

Elastokalorische Systeme

Effizient kühlen und heizen ohne schädliche Kältemittel

Langzeitstabil und effizient: Ein am Fraunhofer IPM entwickeltes elastokalorisches System lief über 10⁷ Zyklen und erreichte eine spezifische Kühlleistung von 6,27 W pro Gramm des eingesetzten Materials.

Heute am Markt erhältliche Kühlsysteme basieren fast ausschließlich auf Kompressoren. Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien gelten als vielversprechende Alternative zur Kompressortechnologie. Am Fraunhofer IPM entwickelte elastokalorische Kühlsysteme zeigen eine bislang unerreichte Langzeitstabilität sowie eine hohe spezifische Kühlleistung.

Kompakt, leise und wartungsarm

Kompressorbasierte Systeme werden seit mehr als hundert Jahren zur Kühlung und Klimatisierung genutzt, haben jedoch einige Nachteile: Kompressoren arbeiten mit Kältemitteln, die umwelt- oder gesundheitsschädlich, mitunter sogar brennbar oder explosiv sind. Die EU schränkt die Verwendung dieser schädlichen Kältemittel daher immer stärker ein. Innovative Kühlkonzepte sind also für viele Anwendungsbereiche dringend gefragt. Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien könnten sich zu einer umweltfreundlichen Alternative im weltweit stetig wachsenden Markt der Kältetechnik entwickeln. Fraunhofer IPM entwickelt elastokalorische Kühlsysteme. Ein neuartiges Konzept zum Wärmeübertrag trägt dabei entscheidend zur Effizienz und Leistungsdichte bei.

Prinzip des elastokalorischen Kühlkreislaufs

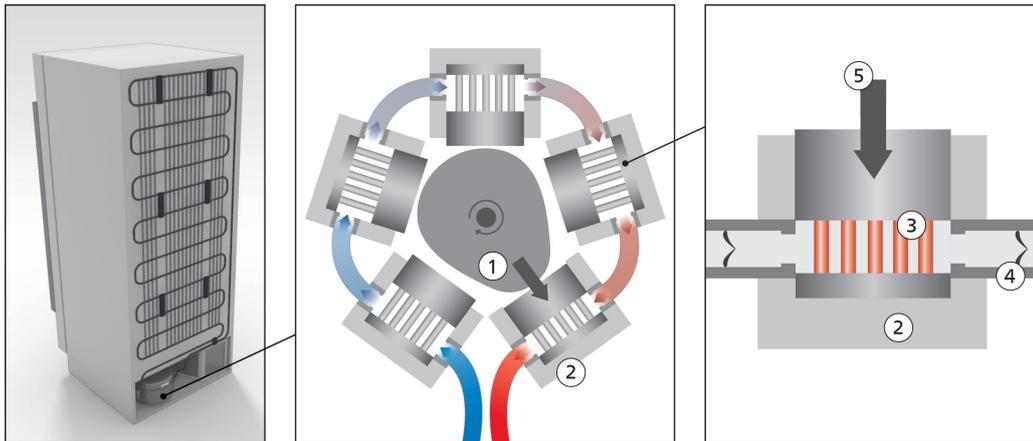
Elastokalorische Kühlsysteme nutzen den Formgedächtniseffekt bestimmter Metalle, um durch eine Kräfteinwirkung eine reversible Temperaturänderung zu induzieren. Bei elastokalorischen (EK)-Materialien verursacht mechanischer Druck eine kristalline Phasenumwandlung. Dabei erwärmt sich das Material von der

Ausgangstemperatur T_0 auf $T_0 + \Delta T$. Über eine Wärmesenke wird die entstandene Wärme abgeführt und die Temperatur des Materials fällt auf die Ausgangstemperatur T_0 zurück. Beim Entfernen der mechanischen Spannung kühlt das Material auf eine Temperatur unterhalb des Ausgangsniveaus ($T_0 - \Delta T$) ab. Verbindet man das Material nun mit einer zu kühlenden Stelle, so kann es Wärme aufnehmen, bis die Ausgangstemperatur wieder erreicht ist. Durch zyklische Be- und Entlastung des Materials und entsprechende Wärmeabfuhr lässt sich ein Kühlkreislauf realisieren. Formgedächtnislegierungen wie etwa die kommerziell verfügbare Nickel-Titan-Legierung Nitinol zählen zu den Materialien mit einem ausgeprägten elastokalorischen Effekt, der einen großen Temperaturhub ermöglicht.

In einem Versuchsaufbau erzielte ein Team am Fraunhofer IPM bei Anlegen eines Drucks von 750 MPa an Nitinol-Stäbe eine Temperaturdifferenz von 15 K.

Passiver Wärmeübertrag erhöht Effizienz

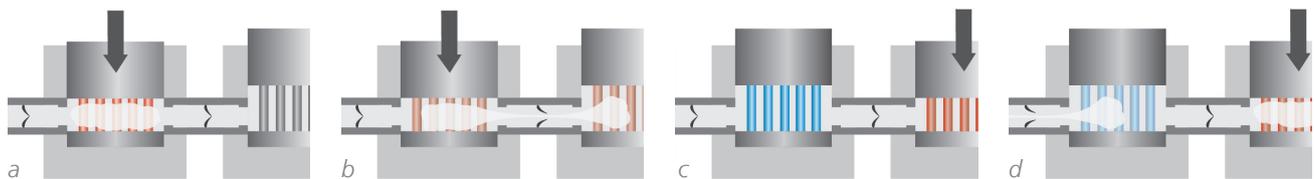
Entscheidend für die Gesamteffizienz eines elastokalorischen Kühlsystems ist der Wärmeübertrag zwischen EK-Material und Wärmeübertragereinheit. Gängige Konzepte realisieren diesen



Aufbau des EK-Systems
 Links: Eine elastokalorische (EK) Kühleinheit ersetzt den Kompressor im Kühlschrank.
 Mitte: EK-Kühleinheit bestehend aus Drucksystem (1) und EK-Segmenten (2)
 Rechts: EK-Segment (2) bestehend aus EK-Wärmeübertragereinheit (3), Überdruckventil (4) und Kraftaufnahme (5)

durch aktives Pumpen eines Fluids, was die Zyklusfrequenz des Systems auf wenige Hertz limitiert. Fraunhofer IPM setzt daher auf ein passives Konzept zum Wärmeübertrag, das bereits in Heatpipes oder Thermosiphons genutzt wird. Der Wärmeübertrag wird dabei über Verdampfen und Kondensieren eines Fluids, z. B. Wasser oder Ethanol, realisiert. Das Fluid befindet sich in einem hermetisch abgeschlossenen, von allen Fremdgasen befreiten Rohr und liegt sowohl in flüssiger als auch in gasförmiger Form vor. Der Wärmeübergangskoeffizient beim Verdampfen erreicht Werte bis $100 \text{ kW} / (\text{m}^2 \text{K})$ und ist somit um Größenordnungen höher als bei klassischen Systemen.

Für den Aufbau eines Kühlsystems werden einzelne elastokalorische Segmente in Reihe geschaltet und als thermische Dioden konzipiert, sodass Wärme segmentweise in eine Richtung transportiert und jeweils eine Seite des Segments gekühlt und die andere erwärmt wird. Der Wärmetransport von einem Segment zum nächsten erfolgt innerhalb von Millisekunden, sodass das System mit einer Frequenz von über 10 Hz betrieben werden kann. Die patentierte Kombination von latentem Wärmeübertrag und thermischer Diode in einer elastokalorischen Wärmepumpe ermöglicht eine hohe Pumpleistung und eine hohe Effizienz des Gesamtsystems.



Funktionsweise eines elastokalorischen Segments
 (a) Das Material wird komprimiert und erwärmt sich, die vorhandene Flüssigkeit verdampft.
 (b) Der Dampfdruck im Segment steigt, das Ventil nach rechts öffnet sich, das gasförmige Fluid entweicht und überträgt latente Wärme ins nächste Segment.
 (c) Die externe Kraft wird entfernt, das EK-Material kühlt ab.
 (d) Der Dampfdruck sinkt, es entsteht ein Unterdruck gegenüber dem vorangehenden Segment. Gasförmiges Fluid strömt nach, Wärme wird aus dem vorangehenden Segment aufgenommen.

Kontakt

Dr. Kilian Bartholomé
 Gruppenleiter Kalorische Systeme
 Telefon +49 761 8857-238
 kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM
 Georges-Köhler-Allee 301
 79110 Freiburg
 www.ipm.fraunhofer.de

