



SOLVAY

asking more from chemistry®

NOCOLOK®



**Flammlöten mit
NOCOLOK® Flux
*Flame Brazing with
NOCOLOK® Flux***

Einführung

Introduction

Das Flammlöten von Aluminium ist nicht neu. Denn bereits die allerersten hartgelöteten Aluminiumbaugruppen wurden mit einem Flussmittel auf Chloridbasis und einer Flamme als Wärmequelle hergestellt.

Geändert hat sich im Laufe der Jahre nur die Qualität der verfügbaren Flussmittelarten und zu einem gewissen Grad auch die Wahl der Legierungen. Dennoch gibt es noch bei Lötflamme, Lot und Flussmittel eine Menge zu lernen über die Grundlagen des Aluminiumlötens. Dies stellen Lötingenieure oft fest, wenn sie versuchen, ihre Verfahren und Ausrüstung auf das NOCOLOK® Flux Flammlöten anzuwenden und dabei ihre im Laufe der Jahre gesammelten praktischen Erfahrungen umzusetzen. Dies liegt in erster Linie daran, dass ihre jahrelangen Erfahrungen im Flammlöten von Aluminium auf der Verwendung korrosiver chloridhaltiger Flussmittel basieren.

Leider sind beim Flammlöten mit NOCOLOK® Flux nicht dieselben Verfahren direkt anwendbar. Daher soll der Lötingenieur in dieser Broschüre noch einmal mit den Grundlagen des Flammlötens von Aluminium vertraut gemacht werden und dabei all die Vorteile des NOCOLOK® Flux Lötprozesses erkennen.

Flame brazing of aluminum is not new. In fact the very first brazed aluminum assemblies were produced using a chloride based flux and a flame as the heat source.

What has changed over the years is the sophistication of the types of fluxes available and to a certain extent the alloy selection. However, even if one returns to the absolute basics of a flame, filler metal and flux, there remains a great deal to be learned about the fundamentals of flame brazing of aluminum. This becomes especially evident when the brazing engineer applies his techniques and equipment to NOCOLOK® flux flame brazing and years of learned practice seem to fail. This is largely due to the fact that the years of acquired knowledge of flame brazing aluminum has come from corrosive chloride-based flux brazing.

Unfortunately, the same techniques can not be directly applied to NOCOLOK® flux flame brazing. It is therefore the intention of this article to re-familiarize the brazing engineer with the fundamentals of flame brazing aluminum and use those fundamentals to realize all the advantages of NOCOLOK® flux brazing.



Was ist Flammlöten?

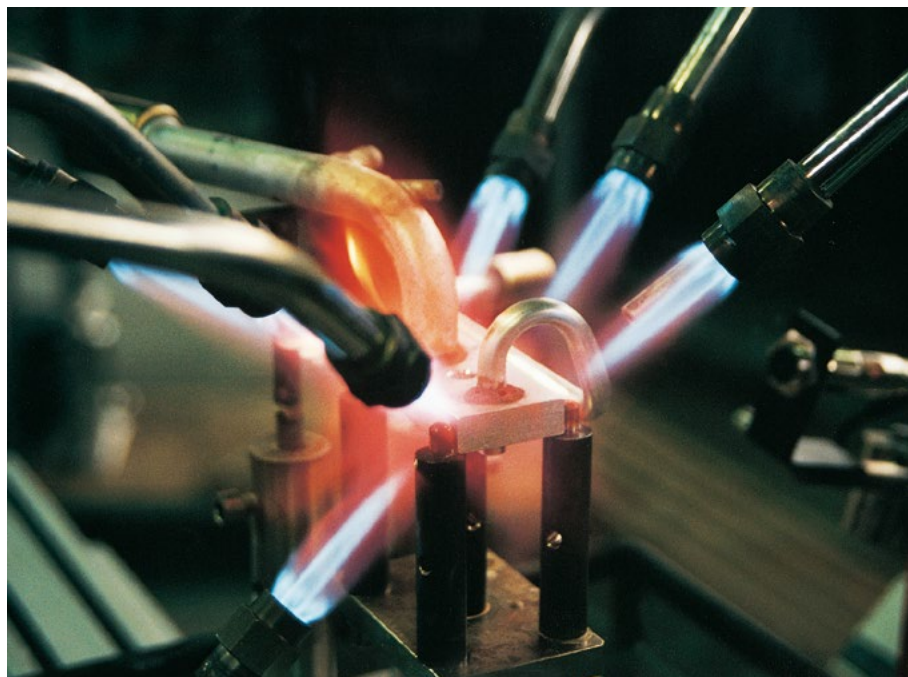
Die American Welding Society definiert Hartlöten als das Verbinden von Metallen mit Hilfe eines geschmolzenen Lotes, das bei Abkühlen eine Lötverbindung bildet. Die Schmelztemperatur des Lotes liegt über 450 °C, jedoch unter dem Schmelzpunkt der Bauteile. Beim Flammlöten wird für den oben beschriebenen Vorgang als Wärmequelle eine Flamme verwendet.

Das Flammlöten eignet sich zum Verbinden von Bauteilen mit einfacher Bauform, wie z.B. Rohr-Rohr, Rohr-Anschlussstück und zum Zusammenfügen von Bauteilen mit sehr unterschiedlicher thermisch wirksamer Masse. Da das Flammlöten weit aus höhere Aufheizgeschwindigkeiten erlaubt als das Ofenhartlöten, ist es vielseitig einsetzbar und ermöglicht, wie unten beschrieben, das Hartlöten magnesiumhaltiger Legierungen.

What is Flame Brazing?

According to the American Welding Society, brazing is the joining of metals using a molten filler metal, which on cooling forms a joint. The filler metal melting temperature is above 450 °C, but below the melting point of the metals. Flame brazing then implies the use of a flame as the heat source to accomplish what is described above.

Flame brazing lends itself well to joining components with simple configurations such as tube-to-tube, tube-to-fitting and joints having large thermal mass differences. Since much faster heating rates are possible than in furnace brazing, flame brazing is versatile and as will be explained in more detail later, can braze some Mg containing alloys.



Flammlöten
Flame Brazing

Was ist NOCOLOK® Flux?

What is NOCOLOK® Flux?

NOCOLOK®



NOCOLOK® Flux ist ein weißes Pulver, das aus einem Gemisch aus Kaliumfluoraluminaten der allgemeinen Formel $K_{1-3} Al-F_{4-6}$ besteht. Das Flussmittel hat einen definierten Schmelzbereich von 565 °C bis 572 °C, der unterhalb der Schmelztemperatur des Al-Si-Hartlots liegt. Das Flussmittel ist nichtkorrosiv und nichthygroskopisch und in Wasser kaum löslich (0,2 % bis 0,4 %). Deshalb ist das Flussmittel für unbestimmte Zeit lagerbeständig und haltbar. Bei Zimmer- oder Löttemperatur erfolgt keine Reaktion des Flussmittels mit Aluminium. Es wird nur in geschmolzenem Zustand reaktionsfähig.

Die Rolle des Flussmittels

In geschmolzenem Zustand löst das Flussmittel das auf den Aluminiumoberflächen der zusammenzufügenden Bauteile vorhandene Oxid und verhindert ein weiteres Oxidieren. Das Flussmittel benetzt die Aluminiumoberflächen, sodass das Lot durch Kapillarwirkung frei in die Lötstellen fließen kann. Nach dem Abkühlen härtet das Flussmittel aus und bleibt als dünne, stark haftende Schicht auf der Oberfläche zurück.

Lötfugenweite

Die empfohlenen Lötfugentoleranzen liegen beim Flammlöten zwischen 0,1 mm und 0,15 mm. Größere Lötfugen sind zwar zulässig, doch sie vermindern die Kapillarwirkung, erhöhen die Schwerkraft und erfordern u. U. mehr Lot. Es sollte vermieden werden, dass die Lötflächen zu sehr aneinander gepresst werden, da dies den Lotfluss behindert und zu Unregelmäßigkeiten in der Lötstelle führt.

NOCOLOK® flux is a white powder consisting of a mixture of potassium fluoroaluminate salts of the general formula $K_{1-3} Al-F_{4-6}$. The flux has a defined melting point range of 565 °C to 572 °C, below the melting point of the Al-Si brazing alloy. The flux is non-corrosive and non-hygroscopic and is only very slightly soluble in water (0.2 % to 0.4 %). The shelf and pot life of the flux is therefore indefinite. The flux does not react with Al at room temperature or at brazing temperature and only becomes reactive when molten.

Role of the Flux

Once molten the flux works by dissolving the oxide film on the Al surfaces to be joined and prevents further oxidation. The flux wets the Al surfaces and allows the filler metal to flow freely into the joints by capillary action. Upon cooling, the flux solidifies and remains on the surfaces as a thin, tightly adherent film, which need not be removed.

Joint Clearances

The recommended gap tolerances for flame brazing range from 0.1 mm to 0.15 mm. Larger gap clearances can be tolerated, but capillary action is reduced, gravity activity is increased and more filler metal may be required. Friction fits should also be avoided as this will restrict filler metal flow and result in discontinuities in the brazed joint area.

Empfohlene Ausrüstung für das Flammlöten

Da die Prinzipien des Flammlötens anhand der grundlegenden Ausrüstung erklärt werden können, wird hier nur die für das manuelle Flammlöten erforderliche Ausrüstung beschrieben. Höher entwickelte Systeme unterscheiden sich hiervon nur durch den vom Verbraucher gewünschten Automatisierungsgrad.

Ausrüstung

Brenner

Ein gleichmäßiges Erwärmen der Lötstelle ist sehr wichtig. Daher empfiehlt sich die Verwendung eines zweiköpfigen Brenners, mit dem die Lötstelle von zwei Seiten erwärmt werden kann.

Brennerdüse

Bei einer Brennerdüse mit mehreren Öffnungen entsteht am Düsenausgang eine breitere Flamme. Dadurch lässt sich das Bauteil gleichmäßiger erwärmen. Flammen mit kleinem Durchmesser sind zu vermeiden, da sie leicht zum Durchbrennen führen.

Recommended equipment for flame brazing

Since the principles of flame brazing can be explained using the most basic equipment, only the equipment necessary for manual flame brazing is described. From the basic principles, all other equipment is only a matter of the degree of automation the end user wishes to achieve.

Hardware

Torch

It is critical that the joint area is brought up to temperature uniformly. For this reason a dual headed torch capable of heating the joint from 2 sides is recommended.

Torch Tip

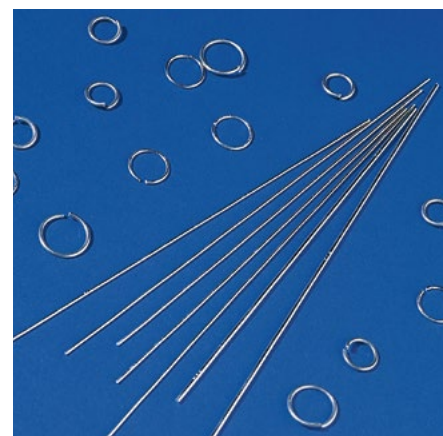
A multi-orifice tip generates a broader flame at the exit of the tip. This feature enhances component temperature uniformity during heat up. Pin-point flames should be avoided as burn-through can easily occur.



Zweiköpfiger Brenner
Dual headed torch



Brennerdüse
Torch Tip



Lot
Filler metal

Hilfsstoffe

Gas

Die meisten handelsüblichen Gasgemische sind für das Flammlöten von Aluminium verwendbar:

- Sauerstoff – Propangas
- Sauerstoff – Methangas
- Sauerstoff – Erdgas
- Sauerstoff – Azetylen

Die Kombination Azetylen-Sauerstoff erzeugt die heißeste Flamme. Bei ihrer Verwendung ist äußerster Sorgfalt geboten, um ein Überhitzen oder Durchbrennen zu vermeiden.

Lot

Als Lot wird beim Al-Flammlöten meist die Legierung AA4047 verwendet, die 11 bis 13 % Si enthält. Im Al-Si-Phasendiagramm liegt das Eutektikum mit 12,6 % Si bei 577 °C. Somit hat das Lot AA4047 die niedrigste Schmelztemperatur mit der höchsten Fließfähigkeit – ideale Eigenschaften für das Flammlöten von Aluminium.

Das Lot ist in den verschiedensten Formen erhältlich, wie z.B. als Draht, Ring, Folie und Pulver. In Form von Pulver wird es in der Regel mit Flussmittel und einem Binder/Trägersubstanz zu einer Paste vermischt (mehr zu Pasten, siehe unten). In Form von Draht ist es im Handel auch mit Flussmittel gefüllt oder beschichtet erhältlich, sodass kein Flussmittel mehr aufgebracht werden muss.

Lotpaste

Handelsübliche Lötpasten sind eine homogene Suspension aus Flussmittel, Lot in Pulverform und einem Binder/Trägersubstanz. Da die Paste alle Komponenten enthält, muss kein Flussmittel oder Lot mehr aufgetragen werden. Die Lötpaste kann auch mit automatischen Dosiervorrichtungen, mit Spritzen oder Pinsel aufgetragen werden.

Consumables

Gas

Most commercial gas mixtures are acceptable for flame brazing Al:

- oxygen – propane
- oxygen – methane
- oxygen – natural gas
- oxygen – acetylene (oxyacetylene)

Oxyacetylene combination produces the hottest flame and may be used, but with extreme care to avoid overheating and burn-through.

Filler Metal

The filler metal alloy most commonly used for flame brazing Al is AA4047 which contains 11 to 13 % Si. The Al-Si phase diagram shows the eutectic at 577 °C with 12.6 % Si. AA4047 filler alloy therefore has the lowest melting temperature with the highest fluidity, ideal properties for flame brazing Al.

The filler metal is available in a variety of shapes and forms including wire, rings, foil and powder. When used as a powder, it is usually mixed with flux and a carrier to form a paste (more on pastes below). The filler metal wire is also available commercially either cored or coated with flux, precluding the application of flux.

Brazing Paste

Commercially available brazing pastes consist of the flux, powdered filler metal and a binder/carrier to keep everything in uniform suspension. This paste is all inclusive, there is no need to supply flux or filler metal to the joint separately. Brazing pastes can also be applied with automatic dispensers, with syringes or by brush application.

Flussmittelpaste

Diese unterscheidet sich von Lotpaste nur dadurch, dass sie kein Lot in Pulverform enthält. Daher erfordert die Verwendung von Flussmittelpaste auch das Auftragen von Lot in irgendeiner Form auf die Lötfläche. Der Gebrauch von Flussmittelpaste hat den Vorteil, dass der Anwender die Paste nicht selbst herzustellen braucht.

Selbst hergestellte Flussmittelpaste

Das Anrühren von Flussmittelpaste ist die preiswerteste und übliche Methode. Das Flussmittel wird im Verhältnis 40 % zu 60 % Flüssigkeit mit Wasser oder Alkohol oder beidem vermischt. Die Zugabe von Alkohol führt zum schnelleren Trocknen der Paste. Bei Verwendung selbst angerührter Pasten muss das Lot separat auf die Lötstelle gegeben werden. Diese Pasten sind für die automatische Dosierung schlecht einsetzbar und müssen oft mit einem Pinsel aufgetragen werden.

Die Tabelle zeigt die Komplexität des Auftragens von Flussmittel und Lot in ihren verschiedenen Formen beim Herstellen einer Lötverbindung zwischen zwei Rohren:

Flux Paste

This is very similar to brazing pastes except that there is no powdered filler metal present, meaning that flux pastes requires filler metal in one form or another to be added to the joint separately. The advantage of using a flux paste is that the end user does not have to prepare his own paste.

In-House Paste Preparation

The least expensive and most common is the in-house preparation of flux pastes. The flux is mixed with either water or alcohol and/or water at 40 % to 60 % solids. Using some alcohol in the paste formulation allows for quicker drying. Using pastes prepared in-house of course requires that the filler metal be supplied to the joint separately. These pastes are not easily dispensable automatically and are most often applied with a brush.

For brazing a tube-to-tube joint, the table below summarizes the complexity level in applying the flux and filler metal in their various forms:

Mit Flussmittel gefüllter oder beschichteter Draht <i>Flux Cored or Coated Wire</i>	Lotpaste <i>Brazing Pastes</i>	Flussmittelpaste <i>Flux Pastes</i>	Selbst hergestellte Paste <i>In-House Paste Preparation</i>
1. Ring auf Lötstelle legen <i>1. Preplace ring at the joint</i>	1. Paste auf Lötstelle auftragen oder dosieren <i>1. Apply or dispense paste at the joint</i>	1. Ring auf Lötstelle legen <i>1. Preplace ring at the joint</i>	1. Paste anrühren <i>1. Prepare paste</i>
2. Löten <i>2. Braze</i>	2. Trocknen oder dosieren <i>2. Dry</i>	2. Paste auf Lötstelle auftragen <i>2. Apply or dispense paste at the joint</i>	2. Ring auf Lötstelle legen <i>2. Preplace ring at the joint</i>
	3. Löten <i>3. Braze</i>	3. Trocknen <i>3. Dry</i>	3. Paste auf Lötstelle auftragen <i>3. Apply paste at the joint</i>
		4. Löten <i>4. Braze</i>	4. Trocknen <i>4. Dry</i>
			5. Löten <i>5. Braze</i>

Verfahren

Procedure

Dieser Abschnitt behandelt die notwendigen Schritte und Kontrollverfahren zur Gewährleistung einer zuverlässigen Lötverbindung.

1. Bauteile reinigen

Die Lötfläche muss von Schneidöl- und Bearbeitungsrückständen befreit werden. Reinigen mit waschaktiven Substanzen, Eintauchen oder Abwischen mit einem Lösungsmittel sind zulässige Verfahren.

2. Bauteile zusammenfügen

Die Bauteile einschließlich Lötring werden zusammengefügt. Dabei müssen die beiden zusammenzufügenden Bauteile eng mit dem Lötring verbunden sein.

This section describes the necessary steps and control procedures to ensure a properly brazed joint.

1. Clean the Components

The joint area must be cleaned free of cutting and machining lubricants. Aqueous cleaning, solvent dipping or wiping are acceptable procedures.

2. Assemble the Components

The components are assembled with the filler alloy ring in place. There must be intimate contact between the two components to be joined and the alloy ring.



Bauteile reinigen
Clean the Components

Bauteile zusammenfügen
Assemble the Components

3. Flussmittel auftragen

Dann wird rund um die Lötstelle mit einem kleinen Pinsel das Flussmittel aufgetragen, und zwar etwa 25 bis 30 g/m².

4. Flussmittel trocknen

Bevor mit dem Aufheizen begonnen wird, sollte das Flussmittel erst trocknen. Dies kann durch Belüftung oder leichtes Erwärmen der Lötstellenumgebung mit der Flamme erfolgen, sodass das Metall erwärmt wird und das Flussmittel trocknet. Bis das Flussmittel getrocknet ist, darf der Bereich nur vorsichtig erhitzt werden, um ein Abplatzen und Abfallen des Flussmittels zu vermeiden.

3. Apply the Flux

The flux is then applied with a small brush around the circumference of the joint at a loading of about 25 to 30 g/m².

4. Dry the Flux

The flux should be allowed to dry before the application of intense heat to begin brazing. This can be done by allowing the joint to air dry or alternatively by gently heating the surrounding joint area with the flame, which will heat the metal and dry the flux. Intense heat should be avoided before the flux has dried, otherwise splattering and flux fall-off will occur.



Flussmittel auftragen
Apply the Flux



Flussmittel trocknen
Dry the Flux

5. Aufheizen

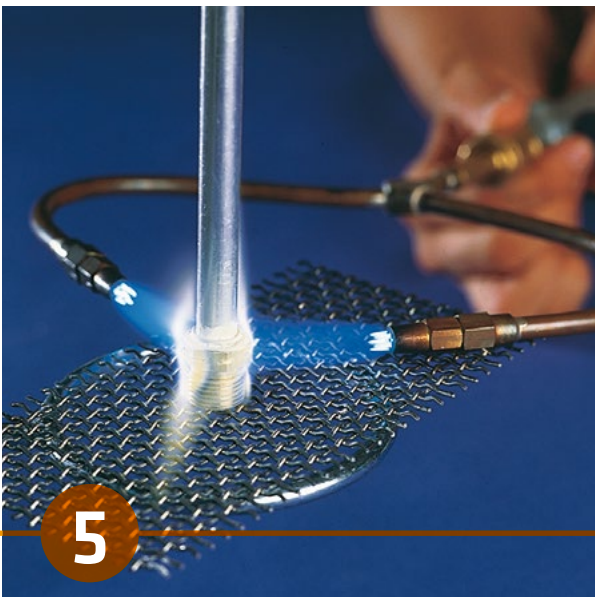
Sobald das Flussmittel getrocknet ist, kann die Lötstelle stärker erhitzt werden, um mit dem eigentlichen Lötprozess zu beginnen. Dabei sollte die Lötflamme nicht zu lange auf einen Punkt gerichtet sein, um ein Überhitzen und Durchbrennen des Materials zu vermeiden. Das Bauteil mit der größeren thermisch wirksamen Masse sollte stärker erhitzt werden. Die Flamme sollte nicht zu lange auf das Flussmittel oder den Lötring einwirken, damit diese nicht schmelzen, bevor die Lötfläche gleichmäßig auf die Löttemperatur gebracht worden ist. Die Flamme ist ständig zwischen den Bauteilen unterschiedlicher Masse hin und her zu bewegen, sodass sich die gesamte Lötfläche gleichmäßig erwärmt.

Beim Flammlöten mit NOCOLOK® Flux gibt es drei Temperatur-Indikatoren. Der erste Indikator, eine gelbe Flamme an der Aluminiumoberfläche, weist auf ein beginnendes Überhitzen/Durchbrennen der Oberfläche hin, denn an der Oberfläche ist die Temperatur stets höher als im Inneren des Bauteils. Um ein Durchbrennen zu verhindern, darf die Flamme den betroffenen Bereich nicht mehr so häufig passieren. Der zweite Indikator weist darauf hin, dass das Flussmittel zu schmelzen beginnt. In diesem Fall

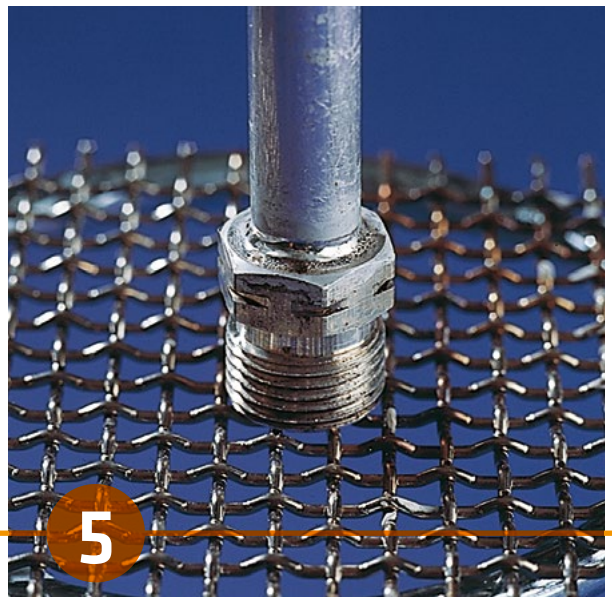
5. Heating

Once the flux has dried, more intense heat to begin the actual braze sequence can be applied. The braze flame should not be allowed to impinge on any one area very long to avoid overheating and burnthrough. The component with the higher thermal mass should be heated more. The flame should not be allowed to rest on the flux or preform ring to avoid premature melting before the joint area is uniformly heated to braze temperature. The flame should be kept moving at all times, moving back and forth between the components of different mass in such a way as to bring the entire joint to temperature uniformly.

There are three temperature indications in NOCOLOK® flux flame brazing. The first is the appearance of a yellow flame at the Al surface. This indicates that the surface is starting to overheat/burn, since the aluminum skin always runs hotter than the component center. The flame must visit the area less frequently to avoid burning. The second indicator is the first sign of flux melting, that is the fluxed area turns from white to clear. This indicates that the joint temperature is about 565 °C. At this point the flames can be played directly on the joint and filler metal ring. Very shortly after flux melting, the filler metal ring begins to lose shape



Aufheizen
Heating



Schmelzpunkt
Melting point

wird der weiße, mit Flussmittel versehene Bereich durchsichtig.

Die Temperatur an der Lötstelle liegt bei 565 °C. Jetzt können die Flammen direkt auf die Lötstelle und den Löttring gerichtet werden. Kurz nach dem Schmelzen des Flussmittels beginnt der Löttring an Form zu verlieren, welches der dritte Temperatur-Indikator ist, um bei 577 °C zu schmelzen. Das geschmolzene Lot fließt durch die Kapillarwirkung rasch in den Lötspalt. Sobald der Ring vollständig geschmolzen ist, sollte die Flamme sofort abgestellt werden und die Lötstelle abkühlen.

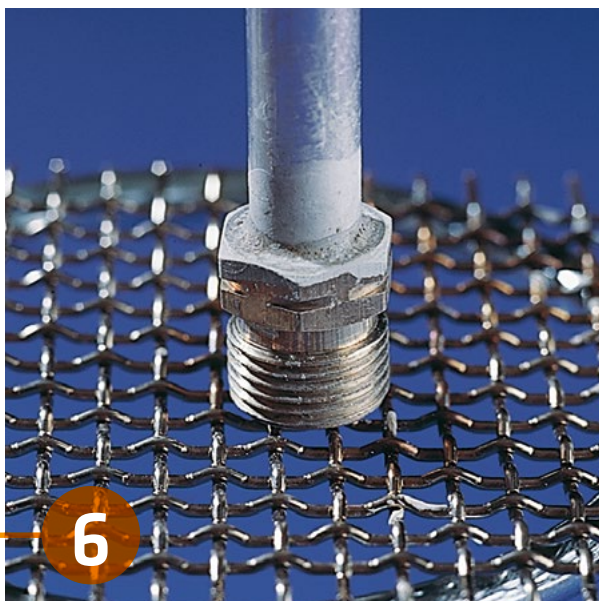
6. Nachbehandlung

Nach dem Abkühlen ist keine Nachbehandlung erforderlich. Das Flussmittel ist sichtbar, jedoch nicht hygroskopisch und in Standardanwendungen nicht korrosiv. Aufgrund der optimierten Lötbedingungen weist die Oberfläche nur minimale Flussmittelmittelrückstände auf und lässt sich mit recht guter Farbhaftung direkt überstreichen. Wenn der dringende Wunsch besteht, kann das Flussmittel auch entfernt werden. Zu diesem Zweck sind nur mechanische Mittel anzuraten, wie z.B. Drahtbürsten oder Sandstrahlen. Ein Entfernen der Flussmittelmittelrückstände empfiehlt sich nur, wenn eine saubere Lötstelle absolut erforderlich ist.

(third temperature indicator) and begins to melt at 577 °C. The molten filler metal is quickly drawn into the joint by capillary action. As soon as the full preform ring is molten, the flame should be quickly removed and the brazed joint allowed to cool.

6. Post Braze Treatment

After cooling, no further treatment is required. The flux, although visible is non-hygroscopic and in standard applications non-corrosive. With the brazing conditions optimized, meaning minimal flux residue, the surfaces can be painted with relatively good paint adhesion over the flux residue. If absolutely desired, the flux residue can be removed, but only by mechanical means such as wire brushing and grit blasting. Removing the flux residue is recommended only when joint cleanliness is absolutely imperative.



Gelötete Verbindung
Brazed joint

Alternativen

Flussmittelauftrag vor dem Zusammenfügen

Das oben beschriebene Verfahren ist die übliche und zuverlässigste, doch nicht die einzige Methode zur Gewährleistung einer hochwertigen Lötverbindung. Bei Rohrverbindungen mit vorher aufgetragenen Löttring kann das Flussmittel z.B. auf den unteren Teil des einzuführenden Rohres aufgetragen werden, bevor dies in das geweitete Rohr eingesetzt wird. In diesem Fall muss nach dem Zusammenfügen rings um die Fuge etwas Flussmittel nachgetragen werden, sodass der Löttring bedeckt ist.

Zuführen von Lot in die Lötfläche

Eine Alternative zur Verwendung von Löttringen ist auch die Zufuhr von Lot in Form eines Lötdrahtes oder -stabes während des Aufheizens in die Lötfläche, nachdem das Flussmittel geschmolzen ist. Diese Methode wird oft von Hartlöttern angewandt, die im Flammlöten mit Flussmitteln auf Chloridbasis oder im Schweißen über ausreichende Erfahrungen verfügen. Für den Anfänger ist diese Methode sehr schwierig, da das Prozessfenster zwischen dem Schmelzen und Austrocknen des Flussmittels sehr klein ist während des Lötens in Umgebungsluft. Es liegt in der Größenordnung einiger weniger Sekunden und nur erfahrene Hartlötter sind in der Lage, ihre Arbeit in so kurzer Zeit zu verrichten. Wenn der Löttring dagegen vor dem Aufheizen in die Lötfläche gelegt wird, kann das Flussmittel nicht austrocknen, bevor das Lot zu schmelzen beginnt.

Die Tabelle zeigt die chemische Zusammensetzung und den Schmelzbereich handelsüblicher für das Flammlöten mit NOCOLOK® Flux geeigneter Legierungen.

Wie die Tabelle zeigt, sind Legierungen, deren Verwendung in Ofenlötverfahren als schwierig oder unmöglich gilt, für das Flammlöten

Alternatives

Fluxing Prior to Assembly

The procedure described above is the most common and reliable method to ensure good quality brazed joints, but is not the only one. For instance with a tube-to-tube joint, with the filler metal ring in place, the flux can be applied to the lower portion of the straight tube prior to insertion in the expanded tube. In this case, a light flux loading around the circumference of the joint after assembly is still required to cover the filler metal ring.

Feeding the Joint with Filler Metal

Another alternative to using a preform ring is to feed the filler metal into the joint with filler alloy wire or rod during heating, after the flux is molten. This method is frequently adopted by brazers who have had experience with chloride flux flame brazing or who have welding backgrounds. To the novice brazer, this method is very difficult because the window between when the flux becomes molten and when the flux dries out is very small, when brazing in air. The window of opportunity is in the order of a few seconds and skilled brazers are able to work within this window. By placing the preform ring at the joint prior to heating ensures that the flux will not dry out before the filler begins to melt.

The table below lists the chemical composition and melting point range of common alloys suitable for NOCOLOK® flux flame brazing.

As shown in the Table, alloys that are considered difficult or impossible to braze by furnace methods can be flame brazed. In furnace brazing, Mg diffuses to the surface and reacts with the surface oxide to form MgO and spinels of MgO:Al₂O₃, which have reduced solubility in NOCOLOK® flux. Furthermore, Mg and/or MgO can react with the flux, rendering it less effective. The rule of thumb for furnace brazing is to limit the total amount to less than 0.5 wt %-Mg.

geeignet. Beim Ofenlöten diffundiert Mg in die Oberfläche und reagiert mit den Oberflächenoxiden zu MgO und Spinellen vom Typ MgO:Al₂O₃, die im NOCOLOK® Flux weniger löslich sind. Darüber hinaus kann Mg und/oder MgO mit dem Flussmittel reagieren und dessen Wirkung herabsetzen. Beim Ofenlöten liegt der zulässige Magnesiumgehalt unter 0,5 Gew. %.

Beim Flammlöten ist ein höherer Mg-Gehalt zulässig, da das diffundierende Mg bei den höheren Aufheizraten nicht genügend Zeit hat, um die positive Wirkung des Flussmittels zu beeinträchtigen. Bis zu 1 Gew. %-Mg lässt sich mühelos verarbeiten, unter bestimmten Umständen auch mehr als 1 Gew. %-Mg (erhöhte Flussmittelbeladungen, extrem schnelle Aufheizraten).

In flame brazing, higher Mg levels can be tolerated since the faster heating rates do not allow the diffusing Mg enough time to appreciably decrease the beneficial effects of the flux. Up to 1 wt%-Mg can be brazed with relative ease, while greater than 1 wt%-Mg may be possible under some circumstances (increased flux loadings, extremely fast heating rates).

Geeignete Legierungen zum Flammlöten

Alloys suitable for flame brazing

Legierung Alloy	Zusammensetzung (in Gewichts-%) Composition (% By Weight)							Schmelzbereich etwa Approx. Melting Range	
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Solidus (C°)	Liquidus (C°)
3003	0.6	0.7	0.05 – 0.20	1.0 – 1.5	–	0.10	–	643	654
1145	0.55 Si+Fe		0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	640	655
1070	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	640	655
3005	0.60	0.70	0.30	1.0 – 1.5	0.20 – 0.6	0.25	0.10	640	655
3105	0.60	0.70	0.30	0.30 – 0.80	0.20 – 0.80	0.40	0.10	635	655
6951	0.20 – 0.50	0.80	0.15 – 0.40	0.10	0.40 – 0.8	0.20	–	616	654
3102	0.40	0.7	0.10	0.05 – 0.40	–	0.30	0.10	645	655
6063	0.20 – 0.6	0.35	0.10	0.10	0.45 – 0.9	0.10	0.10	616	652
6061	0.40 – 0.8	0.7	0.15 – 0.40	0.15	0.8 – 1.2	0.25	0.15	616	652

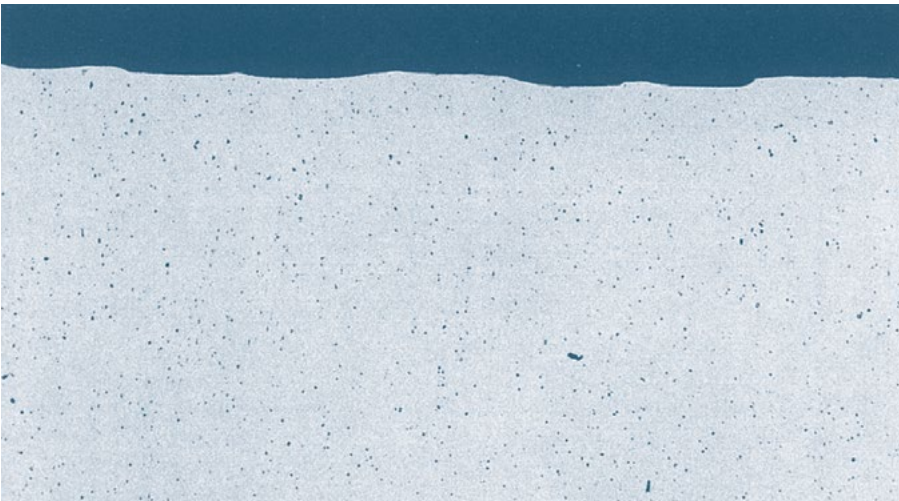
Zusammensetzung von Aluminiumlegierungen
Aluminum association alloy composition

Vorsicht

Magnesiumhaltige Legierungen haben niedrigere Schmelzpunkte als Legierungen mit sehr geringem oder keinem Magnesiumgehalt (siehe Tabelle oben). Die am häufigsten eingesetzten hochfesten maschinell bearbeitbare Legierungen sind z.B. AA6061 und AA6063 mit jeweils 1 und 0,5 Gew. %-Mg. In beiden Fällen beträgt die Solidustemperatur 616 °C, d.h. bei Überhitzung beginnen bei diesen Legierungen die Korngrenzen zu schmelzen. Die Folgen sind eine Zerstörung des Mikrogefüges und eine raue Oberfläche, bekannt als „Orangenschaleneffekt“. Diese Effekte sind in nachfolgenden mikroskopischen Aufnahmen veranschaulicht.

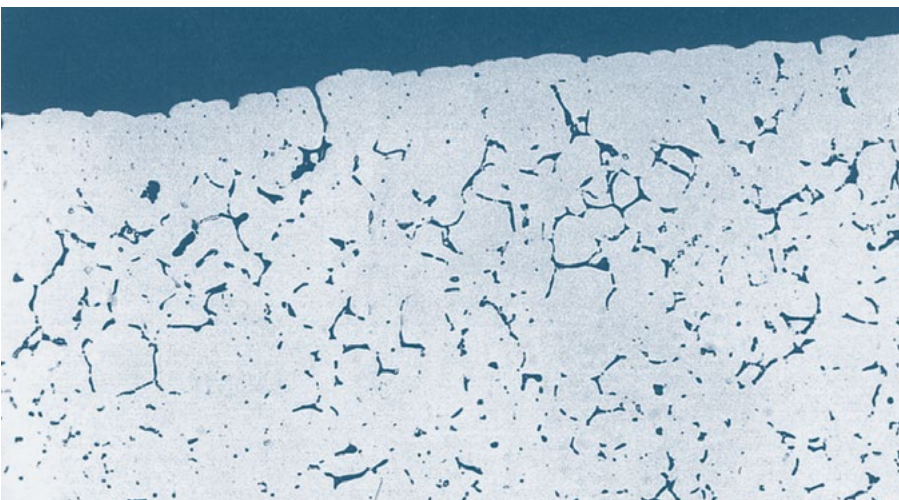
Precaution

Mg containing alloys have lower melting points than those alloys containing very low or no Mg (see Table above). The most common high strength machineable alloys for example are AA6061 and AA6063 which typically contain 1 wt-% and 0.5 wt%, respectively. Note that both of these alloys have a solidus of 616 °C. This means that these alloys, when overheated are prone to incipient grain boundary melting. The effect of overheating manifests itself as degradation of the microstructure and a roughening of the skin, commonly known as 'orange peel' effect. These effects are illustrated in the photomicrographs below.



Erhitzt auf 630-°C
Heated to 630-°C

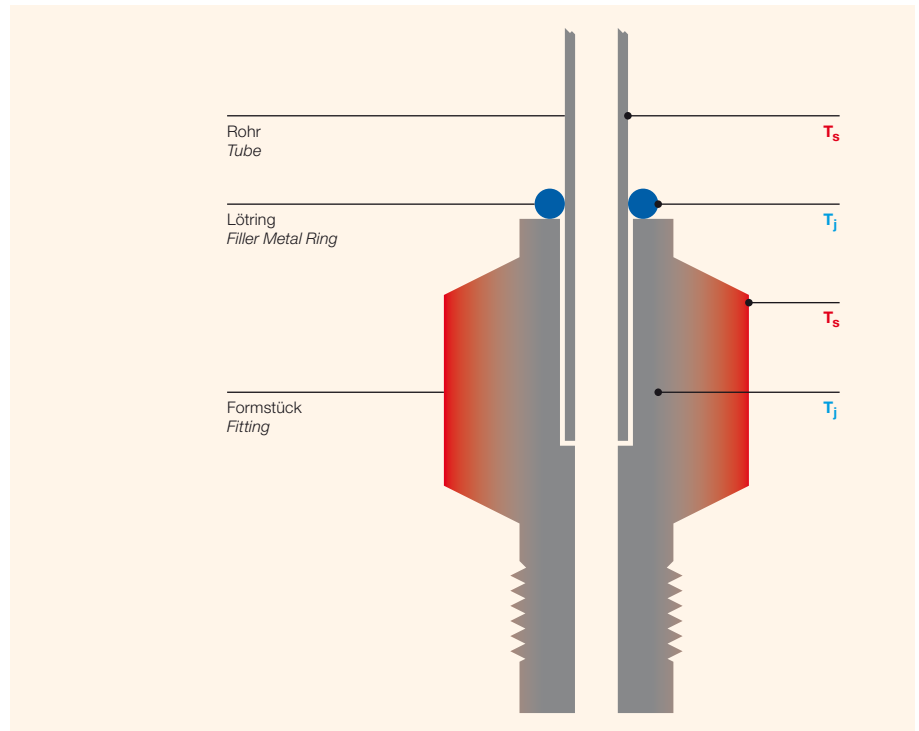
Mikroskopische Aufnahmen einer maschinell bearbeitbaren Legierung AA7004 in extrudiertem und wärmebehandeltem Zustand im Querschnitt (Oberfläche und interne Struktur)
Cross-Section of As-Extruded and Overheated Machineable Alloys



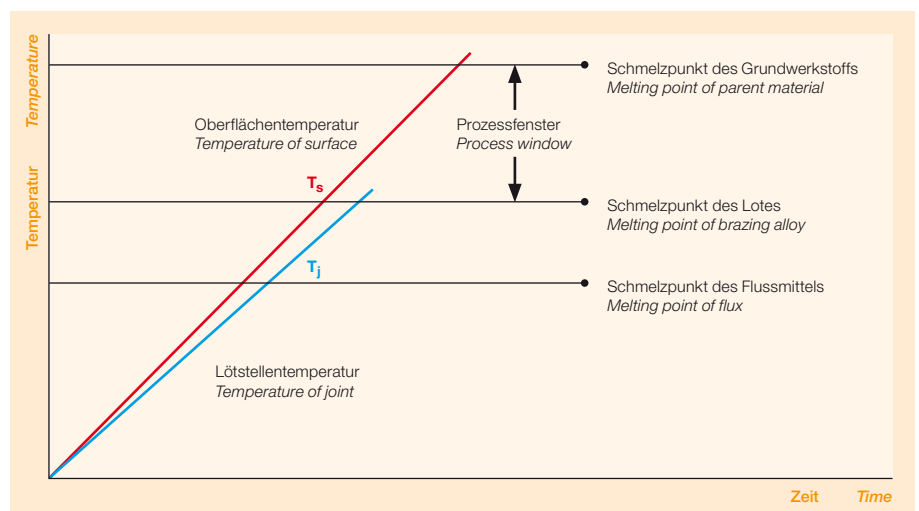
Extrudiert
As extruded

Dieser Effekt ist an der Oberfläche stärker ausgeprägt, da die Temperatur hier höher (T_s Oberflächentemperatur) ist als im Inneren des Bauteils (T_j Lötstellentemperatur), siehe Abbildung unten. Diese Art von Beschädigung des Mikrogefüges kann die Lebensdauer und Funktionalität maschinell bearbeiteter Oberflächen, wie z.B. Gewinde in Formstücken, beeinflussen.

This effect is worse in the outer skin since this area sees a higher temperature (T_s surface temperature) than deeper within the component (T_j joint temperature) as illustrated below. Metallurgical degradation of this type can cause problems with the longevity and suitability of machined surfaces such as threads in fittings.



Schematische Darstellung einer Lötverbindung*
Schematic of joint*



* Konzept Burner Flame Technology, Ltd.

* Concept courtesy of Burner Flame Technology, Ltd.

Automatisierung

Automation

Das oben beschriebene Verfahren bezieht sich auf das manuelle Flammlöten mittels Handbrenner und Orientierung an den sichtbaren Indikatoren (Schmelzen des Flussmittels) zur Überwachung der Prozessparameter. Das Flammlöten lässt sich leicht automatisieren, von einfachen Shuttle-Systemen bis hin zu vollautomatischen Karussells mit optischem Pyrometer zur Temperaturüberwachung. Die Prinzipien des manuellen Flammlötens gelten für jeden Automatisierungsgrad.

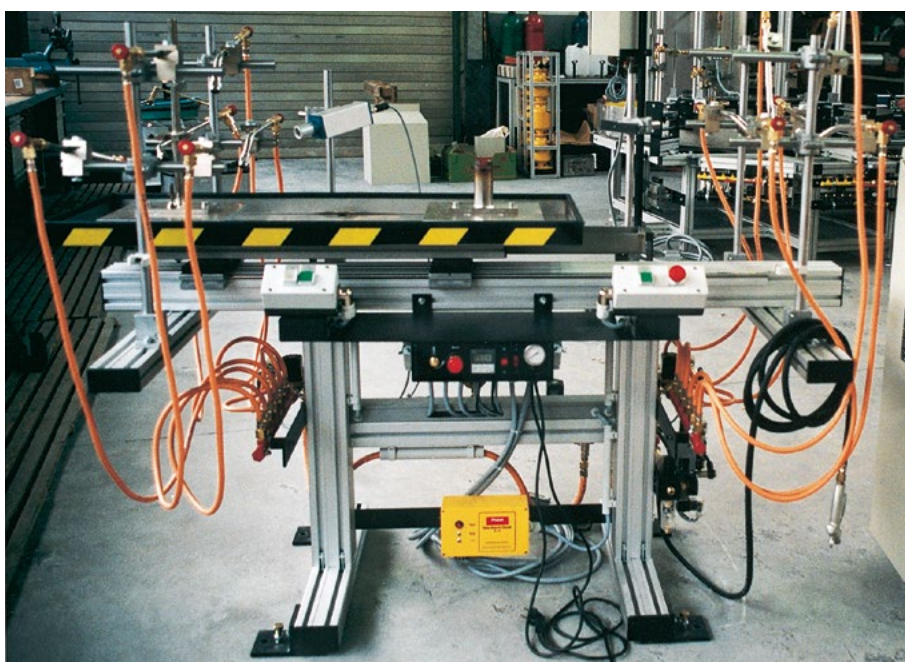
Shuttle-Systeme

Shuttle-Systeme sind motorbetriebene Rahmen zum Aufspannen und Transportieren von einem oder zwei zu lötenden Bauteilen. Sie führen die Lötstellen der Bauteile seitlich an einer oder zwei Lötstationen mit gegenüberliegenden Flammen (Äquivalent eines zweiköpfigen Brenners) vorbei. Die Systeme sind in der Regel so ausgelegt, dass die gelöteten Bauteile jeweils gegen fertige Bauteile ausgetauscht werden können.

The procedure described above is for manual flame brazing using a hand held torch and visual indicators (flux melting) for monitoring process parameters. Flame brazing is easily automated and the level of automation can vary between simple shuttle systems to fully automatic brazing carousels including optical pyrometry temperature measurements. Regardless of the level of automation, the principles of manual flame brazing still apply.

Shuttle Systems

The shuttle system consists of a framework on which one or two components requiring brazing are mounted where the motor driven framework laterally shuttles the braze joints between one or two braze stations each equipped with opposing flames (the equivalent of a double headed torch). The shuttle is usually configured such that one or two new components requiring brazing can be installed on the return of the shuttle to its original position and the brazed units unloaded.



Shuttle-Systems
Shuttle system

Karussells

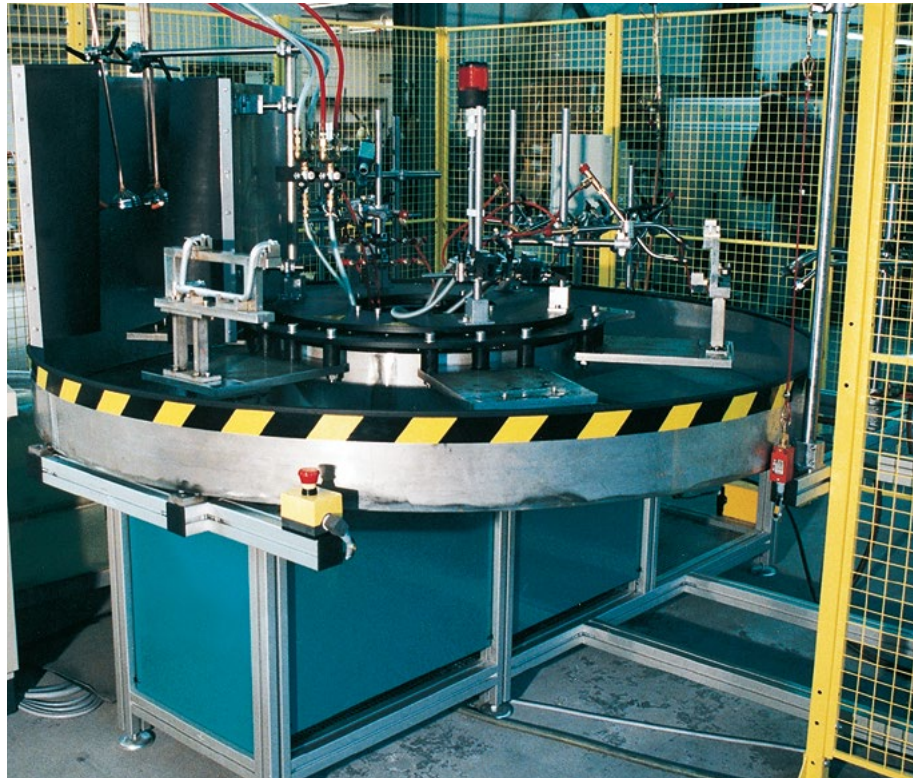
Karussells zum Flammlöten stellen den höchsten Automatisierungsgrad dar. Das Karussell führt die zusammengeführten, zu lötenden Bauteile fortlaufend an den kreisförmig angeordneten Flammstationen vorbei (daher die Bezeichnung Karussell). In der Regel besteht jede Flammstation aus zwei feststehenden, gegenüberliegenden Brennerköpfen, zwischen denen das zu lötende Bauteil geführt wird. Während das Bauteil an den Stationen vorbeiläuft, nimmt die Temperatur an der Lötstelle ständig zu. Die Anzahl der Stationen richtet sich nach der Konfiguration der Lötverbindung sowie dem Gewicht und gewährleistet ein gleichmäßiges Aufheizen der Lötstelle. Die letzte Station, bei der der Lötprozess stattfindet, kann mit einem optischen Pyrometer zur Überwachung der Löttemperatur ausgestattet sein. Nach dem Löten wird die Lötverbindung durch Belüftung oder Sprühwasser abgekühlt. Weitere Möglichkeiten in der Ausstattung sind automatische Transportsysteme für Flussmittel und/oder Lotzuführung (Lötringe, Flussmittel/Lotpasten).

Carousels

Flame brazing carousels are at the upper level of automation. The carousels move assembled components to be brazed continuously from flame station to flame station arranged in a circular pattern (hence the name carousel). Usually, each flame station consists of two stationary and opposing torches between which the joint to be brazed is indexed. As the component moves from station to station, the joint temperature gets progressively hotter. The number of stations depends on the joint configuration and weight. The joint is thus uniformly heated to brazing temperature. The last station where brazing takes place may be equipped with an optical pyrometer to monitor braze joint temperature. After brazing, the joint may be cooled by air or water spray. Other options include automatic application of filler metal and/or dispensing of flux (filler metal ring, flux/brazing paste).

* Fotos von Everwand & Fell

* Photos from Everwand & Fell



Karussell
Carousel

Pyrometer zur optischen Temperaturmessung

Automatische Flammlötkarussells sind oft mit Infrarot-Pyrometern zur Temperaturmessung der Lötstelle ausgestattet. Die Information wird in einen Computer gespeist, der dafür sorgt, dass die Brenner von der Lötstelle zurückweichen, sobald die richtige Temperatur erreicht ist. Die absolute Temperatur kann das Pyrometer jedoch nicht mit hundertprozentiger Genauigkeit bestimmen. Beim Aufheizen des Aluminiums ändert sich mit der Oxidschicht auch der Emissionsgrad der Oberfläche und es ist kaum möglich, das Pyrometer so einzustellen, dass es die Änderungen dynamisch erfasst. Das Pyrometer liefert genaue relative Temperaturwerte des erwärmten Bereichs, nicht jedoch der Lötstelle selbst. Diese können dann reproduziert werden, d.h. mit optischen pyrometrischen Messungen lässt sich die Gleichmäßigkeit des Lötprozesses von Bauteil zu Bauteil überwachen (für ein bestimmtes Bauteil). Die Information selbst wäre für ein einziges Bauteil weniger hilfreich.

Optical Pyrometry Measurements

Automatic flame brazing carousels are often equipped with infra-red pyrometers to measure the temperature of the braze joint area. The information is fed to a computer and the computer 'tells' the torches to flip away from the joint when the proper temperature is reached. The pyrometer however cannot determine an absolute accurate temperature. As aluminum heats up, the oxide layer changes and therefore the emissivity of the surface changes and it becomes difficult to modify the pyrometer to track these changes dynamically. It is possible to get reproducible accurate relative temperatures of the heat affected zone, but not of the joint itself. In other words, optical pyrometry measurements can be used to monitor the consistency of the brazing process from part to part (for the same given part), but the information by itself for a single part would not be that useful.

Verbindung verschiedener Metalle

Das Flammlöten von Aluminium mit einem anderen Metall wie z.B. Messing, Kupfer, Stahl oder Edelstahl ist möglich, erfordert jedoch besondere Sorgfalt und Aufmerksamkeit. Natürlich kann diese Broschüre nicht sämtliche Aluminium-Metall-Kombinationen behandeln. Dennoch sollen hier einige wichtige Hinweise zu Al-Cu-Verbindungen gegeben werden, denn es handelt sich um eine in der Kühlindustrie häufig verwendete Kombination (z.B. Kupferrohr an Aluminiumverdampferplatte).

Das Eutektikum von Cu und Al liegt bei 548 °C. Wenn das Flussmittel schmilzt und die Oberflächenoxide gelöst wer-

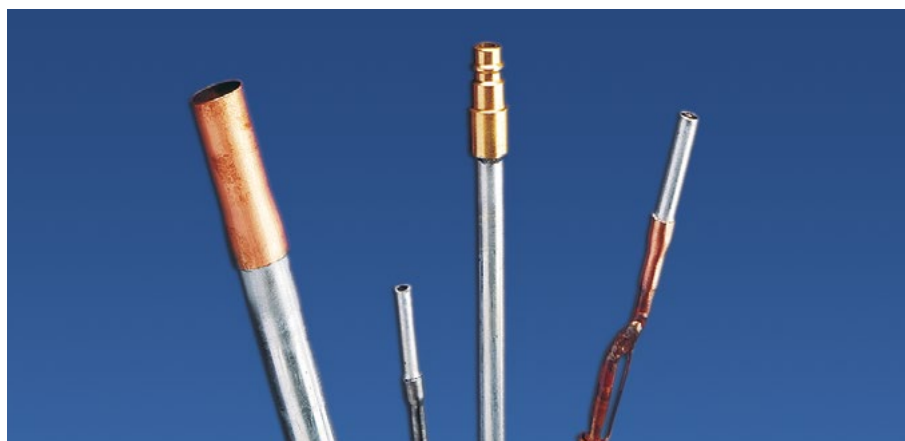
Bimetallic Joining

Flame brazing aluminum to another metal such as bronze, copper, steel and stainless steel is possible, but requires special care and attention. Dealing with all Al-metal combinations in detail is beyond the scope of this brochure, but a few comments on Al-Cu joining is noteworthy, since this combination is common in the refrigeration industry (copper tube to aluminum roll-bond panel, for example).

There is a eutectic between Cu and Al at 548 °C. When the flux melts and the surface oxides are removed, interdiffusion of Al and Cu is rapid and unavoidable. This means that at braze temperature, the Al and Cu materials are

den, ist ein schnelles gegenseitiges Diffundieren von Al und Cu unvermeidlich, d.h. bei Löttemperatur lösen sich die beiden Werkstoffe Al und Cu schnell gegenseitig an und bilden das Eutektikum. Zeit und Temperatur sind daher äußerst kritische Faktoren, um dieses gegenseitige Diffundieren sowie den Metallverbrauch gering zu halten. Die Kombination hat jedoch auch einen Vorteil: Da sich das Lot bei diesem Prozess in situ bildet, muss der Lötstelle kein Lot zugeführt werden. Die Lötstelle muss so beschaffen sein, dass der Metallverbrauch die Stabilität der Lötverbindung nicht beeinträchtigt.

quickly consumed to form the eutectic metal. Management of time and temperature is critical to minimize the inter-diffusion and metal consumption. There is an advantage however. Since filler metal is created in-situ, there is no need to supply filler metal to the joint. The only requirement is that the design of the joint allows metal consumption without sacrificing joint integrity.



Von links nach rechts: Al-Cu, Al-Edelstahl, Al-Messing und Cu-Al
From left to right: Al-Cu, Al-stainless, Al-brass and Cu-Al

Schlussfolgerungen

Conclusions

Vorstehender Beschreibung zufolge ist das Flammlöten mit NOCOLOK® Flux kein kompliziertes Verfahren. Bei Befolgung der Grundlagen des manuellen Hartlötens kann jeder Automatisierungsgrad erreicht werden. Die wichtigsten Aspekte dieser Abhandlung sind folgende:

- NOCOLOK® Flux schmilzt kurz vor dem Schmelzpunkt des Lots.
- Das geschmolzene Flussmittel bleibt bis zum Austrocknen nur kurze Zeit reaktionsfähig.
- Es empfiehlt sich, erst das Lot auf die Lötstelle zu bringen; doch bei ausreichender Erfahrung kann es auch zugeführt werden, nachdem das Flussmittel geschmolzen ist.
- Ein gleichmäßiges Aufheizen ist sehr wichtig; übermäßig hohe Oberflächentemperaturen sind zu vermeiden.

From the preceding discussions, it is evident that NOCOLOK® flux flame brazing is not a complicated process and that if the fundamentals of manual brazing are followed, any level of automation can be achieved. The most important aspects of the discussion are as follows:

- *NOCOLOK® flux melts just before the filler metal temperature.*
- *Once molten, the flux remains active only for a short period before drying out.*
- *Preplacing the filler metal in the joint is preferred, but with some skill may be fed into the joint after the flux melts.*
- *Temperature uniformity is critical and excessively high surfaces temperatures must be avoided.*



Europe

Solvay Fluor GmbH
Postfach 220
30002 Hannover, Germany
Telephone: +49 511 857-0
Fax: +49 511 857-2146

North America

Solvay Fluorides, LLC
3333 Richmond Avenue
Houston, TX 77098, USA
Telephone: +1 713 525-6000
Fax: +1 713 525-7805

Asia/Pacific

Solvay Korea CO., LTD
5th Fl. Donghwa Bldg.58-7,
Seosomun-Dong, Jung-Gu
Seoul, 100-736, Korea
Telephone: +82 2 751 3509
Fax: +82 2 751 3576

www.solvay.com

Disclaimer:

All statements, information, and data given herein are believed to be accurate and reliable but are presented without guarantee, warranty or responsibility of any kind, express or implied. Statements or suggestions concerning possible use of our products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement, and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that all safety measures are indicated, or that other measures may not be required. In any case, the user is not exempt from observing all legal, administrative and regulatory procedures relating to the product, personal hygiene, and protection of human welfare and the environment.