffe auch in anderer Hinsicht wesentliche Vorteile bieten, wie z. B. in der Verbilligung des Materials, in der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit, in der Beeinflussung der mechanischen und dielektrischen Eigenschaften usw.

Die Mitverwendung von Weichmachern ist ebenfalls möglich, darf sich jedoch, um ein nachträgliches Ausschwitzen, speziell bei dauernder Beanspruchung durch höhere Temperaturen, zu vermeiden, nur in mäßigen Grenzen halten. Chlorhaltige Weichmacher, Phosphorsäureester und dergleichen bieten den weiteren Vorteil, die Brennbarkeit der Äthoxylinharze, die sich im normalen Rahmen von Kunstharzen hält, zu verringern.

Der Einfluß der zugesetzten Weichmacher auf die mechanischen Eigenschaften (E-Modul, Widerstand gegenüber schlagartigen Beanspruchungen usw.) ist ziemlich gering, dagegen bewirken schon relativ kleine

Zusätze eine merkliche Herabsetzung der Formbeständigkeit bei höheren Temperaturen. Es gelang dagegen, durch Zugabe geeigneter Komponenten mit größerer innerer Beweglichkeit im ziemlich starren Äthoxylin-

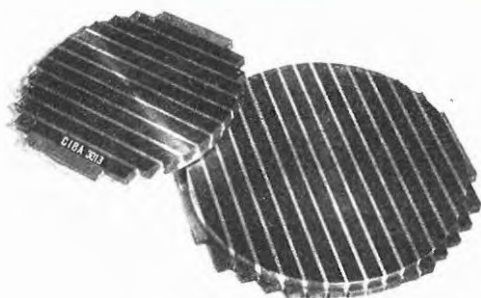


Abb. 4. Magnetspannplatten aus Stahl- und Messinglamellen, verbunden mit Araldit Typ I

Mit freundlicher Genehmigung der Firma Jakob Dohli, Ingenieur, Solothurn

makromolekül eine innere Weichmachung zu erzielen und damit zu flexibleren Produkten zu gelangen. Je nach dem Anteil dieser Komponenten, welche beim Härtungsvorgang in das Makromolekül eingebaut werden, läßt sich der Elastizitätsmodul der ausgehärteten Gießharze innerhalb sehr beträchtlicher Grenzen variieren.

b) *Eingießen von Konstruktionselementen* («Potting»). Sowohl beim Bau von Hochspannungsapparaten als auch in der Nachrichten- und Hochfrequenztechnik scheint heute das Bestreben mehr und mehr dahin zu gehen, ganze Geräte oder in sich geschlossene Schaltelemente, wie Spulen, Wicklungen, Kondensatorkreise, Frequenzfilter usw., in Kunstharzblöcke einzugießen. Es wird dadurch nicht nur ein Schutz gegen mechanische Beschädigungen, eine große Stabilität der ganzen Konstruktion und eine einfache Montagemöglichkeit erreicht, vor allem auch eine vollständige Abschirmung gegenüber klimatischen Einflüssen, speziell gegenüber dem Eindringen von Feuchtigkeit. Die größtmögliche Konstanz der Eigenschaften in mechanischer und elektrischer Hinsicht wird damit gewährleistet. So eröffnen sich heute den Gießharzen weitgehende Verwendungsmöglichkeiten beim Bau von Strom- und Spannungsmesswandlern² bei der Herstellung von Stützern, Klemmenplatten, Überspannungsableitern und dergleichen, ferner im Kondensatoren- und Kleinmotorenbau. Auch die Hochfrequenz- und Röntgentechnik benützt in steigendem Ausmaße diese Produkte. Die Abb. 1–3 zeigen einige Anwendungsbeispiele aus verschiedenen Applikationsgebieten.

² H. KOLLER, CIGRE-Bericht Nr. 124 (1952); H. KOLLER und A. EHNST, Bulletin Oerlikon Nr. 294, 39 (1952); A. IMHOFF, Schweiz. Techn. Z. 49, 769 (1952).

2. Bindemittel, insbesondere für Metalle

a) Angesichts der großen Bedeutung, welche den Verbindungselementen bei allen Metallkonstruktionen zukommt, stellt sich die Frage, weshalb neben den altbekannten und bewährten Methoden der Verschraubung, Nietung, Schweißung und Lötung neuerdings Bindemittel auf Kunstharzbasis vermehrte Anwendung finden. Eine Antwort ist die, daß Bindemittel, die bei mäßiger Temperatur oder sogar bei Raumtemperatur verwendet werden können, gegenüber der Schweißung und Lötung den großen Vorteil besitzen, daß sowohl Veränderungen im Metall selbst – Änderungen im Kristallgefüge, Rekristallisationen usw. – wie auch große Dimensionsänderungen infolge der thermischen Ausdehnung, Werfen, Verziehen usw. wegfallen. Diese Vorteile sind besonders bedeutungsvoll bei der Verarbeitung von Leichtmetall-Legierungen oder bei Konstruktionen aus dünnen Blechen. Fertigungstechnisch erlaubt die mit Hilfe von Kunstharzen vollzogene Verbindung gegenüber der Verschraubung oder Nietung oft wesentliche Einsparungen an Arbeitszeit. Im Hinblick auf die erzielbare Bruchfestigkeit einer Verbindung ist zu sagen, daß jede Verklebung eine flächenhafte Verbindung darstellt, bei der lokale Schwächungen durch Querschnittsverkleinerungen oder Spannungskonzentrationen, wie sie bei Niet- und Schraubenlöchern zwangsläufig auftreten, vermieden sind. Endlich ist infolge des Wegfalles von Schweißraupen, Nietköpfen usw. die Erzielung einer ganz glatten Oberfläche gewährleistet, ein Faktor, welchem beim Bau moderner Hochleistungsflugzeuge, z. B. bei deren Tragflächen, eine nicht zu unterschätzende Bedeutung zukommt.

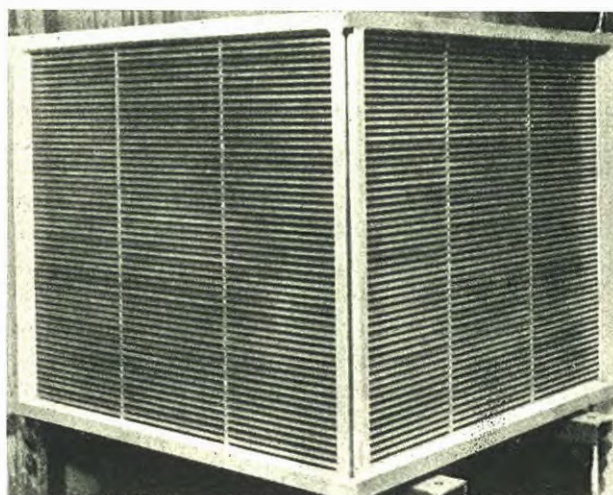


Abb. 5. Kreuzstromwärmeaustauscher aus Leichtmetall verbunden mit Araldit Typ I

Mit freundlicher Genehmigung der Firma J. Ruckstuhl AG., Basel

b) Es ist natürlich zu beachten, daß bei der Verwendung von Kunstharzbindemitteln gewisse Regeln eingehalten und gewisse Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um zuverlässige und einwandfreie Verbindungen zu

erhalten. Die Vorschriften der Herstellerin bezüglich Vorbereitung der zu verbindenden Teile, des Harzauftrages und der Durchführung der Aushärtung müssen in dieser Hinsicht wegleitend sein. Vom konstruktiven Gesichtspunkte aus ist ferner zu bedenken, daß für die

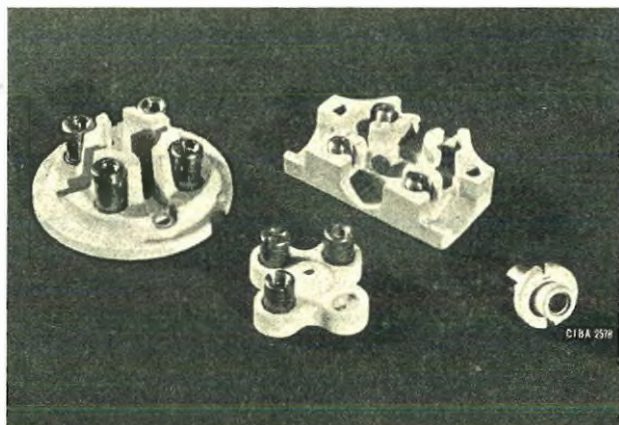


Abb. 6. Metallteile, mit Araldit Typ I in Stentitsockel eingeklebt

Übertragung der auf die Verbindung einwirkenden äußeren Kräfte genügend große Klebflächen vorgesehen werden müssen. Stumpfe Stöße oder rechtwinklig gestoßene Blechverbindungen sind deshalb keine konstruktiv günstige Gestaltung; anzustreben sind vielmehr einfach oder noch besser doppelt überlappte Verbindungen, bei denen die Krafteinwirkung in der Ebene der Verbindungsfuge erfolgt, d. h. die Verbindung auf Scherung beansprucht ist. Gegenüber Normalkräften senkrecht zur Verbindungsfuge und gegenüber Kräften, welche ein Abschälen der verbundenen Teile zu bewirken suchen, sind im allgemeinen die mit Kunstharzen vollzogenen Verbindungen ziemlich empfindlich. Solche Beanspruchungen sollten deshalb nach Möglichkeit vermieden werden, eine Regel, die ja z. B. auch für Vernietungen gilt³.

c) Die Berechnung der Scherfestigkeit einer überlappten Verbindung hat auf Grund theoretischer Überlegungen, wie sie von VOLKERSEN⁴, GOLAND und REISSNER⁵, DE BRUYNE⁶ u. a. angestellt worden sind, davon auszugehen, daß in der Verbindungsfuge im allgemeinen keine gleichmäßige Spannungsverteilung besteht, sondern daß die größten Spannungen an den Enden der Überlappung auftreten. Die maximal vorkommenden und die Bruch-

festigkeit bestimmenden Spannungen sind ein Mehrfaches größer als eine aus dem Flächeninhalt der Verbindungsfuge und der Belastung berechnete Nennspannung, ein Befund, welcher speziell von MYLONAS⁷ auch durch spannungsoptische Modelluntersuchungen erhärtet wurde. Die rechnerische Behandlung des Problems führt zu der Erkenntnis, daß neben den elastischen Konstanten von Metall und Bindemittel auch die geometrische Gestalt der Verbindung, d. h. das Verhältnis von Überlappungslänge und Stärke der verbundenen Teile berücksichtigt werden muß. DE BRUYNE⁶ hat diesen letztgenannten Einfluß durch die Einführung des sogenannten «joint factor» erfaßt⁸.

Eine eingehende Untersuchung des auf Äthoxylinbasis aufgebauten Bindemittels «Araldit» ist auf Veranlassung der Herstellerin durch die Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt in Zürich (EMPA) unter der Leitung von Prof. Dr. h. c. M. ROß durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung, welche statische und dynamische Festigkeitsmessungen bei verschiedenen Beanspruchungsarten sowie Ermüdungsversuche umfaßt, ist auszugsweise publiziert worden⁸ und dürfte für den Gebrauch dieser Bindemittel wertvolle Hinweise geben.

d) Die Abb. 4–6 illustrieren abschließend noch einige Beispiele für die Verwendung von «Araldit»-Bindemitteln in der Praxis. Die Festigkeit derartiger Verbindungen, an Zug-Scher-Proben einfach überlappt verklebter Bleche bestimmt, ergibt bei Leichtmetallen für die bei erhöhter Temperatur ausgehärteten Bindemittel Bruchfestigkeitswerte von etwa 2–3 kg/mm², bei den bei Raumtemperatur gehärteten Typen solche von 1 bis 2 kg/mm². Auch hier muß hinsichtlich weiterer Details auf die bereits bestehenden Veröffentlichungen¹ verwiesen werden.

Die vorstehenden Ausführungen verfolgen nicht nur den Zweck, auf eine neuere Entwicklungsrichtung auf dem Gebiete der organischen Kunststoffe hinzuweisen, sie möchten auch ein Beispiel dafür sein, wie stark die erfolgversprechende Weiterentwicklung der Kunststoffchemie auf die verständnisvolle Zusammenarbeit des Physikers und des Ingenieurs mit dem Chemiker angewiesen ist, um den vielfachen und vielseitigen Anforderungen der Praxis nach Möglichkeit gerecht zu werden.

³ K. FREY, Schweiz. Arch. 19, 33 (1953).

⁴ O. VOLKERSEN, Luftfahrtforschung 15, 41 (1938).

⁵ M. GOLAND und E. REISSNER, J. Appl. Mech. 11, 417 (1944).

⁶ N. A. DE BRUYNE, Aircraft Engineering XVI, 115, 140 (1944).

⁷ Vgl. C. MYLONAS und N. A. DE BRUYNE, in: DE BRUYNE-HOUWINK, Adhesion and Adhesives, Chapter 4, London 1951.

⁸ M. ROß, Sheet Metal Industries 26, 1967 (1949).