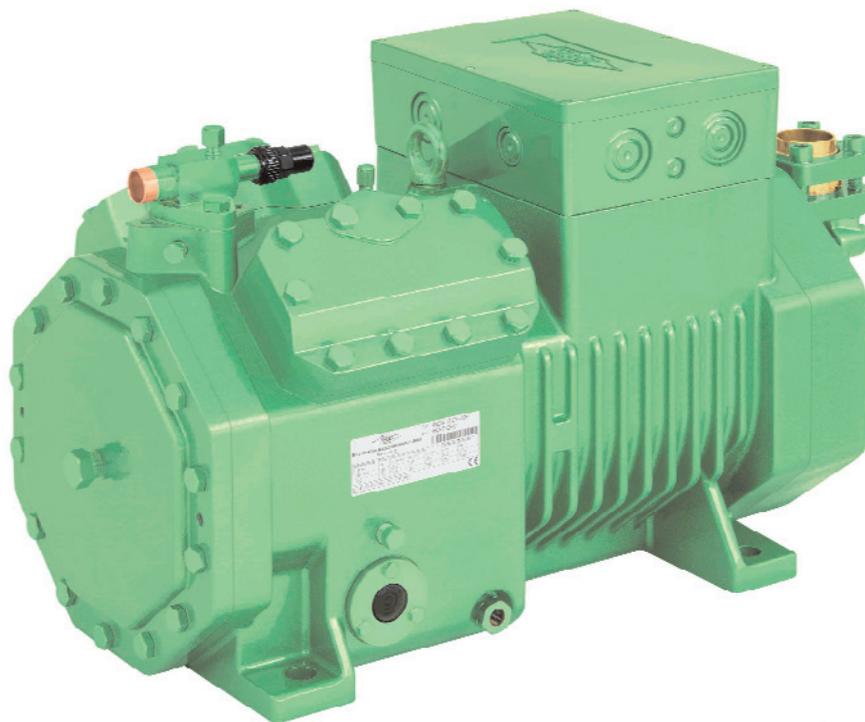


Ein verbessertes Zentrifugal-Schmiersystem für Kältemittelverdichter



An Enhanced
Centrifugal Lubrication System
for Refrigeration Compressors

Ein verbessertes Zentrifugal-Schmiersystem für Kältemittelverdichter

In der Vergangenheit wurden Kältemittelverdichter mit horizontal angeordneter Welle häufig mit Druckumlaufschmierung ausgeführt, insbesondere größere Verdichter ab einer Antriebsleistung von etwa 5 kW. Im Folgenden wird ein weiterentwickeltes Zentrifugal-Schmiersystem vorgestellt, welches sich als außerordentlich leistungsfähig und vorteilhaft erwiesen hat.

1 Grundlagen

Wie bei allen Kolbenmaschinen kommt dem "Maschinenelement Öl" auch in Kälteverdichtern eine Fülle von Aufgaben zu, deren Gewichtung sich allerdings je nach Kältemittel unterscheiden kann:

- Schmierung
 - Kräfte übertragen
 - Oberflächen hinreichend trennen
 - (Reibung minimieren)
- Kühlung
 - bei HFC-Kältemitteln weniger
 - bei NH₃ und CO₂ z.B. mehr
- Reinigung
 - Gleitflächen sauber halten
 - Abrieb entfernen
- Abdichtung
 - verringern von Leckageströmen im Verdichtungsraum
- Dämpfung
 - Geräuschentwicklung und -Übertragung reduzieren

Bei allen berührungsbehafteten Verdichtungsverfahren bzw. Lagerungen kann man davon ausgehen, dass die Verwendung von Ölschmierung gegenüber Trockenlauf die Lebensdauer einer Maschine mindestens verzehnfacht. Bei Kältemittelverdichtern kommt hinzu, dass das Fehlen von Sauerstoff im Kältekreislauf den Verschleiß der Verdichter und die Alterung des Öls signifikant verringert. Bei qualifiziertem Einsatz können hochwertige Verdichter Lebensdauern von über 100.000 Betriebsstunden erreichen.

2 Technik und Funktion

In Bild 1 ist ein halbhermetischer Kältemittelverdichter der Octagon®-Baureihe mit Druckumlaufschmierung dargestellt. Das Öl wird mittels Verdrängerpumpe (hier: Innenzahnradpumpe) aus dem Ölvorrat gefördert und in den Kreislauf gepumpt. Dabei werden über Bohrungen in der Kurbelwelle alle Lagerstellen versorgt.

Die Schmierung der Gleitlager basiert auf dem Prinzip der Hydrodynamik. Dazu ist ja bekanntlich das Angebot von Öl am Lagereintritt ausreichend. Der Druck im Lager wird über die Verlagerungsbahn und Relativgeschwindigkeit proportional zur Belastung aufgebaut. Er liegt dabei etwa 50- bis 150-fach höher als der Vordruck einer üblichen Ölpumpe.

An Enhanced Centrifugal Lubrication System for Refrigeration Compressors

In the past, refrigeration compressors with horizontal shafts were often designed with positive displacement lubrication, especially larger compressors with a rated motor power of 5 kW and up. In the following an enhanced centrifugal lubrication system is presented, which has proven to be highly efficient and advantageous.

1 Basics

In refrigeration compressors, as in all piston machines, several tasks are assigned to the "machine element oil", whereas its weighting varies according to the refrigerant:

- Lubrication
 - transfer of energy
 - sufficiently separate surfaces
 - (minimise friction)
- Cooling
 - less for HFC refrigerants
 - more e.g. for NH₃ and CO₂
- Cleaning
 - keep sliding faces clean
 - dispose abrasion
- Sealing
 - reduce leakage rate in compression chamber
- Damping
 - reduce noise development and transmission

For all contact compression processes and bearings it is assumed that the application of oil lubrication increases the machine's durability at least tenfold, compared to dry operation. In the case of refrigeration compressors it has to be considered that the absence of oxygen within the refrigerant circuit reduces the compressors' wear and ageing of oil significantly. If correctly applied, high-quality compressors may last for more than 100.000 operating hours.

2 Technology

Figure 1 shows a semi-hermetic compressor of the Octagon® series with positive displacement lubrication. The oil is taken from the oil sump by a positive displacement pump (in this case an internal gear pump) and discharged into the circuit. All bearings are supplied by means of bores in the shaft.

The lubrication of the slide bearings is based on the principle of hydrodynamics. As generally known an oil presence at the bearing inlet is sufficient. Pressure in the bearing is generated proportionally to the load by means of an oil film formation through relative speed. The pressure is about 50 to 150 times higher than that of a regular oil pump.

Dieses Prinzip der belastungsäquivalenten Tragfähigkeit finden wir in der Technik bei sehr zuverlässigen Konstruktionen häufig, so zum Beispiel bei der Dichtwirkung am Ventil eines Verbrennungsmotors, welches durch Druck geschlossen wird oder am Kolbenring eines Hubkolbens, der ebenfalls mit einer dem Betriebsdruck proportionalen Kraft abdichtet.

Zurück zum Ölkreislauf: Zur Vermeidung von zu hohen Förderdrücken ist die Ölpumpe hier mit einem Überströmventil ausgestattet. Zur Überwachung des Kreislaufes kann ein Öl(differenz)druckschalter angebaut werden. Übliche Förderdrücke liegen bei 2 bis 4 bar. Der Öldruckschalter hat die Aufgabe, bei Öl-mangel eine zuverlässige Warnung / Abschaltung der Verdichter zu gewährleisten, bevor durch mechanischen Schaden z.B. ein Warenschaden in einem Tiefkühlager verursacht wird.

Zur Vermeidung häufiger Abschaltungen werden die Öldruckschalter mit einer Zeitverzögerung (üblich 90 .. 120 s) versehen, da z.B. beim Start des Verdichters mit gelöstem Kältemittel im Öl die Pumpenförderung durch Dampfblasen im Ansaugkanal zeitweise unterbrochen werden kann. Dieses sehr zuverlässige System ist durch einen gewissen Aufwand gekennzeichnet, der schon früh dazu geführt hat, dass für sehr kleine Verdichter nach einfacheren Alternativen gesucht wurde.

This principle of load equivalent bearing capacity is often found in very reliable constructions, e.g. the valve sealing effect in a combustion engine which is closed through pressure, or the piston ring which also has a pressure-dependent sealing capacity.

Returning to the oil circuit: In order to avoid excessive discharge pressures, the oil pump is equipped with a pressure relief valve. To monitor the circuit, an (differential) oil pressure switch may be installed. Usual discharge pressures vary from 2 to 4 bar. In case of oil shortage, the oil pressure switch ensures that the compressor is shut-off and an alarm output is provided before a mechanical failure leads e.g. to the loss of goods in a cold store.

To avoid frequent tripping, the oil pressure switches feature a time delay function (usually 90 .. 120 seconds) since the compressor start with refrigerant dissolved in the oil, for example, the pump's operation may be temporarily interrupted by vapour bubbles in the suction port. This very reliable system is characterised by a certain complexity which consequently leads to the search for simpler alternatives with smaller compressors.

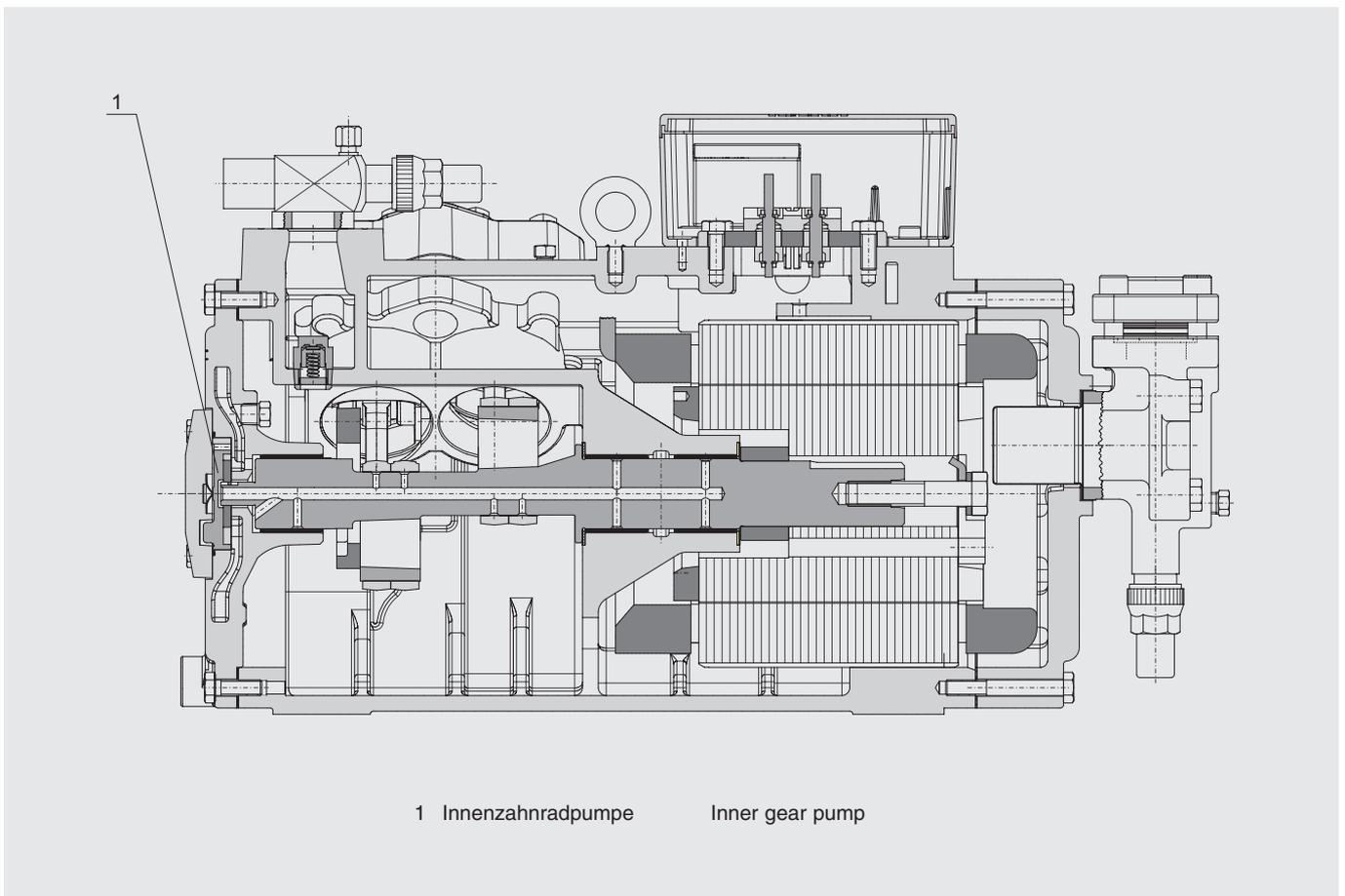


Abb. 1 Octagon Verdichter 4NC-20.2(Y) mit Druckumlaufschmierung

Fig. 1 Octagon compressor 4NC-20.2(Y) with positive displacement lubrication

3 Die weiterentwickelte Zentrifugalschmierung an Octagon®-Verdichtern

Es bestand also die Aufgabe, ein einfaches und gleichzeitig zuverlässiges System zu finden, welches die Anforderungen vollständig oder besser als das oben beschriebene System erfüllt:

- Zuverlässige Versorgung aller Schmierstellen im Verdichter
- Schnelle Ölversorgung beim Start des Verdichters
- Zuverlässiger Austrieb von gelöstem Kältemittel bei Phasenwechsel
- Stabile Funktion bei allen in Kältemaschinen üblichen Betriebsbedingungen
- Schaffung einer Überwachungsmöglichkeit für die Funktion des Ölkreislaufs

Die Lösung präsentiert sich in einem weiterentwickelten Zentrifugal-Schmiersystem wie in Abbildung 2 dargestellt, das sich von einer sonst üblichen Ausführung mit Ölschleuder deutlich unterscheidet.

Das Öl wird mit einer Zentrifuge (1), die hier als speziell geformte Scheibe ausgeführt ist, aus dem Ölvorrat in eine Tasche (2) im Gehäusedeckel gefördert, wo sich das äußere

3 The Enhanced Centrifugal Lubrication for Octagon® Compressors

The challenge was to find a simple and reliable system that completely or even better meets the requirements of the system described above:

- Sufficient supply of all lubricating areas in the compressor
- Immediate oil supply when starting the compressor
- Reliable drive-out of dissolved refrigerant at phase change
- Stable operation at all conditions as usual for refrigeration compressors
- Possibility for monitoring the oil circuit

The solution is an enhanced centrifugal lubrication system as shown in figure 2, which considerably differs from the common oil splasher design.

By means of a centrifuge (1), which in this case is a specifically shaped dynamic disk, the oil is transported out of the oil sump into a pocket (2) at the housing cover where the outer crankshaft main bearing is located. The shaft then has a central entrance port (3) from which the oil is taken

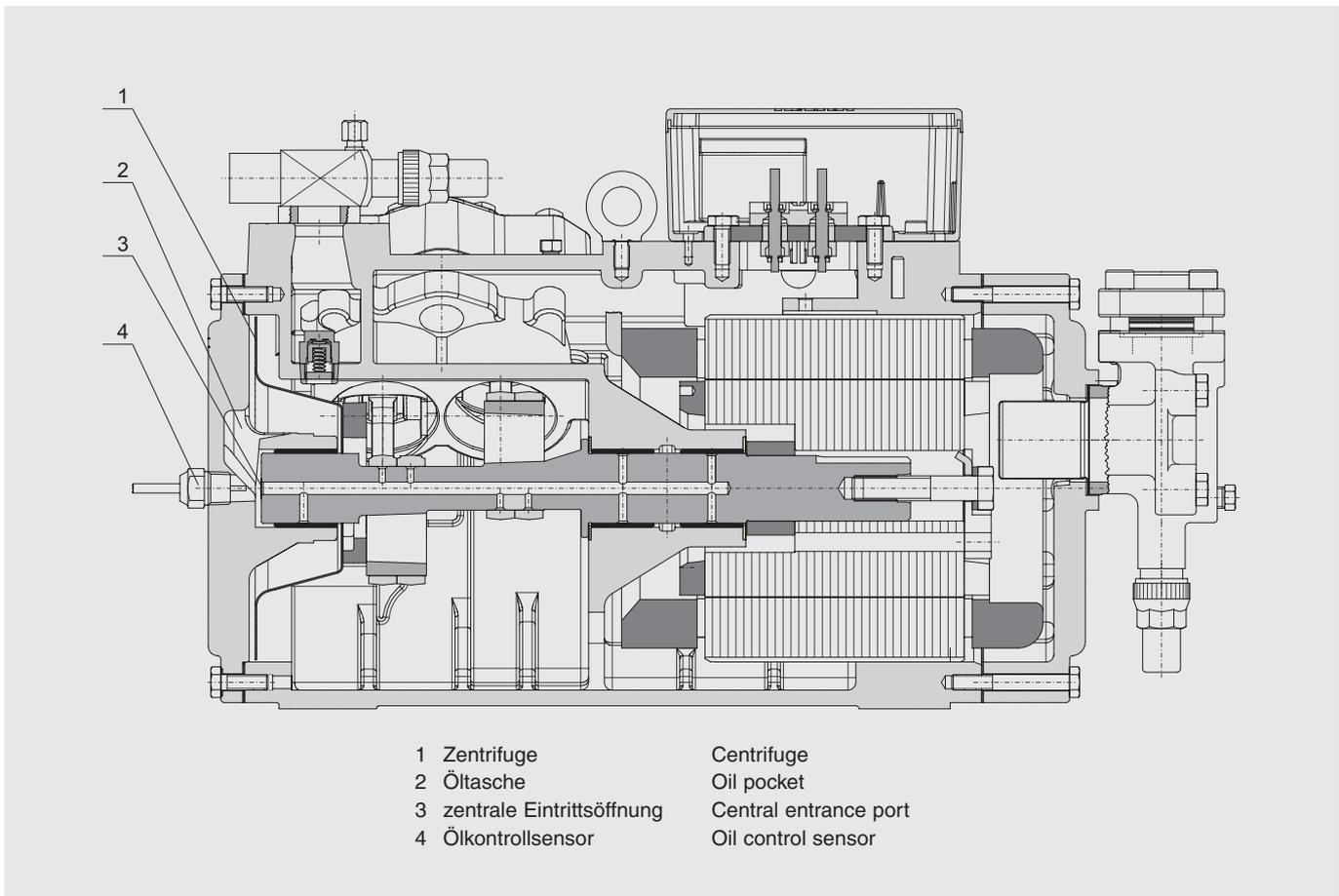


Abb. 2 Octagon®-Verdichter 4NCS-20.2(Y) mit Zentrifugalschmierung

Fig. 2 Octagon® compressor 4NCS-20.2(Y) with centrifugal lubrication

Kurbelwellen-Hauptlager befindet. Die Welle enthält eine zentrale Eintrittsöffnung (3), durch die das Öl aus der Tasche angesaugt und zu den Schmierstellen gefördert wird. Als treibende Kraft wirkt hier die Zentrifugalkraft des Öls in der Welle, welches von der zentralen Bohrung an die radial weiter außen liegenden Schmierstellen gebracht wird. Diese smarte Ölförderung ist mit ihrem geringen, aber stetigem Förderdruck genau dem Bedarf der Gleitlager angepasst, die ihren Öldruck, wie oben beschrieben, unabhängig vom Förderdruck aufbauen. Als großer Vorteil dieses Systems gegenüber einer pumpengeschmierten Variante ist auch der geringere Seitenfluss aus den Lagern zu bemerken, der den Ölwurf der Verdichter spürbar verringert (Abbildung 3).

Ein wesentlicher Vorteil des neuen Systems gegenüber der bereits seit langem verwendeten Schleuderschmierung ist das hochdynamische Ansprechverhalten: Nach dem Start wird der Ölfluss in Sekundenbruchteilen aufgebaut und zuverlässig über den gesamten Betriebsbereich aufrecht erhalten.

Als schwierigere Aufgabe entpuppte sich die Entwicklung einer geeigneten Überwachungsmöglichkeit des Ölkreislaufs. Hierzu wurde ein spezieller Ölkontrollsensor (4) entwickelt, der direkt in die Tasche (2) eingeschraubt werden kann. Kommt es zu einer signifikanten Unterbrechung des Ölflusses, führt dies zum Alarm bzw. zur Abschaltung des Verdichters. Die Herausforderung bestand darin, diese Lösung im geforderten Temperaturbereich von -20°C bis 100°C gleichermaßen zuverlässig zur Funktion zu bringen. Mit dem Erreichen dieses Ziels können die Verdichter ebenso zuverlässig überwacht werden wie die pumpengeschmierten. Die Überwachung vermeidet dabei in erster Linie das Risiko, dass z.B. in Verbundanlagen mit weit verzweigtem Rohrnetz die Ölzirkulation durch abnormale Bedingungen gestört sein könnte und weniger das einer möglichen Störung im Verdichter, der sich mit diesem genial einfachen System als noch zuverlässiger erweist.

in and supplied to the lubricating areas. This is driven by the centrifugal force of the oil in the shaft, which is carried from the central port to the lubricating areas that are radially located further outside. Due to its low but steady feed pressure, this smart oil transportation mechanism is exactly fitted to the demand of the slide bearings which build up their oil pressure independent of the feed pressure. A major advantage of this system over the pump lubricated version is the small side flow out of the bearings, which significantly reduces the compressor's oil carry-over (Fig. 3).

Compared to the commonly used splasher lubrication, the new system is favoured with respect to its highly dynamic responding characteristics: After starting the oil flow is immediately built up and maintained over the entire operating range.

The more difficult task was to develop a suitable monitoring system for the oil circuit. For this a specific oil control sensor (4) has been developed, which is mounted directly into the pocket (2). If the oil flow is interrupted significantly, an alarm output is provided and the compressor is shut off. The application of this system to the required temperature ranges of -20°C to 100°C seemed to be difficult. Having overcome this difficulty the compressor monitoring is as reliable as for the pump lubricated version. The monitoring basically accounts for the risk of an oil circulation failure caused by abnormal conditions that appear in cases of e.g. multiple compressor plants with extended pipe work. Monitoring of the internal lubrication system itself is of a certain minor significance since the compressor has proven to be even more reliable due to this sophisticated system.

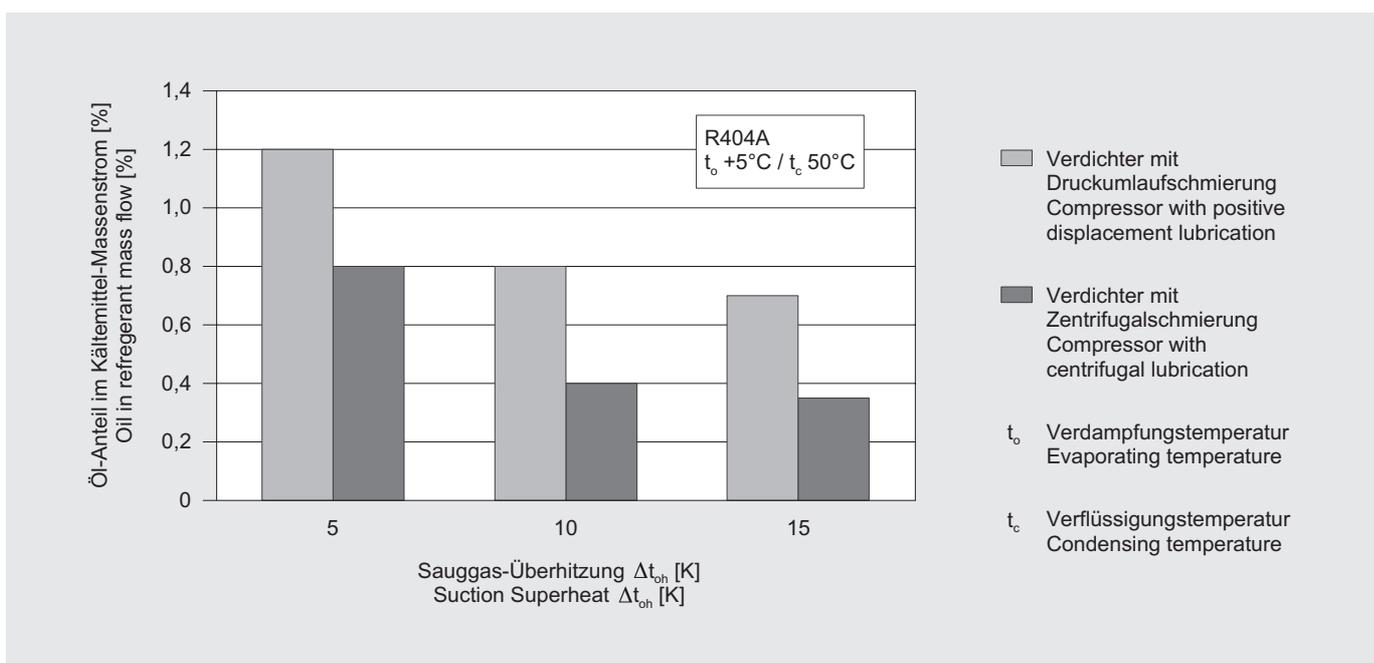


Abb. 3 Ölwurf als Funktion des Ölkreislaufs bei ansonsten gleichen Verdichtern

Fig. 3 Oil carry-over of different lubrication systems with identical compressors

4 Betriebserfahrungen

Das neue System wurde im Jahre 1995 zunächst mit der kleinsten Octagon®-Baureihe realisiert (ohne den Überwachungssensor) und dann stufenweise auf inzwischen 4 neue Baureihen halbhermetischer Verdichter ausgedehnt, die einen Bereich zwischen 0,5 und 20kW Antriebsleistung abdecken.

Die Betriebserfahrungen sind äußerst positiv. Allein im Jahr 2003 wurden über 50.000 solcher Verdichter auf den Markt gebracht. Ausfälle auf Grund des Schmiersystems wurden bisher nicht bekannt. Auch über große Drehzahlbereiche funktioniert dieses System hervorragend und zeichnet sich vor allem durch weniger unnötige Ölförderung in den Verdichtern aus, z.B. bei hohen Drehzahlen. Ganz nebenbei ist der für den Ölkreislauf erforderliche Energieaufwand tendenziell geringer als bei pumpegeschmierten Verdichtern. Auch die Zuverlässigkeit kann durch den Entfall mechanischer Bauteile tendenziell höher eingeschätzt werden.

5 Zusammenfassung

Basierend auf Erfahrungen mit kleineren Verdichtern wurde ein neues Zentrifugal-Schmiersystem entwickelt, welches auf Verdichter großer Leistungen und erweiterte Drehzahlbereiche übertragbar ist. Es zeichnet sich durch folgende Vorteile aus:

- Weniger mechanische Bauteile
- Geringere Ölwurfraten
- Geringerer Energiebedarf
- Bessere Anpassung an variable Drehzahlen
- Schnelleres Ansprechverhalten bei Start mit Kältemittel im Öl

Der einzige Nachteil war bisher das Fehlen einer direkten Überwachungsmöglichkeit des Ölkreislaufs im Verdichter, wichtig für größere Anlagen. Nachdem dies mit dem Ölsensor nun überwunden ist, steht einer Verwendung in leistungsstärkeren Verdichtern nichts mehr im Wege.

4 Operational Experiences

In 1995 the new system was first carried out for the smallest Octagon® series (without the monitoring sensor), and then progressively implemented into 4 new series of semi-hermetic compressors, which cover a range between 0.5 and 20 kW rated motor power.

The operational experiences are extremely positive. In 2003 more than 50.000 such compressors were brought to market. No failures caused by the lubricating system have been reported. The system also works extremely well over wide speed ranges, and it is especially characterised by less unnecessary oil pumping rates within the compressors, e.g. at high speed. Besides that the energy requirement for the oil circuit tends to be lower than that of the pump lubricated version. Moreover, with respect to the fact that fewer mechanical components are used, the operational reliability can be considered superior as well.

5 Summary

Based on experiences with smaller compressors a new centrifugal lubrication system has been developed which can be applied to compressors with higher capacities and extended speed ranges. It features the following advantages:

- Fewer mechanical components
- Lower oil carry-over
- Lower energy requirement
- Easier adaptation to variable speeds
- Faster responding characteristics during start with refrigerant dissolved in the oil

Up to now the only disadvantage was that there was no possibility for direct monitoring of the oil circuit in the compressor, important with large systems. This difficulty, however, has been overcome by the oil flow sensor and the use in larger compressors is now possible.



Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH
Eschenbrunnlestr. 15
71065 Sindelfingen (Germany)
Tel. +49(0) 7031-932-0
Fax +49(0) 7031-932-146 & -147
bitzer@bitzer.de • <http://www.bitzer.de>