

FREIBERGER FORSCHUNGSSHEFTE
Herausgegeben vom Rektor der TU Bergakademie Freiberg

B 352 Werkstofftechnologie

**Beitrag zur Gefüge- und Eigenschafts-
optimierung von niedriglegierten
Kupferbasislegierungen**

Andreas Zilly

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Stand der Technik und der Kenntnisse.....	7
2.1	Physikalische Eigenschaften	7
2.2	Mechanische Eigenschaften.....	8
2.3	Mechanismen zur Härte- und Festigkeitssteigerung.....	10
2.3.1	Härtung durch Mischkristallbildung	11
2.3.2	Härtung durch Kaltverformung.....	11
2.3.3	Härtung durch Ausscheidungsbildung	12
2.3.4	Feinkornhärtung.....	15
2.4	Niedriglegierte Kupferbasislegierungen.....	16
2.5	Verwendung von Kupferbasislegierungen als Bahnleitmaterial	18
2.5.1	Aufbau eines Oberleitungssystems	19
2.5.2	Anforderungen an ein Oberleitungssystem.....	23
2.5.3	Verwendete Legierungen.....	25
2.6	Verwendung der Legierung Kupfer-Magnesium	29
2.6.1	Stand der Technik.....	29
2.6.2	Ausscheidungsverfestigung von Kupfer-Magnesium.....	33
2.6.3	Patentansprüche auf CuMg-Legierungen	52
2.6.4	Simulation der Gefügeentwicklung von CuMg	55
2.6.5	Struktur von Cu ₂ Mg.....	57
3	Zielstellung der Arbeit.....	59
4	Experimentelle Methoden	61
4.1	Ermittlung der Belastungszustände bei Hängerseilen	61
4.1.1	Reale Belastungszustände an der Bahnstrecke	61
4.1.2	Bruchflächenanalyse an Hängerseildrähten	63
4.2	Strukturuntersuchungen	65
4.2.1	Lichtmikroskopie	65
4.2.2	Rasterelektronenmikroskopie	71
4.2.3	Funkenspektroskopie.....	72
4.3	Mechanische und physikalische Kennwerte	73
4.3.1	Härteprüfung.....	73
4.3.2	Zugfestigkeit und Bruchdehnung	73

4.3.3 Elektrische Leitfähigkeit	73
4.4 Probenherstellung.....	75
4.4.1 Gießverfahren.....	75
4.4.2 Wärmebehandlungen	77
4.4.3 Temperaturmessungen.....	78
4.4.4 Umformung.....	79
5 Ergebnisse der Untersuchungen	81
5.1 Ist-Zustand bei konventionellen CuMg-Legierungen für Bahnleitmaterial.....	81
5.2 Ergebnisse der Untersuchung an Hängerseilen	84
5.2.1 Art der auftretenden Belastungen.....	84
5.2.2 Bruchflächenanalyse der Drahtbrüche an Hängerseilen.....	88
5.2.2.1 Ermüdungsbruch/Schwingbruch	91
5.2.2.2 Überlastbruch	95
5.2.2.3 Reibkorrosion/Mechanischer Abrieb	98
5.3 Ergebnisse der Untersuchung an ausscheidungsfähigen Legierungen	104
5.3.1 Mikrostruktur des Gussgefüges	104
5.3.2 Homogenisiertes Ausgangsgefüge	105
5.3.3 Herstellung und Untersuchung der Ausscheidungsphase	107
5.3.4 Wärmebehandlungsversuche und Ausscheidungsverhalten	110
5.3.5 Mechanismen zur Steigerung der Duktilität	132
5.3.5.1 Unterbrochenes Warmwalzen mit statischen Rekristallisationen in den Pausenzeiten.....	133
5.3.5.2 Zyklische Wärmebehandlungen.....	137
5.3.5.3 Kornfeinung durch statische Rekristallisation	141
5.3.5.4 Reaktionskinetische Modellierung	161
5.3.6 Kombination verschiedener Verfestigungsmechanismen	166
6 Diskussion zu ausscheidungsfähigen CuMg-Legierungen	185
7 Zusammenfassung	190
Literatur	193
Abbildungen.....	208
Tabellen.....	215
Symbole und Abkürzungen.....	215
Anhang A1.....	218