

KUPFERROHR-WÄRMEÜBERTRAGER EIGNEN SICH FÜR DAS KÄLTEMITTEL PROPAN

Weniger Kältemittel-Füllmenge

Umweltfreundliche, kostengünstige und dabei effiziente gewerbliche Kältemaschinen erfordern eine ganze Reihe innovativer technischer Lösungen und Komponenten. Dazu gehört das Zusammenwirken von Kupferrohren mit geringerem Durchmesser und Kältemitteln wie Propan (R290) mit niedrigem Treibhauspotenzial. Denn kleinere Rohrdurchmesser verbessern die Wärmeübertragung und ermöglichen dadurch kompaktere, leichtere Wärmeübertrager mit erhöhter Druckfestigkeit und weniger Füllmenge. Nigel Cotton, Brüssel, und Yoram Shabtay, Prospect Heights (Illinois/USA)

Die steigende Nachfrage nach Propan (auch als R290 bekannt) als Kältemittel ist auch im Zusammenhang mit der parallel verlaufenden Entwicklung von Wärmeübertragern mit Kupferrohren mit geringerem Durchmesser zu sehen. Obwohl Propan bereits in den frühen Jahren der Kühlmaschinen und Klimaanlage als Kältemittel Verwendung gefunden hatte, rückte es erst in letzter Zeit wieder in den Fokus. Denn in Verbindung mit Kupferrohren mit geringerem Durchmesser wurden Kälte- und Klimasysteme mit hohem Leistungsgrad und verringertem Kältemittelvolumen möglich.

Umweltschädliche Kältemittel werden zunehmend verboten und müssen durch alternative Kältemittel ersetzt werden. Allerdings gibt es nur sehr wenige Gase, die sich aufgrund ihrer thermisch-physikalischen Eigenschaften für die Anwendung in Kältemaschinen eignen und gleichzeitig ein niedriges Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP) aufweisen. Eines dieser Gase ist Propan.



Typischer
Kondensator
und Verdampfer
für Systeme
mit Propan als
Kältemittel

Bild: MTL Technologies

Weg mit den F-Gasen, her mit Propan

Hersteller und Betreiber von Selbstbedienungs-Kühlmöbeln für Kaltgetränke und Lebensmittel verfolgen den Übergang von F-Gasen zu Propan als Kältemittel aufmerksam. In den vergangenen Jahren und insbesondere seit 2011 wurden die gesetzlichen

Vorschriften zugunsten von Propan als Kältemittel gelockert, während gleichzeitig die Füllmengen mit Verweis auf dessen Entflammbarkeit begrenzt wurden. Zudem wurden neue konstruktive Sicherheitsmaßnahmen notwendig. Nun lässt sich mit Propan als Kältemittel der Ausstieg aus den fluorhaltigen Kältemit-

Bild: MTL Technologies



Yoram Shabtay,
Präsident von Heat
Transfer Technologies LLC,
Prospect Heights,
Illinois/USA

Bild: MTL Technologies



Nigel Cotton,
Projektleiter beim European
Copper Institute (ECI),
Brüssel



Kühlvitrinen Oasis 36

Bild: MTL Technologies

TABELLE 1

KÄLTEMITTEL	Molekulargewicht [kg/kmol]	Normaler Siedepunkt [°C]	Kritische Temperatur [°C]	Kritischer Druck [MPa]
R22	86,5	-40,8	96,0	4,07
R410A	72,6	-52,7	72,5	4,95
R290	44,1	-42,1	96,8	4,25

teln (F-Gase) mit hohem Treibhauspotenzial beschleunigen und damit Umweltfreundlichkeit mit Wirtschaftlichkeit kombinieren.

Der Übergang zu Propan wird auch dadurch vorangetrieben, dass die Vorschriften für fluorhaltige Gase immer strenger werden, während man sie für entzündliche Gase wie Propan lockert. Die SNAP-Richtlinie (Significant New Alternatives Policy) der US-amerikanischen Environmental Protection Agency (EPA, Umweltschutzbehörde), die auf der Ergänzung zum Clean Air Act (Luftreinhaltungsgesetz) von 1990 basiert, listet Propan mit dem Verweis „akzeptabel, unterliegt Verwendungsbestimmungen“ als Ersatz für FCKW12, H-FCKW22 und R502 in Kühl- und Gefriergeräten für den Lebensmittelhandel (nur Einzelgeräte) auf. Konkret handelt es sich um eine im Dezember 2011 veröffentlichte endgültige Fassung: „Protection of Stratospheric Ozone: Listing of Substitutes for Ozone Depleting Substances – Hydrocarbon Refrigerants“ (dt.: „Schutz der Ozonschicht in der Stratosphäre: Liste der ozonabbauenden Substanzen – kohlenwasserstoffhaltige Kältemittel“).

Eine dieser Verwendungsbestimmungen beschränkt die Füllmenge des Kältemittels in solchen Endanwendungen auf 150 g. Das SNAP-Programm erstellt Listen mit akzeptablen und nicht akzeptablen Ersatzmitteln für alle wesentlichen Branchenwendungen und für spezifische Produktkategorien.

Nachdem Propan als Ersatzmittel akzeptiert worden war, änderte die EPA im nächsten Schritt den Status der ökologisch unerwünschten F-Gase von akzeptabel auf inakzeptabel. Ein Beispiel hierfür ist die im Dezember 2016 veröffentlichte endgültige Vorschrift „Final Rule 21 – Protection of Stratospheric Ozone: Significant New Alternatives Policy Program New and Changed Listings“ (dt.: „Schutz der

Ozonschicht in der Stratosphäre, neue und geänderte Listen des SNAP-Programms“).

Verringerte Kältemittel-Füllmengen sind beim Einsatz von Propan wesentlich, da dieses in der Sicherheitsklasse A3 eingestuft ist. Der Buchstabe „A“ bezieht sich dabei auf die toxische Gefährdung und die Zahl „3“ auf die Entflammbarkeit. Stoffe der Klasse 3 sind hochentflammbar, die der Klasse 2 relativ entflammbar und solche der Klasse 2L relativ entflammbar mit verhältnismäßig geringer Verbrennungsgeschwindigkeit.

Aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften eignet sich Propan als Kältemittel gut für Kälteanlagen im Einzelhandel. Diese Eigenschaften sind typischerweise denen der H-FCKWs überlegen und erreichen beinahe die der FCKWs. Insgesamt ähneln sie denjenigen von R22. Propan bzw. R290 hat einen geringen Rückdruck, eine hohe volumetrische Kapazität und verbessert die Leistungskoeffizienten.

Was wird von den Rohren gefordert?

Während Hersteller und Gesetzgeber die Zulassung von Propan in gewerblichen Anwendungen niedriger Kälteleistung in

Aussicht stellten, wurden auch Kupferrohre mit geringerem Durchmesser fortentwickelt. Heute werden in Kälte- und Klimasystemen mit Propan üblicherweise Kupferrohre mit geringerem Durchmesser verbaut, um die Kältemittel-Füllmenge zu verringern. Dadurch kann ohne Beeinträchtigung der Kühlleistung den Sicherheitsvorschriften entsprochen werden. Solche Kupferrohre verbessern zudem die Wärmeübertragungskoeffizienten von typischen Wärmeübertragern.

Kupferrohre von MicroGroove für kältetechnische Anwendungen sind vor allem durch Energieeffizienz, Materialeinsparung und geringere Kältemittel-Füllmengen gekennzeichnet. Denn ihre kleineren Rohrdurchmesser verbessern die Wärmeübertragung und ermöglichen dadurch kompaktere und leichtere Wärmeübertrager mit erhöhter Druckfestigkeit und der geforderten geringeren Kältemittel-Füllmenge.

Rohre mit geringem Durchmesser übertragen wesentlich mehr Wärme pro Gewichtseinheit als solche mit größerem Durchmesser. Damit entstehen Wärmeübertrager mit geringeren inneren Volumina und entspre-



Wärmeübertrager von MicroGroove im Lager

Bild: MTL Technologies

chend kleineren Kältemittel-Füllmengen. Die Einsparung an Kältemittel ergibt weitere konstruktive Vorteile wie zum Beispiel ein geringeres Gesamtgewicht der Anlage. Für Propansysteme können durch die verringerten Füllmengen die gewünschten Kühlleistungen innerhalb der gesetzlichen Füllmengengrenzen (150 g) erreicht werden.

Die kleineren Rohre ermöglichen also dieselbe oder eine höhere Wärmeübertragungsleistung mit weniger Rohr- und Lamellenmaterial und weniger Kältemittel. Mit weniger Material kann mehr Wärme abgeführt werden.

Worauf kommt es bei der Wärmeübertragung an?

Der Gesamt-Wärmeübertragungskoeffizient setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

- Konvektion vom Kältemittel im Rohr an die Rohrwandung;
- Konduktion durch die Rohrwandung;
- Dissipation über die Lamellen durch Zwangskonvektion (Lüfter).

Unter anderem ist die Konvektion vom Kältemittel im Rohr an die Rohrwandung eine Funktion des Durchflussstroms innerhalb des Rohrs sowie der thermischen Leitfähigkeit des Kältemittels und der Rohrgeometrie und annähernd umgekehrt proportional zum Rohrdurchmesser. Das heißt, dass Rohre mit geringerem Durchmesser Wärme wirksamer übertragen als solche mit größerem Durchmesser.

In der Thermodynamik spricht man dabei von der „Konvektionskühlung von Fluiden in turbulenten Strömungen“, wie sie z.B. durch die Dittus-Boelter-Gleichung beschrieben wird. Vereinfacht ausgedrückt, befinden sich Differenzvolumenströme mit abnehmendem Rohrdurchmesser dichter an der Rohrwand. Das heißt, dass die Effizienz der Wärmeübertragung durch Konvektion aus dem Volumenstrom (Kältemittel) an die Rohrwand mit der Nähe des Volumenstroms zur Rohrwand steigt.

Der Zweck einer Kälteanlage besteht darin, Wärme aus dem gekühlten Raum an den Verdampfer zu übertragen. Der Kondensator entzieht dem verdichteten Kältemittel Wärme, wodurch das gasförmige Käl-

temittel zur Flüssigkeit kondensiert (daher die Benennung „Kondensator“). Durch den Einsatz von Rohren mit geringerem Durchmesser kann die Wärme in jedem Wärmeübertrager im System effizienter übertragen werden. Ein weiterer wesentlicher Pluspunkt ist, dass die Menge an Kältemittel verringert werden kann, ohne dass dadurch die Kühlleistung beeinträchtigt wird.

Simulationssoftware berücksichtigt kleinere Rohrdurchmesser

Mithilfe einschlägiger Konstruktionsgrundsätze und Simulationssoftware lassen sich Prototypen von Wärmeübertragern mit Propan als Kältemittel herstellen. Die International Copper Association, Inc. (ICA) und Optimized Thermal Systems, Inc. (OTS) entwickeln gemeinsam mit Herstellern umweltfreundliche Wärmeübertrager mit MicroGroove-Kupferrohren mit geringerem Durchmesser.

Dazu hat OTS in Zusammenarbeit mit ICA zusätzliche MicroGroove-Rohrkorrelationen in das Softwarepaket CoilDesigner integriert, das vom Center for Environmental Energy Engineering (CEEE) der University of Maryland entwickelt und gepflegt wird. Dieses Update hat die Konstruktions-Software für Wärmeübertrager für die Entwicklung von kältetechnischen Geräten mit Kupferrohren mit geringem Durchmesser ertüchtigt.

Im Softwarepaket sind nun also die Korrelationen sowohl für die luftseitige wie auch für die rohrseitige Wärmeübertragungsleistung enthalten. Dies ermöglicht präzise Simulationen über einen weiten Bereich von Rohrdurchmessern und eine Vielzahl von Lamellenformen.

ICA und OTS haben für Hersteller die Leistungsfähigkeit von MicroGroove-Wärmeübertragern simuliert. Auch von solchen, die mit Kältemitteln auf Kohlenwasserstoffbasis befüllt waren, darunter Propan und Isobutan.

Webinare erläutern die MicroGroove-Rohrtechnik

Die Simulation von Kälteanlagen mit MicroGroove-Rohren und Propan als Kältemittel stößt auf ein großes Interesse. In der wis-

senschaftlichen Literatur sucht man Studien zum Verhalten von Propan als Kältemittel in Rohren mit geringerem Durchmesser allerdings vergebens. Um diese Wissenslücke zu füllen und die Anwendung des umweltfreundlichen Propans in Kälteanlagen zu fördern, haben OTS und ICA drei technische Webinare vorgestellt, in denen die MicroGroove-Technik eingehend beleuchtet wird.

Zu den Lehrinhalten gehören:

- wissenschaftliche Grundlagen der Vorteile von Lamellenwärmeübertragern mit Kupferrohren mit geringerem Durchmesser;
- Herstellungsverfahren für Rundrohr-Lamellen-Wärmeübertrager;
- Konstruktionsgrundsätze einschließlich der Anwendung von Simulationssoftware für die Konstruktion von Wärmeübertragern mit Kupferrohren mit geringerem Durchmesser.

Die Webinare und Präsentationen können auf der Website von microgroove.net unter der Menüoption OTS-ICA aufgerufen werden: www.microgroove.net/ots-ica-educational-outreach.

Die Teilnahme an den drei Webinaren sowie den entsprechenden drei Umfragen ist Voraussetzung für den Zugang zu den Demo- und Versionsversionen der vom Center for Environmental Energy Engineering (CEEE) der University of Maryland entwickelten Simulationssoftware CoilDesigner.

Teilnehmer können ein Muster eines 5 mm-Wärmeübertragers für Schulungs- oder Prüfzwecke anfordern (info@optimizedthermalsystems.com).

Die praxisorientierte Einführung in das Thema MGHX-Wärmeübertrager (Microgroove Heat Exchanger) soll dazu beitragen, die Entwicklung der Rundrohr-Lamellenwärmeübertrager (RTPF) weiter voranzutreiben.

MicroGroove-Rohre in Fertigstellungsprozessen

Heute gibt es funktionierende Lieferketten für die Herstellung von Hochleistungs-MicroGroove-Wärmeübertragern, was den Übergang von konventionellen Kupferrohren zu

solchen mit geringerem Durchmesser erleichtert. Mittels weiterentwickelter Herstellungsverfahren lassen sich Wärmeübertrager mit Kupferrohren mit geringerem Durchmesser in hohen Stückzahlen herstellen.

MTL Technologies plante und realisierte eine neue Fertigungslinie für Selbstbedienungs-Kühlvitrienen. In diese integrierte man hochwirksame Kühlsysteme von MTL Cool mit geringem Treibhauspotenzial mittels MicroGroove-Rohren mit geringerem Durchmesser und Propan als Kältemittel. Vorteile sind ein höherer Wirkungsgrad, weniger Kältemittel-Füllmenge sowie die Nutzungsmöglichkeit von natürlichen Kältemitteln mit geringem Treibhauspotenzial.

Mit dem Inkrafttreten der SNAP-Regeln der EPA und der Freigabe von 150 g Propan pro Einheit standen viele Wege offen, die Konstruktion von Kühlsystemen für Supermärkte und andere Verkaufsstellen von Kühlwaren zu beginnen. In der Folge wurde eine vollständige Produktlinie von Kühlvitrienen neu entwickelt, einschließlich Selbstbedienungskühlfächern mit und ohne Glastüren.

Kupferrohre mit geringerem Durchmesser wurden zu diesem Zeitpunkt bereits bei Klimaanlage für Wohngebäude verbaut. Offen war seinerzeit noch, ob diese Technik auch für Kühlsysteme anwendbar war, die mit natürlichen Kältemitteln betrieben werden sollten.

Die mittels der neuen Fertigungslinie entstandenen kompakten Kühlmöbel von MTL Cool lassen sich einfach einbauen und eignen sich für zu kühlende Gebinde (Flaschen) und Lebensmittel gleichermaßen, wobei Temperaturen zwischen -1 und 5°C aufrechterhalten werden. Die Fertigung von Kühlsystemen mit Propanfüllung unterscheidet sich dabei nicht wesentlich von der anderer Systeme, sofern bestimmte Gestaltungsgrundsätze zur Integration eines mit Propan befüllten Kälteaggregats beachtet werden. So dürfen z.B. keine Lüfter mit Metallflügeln oder elektrische Bauteile verwendet werden, die Funken verursachen können.

MTL Cool wandte sich wegen der Konstruktion der Propan-Wärmeübertrager an die Firma Super Radiator Coils, die Prototypen für Verdampfer und Kondensator erstellte. Nach der Befüllung mit Kältemittel muss das

System wegen der Brennbarkeit von Propan mit einem flammlosen Ultraschall-Schweißverfahren verschlossen werden. Außerdem müssen die Wärmeübertrager umfassend auf Dichtigkeit geprüft werden.

Bei der Gestaltung der Kühlvitrine wurden branchenübliche Standards beachtet und berücksichtigt, dass die geringeren Rohrdurchmesser einen verringerten Materialverbrauch bewirken. Zudem steigt die Zuverlässigkeit der Kühlvitrine, da Rohre mit geringerem Durchmesser bei gegebener Wandstärke stabiler sind.

Ein Hindernis war zunächst, dass nur wenige Kältetechniker und -unternehmen die erforderliche Kompetenz für die Wartung von Kühlanlagen mit Propanfüllung hatten. Dies hat sich inzwischen in den meisten Regionen der Welt geändert. Positiv ist, dass Propan einfach in die Umgebungsluft abgelassen werden kann. Wegen des sehr geringen Treibhauspotenzials und der niedrigen Kosten ist kein Recycling erforderlich.

MTL Cool erwog zunächst auch die Verwendung von MicroChannel-Aluminiumrohren für die Wärmeübertrager. Allerdings erwies sich, neben anderen Nachteilen, die Tendenz, dass sich Kältemittel in den Kanälen sammelt, als problematisch. Schließlich entschied man sich für Kupferrohre, zumal man mit dem Material vertrauter war und die Zuverlässigkeit des Materials kannte.

Neue Fabrik

Um der Nachfrage nach mit Propan befüllten MicroGroove-Kühlsystemen gerecht zu werden, expandiert MTL Cool deutlich. Eine in der kanadischen Provinz Quebec in

Chambly nahe Montreal gebaute neue Fabrik hat 2017 die Produktion aufgenommen. Aufgrund steigender Produktionszahlen wird zudem die Eigenfertigung von Wärmeübertragern erwogen, die man derzeit noch von Lieferanten wie Super Radiator Coils zukaufte. Bei Überschreiten eines gewissen Fertigungsvolumens könnte es allerdings sinnvoll werden, in Produktionsanlagen für Wärmeübertrager zu investieren, um sowohl diese wie auch die Kühlanlagen selbst herzustellen.

Die Mengenobergrenze von 150 g erlaubt die Nutzung von Propan als Kältemittel für viele Anwendungen. Beispielsweise werden die meisten Leistungsanforderungen im Lebensmitteleinzelhandel abgedeckt, soweit dieser einzeln stehende Kühlvitrienen mit eigenem Kompressor benötigt. Eine Anhebung der zulässigen Propanfüllmenge auf 500 g würde die Fertigung einer deutlich größeren Vielfalt von Kühlanlagen mit MicroGroove-Technik ermöglichen.

Fazit

Die Abkehr von FCKWs gemäß den entsprechenden Verordnungen der EU, dem SNAP-Prozess der amerikanischen EPA und dem Kigali-Zusatz zum Montreal-Protokoll fördern das Interesse an Kohlenwasserstoffen mit geringem Treibhauspotenzial wie Propan.

Nachdem die regulatorischen Weichen für eine Ablösung der FCKW-haltigen Kältemittel zugunsten von Propan gestellt waren, konnte sich das Gas mit seinen attraktiven physikalischen Eigenschaften als Kältemittel durchsetzen. Die günstigen thermodynamischen



Bild: MTL Technologies

Hochdruck-Polyurethanschaum-Einspritzsystem für die Isolierung der Kühlvitrienen; die Abbildung zeigt die beiden Behälter für die zwei Schaumkomponenten.

schen Eigenschaften sowie die breite Verfügbarkeit und die geringen Kosten sind dabei wichtige Faktoren. Kühle Systeme mit Propan als Kältemittel gelten als effizient und leistungsstark.

Obwohl Propan als entzündliches Kältemittel der Klasse A3 eingestuft ist, ist die Verwendung bei Einhaltung der entsprechenden Regeln gefahrlos. Propan kann allerdings nicht ohne weiteres konventionelle Kältemittel ersetzen. Denn die Kühle Systeme müssen speziell für das Kältemittel R290 ausgelegt sein und der vorgeschriebenen Kältemittel-Höchstmenge von 150g entsprechen. Diese relativ geringe Menge beschränkt die Verwendung von Propan derzeit noch auf Kühle Systeme mit Kleinkompressoren, wie sie im Lebensmitteleinzelhandel häufig vorkommen. Größere Anlagen verlangen aber nach Systemen mit mehreren getrennten Kühle Kreisläufen. Außerdem darf Propan nicht in geteilten Systemen verwendet werden.

Deshalb entwickelt eine Arbeitsgruppe der International Electrotechnical Commission (IEC) derzeit einen Standard, der die Verwendung von 500 g Propan in Kühle Systemen ermöglichen soll. Sollte dieser Standard anerkannt werden, könnte er zeitnah als Referenzstandard veröffentlicht werden und dadurch z. B. die in den USA von der EPA und den Underwriters Laboratories (UL) herausgegebenen Standards beeinflussen.

Der Einsatz von Propan und MicroGroove-Rohren auch in anderen Anlagentypen dürfte dieses Kältemittel weiter voranbringen. Dabei muss betrachtet werden, welche kältetechnischen Produkte als erfolgversprechende Kandidaten für eine Umstellung auf Kältemittel mit ultraniedrigem Treibhauspotenzial gelten können. Es ist zu ermitteln, welche Erfolgsaussichten die Nutzung von Pro-

pan in anderen Anwendungen wie Wärmepumpen oder Klimaanlage eröffnet.

Aller Voraussicht nach wird Propan also als Kältemittel für die nächsten Jahre eine wesentliche Rolle spielen. Da MicroGroove-Rohre und -Wärmeübertrager insbesondere im Hinblick auf verringerte Kältemittel-Füllmengen optimal für die Verwendung mit Propan geeignet sind, wird die zunehmende Verbreitung von Propan den Vor-

marsch von Kupferrohren mit verringertem Durchmesser in der Lieferkette vorantreiben. Auf diese Weise dürfte die Etablierung der MicroGroove-Technik bei allen Arten von Kühle- und Klimaanlage sowie Wärmepumpen vorankommen. ■

→ www.microgroove.net

→ www.mtlcool.com

→ www.optimizedthermalsystems.com

