

Praktikumsgruppe: 5  
Protokollführer: Frank Sandig, Christina Lebsuch

## Versuchsprotokoll - Ausscheidungshärtung -

### 1. Aufgabenstellung

In Legierungen, welche eine begrenzte Löslichkeit einer Komponente im festen Zustand aufweisen, kann die kontrollierte Ausscheidung einer Komponente zur Festigkeitssteigerung genutzt werden.

Ausscheidungsgehärtete Aluminiumlegierungen werden beispielsweise in Luft- und Raumfahrt und zunehmend auch im Kraftfahrzeug- und Schiffbau eingesetzt, wo es auf hohe Festigkeit und gleichzeitig geringe Dichte ankommt (Leichtbau).

In diesem Versuch soll der Einfluss unterschiedlicher Ausscheidungszustände auf das Festigkeitsverhalten am Beispiel einer AlCu4-Legierung untersucht werden.

### 2. theoretische Grundlagen

Untersuchungen an aushärtbaren Legierungen zeigen, dass bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen, wenn ein Aushärtungseffekt eintreten soll. So muss eine Zwei- oder Mehrstofflegierung vorliegen, im System muss beschränkte Mischkristallbildung auftreten, die Löslichkeit der Legierungskomponente muss mit sinkender Temperatur abnehmen und die Mischkristalle müssen nach dem Abschrecken aus dem homogenen Mischkristallgebiet auf Raumtemperatur zunächst erhalten bleiben (Abschreckbarkeit der Legierung).

Bei langsamer Abkühlung einer Legierung aus dem homogenen  $\alpha$ -Mischkristallgebiet scheidet sich bei Unterschreiten der Solvus-Linie die Gleichgewichtsphase  $\Theta$  aus. Diese Ausscheidung liegt jedoch in Form von relativ großen Teilchen in grober Verteilung vor und bewirkt keine wesentliche Festigkeitssteigerung. Durch rasches Abkühlen des  $\alpha$ -Mischkristalls kann die Ausscheidung unterdrückt werden. Es liegt dann ein doppelt übersättigter Mischkristall  $\alpha_{SS}$  vor, in dem sowohl die höhere Kupfer- als auch Leerstellenkonzentration von  $\alpha$  bei niedriger Temperatur eingefroren sind.

Die gewünschte Festigkeitsteigerung wird erst durch die Vorgänge während einer nachfolgenden Auslagerung erreicht. Hierbei sind besonders die sich in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit bildenden metastabilen Zustände interessant.

Das Auftreten metastabiler Zustände lässt sich thermodynamisch begründen. Aus dem thermodynamischen Gleichgewicht für einen im festen Zustand sich ausscheidenden Keim folgt die Bilanz

$$\Delta G = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 \sigma + \frac{4}{3}\pi r^3 \varepsilon \quad , \text{ wobei der Anteil der spezifischen Oberflächenenergie } \sigma \text{ zur}$$

Bildung der neuen Ausscheidungsfläche bei den sich zunächst kohärent ausscheidenden metastabilen Phasen deutlich kleiner ausfällt als für teilkohärente oder gar inkohärente stabile Ausscheidungen. Daher sind bei der Ausscheidung aus dem übersättigten Mischkristall die metastabilen Zustände thermodynamisch begünstigt. Im Falle der im Versuch betrachteten AlCu4-Legierung bilden sich zunächst an den kristallografischen Ebenen einatomige Kuferausscheidungen (Guinier-Preston-Zonen I, GPI), welche nur geringe Festigkeitssteigerungen bringen. Diese verdicken sich zu den GPII-Zonen, die wiederum in die  $\Theta'$ -Phase übergehen. Letztere ist noch teilkohärent zur Matrix, jedoch nicht kubisch wie die Matrix, sondern tetragonal verzerrt und bringt damit die höchste Festigkeitssteigerung. Die daraus entstehende thermodynamisch stabile Phase  $\Theta$  würde die Festigkeit wieder reduzieren, was nicht wünschenswert ist; eine so ausgelagerte Legierung wird auch als überaltert bezeichnet.

Es ist zu erwarten, dass die gemessene Härte der Proben im Verlauf der Auslagerung, entsprechend zunehmender Ausscheidungsdichte, zunimmt, wobei für die bei Raumtemperatur ausgelagerte Probe geringere Festigkeitssteigerung und Festigkeiten zu erwarten sind, da die Diffusion unterdrückt ist. Bei den bei höherer Temperatur ausgelagerten Proben sollten erwartungsgemäß durch die nun mögliche Diffusion auch höhere Harten erzielbar sein.

**3. Versuchshergang**

Vor Beginn des Versuches wurden alle Proben über mehrere Stunden bei 525°C Lösungsgeglüht. Der Lösungsvorgang wurde durch Abschrecken in Wasser beendet.

Eine der Proben war bei Raumtemperatur auszulagern; die verbleibenden elf Proben wurden bei 170°C (Glühzeiten s. 4.) ausgelagert.

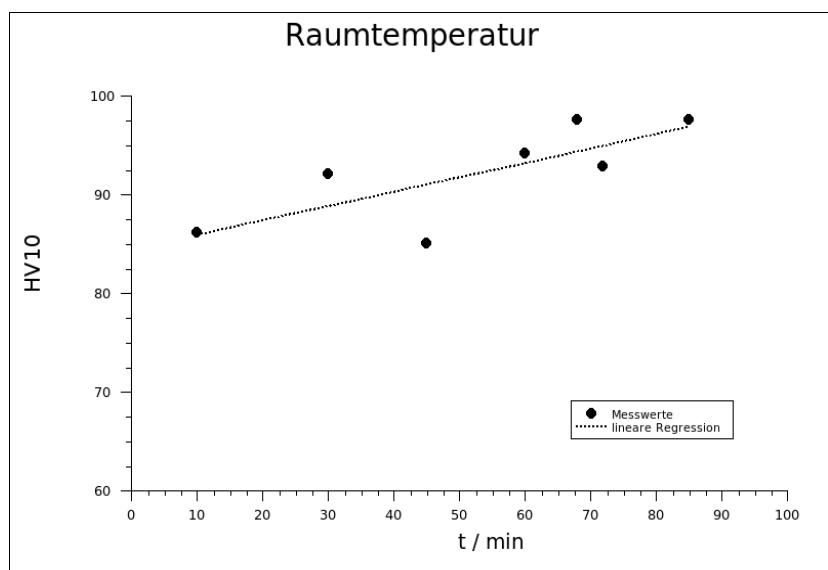
Der jeweilige Auslagerungszustand wurde durch Abschrecken der Proben von der Auslagerungstemperatur in kaltem Wasser fixiert und im Anschluss, zur Überprüfung der Festigkeit und Aushärtung, eine Härtemessung HV10 durchgeführt.

**4. Auswertung**

4.1 Messwerte

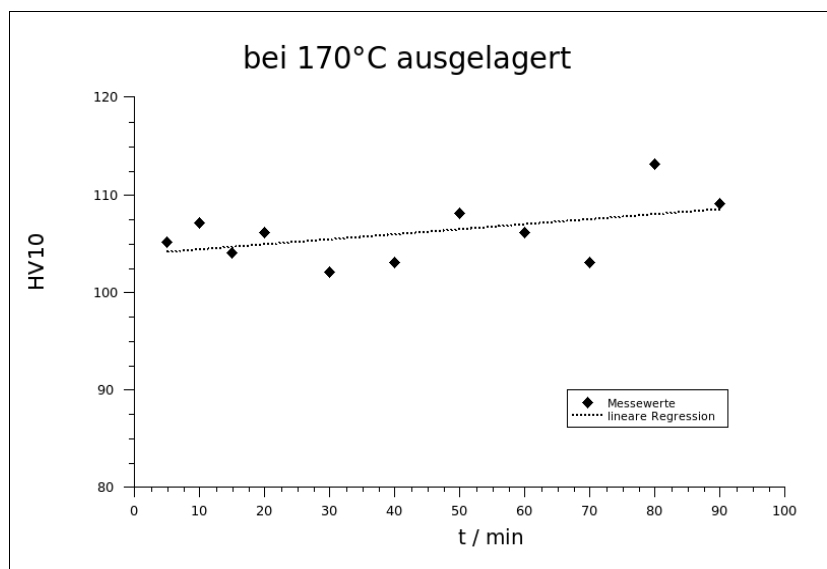
4.1.1 Auslagerung bei Raumtemperatur

t / min	HV10
10	86,1
30	92,0
45	85,0
60	94,1
68	97,5
72	92,8
85	97,5



4.1.2 Auslagerung bei 170°C

t / min	HV10
5	105,0
10	107,0
15	104,0
20	106,0
30	102,0
40	103,0
50	108,0
60	106,0
70	103,0
80	113,0
90	109,0



## 4.2 Diskussion und Fehlerbetrachtung

Wie erwartet sind die erzielten Festigkeiten der bei Raumtemperatur ausgelagerten Proben niedriger als die der bei 170°C ausgelagerten. Zunächst überrascht jedoch die hier hohe relative Zunahme der Festigkeit über der Zeit. Dies wird allerdings plausibel, wenn man beachtet, dass auch die Leerstellenkonzentration in  $\alpha_{SS}$  erhöht war. So konnte das Cu auch unterhalb der Diffusionstemperatur die Keimbildungsplätze durch den Leerstellenmechanismus hinreichend schnell erreichen.

Die Härten der bei 170°C ausgelagerten Proben sind erwartungsgemäß höher. Jedoch fällt hier der geringe Anstieg der Härte auf. Auch ist allgemein eine sehr große Streuung der Messwerte zu erkennen, was die Auswertung erschwert. Der Anstieg der Regressionsgeraden liegt sogar im Bereich des Größtfehlers der Messwerte, was den Befund "Anstieg der Härte" in die Nähe einer statistischen Schwankung rückt. Dies ließe sich schön schreiben und grafisch retuschieren, doch gibt es einfache Ursachen für diese Abweichungen von der theoretischen Erwartung. So können beim manuellen Abschrecken die Temperaturgradienten sehr unterschiedlich ausfallen, auch die exakte Einhaltung der Glühzeiten war nicht gesichert. Darüber hinaus wurde das Abschrecken der ersten drei Proben für die zweite Messreihe (170°C) von den am Ofen arbeitenden Studenten schlicht vergessen. Das Schleifen zur Vorbereitung der Härtemessung erfolgte auch nicht wie üblich maschinell, sondern lediglich grob von Hand, eine Planparallelität der Proben war, wie auch die nötige Qualität der Oberflächen, nicht zwingend erreicht worden. Schließlich sind auch Bedienfehler der Härtemessgeräte nicht auszuschließen.