
Phasentransformation: (fest-fest)

Von Marcus Bauer und Henrik Petersen

Phasentransformation: (fest-fest)

1. Arten von Phasenumwandlungen

- Reine Metalle
- Legierungen

2. Martensitische Phasenumwandlung am Beispiel von Fe-C

3. Formgedächtnislegierungen

- Allgemeine Betrachtung der Vorgänge
- Anwendungsbeispiel: Nitinol (Ni-Ti-Legierung)

Phasentransformation: (fest-fest)

Arten von Phasenumwandlungen: Reine Metalle

- Kristallstruktur mit der niedrigsten freien Enthalpie G
- allotrope Modifikationen

Eisen (Fe)	α	krz	$\alpha \rightarrow \gamma$ bei 909°C $\gamma \rightarrow \delta$ bei 1388°C
	γ	kfz	
	δ	krz	
Calcium (Ca)	α	kfz	$\alpha \rightarrow \gamma$ bei 464°C
	γ	krz	

Phasentransformation: (fest-fest)

Arten von Phasenumwandlungen: Legierungen

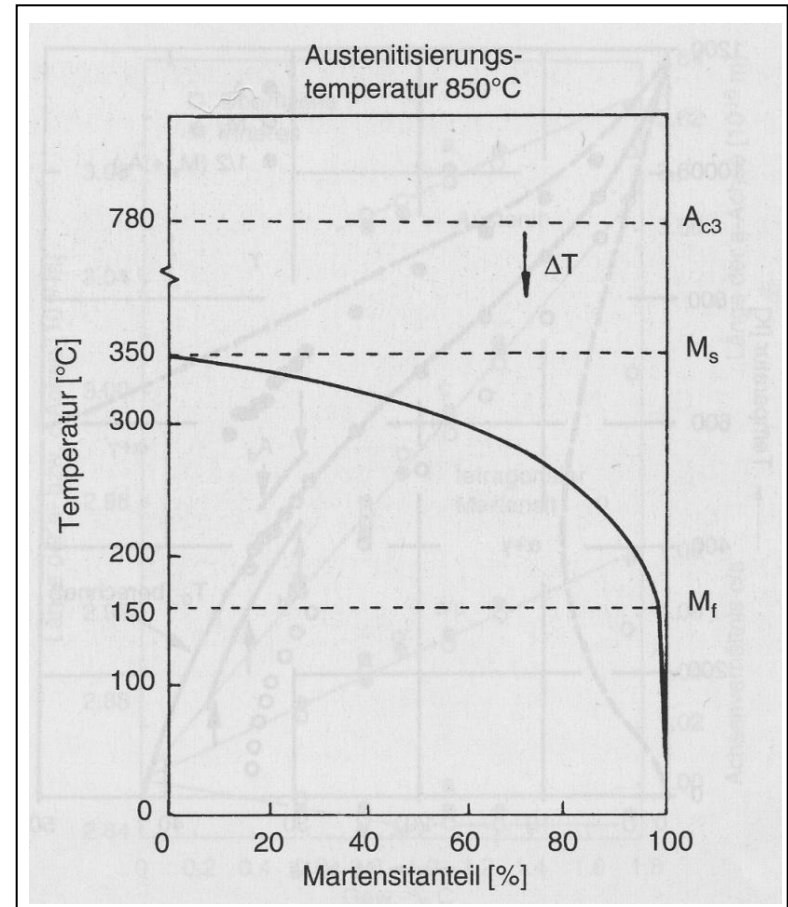
1. Auflösung oder Ausscheidung einer zweiten Phase
 - Löslichkeit einer Atomsorte nimmt mit der Temperatur ab
 - übersättigter Mischkristall
2. Diffusionslose Phasenumwandlungen
 - Kristallstruktur ändert sich
 - martensitische Umwandlungen
3. Aus einer Phase entstehen mehrere neue Phasen
 - eutektoide Umwandlungen
 - Perlitreaktion

Phasentransformation: (fest-fest)

Martensitische Phasenumwandlungen am Beispiel am Fe-C

hohe Abkühlgeschwindigkeit :

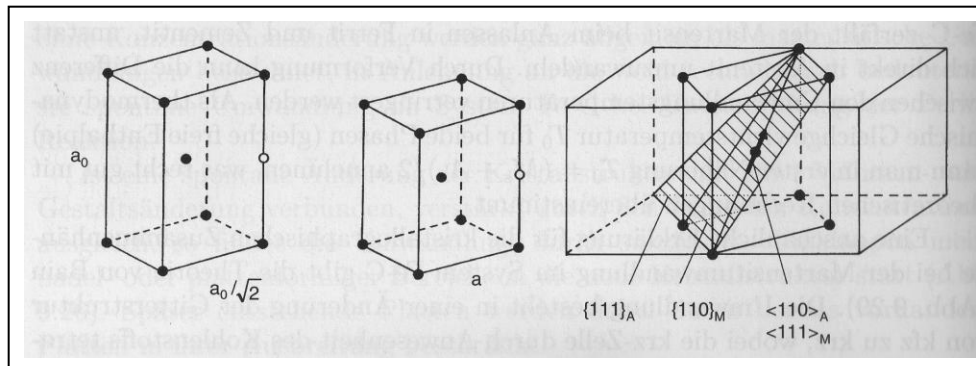
- keine Diffusion
- starke Unterkühlung der instabilen Phase
- Umwandlungskräfte werden größer
- Abschrecktemperatur , Zeit und Zusammensetzung bestimmen den Martensitanteil



Phasentransformation: (fest-fest)

Martensitische Phasenumwandlungen am Beispiel am Fe-C

- Gitterbeziehung zwischen Austenit und Martensit
- tetragonale Verzerrung durch Anwesenheit des Kohlenstoffs
- Atome behalten ihre Position
- Dehnung und Stauchung von Gitterkonstanten



Phasentransformation: (fest-fest)

Martensitische Phasenumwandlungen am Beispiel am Fe-C

Anwendungsbeispiele

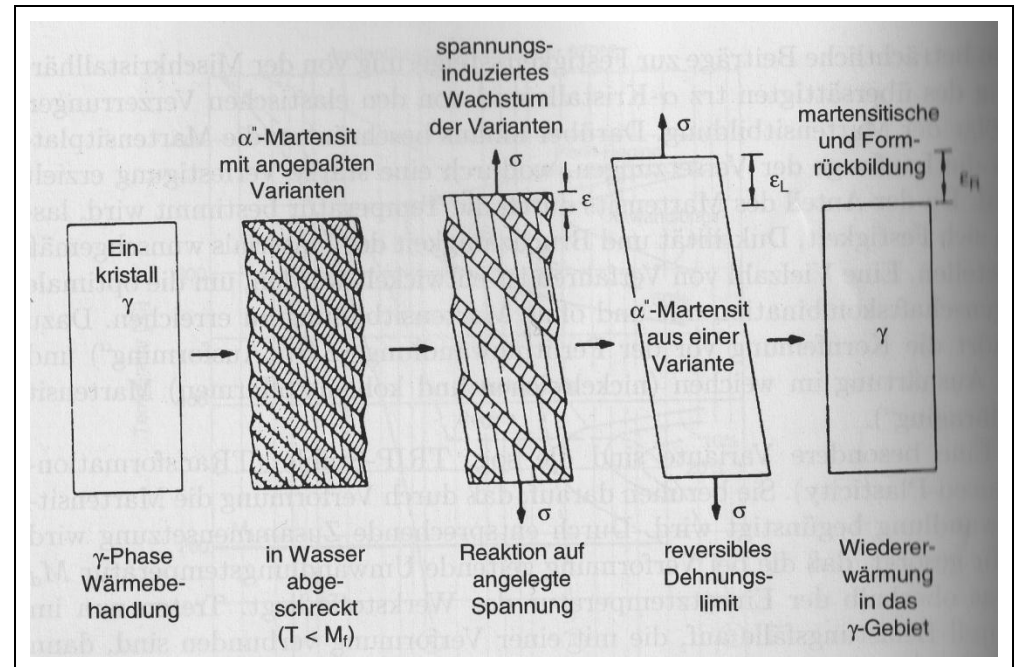
- Härten von Stahl
- durch Erhöhung des Kohlenstoffgehalts bessere Einstellung von Festigkeit
- verschiedene Legierungselemente verbessern die Verformbarkeit
- Anwendungen: Werkzeuge, Wellen und Stähle

Phasentransformation: (fest-fest)

Formgedächtnislegierungen – Allgemeine Betrachtung der Vorgänge

Der Formgedächtniseffekt:

- Martensitbildung nach Abkühlung und damit verbundene Zwillingsbildungen
- diffusionslos, infolge einer Scherbewegung
- Variantenwachstum unterhalb von M_f einstellbar bei Abkühlung und Verformung
- Erwärmung bewirkt Rückbildung zum Austenit

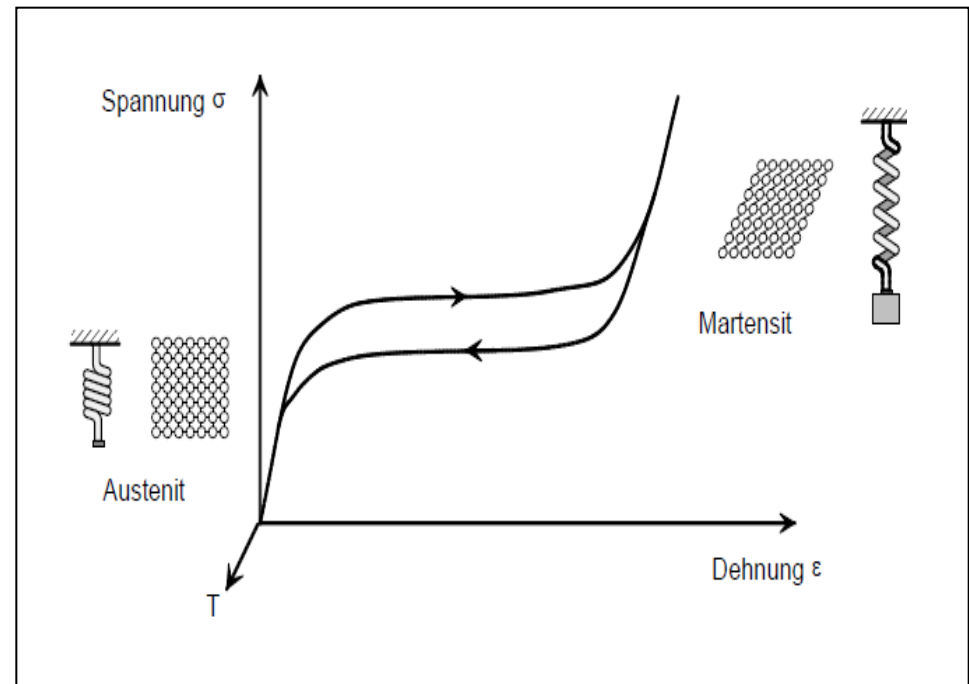


Phasentransformation: (fest-fest)

Formgedächtnislegierungen – Allgemeine Betrachtung der Vorgänge

Pseudoelastizität:

- Martensitphase entsteht durch angelegte mechanische Spannung
- große nichtlineare Dehnung entsteht
- Bildung der Martensitphase bewirkt Dämpfung der einwirkenden Spannung
- keine Bildung elastischer Wellen
- Energie wird aufgezehrt für die martensitische Umwandlung

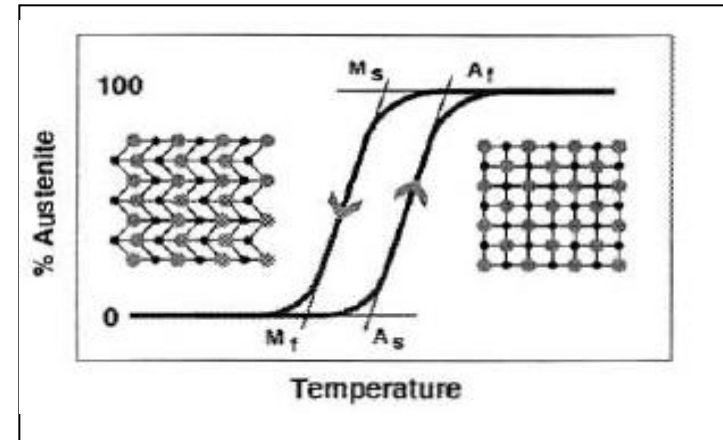


Phasentransformation: (fest-fest)

Formgedächtnislegierungen – Allgemeine Betrachtung der Vorgänge

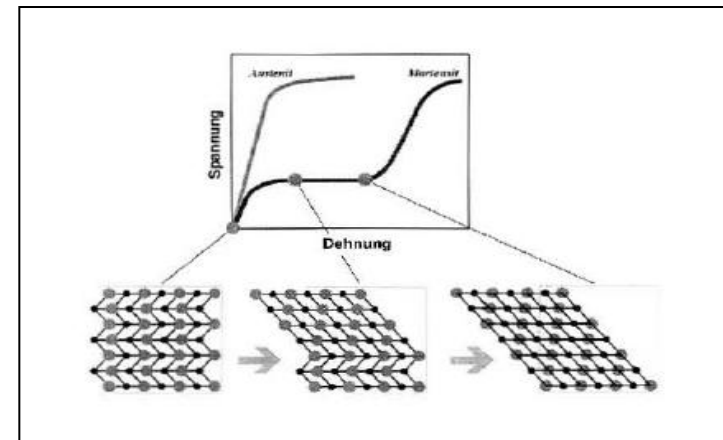
Hysterese:

- Umwandlung und Rückwandlung bei unterschiedlichen Temperaturen
- Temperaturbereich durch Modifikation der Legierungszusammensetzung einstellbar



Spannungs-Dehnungs-Diagramm:

- Martensitplateau mit geringer Verfestigung
- Anschließend Verformung über Versetzungsbewegungen



Phasentransformation: (fest-fest)

Formgedächtnislegierungen – Anwendungsbeispiel Nitinol (Ni-Ti)

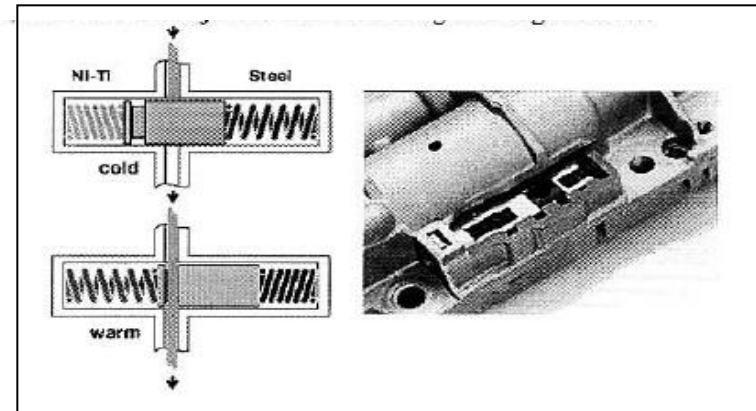
- Ende der 50er vom Naval Ordnance Laboratory entdeckt
- Nahezu stöchiometrische Zusammensetzung aus Nickel und Titan
- thermisches Formgedächtnis (Shape Memory)
- mechanisches Formgedächtnis (Superelastizität)
- geordnete kubische Kristallstruktur
- bis 650°C verwendbar, korrosionsbeständig, pseudoplastisch verformbar

Phasentransformation: (fest-fest)

Formgedächtnislegierungen – Allgemeine Betrachtung der Vorgänge

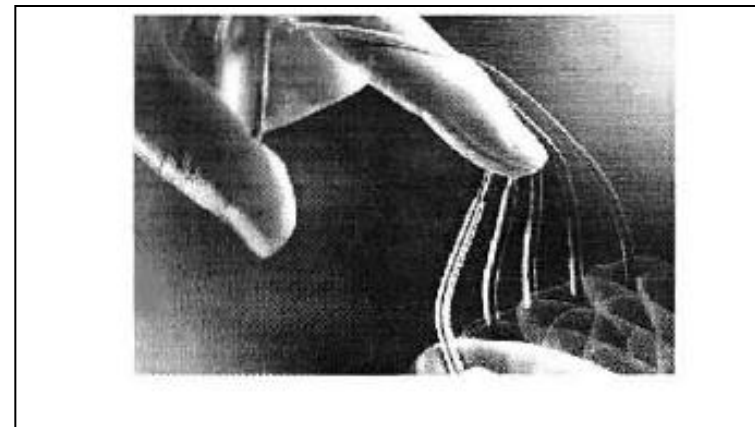
- Stellelemente:

- thermisches Stellelement
- Rückstellmechanismus
- Kraft der Feder abhängig von der Temperatur



- Superelastische Formteile:

- unzerbrechliche Brillengestelle
- Medizinische Anwendungen



Phasentransformation: (fest-fest)

Quellenverzeichnis:

- Gottstein: Physikalische Grundlagen der Materialkunde, 3. Auflage, Springer 2007
- Hornbogen, Warlimont: Metallkunde, 3. Auflage, Springer 1996
- Bargel, Schulze: Werkstoffkunde, 9. Auflage, Springer 2005
- Michael Kaack: Dissertation, Ruhr-Universität Bochum 2002
- Stoeckel: Umformung von NiTi-Legierungen – Eine Herausforderung, www.nitinol.de 2001