

## Aluminium als Konstruktionswerkstoff in Ammoniakkreisläufen

### Erfahrungen mit Aluminium

Aluminium hat, verglichen mit anderen Metallen, eine erst kurze Geschichte der technischen Verwendung. Während vor zirka 150 Jahren erstmalig die Herstellung von Aluminium gelang, wurde vor etwa 60 Jahren der erste Wärmeübertrager mit Aluminiumrohren in Ammoniakkreisläufen eingesetzt. Andere Konstruktionselemente aus Aluminium, die sich seit Jahren in Ammoniakkreisläufen bewährt haben, sind Dichtungen und Baugruppen für Verdichter (Kolben, Pleuel, Zylinderdeckel, Motorgehäuse usw.). Diese Konstruktionselemente sind aus Knet- und Gusslegierungen.

Knetlegierungen sind durch Walzen, Ziehen, Pressen und Schmieden umgeformte Halbzeuge und Fertigteile mit einer ausreichenden Bruchdehnung (meist größer als acht Prozent). Die Gusslegierungen sind für Sand- und Kokillenguss geeignet, und die meisten enthalten neben anderen Legierungselementen mehrere Prozente Silizium.

Wegen der verbreiteten Anwendung von Ammoniak vor allem in industriellen Kälteanlagen wurde bisher vorrangig Stahl für die wesentlichen Konstruktionselemente wie Rohrleitungen, Wärmeübertrager und Behälter in Ammoniakkreisläufen verwendet. Für die Erschließung des Bereiches der Gewerbekühlung für Ammoniak Anwendungen sind Technologien gefragt, die den Kältetechnikern von FKW- beziehungsweise FCKW- Kälteanlagen her bekannt sind (Löten und lösbare Verbindungselemente). Dazu bietet Aluminium als Konstruktionswerkstoff die besten Voraussetzungen.

### Eigenschaften von Aluminium (Al)

im Vergleich zu dem in FKW-Kreisläufen vorrangig eingesetzten Kupfer (Cu)

		<b>Al</b>	<b>Cu</b>
Dichte	$10^3 \text{ kg/m}^3$	2,7	8,9
Wärmeleitfähigkeit	W/m K	230	310
Elektrische Leitfähigkeit ca.	m/Ω mm <sup>2</sup>	36	58
0,2 Dehngrenze ca.	N/mm <sup>2</sup>	60	160
Wärmedehnung	$10^6 \text{ 1/K}$	23,8	16,2
Schmelzpunkt	°C	660	1083

### **Vorteilhafte Eigenschaften von Aluminium sind:**

- kostengünstige Kaltverformbarkeit
- gute Spanbarkeit
- Kaltzähigkeit, damit geeignet für Verdampfungstemperaturbereich unter –10 Grad Celsius
- Löt- und Schweißbarkeit
- gesundheitliche Unbedenklichkeit
- Wiederverwendbarkeit

### **Vorschriften für die Verwendung von Aluminium**

Nach dem Entwurf der EN 378 können Aluminium und Aluminiumlegierungen in jedem Teil des Kältemittelkreislaufes eingesetzt werden, wenn ihre Festigkeit entsprechend hoch ist und sie mit Ammoniak und den verwendeten Schmierstoffen verträglich sind.

### **Kontaktmedien für Al-Konstruktionselemente**

Im Kältemittelkreislauf einer Ammoniakanlage kommen Al-Konstruktionselemente mit Ammoniak, Kältemaschinenöl, Spuren von Wasser und anderen Metallen in Kontakt. Die in Ammoniakanlagen eingesetzten Kältemaschinenöle sind die in Ammoniak unlöslichen Mineral- oder synthetischen Öle oder die seit etwa 1993 verfügbaren synthetischen ammoniaklöslichen Öle auf Basis von Polyalkylenglykol (PAG). Durch unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeit dieser Öle sind unterschiedliche Voraussetzungen für Korrosion gegeben.

Im Kälteträger- und Wärmeträgerkreislauf sind es Wasser und wässrige Lösungen von Frostschutzmitteln, für die die Verträglichkeit der verwendeten Aluminiumlegierungen im Einzelfall nachgewiesen werden muss. Außerhalb des Kreislaufes sind Oberflächen aus Aluminium-Konstruktionselementen durch Korrosion gefährdet, wenn sich bei Taupunktunterschreitung Schwitzwasser bildet, das bei NH<sub>3</sub>-Leckagen durch Aufnahme von Ammoniak zur NH<sub>3</sub>-armen Lösung wird.

### **Korrosionsverhalten**

Eine dünne, aber dichte Oxidschicht macht das an sich unedle Metall Aluminium relativ korrosionsfest gegenüber Angriffen von Luft und Feuchtigkeit. Für Ammoniakkreisläufe sind Aluminiumlegierungen mit folgendem Korrosionsverhalten verfügbar:

### **Konstruktionselemente im Kältemittelkreislauf**

- keine messbare Korrosion in reinem, trockenem NH<sub>3</sub>
- technisch unbedenkliche Korrosion (wenige µm/a) bei Kontakt mit NH<sub>3</sub> und Kältemaschinenöl mit unterschiedlicher Korrosionsrate in Abhängigkeit von Ölsorte, Ölalter und Wasseranteil
- Bei Verwendung unlöslicher Mineral- und synthetischer Öle sind auf Grund der begrenzten Aufnahmefähigkeit von Wasser (100–200ppm) keine Korrosionsprobleme zu erwarten.
- Bei Verwendung löslicher PAG-Öle nimmt die Aufnahmefähigkeit von Wasser zu. Das kann über Veränderungen im Öl zu Reaktionen mit Aluminiumbauteilen im Verdichter mit der Folge seiner erheblich reduzierten Betriebsdauer führen.

### **Konstruktionselemente im Wärmeträger- und Kälteträgerkreislauf**

- Das Korrosionsverhalten von Wärmeübertragerrohren bei Verwendung von Ethylenglycol-Wasser-Gemischen als Zwischenmedium ist unbedenklich. Für andere Kälte- und Wärmeträger gibt es mittlerweile umfangreiche Abhandlungen und Tabellenwerke, in denen die Autoren für die verschiedenen Fluide eventuell notwendige Inhibitoren vorschlagen.
- Bei Einbindung anderer Metalle (zum Beispiel Kupfer) in den Wärmeträger- und Kälteträgerkreislauf ist mit erheblicher Korrosion zu rechnen. Besonders bei nicht Stickstoff aufgelasteten Kreisläufen ist im Extremfall schon nach 0,5 bis 2 Jahren ein Totalausfall möglich. Die Werkstoffkombinationen sind daher zu prüfen.

### **Konstruktionselemente mit Kontakt zur Umgebung**

- Wässrige Lösungen von Ammoniak verursachen technisch nicht vertretbare Korrosion. Damit sind insbesondere Aluminiumbauteile gefährdet, die durch Taupunktunterschreitung und Leckraten mit wässrigen Lösungen in Kontakt kommen. Für solche Bauteile bieten die Hersteller jedoch verschiedene Beschichtungen als Korrosionsschutz an.

### **Spannungsrissskorrosionsverhalten**

Die für Ammoniakkreisläufe in Frage kommenden Aluminiumlegierungen sind unempfindlich gegen Spannungsrissskorrosion.

## **Verbindungstechniken**

Die nicht lösbaren Verbindungen von Rohrleitungen durch Hartlöten der Paarungen Aluminium/Aluminium und Aluminium/austenitische Cr-Ni-Stähle sind mechanisch fest und korrosionsbeständig. Bei Lötverbindungen von Aluminium mit unlegierten oder niedriglegierten Stählen ist mit Korrosion an der Verbindungsstelle zu rechnen. Rohrbündelwärmeübertrager können durch Einwalzen von Aluminiumrohren in Stahlböden dauerhaft dicht hergestellt werden.

Für lösbare Verbindungen gibt es eine Reihe von sicheren Lösungen, die sowohl nach mehrfachem Öffnen als auch unter Temperaturwechselbelastung dicht und korrosionsbeständig sind.

## **Aluminium in Elektromotoren**

Die in FKW-Anlagen eingesetzten Hermetikverdichter mit Motoren aus Kupfer sind in Ammoniakkreisläufen nicht einsetzbar. Seit 1993 sind Halbhermetikverdichter in Ammoniakkreisläufen erfolgreich im Einsatz, deren Motoren Aluminiumwicklungen und ein spezielles Isolationssystem enthalten. Damit kommen diese Verdichter ohne die bei offenen Verdichtern notwendige verschleißbehaftete Gleitringdichtung aus. Der Ammoniakkreislauf wird nur durch statische Dichtungen geschlossen. Auf Grund der geringeren Leitfähigkeit von Aluminium gegenüber Kupfer (zirka 65 Prozent) sind diese Motoren entsprechend anders zu dimensionieren.

## **Zusammenfassung**

Aluminiumlegierungen haben sich als Konstruktionswerkstoff in Ammoniakkreisläufen seit Jahren bewährt. Für die Anwendung von Technologien, die den Kältetechnikern von FKW-Anlagen her bekannt sind, bieten Konstruktionselemente aus Aluminiumlegierungen sichere Lösungen in Hinblick auf Korrosionsbeständigkeit und mechanische Festigkeit. Damit lassen sich die Vorteile des Kältemittels Ammoniak in Bezug auf deutlich kleinere Dimensionierung von Rohrleitungen, Fittings und Ventilen mit den Vorteilen des Konstruktionswerkstoffs Aluminium kombinieren.

---

Herausgegeben von *eurammon*

Postfach 71 08 64 ♦ D-60498 Frankfurt

Telefon +49 69 6603 1277 ♦ Fax +49 69 6603 2276

e-mail: [karin.jahn@eurammon.com](mailto:karin.jahn@eurammon.com)

<http://www.eurammon.com>