



We are Nitinol.™

Mechanische Bauelemente mit Erinnerungsvermoege

Tautzenberger, Stoeckel

Elektronik Produktion & Prueftechnik

Dezember

pp. 787-788

1983

Mechanische Bauelemente mit Erinnerungsvermögen

Wird eine sogenannte Formgedächtnis- oder Memory-Legierung bei tiefer Temperatur bleibend verformt, so „erinnert“ sie sich bei Erwärmung über eine kritische Temperatur an ihre ursprüngliche Form und nimmt diese wieder ein. Dieser außergewöhnliche Effekt beruht auf einer Phasenumwandlung, d.h. der Werkstoff hat zwei mögliche Kristallstrukturen. Die bei tiefer Temperatur vorliegende Phase heißt Martensit, die Hochtemperaturphase hingegen wird als Austenit bezeichnet. Beim Erwärmen des verformten Martensitgefüges einer Memory-Legierung treten nur die ursprünglichen Orientierungen des Austenitgitters auf, wodurch zwangsläufig eine Gestaltsrückkehr erfolgt. In Abhängigkeit von der Größe der Martensitverformung können unterschiedliche Effektgrößen und -arten (Einweg- bzw. Zweiwegeffekt) induziert werden.

Als erste technisch anwendbare Memory-Legierung wurde Nickel-Titan mit annähernd stöchiometrischer Zusammensetzung vor rund zwei Jahrzehnten in den USA entwickelt. Diese Legierung zeichnet sich durch einen großen Memory-Effekt sowie eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit aus. Seit einigen Jahren sind auch die wesentlich billigeren Kupferbasislegierungen Cu-Zn-Al verfügbar, die jedoch einen geringeren Effekt und eine schlechtere Korrosionsbeständigkeit zeigen. Vor etwa zwei Jahren wurden die Kupferbasislegierungen Cu-Al-Ni entwickelt, mit denen erhöhte Umwandlungstemperaturen erreichbar sind. Mit der Entwicklung und Anwendung von Memory-Legierungen befassen sich inzwischen verschiedene Firmen und Forschungsinstitute, deren Tätigkeit sich im wesentlichen jeweils auf eine Legierungsgruppe beschränkt. Dagegen beschäftigt sich die Firma G. Rau in Pforzheim seit etwa zwei Jahren sowohl mit Nickel-Titan als auch mit den Kupferbasislegierungen Cu-Zn-Al und Cu-Al-Ni.

Einweg- und Zweiweg-Gedächtniseffekt

Wird ein gerader Draht aus einer Memory-Legierung im martensitischen Zustand (a) entsprechend Bild 1 im Bereich unterhalb eines kritischen Verformungsgrades bleibend gebogen (b), so findet lediglich reversible Martensitverformung (z.B. durch Gitter-Scherprozesse) statt. Bei Erwärmung des Drahtes erfolgt eine Umwandlung in die Austenitphase, mit der die Einstellung der ursprünglichen Probenform einhergeht (c). Wesentlich ist hierbei, daß eine anschließende Abkühlung keine wei-

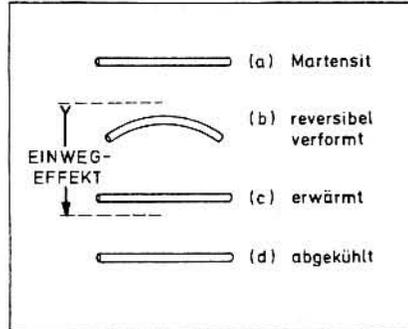


Bild 1 Schematische Darstellung des Einwegeffektes

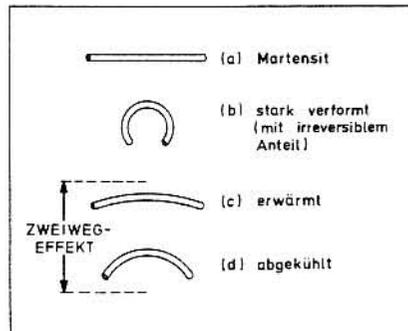


Bild 2 Schematische Darstellung des Zweiwegeffektes

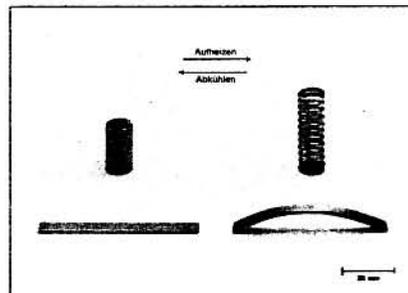
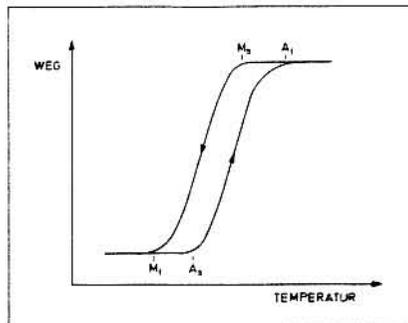


Bild 3 Druckfeder und Biegestreifen mit Zweiwegeffekt aus einer Cu-Zn-Al-Legierung
 $A_s \approx 65^\circ\text{C}$ $A_f \approx 80^\circ\text{C}$
 $M_s \approx 65^\circ\text{C}$ $M_f \approx 50^\circ\text{C}$
 (Erläuterung der Umwandlungstemperaturen siehe Bild 4)

Bild 4 Temperatur-Weg-Kennlinie eines Elementes mit Zweiwegeffekt
 A_s und A_f : Temperatur, bei der die Formänderung beim Erwärmen beginnt bzw. beendet ist
 M_s und M_f : Temperatur, bei der die Formänderung beim Abkühlen beginnt bzw. beendet ist



tere Formänderung bewirkt (d). Daher wird der in Bild 1 dargestellte Vorgang *Einwegeffekt* genannt.

Beim Erwärmen eines Elementes mit Einwegeffekt erfolgt zunächst keine Bewegung. Erst beim Erreichen der sogenannten A_s -Temperatur beginnt die Formänderung, wobei die gesamte Effektentfaltung in einem kleinen Temperaturbereich, z.B. 10 bis 20 K, erfolgt. Die A_s -Temperatur kann je nach Legierungssystem zwischen etwa -150 und $+150^\circ\text{C}$ liegen. Innerhalb dieses Bereiches können beliebige A_s -Werte durch die Legierungszusammensetzung gezielt eingestellt werden.

Unterwirft man einen geraden Draht im martensitischen Zustand (a), wie in Bild 2 dargestellt, einer *starken* Biegeverformung (b), so tritt neben reversibler Martensitverformung auch irreversible plastische Verformung durch Versetzungsbewegung auf. Dies führt dazu, daß bei der Durchführung von Temperaturzyklen jeweils die Formen (c) und (d) eingenommen werden, d.h. die Probe erinnert sich sowohl an eine Hochtemperatur- als auch an eine Niedertemperaturform. Diese Erscheinung wird als *Zweiwegeffekt* bezeichnet und bleibt über hohe Zyklenzahlen erhalten.

Zwei Beispiele für Elemente mit Zweiwegeffekt sind in Bild 3 zu sehen. Die Temperatur-Weg-Kennlinie eines Elementes mit Zweiwegeffekt ist schematisch in Bild 4 dargestellt. Ähnlich wie beim Einwegeffekt beginnt auch hier die Formänderung bei Erwärmung erst bei der sogenannten A_s -Temperatur. Bei weiterem Erwärmen erfolgt dann die gesamte Formänderung in einem kleinen Temperaturintervall (z.B. 10 bis 20 K). Die Temperatur-Weg-Abhängigkeit hat eine Hysterese, deren Größe durch geeignete Maßnahmen beeinflusst werden kann. Die wichtigsten Daten für die technisch anwendbaren Legierungsgruppen sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die aufgeführten Eigenschaften hängen von verschiedenen Einflußgrößen ab und wurden daher durch Wertespannen oder Maximalwerte angegeben.

Memotal-Elemente

Memotal-Elemente von G. Rau sind neue Bauteile mit temperaturabhängigem Formänderungsvermögen aus Memory-Legierungen. Sie können den Einweg- oder Zweiwegeffekt aufweisen und zeichnen sich durch folgende Besonderheiten aus:

- große Arbeitsleistung pro Volumeneinheit,
- vollständige Arbeitsverrichtung in einem kleinen Temperaturintervall,
- Möglichkeit zum Durchführen verschiedener Bewegungsarten (Zug, Druck, Biegung, Torsion).

○ Der Formänderungseffekt kann auf bestimmte Elementbereiche beschränkt werden.

Beispiele für einige Ausführungsformen solcher Elemente sind in **Bild 5** zu sehen. Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften lassen sie sich in zahlreichen Fällen für Meß-, Regel- und Anzeigzwecke in der Elektrotechnik und Elektronik, in der Wärme- und Installationstechnik, im Maschinen- und Apparatebau sowie im Automobilbau einsetzen.

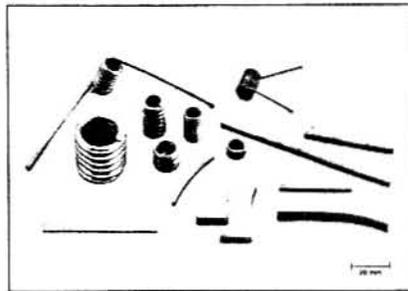


Bild 6 Temperatur-Indikator mit Memory-Druckfeder für Elektrolysezellen

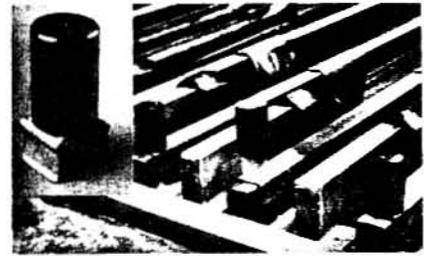


Bild 5 Beispiele möglicher Ausführungsformen von Memotal-Elementen

Anwendungen

Die ersten Anwendungen von Memory-Bauteilen beruhten auf dem Einwegeffekt. Hierzu zählen beispielsweise Verbindungselemente wie Schrumpfringe und Klammern. In den letzten Jahren sind zahlreiche weitere Anwendungsfälle bekannt geworden, bei denen vorwiegend Elemente mit Zweivegeffekt verwendet werden: Stellelemente für Treibhausfenster, Theroschalter für die Elektrotechnik, Thermo-Warngeräte, Thermostatventile für Heizungen, Lüfterkupplungen für Motoren, Drosselvorrichtungen für Einspritzpumpen, Antriebselemente für Schreibfedern in Schreibern und Kontrollgeräten u. a.

Nachfolgend werden einige Einsatzmöglichkeiten von Memory-Elementen näher erläutert. In **Bild 6** ist ein Temperaturindikator zu sehen, der Kurzschlüsse bei der Metallelektrolyse anzeigt. Auf der Kathode ist eine hellgefärbte Messinghülse befestigt, in der sich eine Memory-Druckfeder mit Zweivegeffekt befindet. Bei Normalbetrieb wird die Messinghülse von einer Plastikabdeckung abgedeckt. Sobald ein Kurzschluß auftritt, dehnt sich die Memory-Feder infolge Temperatureinwirkung aus und hebt die Plastikabdeckung, so daß die hellgefärbte Messinghülse von weitem zu sehen ist und den Kurzschluß anzeigt.

In **Bild 7** ist eine Entlüftungsklappe dargestellt, bei der als thermische Steuerelemente Memory-Biegestreifen mit Zweivegeffekt eingebaut sind. Beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur ändern die Memory-Streifen ihre Form und öffnen die Klappe, bei sinkender Temperatur hingegen wird sie wieder geschlossen.

In **Bild 8** sind Beispiele für Thermoventile zu sehen, die die Zufuhr brennbarer Fluida (z. B. Gas) bei Erreichen einer kritischen Umgebungstemperatur unterbrechen. Dies geschieht durch eine Memory-Druckfeder mit Zweivegeffekt, die bei einer bestimmten Temperatur eine Stahlkugel durch einen Federring aus Stahl schiebt und somit das Ventil schließt. Eine selbsttätige Rückstellung der Kugel wird durch den Federring verhindert. Zum Öffnen des Ventiles kann die Kugel bei Normaltemperatur mit Hilfe eines Stiftes manuell in ihre ursprüngliche Lage geschoben werden.

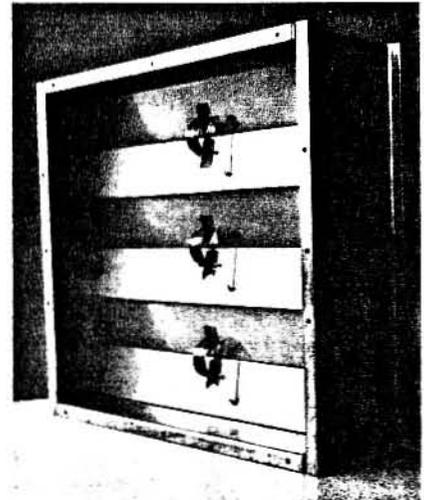
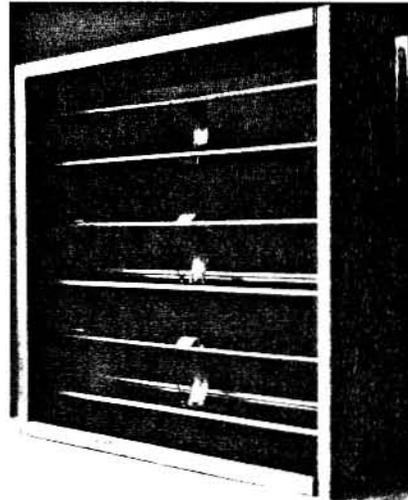


Bild 7 Entlüftungsklappe mit Memory-Biegestreifen, links geöffnet, rechts geschlossen

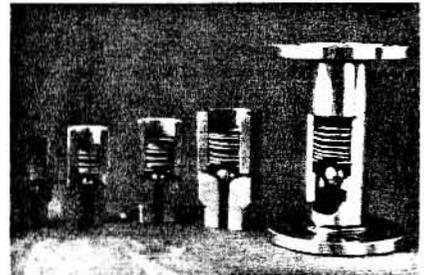
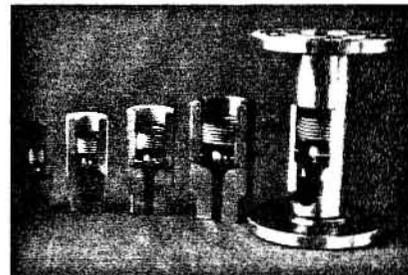


Bild 8 Thermo-Ventile mit Memory-Druckfedern; links geöffnet, rechts geschlossen

Bilder 3 und 5: Werkfotos G. Rau, Pforzheim; Bilder 6, 7 und 8: Werkfotos Proteus, Belgien.

	NiTi	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni
Dichte (g/cm ³)	6,4...6,5	7,8...8,0	7,1...7,2
Elektrische Leitfähigkeit (10 ⁶ $\frac{S}{m}$)	1...1,5	8...13	7...9
Zugfestigkeit (N/mm ²)	800...1000	400...700	700...800
Bruchdehnung (%)	40...50	10...15	5...6
Maximale A _s -Temperatur (°C)	120	120	170
Maximaler Einwegeffekt (%)	8	4	5
Maximaler Zweivegeffekt (%)	5	1*	1,2
Überhitzbarkeit bis (°C)	400	160	300

* 1% bedeutet bei einem einseitig eingespannten Biegeelement mit einer Dicke von 1 mm und einer freien Länge von 50 mm eine Ausbiegung von annähernd 25 mm am freien Ende.

Die Autoren dieses Beitrags: Dr. rer. nat. Dieter Stöckel ist Leiter, Dr. rer. nat. Peter Tautzenberger Mitarbeiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Firma G. Rau GmbH & Co., Pforzheim. Weitere Informationen über die beschriebenen Werkstoffe erhalten Sie durch Eintragen der Kennziffer in die Leserdienstkarte

▶ RAU

Kennziffer EPP 193

▲ Tabelle 1 Eigenschaften technisch anwendbarer Memory-Legierungen