



We are Nitinol.™

www.nitinol.com

47533 Westinghouse Drive Fremont, California 94539 t 510.683.2000 f 510.683.2001

Rohrverbindungssysteme aus Formgedächtnis-Legierungen

Wird das Formgedächtnis bei Shape-Memory-Legierungen daran gehindert, vom verformten Martensitgefüge in die Austenit-Struktur zurückzukehren, können diese Stoffe erhebliche Kräfte entwickeln. Dieser Effekt wird für Verbindungs- und Befestigungselemente ausgenutzt. Die bisher wohl berühmteste Anwendung dieses Effekts sind Rohrverbindungselemente für Hydraulikleitungen im Flugzeugbau. Die Entwicklung von NiTi-Legierungen mit erweiterter Hysterese berechtigt zu der Erwartung, daß diese Werkstoffe weitere Anwendungsmöglichkeiten finden werden.

If shape memory alloys are prevented from returning from deformed martensite textures to the austenite structure, these materials can develop considerable forces. This effect is utilised for unions and for fixing systems. Probably the best known application of this effect are unions for hydraulic systems in avionics. The development of NiTi alloys with extended hysteresis justifies expectations that these materials will also find other applications.

Wird eine Formgedächtnislegierung (Shape-Memory-Legierung) unterhalb einer bestimmten kritischen Temperatur plastisch verformt, so kann sie bei Tempe-

raturerhöhung wieder in ihre Ausgangsgestalt zurückkehren. Dieses Formgedächtnis ist das Ergebnis einer Phasenumwandlung, die im allgemeinen als reversible, thermoelastische, martensitische Umwandlung bezeichnet wird [1]. Die Gestaltsänderung findet bei einer durch die Legierungszusammensetzung vorbestimmbaren Umwandlungstemperatur statt, wobei die Umwandlung Austenit → Martensit und die Rückumwandlung Martensit → Austenit bei unterschiedlichen Temperaturen ablaufen, also eine Hysterese durchlaufen wird. Die wichtigsten Shape-Memory-Legierungen sind die Nickel-Titan-Legierungen, die auch unter den Namen „Nitinol“ oder „Tinel“ bekannt sind.

NiTi-Legierungen zeigen sowohl einen ausgeprägten Formgedächtniseffekt als auch extrem unterschiedliche Festigkeitseigenschaften in der Hochtemperaturphase (Austenit) und der Niedertemperaturphase (Martensit). Während der Martensit schon bei niedrigen Spannungen verformt werden kann, ist die Festigkeit des Austenits mit der rostfreier Stähle vergleichbar. Diese Tatsache macht man sich bei der Verwendung von Nickel-Titan-Formgedächtnislegierungen für Verbindungs- und Befestigungselemente zunutze. Wird nämlich z. B. ein im martensitischen Zustand aufgeweiteter Ring aus Nickel-Titan daran gehindert, bei Erwärmung über die Umwandlungstemperatur in seine ursprüngliche Gestalt zurückzukehren, so



Abb. 1. Ein Rohrverbindungselement wird zur Montage aus dem Kältebad herausgenommen (Flüssigstickstoff).

baut er anstelle der Gestaltsänderung eine erhebliche Kraft auf.

Rohrverbindungssysteme

Eine der ältesten und bisher erfolgreichsten Anwendungen des Shape-Memory-Effektes sind Rohrverbinder. Im einfachsten Fall besteht ein Rohrverbinder aus



Abb. 2 (a bis c). Phasen der Montage eines Rohrverbindungselements.

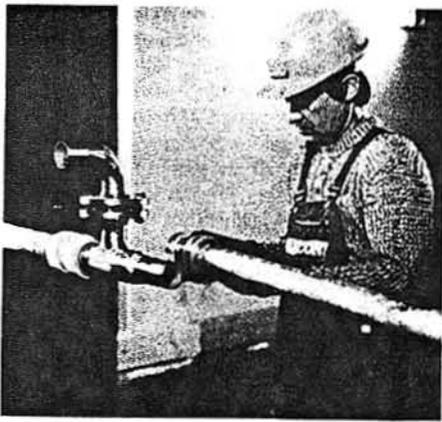


Abb. 3. Zwei Rohrenden werden miteinander durch eine Formgedächtnislegierung dauerhaft verbunden.

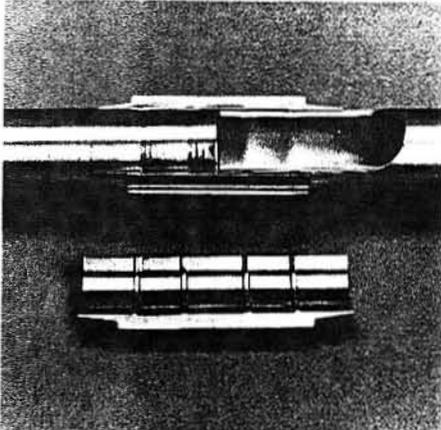


Abb. 4. Aufgeschnittene Rohrverbindung mit einer Shape-Memory-Legierung. Die hervorragende Dichtwirkung dieser Systeme kommt vor allem durch die Dichtlippen auf der Innenoberfläche der Elemente zustande.

einem Hohlzylinder aus einer NiTi-Legierung, dessen Innendurchmesser im Arbeitstemperaturbereich kleiner als der Außendurchmesser der zu verbindenden Rohre ist. Da die Legierung nur im austenitischen Zustand die hohe Haltekraft aufweist, muß ihre Zusammensetzung so gewählt werden, daß die Legierung im Anwendungstemperaturbereich austenitisch ist. Bei Verwendung sog. cryogener Legierungen (mit Umwandlungstemperaturen um $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$) wird der Zylinder in flüssigem Stickstoff so weit mechanisch aufgeweitet, bis der Innendurchmesser größer ist als der Rohrdurchmesser. Das aufgeweitete Verbindungselement wird in flüssigem Stickstoff gelagert und transportiert (Abb. 1). Zur Montage wird das Element dem Kühlbehälter entnommen und über die Rohrenden geschoben (Abb. 2 und 3). Bei Erwärmung auf Raumtemperatur schrumpft das Element auf die Rohrenden und verbindet diese druck- und vakuumdicht (Abb. 4).

Die Lagerung und vor allem der Transport gedehnter Verbindungselemente ist für kommerzielle Anwendungen zu umständlich und zu teuer. Um diesen Nachteil zu umgehen, wurden Legierungen entwickelt, die zwar bei tiefer Temperatur gedehnt werden müssen, dann aber bei

Raumtemperatur gelagert und transportiert werden können. Die Umwandlung von Martensit in Austenit, und damit in die hochfeste Phase, findet bei Temperaturen um $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ statt. Zur Montage werden Elemente aus solchen Legierungen entweder elektrisch oder durch Heißluft erwärmt. Die wesentliche Eigenschaft dieser neuen Legierungen ist nun, daß der hochfeste Zustand erhalten bleibt, auch wenn die Elemente auf tiefe Temperaturen abgekühlt werden (bis $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Damit ist ein Durchbruch erzielt worden, der dieser Technologie weite Verbreitung ermöglicht.

Anwendungsbeispiele

Rohrverbindungen mit cryogenen Shape-Memory-Legierungen sind überall dort interessant, wo beengte Platzverhältnisse herrschen oder aber aus Sicherheitsgründen keine Schweiß- oder Lötarbeiten ausgeführt werden können. In Anlagen der chemischen Industrie kennt man solche Stellen. Da ist man froh, wenn man Rohrverbindungen beinahe ohne Beeinträchtigung des Produktionsablaufs durchführen kann.

Hat man es mit Rohrleitungen zu tun, in denen aggressive oder korrosive Flüssigkeiten gefördert werden sollen, wird man zu Hybridverbindungselementen greifen. Sie bestehen aus einem dünnwandigen Zylinder aus rostfreiem Stahl, CuNi-Legierung oder etwas Ähnlichem, dessen Innenoberfläche die Dichtlippen aufweist und der in das aufgeweitete Shape-Memory-Element (Treiber) eingepaßt wird. Zur Gewichtseinsparung und auch zur Einsparung der teuren Shape-Memory-Legierung können in diesem Fall auch Ringe aus der Formgedächtnislegierung verwendet werden, die nur die Enden des eingelegten CuNi-Zylinders verformen. Abb. 5 zeigt eine solche Ring/Liner-Kombination.

Es gibt heute Rohrverbindungssysteme für Drücke bis 550 bar (= 8000 psi). Sie konkurrieren mit geschweißten, thermisch geschrumpften, gelöteten und geklebten Verbindungen. Es gibt wichtige Gründe, die für den Einsatz dieser Verbindungstechnik sprechen:

- einfache Montagetechnik, keine aufwendigen Werkzeuge,

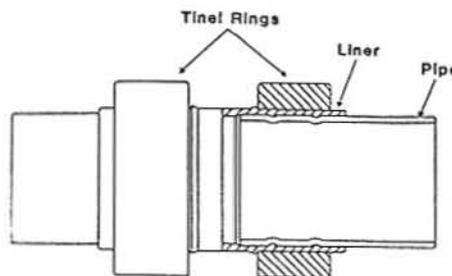


Abb. 5. Hybrid-Rohrverbindungssystem (Ring/Liner-Kombination).

- kein speziell geschultes Personal erforderlich,
- extrem kurze Montagezeiten,
- Röntgeninspektion kann entfallen,
- Verbindung auch artfremder Werkstoffe möglich (z. B. Metall und Keramik),
- größere zulässige Montagetoleranzen (gegenüber dem thermischen Schrumpfen),
- keine Wärmeeinwirkung (bei Verwendung cryogener Legierungen),
- Installation auch bei engen Platzverhältnissen möglich,
- keine Nachreinigung erforderlich.

Befestigungs- und Dichtelemente

Wegen der großen erzielbaren Formänderung eignen sich Shape-Memory-Elemente in vielen Formen hervorragend als Mittel zum Befestigen und zum Abdichten. Dies gilt vor allem für Elemente aus Legierungen mit erweiterter Hysterese. Radial schrumpfende Befestigungselemente können aus geschweißten Bändern oder Rohrabstücken hergestellt werden, wenn größere Auflageflächen erforderlich sind.

Kunststoffrohr

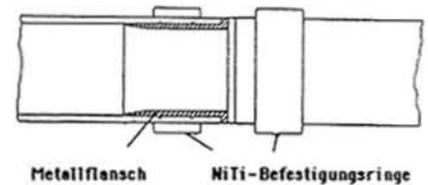


Abb. 6. Verbindung von Kunststoffrohren mit Metallflanschen.

Derartige Ringe werden z. B. für die Verbindung von Rohren aus GFK mit Metallflanschen usw. verwendet (Abb. 6).

Beim Zusammenbau von piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern gab es bei der Verwendung rein thermisch schrumpfender Hülsen erhebliche Probleme, weil sich die Toleranzen der Einzelteile addierten. Wenn man eine Hülse aus NiTi verwendet, werden die Einzelteile des Sensors mit gleichmäßigem Druck zusammengehalten.

Bei den bisher besprochenen Elementen wurde eine Durchmessererringerung als Formgedächtniseffekt benutzt. Es können aber auch andere Veränderungen wie Biegung, Verlängerung, Verkürzung, Durchmesservergrößerung usw. zu allerlei Zwecken eingesetzt werden. So können hantelförmige Spannelemente für die Verbindung ebener Bauteile herangezogen werden. Die vorgedehnten Elemente werden in formgefräste Schlitze eingelegt. Bei Erwärmung verkürzen sich die Hanteln und verbinden damit die Bauteile.