Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 97 (1979)
Heft: 40

Artikel: Legierungen mit Erinnerungsvermögen
Autor: Melton, K.N. / Mercier, O.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85551

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Legierungen mit Erinnerungsvermögen

Von K. N. Melton und O. Mercier, Dättwil/Baden

In neuerer Zeit sind Legierungen bekannt geworden, welche die aussergewöhnliche Eigenschaft aufweisen, über ein *Formerinnerungsvermögen* zu verfügen - sogenannte *Formgedächtnislegierungen*. Nimmt man z. B. einen geraden Draht aus einer solchen Gedächtnislegierung und verbiegt ihn, so wird er beim Aufheizen wieder gerade. Diesen merkwürdigen Vorgang bezeichnet man als den *Einweg-Formgedächtniseffekt:* Einweg, weil eine Formänderung nur beim Aufheizen eintritt, beim Abkühlen bleibt der Draht gerade, und Formgedächtnis, weil die Legierung sich an ihre ursprüngliche Form erinnert und beim Aufheizen zu ihr zurückkehrt. Die Bewegung beim Aufheizen kann gegen eine Kraft stattfinden, d. h. es wird Arbeit geleistet. Der Gedächtniseffekt ist seit mehr als 20 Jahren bekannt, aber erst im Jahre 1962, als er in einer *Nickel-Titan-Legierung* beobachtet wurde, war eine Gedächtnislegierung mit technologisch interessanten Eigenschaften verfügbar.

Durch weitere Forschungsarbeiten wurden kürzlich weitere Verfahren entdeckt, in denen nach einer ersten Verformung auch eine umkehrbare Gestaltsänderung durch Erwärmen und anschliessendes Abkühlen entsteht. Dieses Phänomen wird *Zweiweg-Gedächtniseffekt* genannt, weil die Formänderung *sowohl beim Aufheizen als auch beim Abkühlen* erfolgt. Eine schematische Darstellung dieser beiden Effekte ist in Bild 1 und 2 zu sehen.

Sondereigenschaften

Formgedächtnislegierungen sind nicht nur eine Kuriosität, es gibt auch eine Menge von möglichen technischen Anwendungen, welche die folgenden *Sondereigenschaften* ausnutzen:

- Die Temperatur, bei welcher der Einwegeffekt stattfindet, kann zwischen −200 °C und +150 °C eingestellt werden.
- Plastische Verformungen bis zu 8 Prozent für den Einweg- bzw. 2 Prozent für den Zweiwegeffekt können zurückgewonnen werden.
- In einem bestimmten Temperaturintervall, das etwa 50 °C beträgt und durch die Legierungszusammensetzung kontrolliert werden kann, sind pseudo-elastische Dehnungen bis zu 4 Prozent möglich.
- Die maximale geleistete Arbeit beim Aufheizen beträgt etwa 10MJ/m³ für den Einwegeffekt und 2MJ/m³ für den Zweiwegeffekt.
- Verhindert man die Gestaltsänderung, so wird eine mechanische Spannung erzeugt (bis zu 600 MPa für Nickel-Titan).
- Die Legierungen haben hervorragende Ermüdungseigenschaften, z. B. ist die Wechselverformung, die gebraucht wird, um einen Gewaltbruch nach einer bestimmten Zyklenzahl zu erzeugen, um einen Faktor 10 höher als bei herkömmlichen Werkstoffen.
- Die Dämpfung nahe bei Raumtemperatur ist eine der grössten, die je in einem metallischen Werkstoff gemessen wurde.

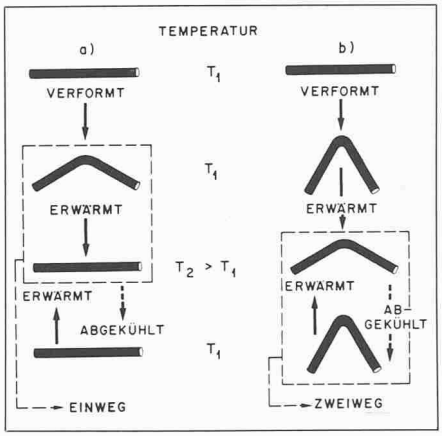

Bild 1. Prinzip des Formgedächtniseffektes
a) Einwegeffekt: die Verformung liegt unterhalb eines kritischen Betrages.
b) Zweiwegeffekt: Die Verformung überschreitet diesen kritischen Wert, so dass nicht die ganze Dehnung beim Aufheizen rückgängig gemacht wird. Beim Abkühlen bis T_1 findet eine weitere Formänderung in der Richtung der ursprünglichen Verformung statt; nachfolgende Temperaturzyklen zwischen T_1 und T_2 erzeugen eine wiederholte Formänderung

Mechanismus des Formgedächtniseffektes

Der Effekt beruht auf einer *Phasenumwandlung*, d. h. das Material hat *zwei mögliche Kristallstrukturen*. Beim Abkühlen oder Aufhiezen durch einen kritischen Temperaturbereich T_k wandelt sich die eine Struktur in die andere um. Die bei niedrigen Temperaturen stabile Phase heisst *Martensit*. Wenn das Material in diesem martensitischen Zustand verformt wird, treten reversible spannungsbedingte Veränderungen auf, die dazu führen, dass beim Erwärmen über diesen kritischen Temperaturbereich die Verformung wieder rückgängig gemacht wird. Anders ausgedrückt, die Form der Hochtemperaturphase wird bei der Umwandlung in die Niedrigtemperaturphase gespeichert. Nach Verformung des Martensits bleibt diese Information gespeichert und während der Rückwandlung beim Aufheizen steuert sie die Atombewegung so, dass die ursprüngliche Form wieder erhalten wird.

Es gibt eine obere Grenze für die reversible Formänderung bei der Verformung des Martensits. Wenn diese Grenze überschritten wird, findet eine normale irreversible Formänderung statt, d. h. nur Dehnungen bis zu etwa 8 Prozent können für NiTi zurückgewonnen werden, bei anderen Legierungen liegt diese Grenze etwas niedriger.

Es ist auch möglich, Informationen über die *Form* des Martensits in der Kochtemperaturphase zu speichern, damit auch beim Abkühlen durch den kritischen Temperaturbereich eine Formänderung erzeugt wird. Um diesen Zweiwegeffekt zu erzeugen, soll der erste Verformungsgrad oberhalb des kritischen Betrages liegen, bei dem normale plastische Verformung auftritt. Beim Aufheizen wird der plastische Anteil nicht zurückgewonnen, dadurch wird dann jedoch Information über die Tieftemperaturform in der Hochtemperaturphase gespeichert.

Nicht alle Metalle zeigen einen Gedächtniseffekt, da die erforderlichen Randbedingungen nur in bestimmten Legierungssystemen erfüllt sind. Die zwei Systeme, die sich wegen ihrer mechanischen Eigenschaften für kommerzielle Anwendungen am besten eignen, sind *Legierungen auf der Basis von Nikkel und Titan* (NiTi) oder *Kupfer, Zink* und *Aluminium* (CuZnAl). NiTi-Basis-

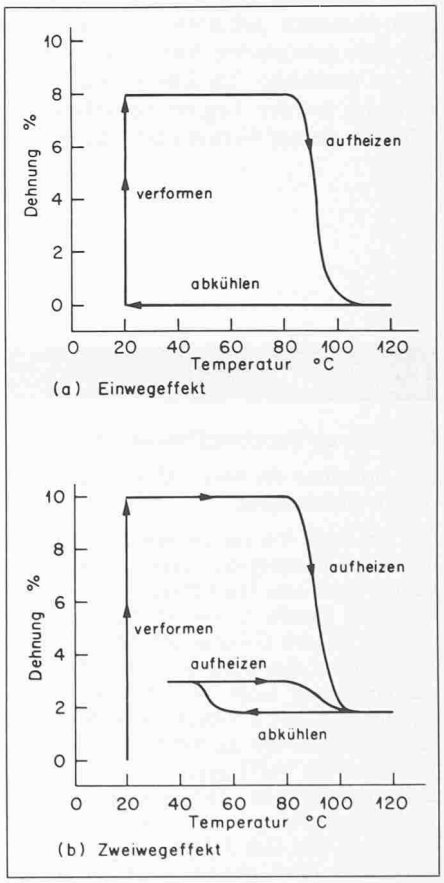

Bild 2. Dehnung als Funktion der Temperatur
a) Einwegeffekt, b) Zweiwegeffekt

Typische Eigenschaften von Legierungen für die Hauptanwendungsgebiete Verbindungstechnik und Bimetallersatz

	Ni-Ti-Legierung für Bimetallersatz	Ni-Ti-Legierung für Verbindungstechnik
0,2% Streckgrenze	60 MPa	240 MPa
Bruchspannung	840 MPa	580 MPa
Bruchdehnung	60%	20%
Wechselfestigkeit (10^7 Zyklen)		350 MPa
elektr. Leitfähigkeit		2×10^6 S/m
Spezifische Wärme		3×10^6 J/m³K
Latente Wärme ΔH		$100\text{–}150\times10^6$ J/m³

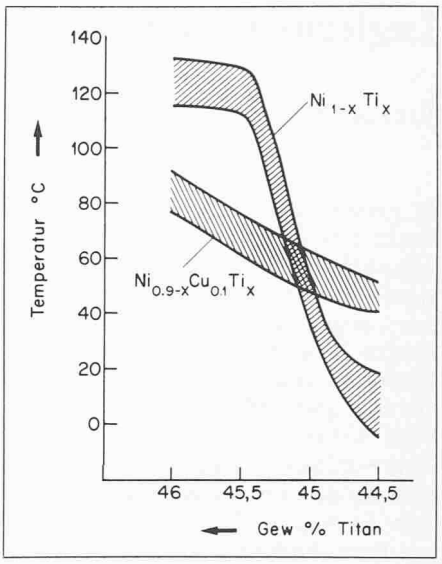

Bild 3. Zusammensetzungsabhängigkeit des kritischen Temperaturbereiches beim Aufheizen für Nikkel-Titan und Nickel-Kupfer-Titan

legierungen weisen höhere Dehnungen und Festigkeiten auf, sind aber etwas teurer.

Die Phasenumwandlung beim Aufheizen und Abkühlen setzt nicht bei einer scharfen Temperaturgrenze ein und ist auch nicht bei einer festen Temperatur abgeschlossen, es wird ein *Übergangstemperaturbereich* durchlaufen. Die Umwandlungstemperaturen sind für alle Gedächtnislegierungen von der Zusammensetzung abhängig. Bei manchen Legierungen ist diese Abhängigkeit so stark, dass die Zusammensetzung innerhalb von ±0,1 Gewichtsprozent konstant gehalten werden muss, um eine gewünschte Ansprechtemperatur zu erreichen. Im BBC-Forschungszentrum wurden Legierungsreihen entwickelt, die auf Nickel und Titan basieren, aber bis zu 30 Prozent andere Legierungselemente, vorwiegend Kupfer, enthalten. Es wurde damit erreicht, dass in der Zusammensetzung eine grössere Streubreite toleriert werden kann (Bild 3), wodurch die Fertigung solcher Legierungen vereinfacht wird. Typische Eigenschaften von Legierungen für zwei Hauptanwendungsgebiete sind in der Tabelle zusammengefasst.

Die Temperatur für die Formgebung von Gedächtnislegierungen muss deutlich höher liegen als die Umwandlungstemperatur, damit der Werkstoff sich normal verhält und kein Gedächtniseffekt auftritt. In der Nähe dieses Bereiches ist eine dauernde Formgebung schwierig, da der Werkstoff sich immer an seine frühere Gestalt erinnert.

Die Anwendungsmöglichkeiten für diese Legierungen sind mannigfaltig. Erwähnt seien hier lediglich zwei Hauptanwendungsgebiete, die *Verbindungstechnik* und der *Bimetallersatz*.

Adresse des Verfassers: *Dr. K. N. Melton* und *Dr. O. Mercier*, Gruppe Physikalische Metallurgie, Brown Boveri Konzernforschungs-Zentrum Dättwil/Baden.

Umschau

Laserlicht als Forschungsinstrument

Zur Gründung des neuen Max-Planck-Instituts für Quantenoptik

Um der nach wie vor unvermindert zunehmenden Bedeutung des Lasers für die physikalisch-chemische Grundlagen- und Projektforschung gerecht zu werden, hat der Senat der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) bei der 30. Hauptversammlung der MPG in Mainz die Gründung eines Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching bei München beschlossen. Es soll die Arbeiten der Anfang 1976 von der MPG gegründeten und vom Bundesministerium für Forschung und Technologie finanzierten, aber damals auf die Dauer von fünf Jahren limitierten Projektgruppe für Laserforschung fortführen. Der Kern dieser Gruppe war aus dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik herausgelöst worden, als man sich dort auf die Fusionsforschung mit magnetischem Einschluss konzentrierte.

Der MPG-Senat fasste seinen Beschluss zur Gründung des neuen Max-Planck-Instituts für Quantenoptik vorbehältlich der Sicherstellung der Finanzierung durch Bund und Länder. Er setzte ausserdem voraus, dass die erforderlichen Personalstellen nicht zu Lasten der anderen Neuvorhaben der Max-Planck-Gesellschaft gehen. Im März dieses Jahres hat der MPG-Senat bereits die Gründung eines Max-Planck-Instituts für Psycholinguistik und eines Max-Planck-Instituts für ausländisches und internationales Sozialrecht beschlossen. Die Einrichtung neuer Projektgruppen zur Verstärkung der medizinisch-klinischen Forschung befindet sich im fortgeschrittenen Planungsstadium.

Die Leiter der bisherigen Projektgruppe für Laserforschung, die Professoren *Karl-Ludwig Kompa* und *Herbert Walther* sowie Dr. *Siegbert Witkowski*, wurden vom Senat zu Wissenschaftlichen Mitgliedern und Direktoren am Institut berufen. Bei einem Haushaltsvolumen von derzeit 10,5 Millionen DM umfasst die bisherige Projektgruppe für Laserforschung etwa 100 Mitarbeiter, darunter 55 Wissenschaftler einschliesslich Gästen und Stipendiaten.

Innerhalb des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik war die Laserforschung ursprünglich im wesentlichen auf die Erzeugung dichter, heisser Gasplasmen mit dem Fernziel der Energieerzeugung und auf die Diagnose heisser Gasplasmen mit Hilfe von Laserlicht beschränkt gewesen. Im Rahmen der Projektgruppe fand dann eine erhebliche Ausweitung in Richtung Laserchemie und andere Bereiche der Grundlagenforschung statt. Das Laserlicht wurde mehr und mehr zu einem universellen Forschungsinstrument. Der Begriff «Quantenoptik» im Namen des neuen Instituts signalisiert diese Ausweitung. Andererseits soll das neue Max-Planck-Institut weiterhin einen erheblichen Teil seiner Kapazität anwendungsorientierten Fragestellungen widmen und Projektforschung übernehmen, sei es nun im Rahmen von Aufträgen der öffentlichen Hand oder auch der Wirtschaft. Die Ausrichtung der Max-Planck-Gesellschaft auf die Grundlagenforschung schliesst auch in anderen Max-PLanck-Instituten die übernahme anwendungsorientierter Arbeiten nicht aus. In der Satzung des neuen Max-Planck-Instituts für Quantenoptik soll das ausdrücklich verankert werden.

Die Entwicklung des Lasers und die darauf fussenden Forschungsmöglichkeiten haben heute ein Ausmass erreicht, das selbst den Fachmann immer wieder überrascht. Zum Beispiel konnte bei spektroskopischen Untersuchungen das maximale Auflösungsvermögen durch die Verwendung von Laserlichtquellen um fünf Grössenordnungen, also auf das Hunderttausendfache, gesteigert werden. Dazu muss man wissen, dass die weitaus meisten Informationen, die wir heute über den Aufbau der Atome und der Mo-