



Dipl.-Ing. C. Meurer,
Mitarbeiter der Abteilung
Anwendungstechnik – Kälte-
mittel – Solvay Fluor und
Derivate GmbH; Hannover.



Dr. H. J. Belt,
Leiter der Abteilung Anwen-
dungstechnik – Anorganik –
Solvay Fluor und Derivate
GmbH; Hannover.



Dipl.-Ing. H. König,
Leiter der Abteilung An-
wendungstechnik – Kälte-
mittel – Solvay Fluor und
Derivate GmbH; Hannover.

Das Nocolok[®]-Flux- Hartlötverfahren

Verbindungstechnik für Aluminiumbauteile
in der Kältetechnik

C. Meurer; Dr. H.-J. Belt; H. König, Hannover

Die Wahl von Verbindungstechniken und Werkstoffen der Kältemittel führenden Leitungen wird zur Zeit verstärkt diskutiert. Mit Verbindungstechniken, die nach dem heutigen Stand der Technik dicht ausgeführt werden, kann eine Reduzierung der Gesamttreibhauspotentiale (TEWI) erreicht werden. In Holland wird dies mittlerweile vom Gesetzgeber vorgeschrieben bzw. empfohlen.

Auch der Einsatz von alternativen Werkstoffen werde bereits neu überdacht, nicht zuletzt um bei mobilen Klimaanlage, eventuell über eine Gewichtsreduzierung und eine damit verbundene Energieeinsparung des gesamten Systems, eine zusätzliche Minimierung des Gesamttreibhauspotentials zu erreichen.

Die vorliegende Arbeit stellt ein neues Lötverfahren für den Werkstoff Aluminium vor. Dieses Verfahren ist bereits unter der Bezeichnung Nocolok[®]-Flux-Lötprozess eingeführt.

Aluminium in der Kältetechnik

Der Werkstoff Aluminium gewinnt in der Kältetechnik zunehmend an Bedeutung. Aluminium ist, verglichen mit anderen Werkstoffen, preisgünstig – Aluminiumrohre sind ca. halb so teuer wie Kupferrohre – und mit allen gängigen Kältemitteln und Kältemaschinenölen nach dem heutigen Stand der Technik sehr gut verträglich. Für Ammoniak kann Aluminium beispielsweise eine sehr wirtschaftliche Alternative zu Stahl darstellen.

Aufgrund der hervorragenden Wärmeleitfähigkeit von Aluminium ist es bei der

Herstellung von Lamellenwärmetauschern seit langem der bevorzugte Werkstoff. Die sehr geringe Dichte (2.6 bis 2.8 kg/dm³) macht Aluminium darüber hinaus zu einem äußerst attraktiven Werkstoff für mobile Klima- und Kälteanlagen. In Abb. 1 sind die in modernen Kraftfahrzeugen eingesetzten Aluminiumwärmetauscher dargestellt. Die Treibhauspotentiale bzw. der Flottenverbrauch solcher mobilen Systeme konnten durch die Gewichtseinsparung bereits signifikant reduziert werden.

Eine einfache Verarbeitung im Bezug auf erprobte und nach den heutigen Anforderungen leckagesichere Verbindungstechniken ist eine Grundvoraussetzung für die breite Anwendung von Aluminium in der Kältetechnik. Auf diesem Gebiet werden in den kommenden Jahren entscheidende Verbesserungen erwartet, so daß sich Aluminiumrohre für den Kältetechniker nahezu so leicht verarbeiten lassen wie die bisher eingesetzten Kupferrohre.

Verbindungstechniken

Vor dem Hintergrund der immer schärfer werdenden Regulatorien in Bezug auf die Sicherheit und Umweltverträglichkeit von Kälte- und Klimaanlage werden an die Verbindungstechniken zunehmend größere Anforderungen gestellt. Die Niederlande haben als erster Staat eine Verordnung erlassen, nach der die Leckageraten von Kälteanlagen nach dem Stand der Technik minimiert und in regelmäßigen Abständen durch geschultes Personal überprüft werden müssen [1]. Auch in nationalen und internationalen Standards werden mittlerweile hermetische Verbindungstechniken verlangt bzw. empfohlen. Lockringverbindungen (geschraubte Verbindung) stellen zwar eine praktikable und für viele Fälle ausreichend dichte Möglichkeit dar, gelö-

Novolok[®] ist ein eingetragenes Warenzeichen der Alcan Aluminium Ltd., Kanada.

tete oder geschweißte Verbindungen sind jedoch gegenüber geschraubten oder gebördelten Verbindungen grundsätzlich zu bevorzugen.

Gelötete Wärmetauscher

Bei den ersten gelöteten Aluminiumwärmetauschern wurden chloridische Flußmittel verwendet. Die Lötverbindungen der so verbundenen Bauteile weisen einen hygroskopischen korrosiven Rückstand auf und bedürfen einer intensiven Nachbehandlung in Form von Waschen mit Wasser sowie Beizen und Passivieren, um weitere korrosive Vorgänge zu verhindern. Die Kosten und die Umweltbelastungen der Reinigungsbehandlung stellten eine Hemmschwelle für eine breitere Verwendung gelöteter Aluminiumprodukte dar. Die Aufmerksamkeit der Industrie wurde dann auf das Vakuumverfahren gelenkt. Bei diesem Prozeß werden keine Flußmittel verwendet, eine Nachbehandlung entfällt demnach. Die Aufrechterhaltung der Reinheit der Atmosphäre ist jedoch schwierig und teuer.

Legierungsreihe	Bezeichnung oder Legierungselement
1xxx	Mindestens 99,00 % Aluminium
2xxx	Kupfer
3xxx	Mangan
4xxx	Silizium
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium und Silizium
7xxx	Zink
8xxx	Sonstiges Element
9xxx	Nicht verwendete Reihe

Tab. 1 Bezeichnungssystem für Aluminiumknetlegierungen

Die Anforderungen, die an die Ofenatmosphäre, die Paßgenauigkeit der Bauteile und an die Oberflächenreinheit gestellt werden, sind zu hoch, um die Wärmetauscher wirtschaftlich zu produzieren. Die Entwicklung eines nicht korrosiven und nichthygroskopischen fluoridischen Flußmittels (Handelsname NOCOLOK®-Flux) ebnete schließlich den Weg für eine breite Verwendung von hartgelöteten Aluminiumbauteilen. Aluminiumhartlöten ist heute das bevorzugte Verfahren zur Herstellung von Kraftfahrzeugwärmetauschern.

Aluminiumhartlöten mit dem Nocolok®-Flux-Verfahren

Unter Aluminiumhartlöten versteht man das Zusammenfügen von Bautei-

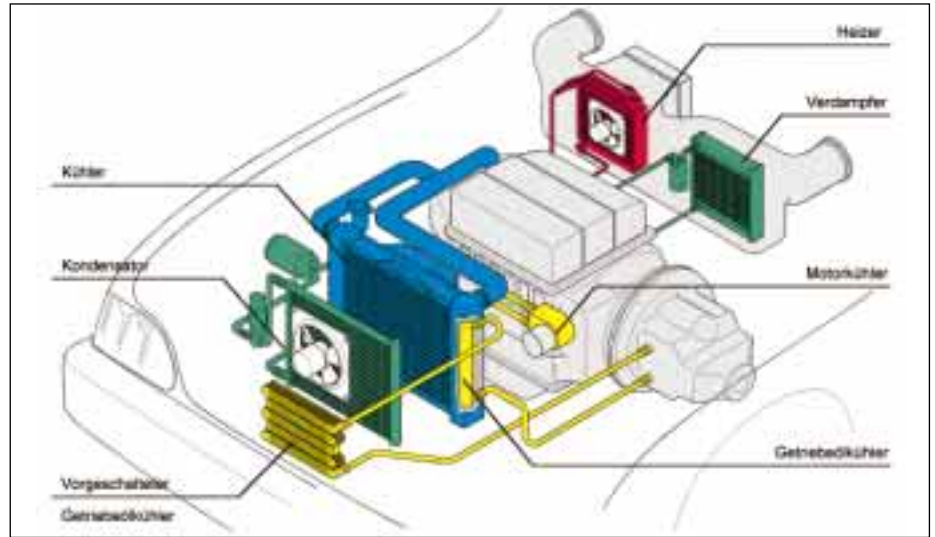


Abb. 1 Aluminiumwärmetauscher für die Automobilindustrie

len mittels eines Lotes. Bei dem Lot handelt es sich um eine Aluminiumlegierung (Al-Si), deren Schmelzpunkt merklich unter dem der Bauteile liegt. Die Baugruppe wird auf eine Temperatur erwärmt, bei der das Lot schmilzt, nicht jedoch die Bauteile. Das geschmolzene Flußmittel entfernt die auf dem Aluminium stets vorhandene Oxidschicht und verhindert weiteres oxidieren. Das Flußmittel benetzt die Paßflächen der zusammenzufügenden Bauteile, so daß das Lot durch Kapillarwirkung frei in die Lötstellen gezogen werden kann. Das Hartlot bildet somit eine metallurgische Bindung zwischen den Berührungsf lächen der Bauteile. Da dieser Prozeß bei Temperaturen über 450 °C abläuft, spricht man vom Hartlöten. Lötprozesse, die bei Temperaturen unter 450 °C ablaufen, bezeichnet man als Weichlöten. Bei hartgelöteten Aluminiumverbindungen werden bestimmte Anforderungen an die verwendeten Legierungen ge-

stellt. Aluminiumlegierungen werden nach ihren Legierungselementen klassifiziert.

Tab. 1 stellt die Legierungsreihen nach der Aluminium-Association (AA) zusammen. In Tab. 2 sind einige Legierungen beispielhaft aufgeführt.

Viele der in Tab. 1 und 2 zitierten Basislegierungen sind mit dem Nocolok®-Lötverfahren kompatibel. So sind beispielsweise AA3003 und AA3005 gängige Basismaterialien bei der Wärmetauscherherstellung. Bestimmten Legierungen wird Magnesium zugesetzt, um höhere Festigkeiten und bessere Eigenschaften bei maschinellen Fertigungstechniken zu erreichen. Für den hier beschriebenen Hartlötprozeß sollte 0,5 % Mg als Legierungsbestandteil nicht überschritten werden.

Nocolok-Flux ist ein Gemisch der Kaliumfluoraluminate $K_{1-3} Al F_{4-6}$ mit einem definierten Schmelzbereich von 565 °C–572 °C. Das Flußmittel

AA-Nummer	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Sonstige je gesamt	
1100	0.95(Si+Fe)		0.05–0.20	0.05	–	0.10	–	0.05	0.15
1435	0.15	0.30–0.50	0.02	0.05	0.05	0.10	–	0.03	0.03
3003	0.60	0.70	0.05–0.20	1.00–1.50	–	0.10	–	0.05	0.15
3005	0.60	0.70	0.30	1.00–1.50	0.02–0.06	0.25	0.10	0.05	0.15
6063	0.20–0.60	0.35	0.10	0.1	0.45–0.90	0.10	0.10	0.05	0.15

Tab. 2 Beispiele von Grenzwerten bei der Zusammensetzung von Aluminiumlegierungen in Gewichtsprozent

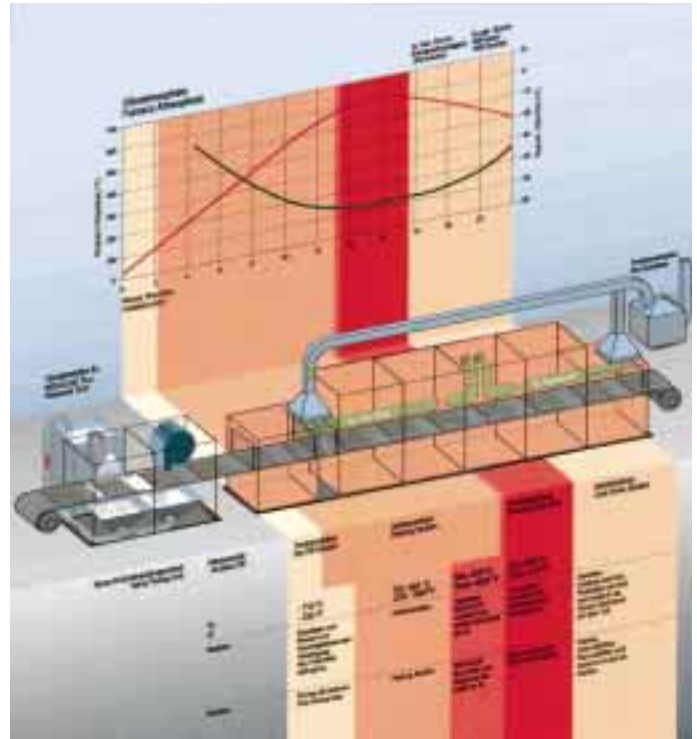
wird üblicherweise durch Sprühen, Tauchen oder Fluten als wäßrige Suspension auf die zu verbindenden Bauteile aufgetragen. Die verwendeten Al-Si-Hartlote haben einen Schmelzpunkt von ca. 577 °C. Die Aluminiummaterialien für die Wärmetauscherherstellung sind in der Regel mit den Lötloten (z. B. AA4045) plattiert. Nach der Abkühlung bleibt das Flußmittel als dünne stark haftende Schicht auf der Oberfläche zurück.

Der Suspension wird gewöhnlich ein Tensid zugesetzt, um das Benetzen und die Ausbildung einer gleichmäßigen Flux-Schicht zu unterstützen. Die Suspensionskonzentration, üblich im Bereich von 5 % bis 25 %, reguliert die Flußmittelbeladung. Das Lötten erfolgt in einer Schutzgasatmosphäre, beispielsweise Stickstoff.

Abb. 2 zeigt den Lötprozeß in einem für die Wärmetauscherherstellung üblichen kontinuierlich laufenden Tunnelofen. Nach dem Auftragen des Flußmittels werden die Bauteile in eine Trockenzone geleitet. In der Trockenzone wird das aus der Flußmittelapplikation stammende Wasser entfernt, damit das Teil vollständig frei von absorbiertem Wasser in den Lötöfen kommt. In die kritische Lötzone des Ofens wird Stickstoff eingeleitet, der in Richtung Eingang und Ausgang strömt. Die optimale Ofenatmosphäre mit einer minimalen O₂-Konzentration von weniger als 100 pm und einem minimalen Taupunkt von unter -40 °C wird auf diese Weise hergestellt. Diese Bedingungen sind notwendig, um die besten Lötresultate zu erzielen. Nach dem Abkühlen verbleibt der Flußmittlrückstand als sehr dünne Schicht mit einer Dicke im Bereich von 1–2 µm auf der Oberfläche zurück. Die Schicht ist nichthygroskopisch und in wäßrigen Lösungen unlöslich. Die Schicht ist nicht korrosiv, und es ist bekannt, daß sie die Korrosionsfestigkeit verbessert. Bei Wärmebehandlung blättert die Schicht nicht ab.

Neben dem in Abb. 2 dargestellten Verfahren für die Herstellung von im Ofen gelöteten Wärmetauschern, steht mit dem Nocokol®-Flammlöten auch eine praktikable Verbindungstechnik für Rohrelemente zur Verfügung. Das Lot (AA4047 oder AA4045) wird in diesem Fall als vorgeformter Ring in die zu verbindende Stelle eingebracht. Der Lötvorgang erfolgt zum Beispiel mit einer Sauerstoff/Acetylen-Flamme, wobei im Acetylenüberschuß gelötet wird,

Abb. 2: Nocokol®-Flux-Ofenlötten



um den Sauerstoff vollständig zu verbrennen und einen minimalen Sauerstoffgehalt an der Lötstelle zu erreichen. Es ist ein Doppelkopfbrenner mit Mehrlochdüse zu verwenden, um an der Lötstelle ein möglichst homogenes Temperaturfeld zu erzeugen. Das Flußmittel wird als Paste aufgebracht.

Stabilität von Lötverbindungen mit Kältemitteln und Schmierstoffen
Die Verwendung von Nocokol®-gelöteten Wärmetauschern in Automobilklimaanlagen ist mittlerweile weit verbreitet und kann als Stand der Technik angesehen werden. Um den wissenschaftlichen Nachweis für die Stabilität der Flußmittlrückstände mit

Abb. 3: Nocokol®-Prüfstand



dem im Kältekreislauf umlaufenden Stoffpaar Kältemittel/Schmierstoff zu erbringen, wurde im Hause Solvay eine Versuchsanlage installiert. Ab. 3 zeigt die Anlage, deren Betriebsparameter denen einer Automobilklimaanlage angeglichen sind. Ausführliche Versuchsreihen mit Solkane® 134a und dem Polyglykol RENISO® PAG 46 haben gezeigt, daß die homogene Schicht des Flux-Rückstandes, die an den Ein- und Austritten des Wärmetauschers mit dem Kältemittelkreislauf in direktem Kontakt stehen kann, keinerlei Einfluß auf die Stabilität und die Leistung des Kältekreislaufes hat. Der Rückstand selbst verhält sich inert, so daß auch bei flammgelöteten Rohrverbindungen, bei denen der Flußrückstand stets in direktem Kontakt mit dem Kältemittel-Kreislauf steht, ein negativer Einfluß auf den Kreislauf weitgehend ausgeschlossen werden kann. Die Struktur des

Rückstandes bei flammgelöteten Verbindungen ist allerdings naturgemäß heterogener als die Rückstandsschicht bei maschinell gefertigten Wärmetauscherschweißungen. Diese Tatsache wurde zum Anlaß genommen, ein hierüber hinausgehendes ausführliches Versuchsprogramm bezüglich der Stabilität von flammgelöteten Aluminiumrohrverbindungen an dem oben beschriebenen Versuchsstand durchzuführen. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse der oben beschriebenen Versuchsreihen wird auf der DKV-Kälte- und Klimatagung in diesem Jahr in Hamburg präsentiert.

Ausblick

Das Nocolok®-Flux-Verfahren kann in entscheidendem Maße dazu beitragen, daß sich der Werkstoff Aluminium zunehmend in der Kältetechnik etabliert. Eine breite Anwendung dieser

Technik über den Bereich der Automobilklimageräte hinaus erscheint möglich und sinnvoll.

Das zukünftige Programm für die Stabilitätsuntersuchungen an dem beschriebenen Versuchsstand wird sich daran orientieren und neben Solkane® 134a und Polyglykolen weitere Kältemittel und Öle untersuchen. Die Untersuchungen werden sich auf flammgelötete Rohrverbindungen konzentrieren und im nächsten Schritt mit Solkane® 410, den wohl vielversprechendsten Ersatzstoff für R 22, behandeln. Neben Stabilitätsuntersuchungen mit den Kältemitteln der Solkane Produktpalette, sind auch Analysen über die Verträglichkeit mit Ammoniak vorgesehen.

Literatur

[1] Niederländische Verordnung: „Regeling Lekdichtheidsvoorschriften Koelinstallaties RLK“.

So stand es in KK 2/1995:

„Muß § 10 (2) „Übergangsvorschriften neu definiert werden?“

Nachdem FCKW's seit dem 1. Januar dieses Jahres endgültig aus allen Neuanlagen als Kältemittel verboten sind, wird es für den Kälteanlagenbauer Zeit, sich nun näher mit FCKW-Kältemitteln in bestehenden Kälte- und Klimaanlage (sog. „Bestandschutz“) zu befassen. Deren Verwendung in Erzeugnissen wird in § 10 (2) der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung geregelt. Dieser Absatz besagt, daß Kältemittel nach § 3 Abs. 1 (dazu gehört auch R 22!) zum Zwecke der Verwendung in Erzeugnissen, die vor dem Inkrafttreten des § 3 (Verbotsfristen) hergestellt worden sind, bis zur Außerbetriebnahme der Erzeugnisse hergestellt, in den Verkehr gebracht und verwendet werden, es sei denn, daß Kältemittel mit geringem Ozonabbaupotential nach dem Stand der Technik in diesen Erzeugnissen eingesetzt werden können. Derartige Kältemittel sind vom Umweltbundesamt bekanntzugeben. Und auf diese „Bekanntgabe“ bereitet sich das Umweltbundesamt vor, wie auch aus anderen Beiträgen (z. B. „Retrofit“) dieser KK nachzulesen ist.

Bislang gingen die meisten Kälte-Klima-Fachleute davon aus, daß **nach**

Bekanntgabe durch das Umweltbundesamt der oder die ozonverträglicheren Stoffe dann anstelle von FCKW – bzw. späterhin auch R 22 – als Kältemittel zu verwenden sind, **wenn eine Nachfüllung** während der Reparatur und Wartung (auf Grund vorhandener Leckage) **erforderlich wird**.

Falsch sagt ein verantwortlicher Mitarbeiter des Bundesumweltministeriums (Referat IG II 5). *Richtig* sei, bei Auslegung des § 10 (2) auf das Chemikaliengesetz zurückzugreifen. Dies ist der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vorgelagert. Es besage (angeblich), daß nach Bekanntgabe eines oder mehrerer ozonfreundlicher Kältemittel Zug um Zug **aus allen noch bestehenden Kälteanlagen** das oder die „ungeliebten“ FCKW als Kältemittel zu entfernen seien. Egal, ob die „Altanlage“ dicht oder undicht sei.

Auf der Grundlage dieser Auslegung der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung (wird von der KK **nicht** geteilt) hat am 13. Januar in Berlin im Umweltbundesamt ein Fachgespräch mit BIV und VDKF im Rahmen der Ersatzkältemittel-Bekanntgabe stattgefunden, bei dem die nach Ansicht der KK strittige Definition des § 10

(2) **ausdrücklich** Gegenstand eines Zeitplans von mehreren Jahren bei der Umrüstung **aller** FCKW-Kälteanlagen war.

Auf Rückfrage der KK im Bundesumweltministerium wurde dies nochmals so bestätigt.

Herangezogen wurde in der Argumentation der „Feuerlöscher-Vergleich“, der in Befolgung der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung besagt(e), daß nach Inkrafttreten der entsprechenden Bestimmungen die Halone **aus allen existierenden** Feuerlöschern **zu entfernen** und durch umweltfreundlichere Löschmittel **zu ersetzen** seien. Mag wohl so auch richtig sein. Den Feuerlöscher jedoch mit einer Kälteanlage zu vergleichen – das ist absurd! Dient doch der Feuerlöscher dazu, seinen Inhalt im Bedarfsfall zur Schadensabwehr **freizugeben** und die Kälteanlage dazu, das Kältemittel **funktionsmäßig im geschlossenen Kreislauf zu belassen!** Somit das Fragezeichen in der Überschrift in ein Ausrufungszeichen umgekehrt: Eine eindeutige, rechtsverbindliche Definition des § 10 (2) der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung durch den Ordnungsgeber ist dringend geboten!

P. W.