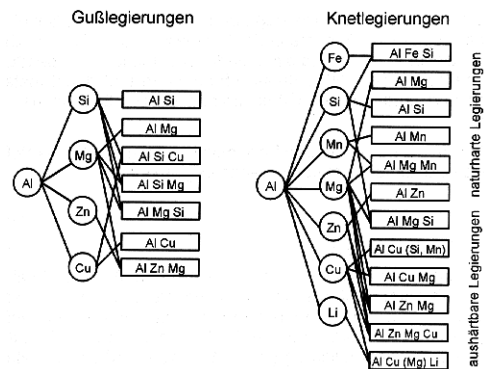


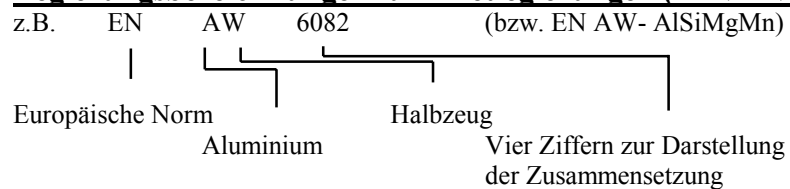
Klassierung von Aluminiumwerkstoffen

Unterscheidung zwischen Guss- und Knetlegierungen

Aluminiumlegierungen werden abhängig vom Herstellungsverfahren zwei Hauptgruppen zugeordnet, den **Knetlegierungen** und den **Gusslegierungen**.



Legierungsbezeichnungen für Knetlegierungen (DIN EN 573)



Die erste der insgesamt vier Ziffern in der Bezeichnung beschreibt die Legierungsgruppe:

Bestandteile	Bezeichnung	Anwendungsbeispiele
Al	1xxx	Elektrokabel, Kochfolie
Al-Cu	2xxx	Luftfahrt
Al-Mn	3xxx	Kochpfannen
Al-Si	4xxx	Automobilkolben

Al-Mg	5xxx	Getränkedosen
Al-Mg-Si	6xxx	Strangpreßprodukte (Fensterrahmen)
Al-Zn-Mg	7xxx	Luftfahrt
Al-Li	8xxx	Luftfahrt

Nationale Varianten werden durch Buchstaben ergänzt. („A“ für europäische Variante)

Knetlegierungen unterscheidet man in **nicht aushärtbare** und **aushärtbare** Werkstoffe.

Nicht aushärtbare Knetlegierungen

typische Eigenschaften:

- Zugfestigkeit < 400 MPa
- gute Schweißbarkeit
- gute Korrosionsbeständigkeit

Al (1XXX)

Anwendung: Elektronik
chemische Industrie
Verpackungsfolien
Bauwesen

Al-Mn (3XXX)

Anwendung: Kochgeschirr
Getränkedosen
Dächer

Al-Mg (5XXX)

Anwendung: Druckbehälter
Schiffsrumpf
Architektur

Problem: Korrosion (bei Mg > 3%)
Entfestigung

Aushärtbare Knetlegierungen

typische Eigenschaften:

- Zugfestigkeit bis 700 MPa (hochfest)
- Neigung zu inhomogener Verformung
- Korrosionsanfälligkeit (Cu)
- ohne Cu gut schweißbar

Al-Cu (2XXX)

Al-Cu-Mg (2XXX) (Flugzeugbaustrukturen)

Al-Mg-Si (6XXX) (Karosseriebau, Schiffsbau, Schienenfahrzeugbau)

Al-Zn-Mg (7XXX) (Raketengehäuse, Panzerplatten, Pionierbrücken)

Al-Zn-Mg-Cu (7XXX)

Anwendung: Luft- und Raumfahrtanwendungen, Automobilbereich

Bezeichnung der Werkstoffzustände:

Der Werkstoffzustand wird durch eine Kombination von Buchstaben und Ziffern eindeutig charakterisiert. Hierbei bedeuten:

-O...weichgeglüht

-H...kaltverfestigt

-T...wärmebehandelt

T1...kontrollierte Abkühlung, kaltausgelagert

T2... kontrollierte Abkühlung, kaltumgeformt, kaltausgelagert

T3...lösungsgeglüht, kaltumgeformt, kaltausgelagert

T4...lösungsgeglüht, kaltausgelagert

T5...kontrollierte Abkühlung, warmausgelagert

T6...lösungsgeglüht, warmausgelagert

T61...lösungsgeglüht, nicht vollständig warmausgelagert (Unteralterung)

T7...lösungsgeglüht, warmausgelagert (Überalterung)

T8...lösungsgeglüht, kaltumgeformt, warmausgelagert

T9...lösungsgeglüht, warmausgelagert, kaltumgeformt

Die Zustandsbezeichnung wird durch einen Bindestrich an die Legierungsbezeichnung angehängt.
(z.B. EN AW- 6082-T6)

Bezeichnung der Gusslegierungen (DIN EN 1706)

Für Gussstücke, Masseln und Vorlegierungen gilt ein Bezeichnungssystem mit fünf Ziffern:

z.B. EN AC42100 (bzw. EN AC- $\text{AlSi7Mg}_{0,3}$)

C...Gusslegierungen

B...Werkstoff in Masseln

M...Vorlegierungen

Fünf Ziffern zur Darstellung der Zusammensetzung

Die erste Ziffer gibt das Hauptlegierungselement an:

2XXXX Kupfer

4XXXX Silizium

5XXXX Magnesium

7XXXX Zink

8XXXX Zinn

9XXXX Vorlegierungen

Die zweite Ziffer gibt die Legierungsgruppe an:

21XXX AlCu

41XXX AlSiMgTi

↓

44XXX AlSi

51XXX AlMg

71XXX AlZnMg

Bezeichnung der Werkstoffzustände:

Das Gießverfahren spielt eine wichtige Rolle und wird daher durch Buchstaben hinter der Legierungsnummer gekennzeichnet.

-S...Sandguss

-D...Druckguss

-K...Kokillenguss

-F ...Feinguss

Der Werkstoffzustand wird durch eine Kombination von Buchstaben und Ziffern eindeutig charakterisiert. Hierbei bedeuten:

- O...weichgeglüht
- H...kaltverfestigt
- T...wärmebehandelt (Wärmebehandlungszustände, siehe Knetlegierungen)

Die Zustandsbezeichnung wird durch einen Bindestrich an die Legierungsbezeichnung angehängt. (z.B. EN AC- 6082-T6)

Al-Si (4XXXX)

Beispiel:

- AlSi7 (Landeklappensegment)

Al-Si-Cu (4XXXX)

Beispiel:

- AlSi9Cu3 (Hinterachsgehäuse, Haushaltsgeräte, Motorenbau)
- AlSi12Cu1Mg1Ni2 (Kolben für Dieselmotoren)
- AlSi7Mg0,3 (Leichtfelgen)

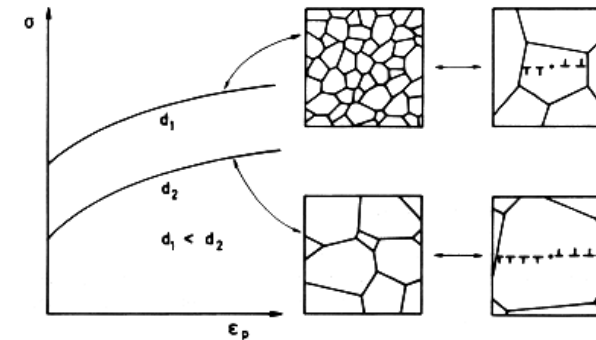
Al-Cu (2XXXX)

Beispiel:

- AlCu4Ni2Mg1,5 (Dieselkolben)
- AlCu4,7Ag0,7Mg0,3

Härtungsmechanismen für RT-Anwendungen bei Al

Feinkornhärtung (Hall-Petch-Beziehung)



Es gilt:

$$\Delta\sigma = \frac{k}{d^m} \quad \text{meist gilt} \quad m = \frac{1}{2}$$

Der Faktor $m = 1/2$ resultiert aus dem „Pile-up-Modell“, d.h. dem Aufstau der Versetzungen an einer Korngrenze. Experimentelle Befunde zeigen $1/3 < m < 1$

$\Delta\sigma$...Festigkeitssteigerung

k ...Konstante

d_{\min} ...minimal zu erzielende Korngröße

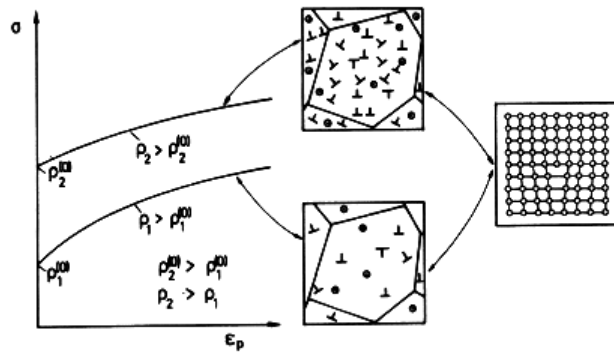
Beispiel: typische Werte für Al

$k = 0,04 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ und $d_{\min} = 1 \mu\text{m}$ liefert $\Delta\sigma = 40 \text{ MPa}$

Fazit:

Die Feinkornhärtung nach Hall-Petch spielt für die Aushärtung von Aluminiumlegierungen bei Raumtemperatur nur eine untergeordnete Rolle.

Kaltverfestigung



Es gilt:

$$\Delta\sigma = G \cdot b \cdot \sqrt{\rho}$$

Die Festigkeitssteigerung $\Delta\sigma$ ist proportional zur Wurzel aus der Versetzungsdichte ρ .

$\Delta\sigma$...Festigkeitssteigerung b... Burgersvektor
 ρVersetzungsdichte G...Schubmodul

Beispiel: typische Werte für Al

$G = 25 \text{ GPa}$, $b = 2,86 \text{ Å}$, $\rho = 10^{15} \text{ m}^{-2}$ liefert $\Delta\sigma = 200 \text{ MPa}$

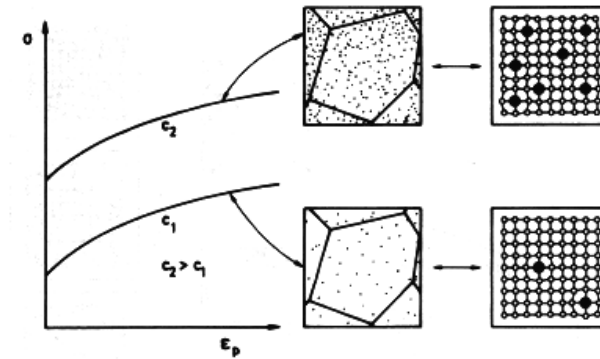
Fazit:

Die Kaltverfestigung kann für die Aushärtung von Aluminium-legierungen bei Raumtemperatur eine wichtige Rolle spielen.

Anwendungsbeispiel:

Reinaluminiumdrähte in Starkstromleitungen

Mischkristallverfestigung



Es gilt:

$$\Delta\sigma \propto c^{\frac{1}{2}} \cdot \epsilon^{\frac{3}{2}} \quad (\text{MK-Härtung durch elastische Fehlpassung})$$

Die Festigkeitssteigerung $\Delta\sigma$ hängt sowohl von der Konzentration als auch vom Fehlpassungsparameter $\epsilon = \Delta r/r_0$ der Fremd-atome ab.

$\Delta\sigma$...Festigkeitssteigerung
 cFremdatomkonzentration
 ϵFehlpassungsparameter ($\epsilon = \Delta r/r_0$)
 ΔrDifferenz der Atomradien zwischen Matrix- und Fremdatom
 $(\Delta r = |r(\text{Al}) - r(\text{Fremdatom})|)$
 r_0Atomradius der Matrixatome (Al)

Konsequenzen:

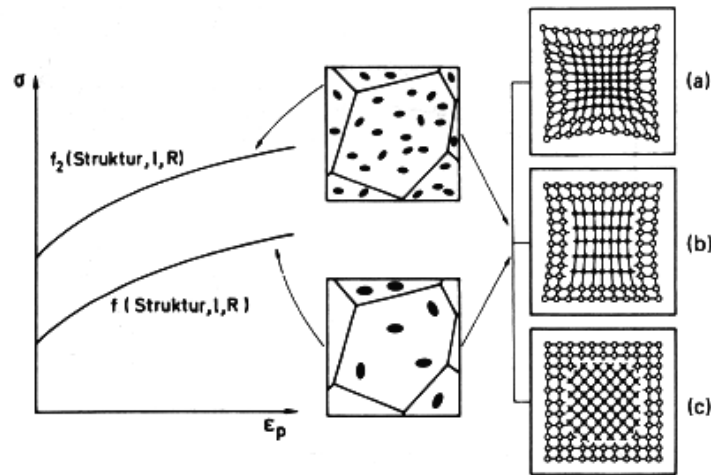
1. Die Konzentration an gelösten Fremdatomen sollte möglichst groß sein
2. Es spielt keine Rolle, ob die Fremd-atome zu groß oder zu klein sind, entscheidend ist nur, daß der *Betrag* der Fehlpassung möglichst groß ist.
3. Je größer jedoch die Fehlpassung, desto geringer ist die Löslichkeit für die Fremd-atome!
4. Da $\Delta\sigma \sim c^{1/2}$, aber $\Delta\sigma \sim \epsilon^{3/2}$ gilt, ist der Einfluß der Fehlpassung entscheidend: „Wenig schlecht passende Fremd-atome sind günstiger als viele gut passende.“

Problem: wenig geeignete Legierungselemente (z.B. Mg)

Fazit:

Die Mischkristallhärtung spielt bei Aluminiumlegierungen bei Raumtemperatur lediglich eine untergeordnete Rolle.

Ausscheidungshärtung



Es gilt:

$$\Delta\sigma \propto \frac{G \cdot b}{(L - 2 \cdot r)} \quad (\text{Orowanmechanismus})$$

$\Delta\sigma$...Festigkeitssteigerung
 Lmittlerer Teilchenabstand
 bBurgers-Vektor
 r ...Teilchenradius
 G ...Schubmodul

Die Festigkeitssteigerung ist abhängig vom **Teilchenabstand**, der **Teilchengröße** und der **Art der Phasengrenze** zur Matrix.

Beispiel: typische Werte für Al

$\Delta\sigma = 200 \text{ MPa bis } 400 \text{ MPa}$.

(Bsp.: Al-Zn-Mg: 7075-T6: $\sigma_{0,2} = 500 \text{ MPa}$)

Fazit:

Die Ausscheidungshärtung ist für Aluminiumlegierungen bei Raumtemperatur in der Regel entscheidend.

Weitere mögliche Härtungsmechanismen

- Dispersionshärtung (Hochtemperaturanwendungen)
- martensitische Härtung (z.B. Stahl, Fe-Ni, Cu-Zn)
- „Härtung durch Textur“ (Ausnutzung der anisotropen Gefüge-eigenschaften)
- Verbundwerkstoffe (Faser- oder Partikelverstärkt)

Gemeinsames Prinzip:

Die Behinderung der Versetzungsbewegung durch unterschiedliche Hindernisse (z.B. Korngrenzen, Versetzungen, Fremdatome, Ausscheidungen, Dispersoide, metastabile intermetallische Phasen, Fasern oder Partikel) bewirkt eine Härtesteigerung durch Behinderung der plastischen Verformung.