

Hartlöten von Aluminium

W. Kohlweiler, BrazeTec GmbH, Hanau

Durch Hartlöten lassen sich sowohl Aluminium als auch Aluminiumlegierungen sicher und wirtschaftlich verbinden. Die wichtigsten Lötverfahren werden vorgestellt. Das modernste und zukunftsweisendste ist das Schutzgaslöten. Durch Lötmittel, wie z.B. moderne Pasten, verknüpft mit angepassten Appliziermethoden, kann die Qualität und die Wirtschaftlichkeit des Lötens weiter verbessert werden.

Die zunehmende Nutzung von Aluminium ist auf seine besonderen Eigenschaften zurückzuführen, die die Möglichkeit beinhalten, eine Vielfalt von Legierungen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften herstellen zu können. Neben dem Schweißen gewinnt zunehmend das Löten als Fügeverfahren an Bedeutung. Viele Produkte aus Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen lassen sich sogar nur unter Anwendung des Hartlötens wirtschaftlich herstellen. Die heute bekannten Hartlötverfahren werden nachfolgend mit ihren Besonderheiten dargestellt.

Werkstoffeigenschaften des Aluminiums

Das weiche, dehnbare Aluminium ist mit einer Oxidschicht bedeckt, die eine deutlich höhere Härte als 4000 MPa aufweist und damit sogar den vergüteten Stahl bei weitem übertrifft. Auch chemisch ist diese Oxidschicht sehr beständig. Da sie sich als dichtge-

schlossene, farblose Schicht ausbildet, liegt in dieser Oxidschicht die hohe Korrosionsbeständigkeit von Aluminium und seinen Legierungen an Luft begründet. Diese stabile Oxidschicht stellt gleichzeitig aber hohe Anforderungen an die Füge-technik, da reines Aluminium bei 660°C, Aluminiumlegierungen überwiegend im Bereich von 500 bis 660°C schmelzen. Aluminiumoxid kann dagegen erst bei Temperaturen von über 2000°C verflüssigt werden. In der Spannungsreihe der Metalle zeigt Aluminium ein negativeres Potential als die Schwermetalle. Sogar Zink, das gegenüber Stahl als Opferanode fungieren kann und deshalb als Korrosionsschutz gerne verwendet wird, ist noch etwas edler als Aluminium. Daher sind Kombinationen mit Schwermetallen aus korrosionstechnischer Sicht stets problematisch. Aluminiumlegierungen, die Schwermetalle enthalten, verlieren allerdings im allgemeinen auch an Korrosionsbeständigkeit im Vergleich mit reinem Aluminium.

Hartlote

Zum einen aufgrund der Schmelztemperatur von Aluminium und seinen Legierungen und zum anderen bedingt durch die notwendige Korrosionssicherheit der Lötverbindung scheiden Schwermetallhartlote zum Löten von Aluminium aus. Es werden daher Lote auf Aluminiumbasis angewendet, die keine oder nur

geringe Gehalte an Schwermetallen und mindestens 70 % Aluminium enthalten. Damit ergeben sich Legierungen, die selbst als Aluminiumlegierung betrachtet werden müssen und häufig mit ihrem Schmelzintervall im Bereich der verwendeten Aluminiumlegierungen liegen. Aus Festigkeits- und korrosions-chemischer Sicht haben sich Lote des Systems Aluminium-Silizium mit Siliziumgehalten zwischen 7% und 13% bewährt. Diese Legierungen besitzen Schmelztemperaturen im Bereich von 575°C -615°C. Standard ist dabei das Hartlot AL 104 mit einem Schmelzintervall von 575 - 585°C. Die Arbeitstemperatur dieses Lotes beträgt 585°C, wobei die mit dem Lot hergestellten Verbindungen eine gute Korrosionsbeständigkeit zeigen. Da beim Löten der Grundwerkstoff nicht angeschmolzen werden darf, können mit diesem Lot nur Werkstoffe gelötet werden, deren Schmelzintervall oberhalb der Verarbeitungstemperatur des Lotes (Mindesttemperatur, die beim Löten erforderlich ist) liegt. Damit ergibt sich, dass in erster Linie Reinaluminium und solche Aluminiumlegierungen gelötet werden, deren Schmelzintervall oberhalb von 640°C liegt. In der Praxis bedeutet dies, dass überwiegend Reinaluminium und AlMn 1 als Legierung hartgelötet werden.

Eine Übersicht über lötgeeignete und nicht lötgeeignete Aluminiumlegierungen zeigt Tafel 1.

Tafel 1: Übersicht über die Lötbarkeit von Aluminium (nach: Aluminium-Taschenbuch)

Werkstofftyp	Hartlöten	Weichlöten	Bemerkungen
Knetwerkstoffe: Rein- und Reist- aluminium	gut	gut	
AlMn	gut	gut	
AlMg	bedingt	gut	Mg-Gehalte > 0,6 % erschweren die Benetzung
AlMgSi	gut	gut	Festigkeitsabfall beachten! Nach Hartlöten Aushärten möglich
AlCuMg AlZnMg AlZnMgCu	nicht geeignet	möglich	Hartlöten bewirkt irreversible Werkstoffschädigungen, Weichlöten bewirkt erheblichen Festigkeitsabfall
Gusslegierungen	s. Bemerkung	bedingt	Hartlöten mit den in Deutschland genormten AlSi-Löten schwierig, da die Solidustemperatur des Grundwerkstoffes überschritten wird. In den USA sind Lote der Typen AlSi10Cu4 (4145) und AlSi10Zn10Cu4 (4245) verfügbar, deren Solidustemperaturen bei 520°C bzw. 515°C liegen.

Verfahrenstechnik beim Löten von Aluminium

Zum Löten benötigt man neben dem geeigneten Lot stets noch ein Medium, das die Oberflächenoxide vom Grundwerkstoff beseitigt und diesen während des Lötens metallisch blank hält. Zu diesen Medien gehört neben Schutzgasen und Flussmitteln auch das Vakuum. Um die Wirksamkeit einzelner Medien zu verstehen, muss erneut die Besonderheit der Aluminiumoxidhaut betrachtet werden. Aluminium besitzt eine sehr hohe Affinität zum Sauerstoff. Daher ist Aluminium an Luft stets mit einer Oxidhaut überzogen. Diese ist gleichmäßig und porenarm, so dass sie das Aluminium gegen weitere Korrosion, z.B. gegen Luft und Industriatmosphäre, schützt. Die blanken Aluminiumfassaden vieler Gebäude belegen dies. Zum Löten muss die Oxidhaut entfernt werden, wozu drei Möglichkeiten zur Verfügung stehen:

1. Auflösen der Oxidhaut
2. Reduzierung der Oxidhaut
3. Mechanisches Zerreißen und Abheben der Oxidhaut

Hinzu kommt, dass sich die Aluminiumoxidschicht während des

Lötprozesses nicht wieder neu ausbilden darf.

Vakuumlöten

Die Besonderheit des Vakuumlötens liegt darin, dass das Aluminiumoxid durch das Vakuum nicht entfernt werden kann, so dass der Mechanismus des Lötvorgangs wie folgt abläuft: Der Ausdehnungskoeffizient von Aluminium ist etwa dreimal so hoch wie der von Aluminiumoxid. Daher reißen die Oxidschichten beim Erwärmen auf und das flüssige Lot kann durch diese Risse hindurch zum blanken Grundwerkstoff vordringen. Dabei hebt es die Aluminiumoxidschicht mechanisch ab. Das Oxidieren des Aluminiums während dieser Aufheizphase in den Rissen kann nur verhindert werden, wenn die Umgebung völlig frei von Sauerstoff ist. Hierzu ist nicht nur eine Mindestanforderung an das Vakuum zu stellen (10^{-4} mbar oder besser), sondern es sind noch zusätzlich Getterwerkstoffe einzusetzen, um so auch die letzten Sauerstoffatome aus der Umgebung des zu lötenen Bauteils

abzufangen. Es ist offensichtlich, dass ein solches Verfahren zwar möglich aber aufwendig ist. Daher hat auch das Vakuumlöten gegenüber dem Flussmittellöten eine geringere Bedeutung behalten.

Lötverfahren unter Anwendung von Flussmitteln

Flussmittel

DIN EN 1045 unterscheidet prinzipiell zwei Flussmitteltypen, die in der Norm wie folgt beschrieben werden:

1. Typ FL 10

Diese Flussmittel enthalten hygroskopische Chloride und Fluoride, vor allem Lithiumverbindungen. Die Rückstände sind korrosiv und müssen durch Waschen oder Beizen entfernt.

2. Typ FL20

Diese Flussmittel enthalten nicht hygroskopische Fluoride. Die Rückstände sind im allgemeinen nicht korrosiv und können auf dem Werkstück verbleiben, aber

die Lötverbindung sollte vor Wasser oder Feuchtigkeit geschützt werden.

Um den Vergleich der Flussmittel besser zu veranschaulichen, sind die Vor- und Nachteile des jewei-

ligen Typs in Tafel 2 zusammengefasst. Das Bild 2 demonstriert wesentliche Unterschiede der beiden Flussmitteltypen.

Tafel 2: Vor- und Nachteile der Flussmitteltypen im Vergleich

	Vorteile	Nachteile
FL 10 (chloridischer und hygroskopischer Typ)	Wirksam ab 500°C Hohe Wirksamkeit, auch AlMg3 kann gelötet werden, Bauteile sind nach dem Waschen sauber, Beizbehandlung nach dem Waschen zur Verbesserung des Aussehens möglich.	Reste sind sehr korrosiv, Reste müssen abgewaschen werden, Waschwasser ist zu entsorgen (teuer), Beizbehandlung wird selten durchgeführt, da aufwendig und damit teuer, hohe Belastung der Abluft bzw. Umgebung.
FL 20 (nicht chloridisch, nicht korrosiv)	Reste nicht korrosiv, Kein Waschen nach dem Löten, (Arbeitsgang entfällt) Kein Waschwasser zu entsorgen Hoher Spaltfüllgrad Sehr geringe Belastung des Lötovens Unter Schutzgas deutlich reduzierter Verbrauch (auf ca. 20% des FL 10 Einsatzes an Luft)	Wirksam ab ca. 570°C, Salzreste auf dem Bauteil (Optik), Wirksamkeit etwas geringer als FL 10, AlMg kann nur bis 0,9 % Mg benetzt werden. Fast keine Belastung der Umwelt

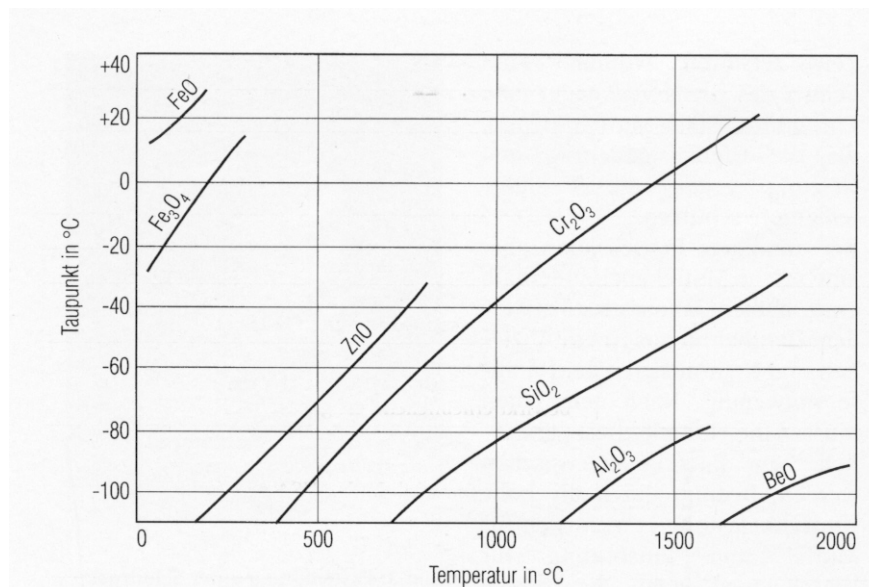


Bild 1: Metall-Metalloxid-Gleichgewichte in Wasserstoff (Bilder: BrazeTec)