



# Löter-Tipps

## Johnson Matthey & Brandenberger AG Metal Joining

### Vakuumlöten von Aluminium und dessen Legierung

#### Inhaltsverzeichnis

1. Allgemein.....	1
2. Oberflächeneigenschaften von Aluminium .....	1
3. Lötbedingungen .....	1
4. Lotlegierungen .....	2
5. Besonderheiten beim Löten von Aluminium .....	3
6. Thermische Nachbehandlung .....	3
7. Eigenschaften der produzierten Lötnaht .....	4
8. Vorteile des Vakuumlötens gegenüber Schweißen.....	4

#### 1. Allgemein

Das Vakuumlöten wird allgemein aufgrund folgender Gegebenheiten sehr geschätzt:

- exakt kontrollierbare Parameter
- hohe Reproduktionsgenauigkeit
- sehr saubere Ergebnisse (Abwesenheit von Flussmitteln!)

Dabei ist zu beachten, dass ausschliesslich im Chargenbetrieb gearbeitet werden kann.

#### 2. Oberflächeneigenschaften von Aluminium

Den sehr guten **Reflektionseigenschaften von Aluminium** ist beim Löten im Vakuumofen mittels Strahlungswärme besonders Rechnung zu tragen: Um starke Temperaturschwankungen innerhalb des Werkstückes zu vermeiden ist eine genaue Ofenführung unabdingbar. Spezielles Augenmerk ist auf ungleiche Massenverhältnisse, zum Beispiel dick- und dünnwandige Teile, zu richten. In diesen Fällen kann es bei massearmen Stellen des Werkstückes zu Anschmelzungen kommen, während die restlichen Partien die Löttemperatur noch nicht erreicht haben.

Die **Oxidschicht auf der Aluminiumoberfläche** muss in jedem Fall entfernt werden, um eine Benetzung zu erzeugen:

- dicke Oxyd- bzw. Eloxalschichten: mechanisches Entfernen durch Fräsen, Schleifen, etc
- dünne Oxydschichten brechen während des Erwärmens im Ofen bedingt durch die dreifach schlechtere Wärmeleitfähigkeit des Aluminiumoxydes zum Aluminium von selbst auf. Dieser Prozess wird in einigen Fällen durch die Freisetzung von im Aluminium gelösten Wasserstoff unterstützt.

#### 3. Lötbedingungen

- Vakuumofen mit möglichst kleiner Leckrate
- Vakuum 10<sup>-4</sup> - 10<sup>-6</sup> mbar



- Temperaturführungsgenauigkeit  $\pm 5$  K
- in einer ersten Aufwärmphase kann mittels Wärmekonvektion gearbeitet werden (Argon/Helium)
- Verhinderung einer dynamischen Sauerstoffatmosphäre
- Die Durchwärmung der Werkstücke ist zu gewährleisten. Dabei ist eine zu grosse Diffusion von Silizium in den Grundwerkstoff zu verhindern, weil sich dadurch die Liquidustemperatur des Lotes nach oben verschiebt. Dies lässt sich durch die Optimierung von Aufheizrate und Haltezeit über der Liquidustemperatur erreichen.

#### Ofenführung bei magnesiumfreien/magnesiumhaltigen Lötlegierungen:

- **Magnesiumfrei**  
Bei der Anwendung magnesiumfreier Lotlegierungen sind Temperatur und Haltezeit im Hinblick auf einwandfreie Verbindungen leicht zu erhöhen.
- **Magnesiumhaltig**  
Sind magnesiumhaltige Lotlegierung in Verwendung, so muss die Aufwärmrate erheblich erhöht werden. So wird die Magnesiumsublimation vor dem Erreichen des Solidus der Lotlegierung verhindert. Bei gutem Vakuum und genauer Temperaturführung sublimiert das Magnesium während der Verflüssigungsphase des Lotes vollständig und ist in der Lötnaht nachher nicht mehr nachzuweisen.

#### Ofenführung mit Magnesium als Gettermaterial im Ofenraum

- Positiv;  
Die Ofenatmosphäre wird durch die Verwendung freien Magnesiums im Ofenraum erheblich verbessert. Es ist eine ausreichende Menge Magnesium in den Ofenraum einzubringen, damit bei Erreichen der Löttemperatur noch genügend Magnesiumdampf vorhanden ist. Magnesium mit seiner grossen Affinität zu Sauerstoff und Wasserstoff bindet diese zwei Elemente und schützt so die Aluminiumoberfläche vor weiterer Oxydation.
- Negativ;  
Ab  $400^{\circ}\text{C}$  sublimiert das Magnesium und verteilt sich im ganzen Ofenraum. Nachteilig ist sowohl die grosse Verschmutzung des Ofenraumes als auch das Aufnehmen von Luftfeuchte durch das Magnesium während der Chargenwechsels.
- Ausweg;  
Daher ist die Verwendung von Magnesium als Gettermaterial in Form einer Legierungskomponente des Alu-Lotes vorzuziehen. In diesem Fall tritt die Getterwirkung erst ab dem Solidus der Lotlegierung ein.

#### 4. Lotlegierungen

Üblicherweise wird mit Aluminium-Siliziumlegierungen mit einem Siliziumanteil zwischen 7.5 - 12% gearbeitet. Es sind dies eutektische Systeme, die sehr gute Ergebnisse erbringen. Zusätzlich sind AlSi-Systeme mit zulegiertem Magnesium im Einsatz, deren Mg-Anteil als Gettermaterial gegenüber den Restsauerstoffanteilen im Lötbereich wirkt. Die Lote sind in Form von Pasten, Pulver, Folien und Drähten erhältlich. Es werden auch lotplattierte Alu-Halbzeuge angeboten:

- **Lotpaste** ist eine gebrauchsfertige pastöse Masse, zusammengesetzt aus der pulverförmigen Lötlegierung, die in einen neutralen Binder eingemischt ist, der die Lotpartikel in Suspension hält. Die Paste kann bequem mit entsprechenden Appliziergeräten als punkt- oder strangförmiges Lotdepot beliebiger Geometrie auf das Werkstück aufgebracht werden.
- **Lotpulver** wird mit einem neutralen Binder, zum Beispiel Nickelbraze Cement, vermischt und anschliessend als Paste aufgetragen.



- **Folien und Drähte** lassen sich relativ einfach zu form- und masshaltigen Loteinlageteilen verarbeiten, die an strategisch richtigen Stellen zwischen/an Teil A und Teil B angelegt werden.
- Die Verwendung **lotplattierter Aluminiumhalbzeuge** bietet vor allem den Vorteil, dass das Lot automatisch in der richtigen Menge an der richtigen Stelle zur Verfügung steht. Somit entfällt die normalerweise anfallende Handhabung von Pasten oder Loteinlageteilen.

## 5. Besonderheiten beim Löten von Aluminium

Normalerweise wird der Minimalabstand vom Solidus des Grundwerkstoffes zum Liquidus des Lotes mit mindestens 50°C angesetzt. Beim Löten von Aluminium wird dies in einigen Fällen sehr knapp oder überhaupt nicht möglich sein. Aus diesem Grund ist der **äußerst exakten Temperaturführung** des Ofens ganz besondere Beachtung zu schenken!

Der Schmelzintervallvergleich Grundwerkstoff/Lötlegierung der verschiedenen Materialqualitäten zeigt dies an einigen folgenden Beispielen deutlich:

### GRUNDWERKSTOFF

Solidus                      Liquidus °C

#### nicht aushärtbar

Aluminium, technisch rein (99.0-99.5)	658	660
Aluman-100	640	650
Peraluman-150/151	620	650
Peraluman-260	600	645
Peraluman-460/462	580	640

#### aushärtbar

Extrudal-050	620	650
Anticorodal-062	620	655
Anticorodal-100	600	650
Anticorodal-110/112	600	650
Avional-100/102	520	650

### LÖTLEGIERUNG

Solidus                      Liquidus                      (= Arbeitstemperatur)

Al 7.5Si	600	-620
Al 10Si	590	-605
Al 12Si	580	-605
Al 7.5Si 2.5Mg *	590	-615
Al 12Si 1.5Mg *	580	-595

\* Die Schmelzintervalle der mit Magnesium legierten Lote sind nicht eindeutig definierbar, da sie sich in direkter Abhängigkeit der Sublimationsrate des Magnesiums laufend verändern.

## 6. Thermische Nachbehandlung

Kaltverfestigte Aluminiumlegierungen verlieren durch das Ausglühen während des Lötprozesses ihre Festigkeit. Diese kann aber bis zu einem gewissen Mass durch anschliessendes **Lösungsglühen** und **Abschrecken** wieder hergestellt werden. Die beiden Prozesse lassen sich ohne weiteres in den Ofenprozess anschliessend an das Löten integrieren.



Auch hier ist auf besonders exakte Ofenführung zu achten. Die Vorschriften des Herstellers der verwendeten Aluminiumlegierungen bezüglich Lösungsglühen und Abschrecken sind zu berücksichtigen.

### **7. Eigenschaften der produzierten Lötnaht**

Die Qualität der mit den oben erwähnten Lotlegierungen erstellten Verbindungen weichen nur geringfügig von derjenigen des Grundwerkstoffes ab:

- vernachlässigbare kleine Reduktion der thermischen und elektrischen Leitfähigkeit
- gute Korrosionsbeständigkeit bei Verbindungen mit AlSi-Systemen
- Festigkeit vergleichbar
- die Hartlötstelle verfärbt sich beim Eloxieren dunkelgrau bis schwarz
- die Diffusion des Siliziums in den Grundwerkstoff führt bei diesem nicht zu nennenswerten Veränderungen der mechanischen und chemischen Eigenschaften

### **8. Vorteile des Vakuumlötens gegenüber Schweißen**

Mehrere Schweißverbindungen an einem Werkstück lassen sich in der Regel nur sequentiell abarbeiten. Beim Vakuumlöten ist das gleichzeitige Löten einer theoretisch unbegrenzten Zahl von Verbindungen am gleichen Werkstück möglich. Zusätzlich können mehrere Werkstücke gleichzeitig gelötet werden (deren Anzahl ist von der maximalen Werkstückabmessung, der Anordnung der Werkstücke und der Abmessung des Ofenraumes gegeben).