

Functional Materials
FM1 - Shape Memory Alloys

Klaudia Herbst Sven Marten Czerwonka
Manfred Thomann

06.06.2005

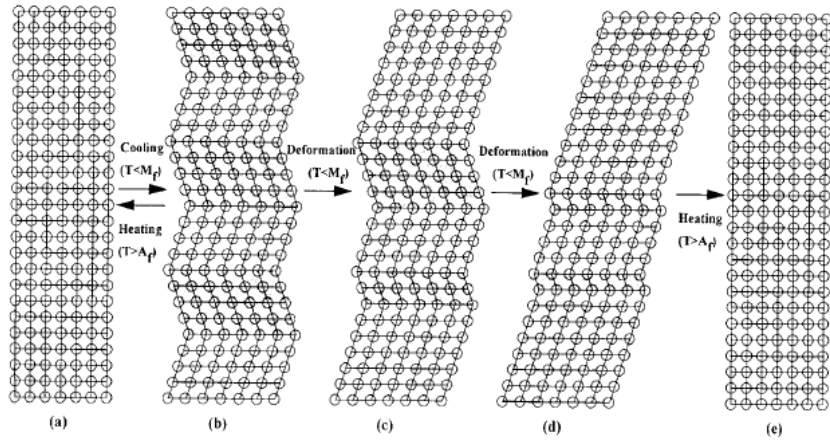


Abbildung 1: Die verschiedenen Stadien der SMA. a) beschreibt den Ausgangspunkt über A_f . b) beschreibt die SMA unterhalb von M_f . c) und d) zeigen die Antwort der SMA auf reversible Verformung. e) zeigt den Sprung in die Ausgangsform bei Erhitzen der SMA über A_f

1 Theorie

Shape Memory Alloys kurz SMA sind Legierungen, die ein „Gedächtnis“ für eine einmal vorgegebene Form haben. Diesen Effekt gibt es in 2 Formen: einseitig und beidseitig. Für das generelle Verständnis wird die einseitige Form näher beschrieben.

Die SMA liegt über einer bestimmten Temperatur A_f , ohne sonstige äussere Einflüsse, in einer rein austenitischen Phase vor. Kühlt man nun die SMA unter die Temperatur M_f , so liegt sie in einer komplett martensitischen Phase vor. Bei diesem Phasenübergang wechselt das Kristallgitter z.B. von fcc nach hcp oder bcc. Dabei ordnen sich die Gitternetzebenen neu an. Wird die SMA jetzt reversibel verformt verschieben sich die Gitterebenen gegeneinander. Diese reversible Verformung kann dann durch Erhitzen der SMA über A_f spontan rückgängig gemacht werden und die SMA liegt wieder in ihrer ursprünglichen Form vor.

Bei den beidseitigen SMA merkt sich die SMA die Form der komplett austenitischen und komplett martensitischen Phase.

2 Durchführung und Auswertung

Daten des Experimentes:

- Länge des NiTi-Drahtes: 16 mm
- Breite des NiTi-Drahtes: 0,5 mm

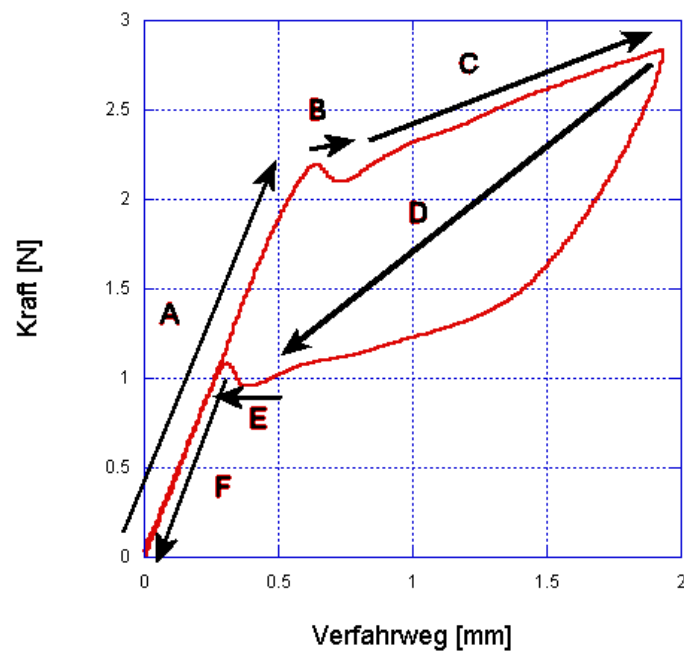


Abbildung 2: Beispielkurve: A und F entsprechen der reversiblen Verformung in der austenitischen Phase; B entspricht dem Übergang von austenitischer in martensischer Phase; C und D entsprechen der reversiblen Verformung in der martensischen Phase; E entspricht dem Übergang von martensischer in austenitischer Phase

- Höhe des NiTi-Drahtes: 0,42 mm
- Abstand der Auflagepunkte des NiTi-Drahtes 12 mm

Das ganze System liegt in einem Wasserbad, das wiederum ein Ölbad erwärmt. In diesem Ölbad liegt der Draht auf 2 Blöcken mit einem Abstand von 12 mm. Die Kraft für die reversible Verformung des Drahtes wird durch ein Metallstift ausgeübt. Bei den insgesamt 5 gemachten Durchläufen wurde jeweils die vorher eingestellte Temperatur festgehalten und dann der Verlauf der benötigten Kraft F bis zu einer maximalen Verformung von 2 mm aufgezeichnet und der Rückweg zur Kraft $F = 0$. Der Vergleich aller durchgeführten Messungen ist in Abb. 4 zu sehen. Die wichtigen Punkte der einzelnen Kurven werden an Hand von Abb. 2 gezeigt. Der Übergang von der austenitischen in die martensische Phase wird durch die Abweichung von der Linearität eingeleitet. Da die Kurve 28.2, also die von uns durchgeführte Messung bei 28°C , deutlich aus dem Muster fällt, wird diese nicht zur Auswertung herangezogen. Somit lesen wir die gesuchten Punkte aus Abb. 5 ab. Die sich so ergebene Gerade ist in Abb. 3 zu sehen.

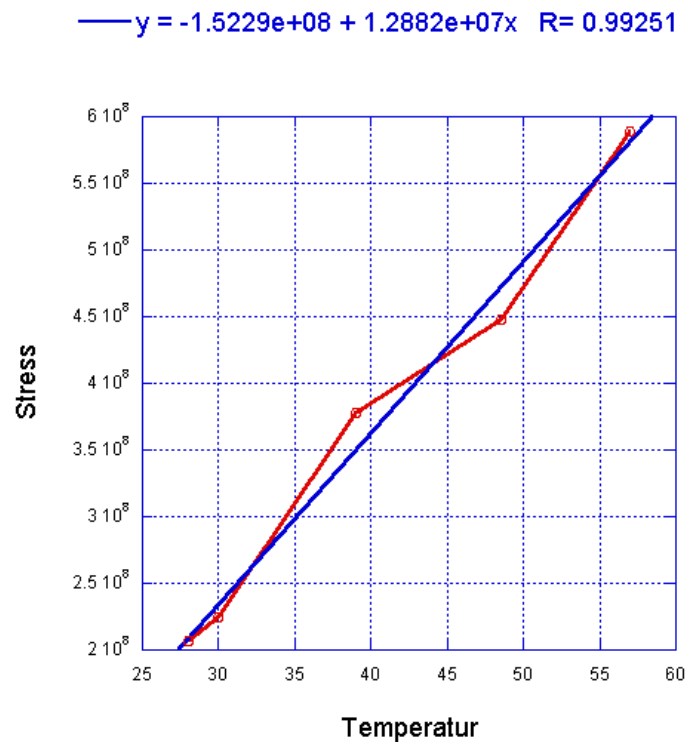


Abbildung 3: Temperatur-Stress Kurve

3 Gestellte Fragen

1. **Unterschied zwischen beidseitiger SMA und Bimetall**

Die Verformung von Bimetall ist im Gegensatz zur SMA kontinuierlich und nicht spontan.

2. **Wie sieht eine Temperatur-Verformungskurve bei konstantem Druck aus**

Die Kurve entspricht einem Schnitt parallel zur x-Achse von Abb.4. Für kleine Kräfte ist die Verformung für alle von uns gemessenen Temperaturen gleich. Bei größeren Kräften nimmt die Verformung zu kleineren Temperaturen deutlich zu, bis sie bei einer bestimmten Temperatur reißt. Der Abknickpunkt liegt bei größer werdenden Kräften bei immer höheren Temperaturen und schließlich ist die Kraft so groß, das das Material unabhängig von der Temperatur reißt.

3. **Was ist der Unterschied zwischen der martensischen Phase in SMA und Stahl**

Die α martensische Phase von Stahl ist im Gegensatz zur martensischen Phase der SMA perfekt ausgerichtet.

4. **Gibt es etwas ähnliches wie einen druckbasierten Phasenübergang auch bei Stahl und was wären mögliche Anwendungen**

Es gibt auch bei Stahl einen druckbasierten Phasenübergang in die martensische Phase. Als Beispiel habe ich Fe - 33% Ni - 10% Co - 3,5% Ti - 1,5% Al gefunden. Diese Legierung „erholt“ sich von einer Verformung bei 77 K wenn sie auf Raumtemperatur erwärmt wird bzw. bei einer Verformung bei Raumtemperatur wenn sie auf ca. 1100 K erwärmt wird. Man könnte den Übergang ähnlich wie bei SMA benutzen, um zum Beispiel Eisenbahnräder sicher mit Stahl zu ummanteln. Man dehnt den Rohling in der martensischen Phase und erhitzt dann das ganze Rad über A_f und der Stahl versucht in die Ausgangsform zu kommen und soigt damit dann sehr fest auf dem Rad.

5. Anwendungen für SMA

- elektrische Steckverbindungen können per SMA fast beliebig oft geöffnet und geschlossen werden
- bessere Passform für Schuhe
- Kopfhörerbügel
- Korrektur von Fehlstellungen, z.B in der Orthopädie

6. Was ist der thermodynamische Grund für die Änderung der Phasenübergangstemperatur und wie kann man diesen mathematisch beschreiben

Die mathematische Beschreibung ist:

$$\frac{d\sigma}{dT} = -\frac{\Delta S}{\epsilon} = -\frac{\Delta H^*}{\epsilon T}$$

Die thermodynamische Begründung ist, das die austenitische Phase bei höheren Temperaturen stabiler wird und damit mehr Kraft bzw. Energie nötig ist, um den Phasenübergang einzuleiten.

4 Anhang

4.1 Literatur

Verwendet wurde „Shape Memory Materials“ von K. Otsuka und C.M. Wayman

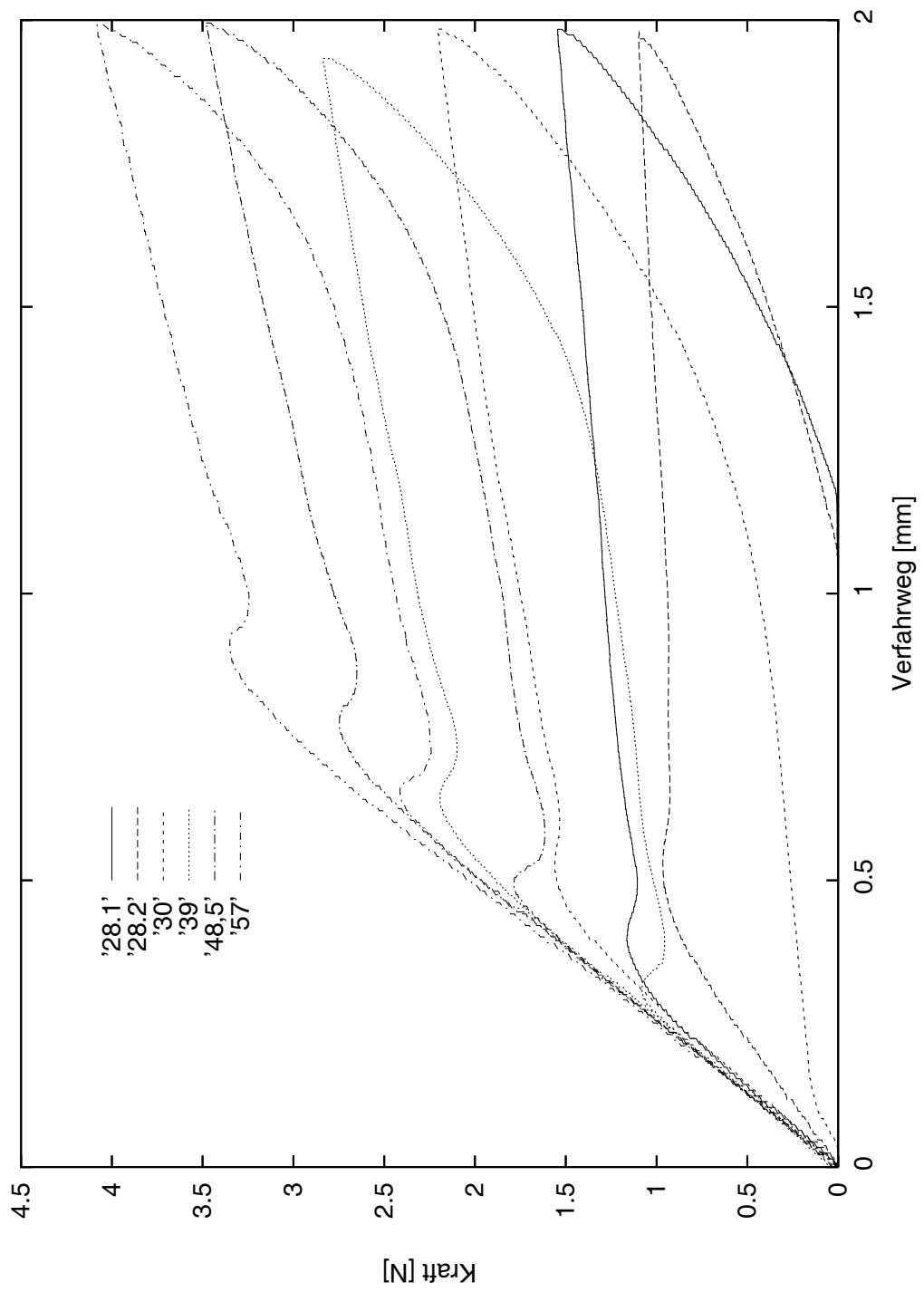


Abbildung 4: Alle Messungen im Vergleich

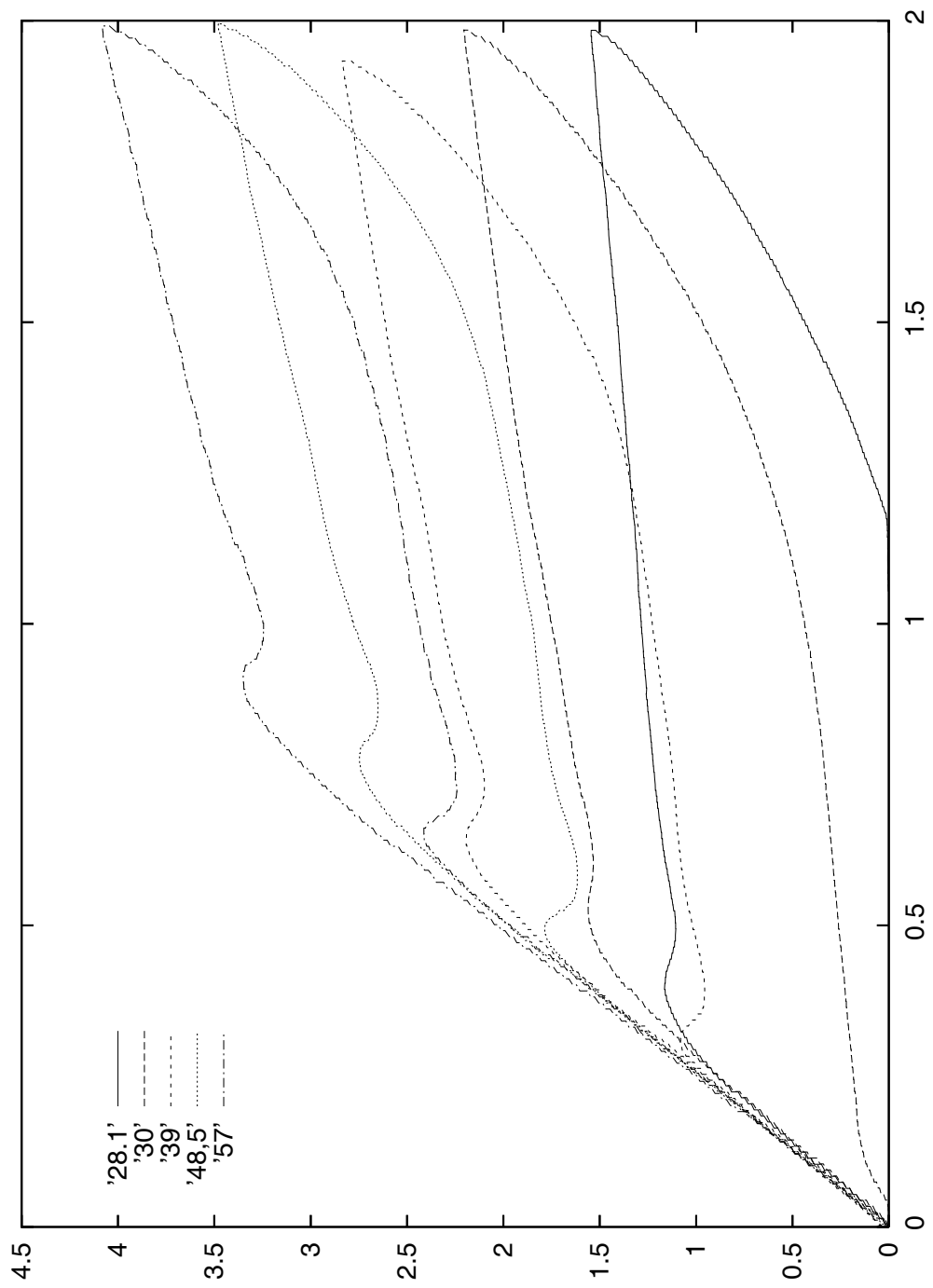


Abbildung 5: Da unsere Messung bei 28°C - 28.2 - deutlich aus dem Muster fällt, haben wir uns entschieden, diese zu vernachlässigen.

5 Korrektur

5.1 Stress-Dehnungs Kurven

Die Stress-Dehnungs Kurven sind in Abb.6 zu sehen.

5.2 Ausschluss der Messung „28.2“

Wenn man sich den Kurvenverlauf von „28.2“ genau im Vergleich mit „28.1“ ansieht, fällt auf das nur die anfängliche Steigung nicht passt, die Steigung der martensischen Phase jedoch passt ziemlich gut überein. Dies legt den Verdacht nahe das der Draht bei der 2. 28°C Messung nicht dieselben Ausgangsparameter hatte. Da das Material insgesamt leichter verformbar war, könnte bei der 2. Messung ein Teil des Drahtes noch martensisch gewesen sein. Die anfängliche Steigung wäre dann eine Kombination aus beiden Steigungen, das würde damit zu der niedrigeren Steigung führen. Ein weiterer Hinweis für die Annahme das der Draht nicht rein austenitisch war ist der, im Vergleich zu den anderen Kurven, sehr flache Übergangsbereich zwischen austenitischer und martensischer Phase.

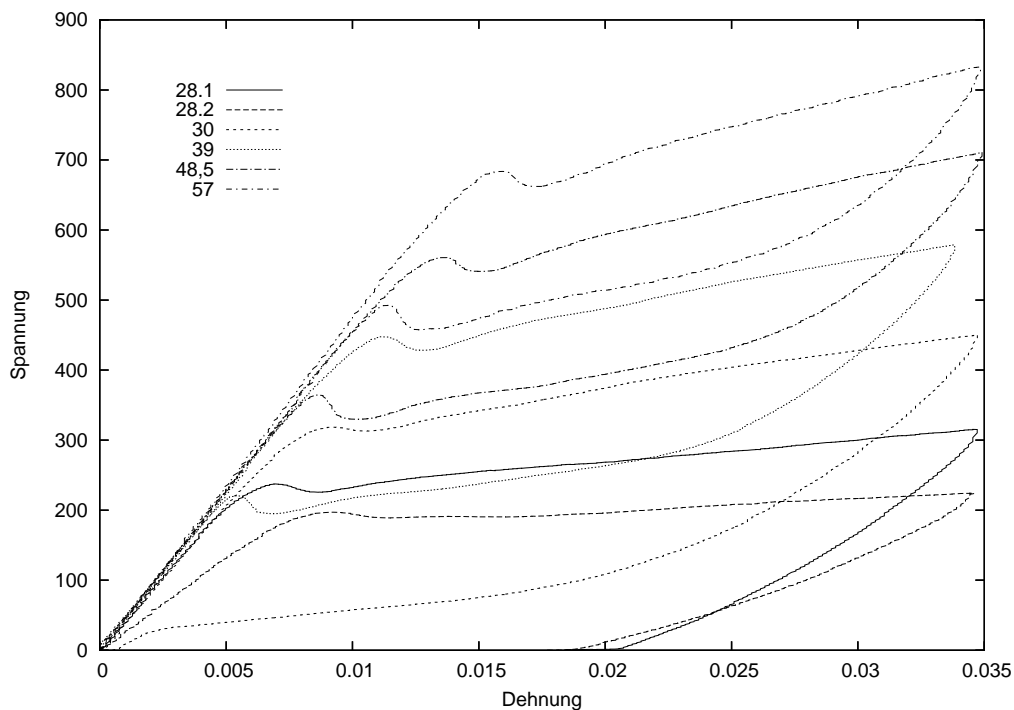


Abbildung 6: Die Stress-Dehnungs Kurven aller Messungen