

## 1 Einleitung

Metallische Werkstoffe zeichnen sich generell durch eine hohe Verformbarkeit aus, die hauptsächlich durch die Bewegung von Versetzungen getragen wird und die Grundlage für einen breiten Anwendungsbereich von Metallen und deren Legierungen bildet. Während der plastischen Verformung werden im Material viele Versetzungen induziert und es kommt zu einer Versetzungsumordnung, wodurch ein Netzwerk aus Korn- bzw. Subkorn Grenzen entsteht. Bei hohen Umformgraden kann somit schließlich eine „Kornfeinung“ des Gefüges erzeugt werden, die letztendlich einen Einfluss auf die mechanischen und thermischen Eigenschaften eines verformten Materials ausübt [Hughes 1997].

In den letzten Jahren wurde ultrafeinkörnigen Materialien ein besonderes wissenschaftliches Interesse zugetragen. Die Attraktivität dieser Werkstoffe liegt vor allem in den verbesserten mechanischen Eigenschaften. Unter anderem werden diesen Werkstoffen eine deutliche Steigerung der Streckgrenze bei gleichzeitig guter Duktilität sowie verbesserte Ermüdungseigenschaften zugeschrieben [Agnew 1998; Vinogradov 1998; Furukawa 1998; Agnew 1999; Valiev 2000; Höppel 2002; Gabor 2007; Niendorf 2007], wodurch die besten Voraussetzungen für hochfeste Konstruktionswerkstoffe erfüllt wären.

Neben pulvermetallurgischen Prozesswegen – die häufig mit Restporosität sowie Verunreinigungen des Materials verbunden sind – können solche Materialien, deren Korngröße deutlich unterhalb von einem Mikrometer liegt, durch hochgradige plastische Verformung (Severe Plastic Deformation, SPD) hergestellt werden, deren Ursprung bereits in den fünfziger Jahren zu suchen ist [Bridgman 1952]. In den letzten Jahren wurden die zahlreichen SPD-Verfahren wiederentdeckt und weiterentwickelt. Eins der dabei meist verwendeten Verfahren ist das Equal Channel Angular Pressing (ECAP) [Baik 2003]. Damit lassen sich hinreichend große Proben herstellen, deren Abmessungen im Laufe der Verformung nahezu unverändert bleiben.

Der Vorzug der ultrafeinkörnigen (UFG) Materialien durch die exzellenten mechanischen Eigenschaften ginge allerdings verloren, wenn bei Herstellung, Verarbeitung oder Anwendung dieser Werkstoffe infolge eines Wärmeeintrages, bspw. beim Fügen, eine Strukturver-

größerung einsetzt. Daher ist eine stabile UFG-Mikrostruktur von hohem Interesse für die Anwendung.

Publikationen zur thermischen Stabilität von durch starke plastische Verformung hergestellten ultrafeinkörnigen Materialien sind sehr rar. Dabei wurde oft über das Auftreten einer bimodalen Struktur während einer an die Umformung anschließenden Glühbehandlung berichtet. Jedoch blieb es weitgehend ungeklärt, ob diese mikrostrukturelle Veränderung auf diskontinuierliches Kornwachstum oder diskontinuierliche Rekristallisation zurückzuführen ist [Morris 2002; Vinogradov 2002; Cao 2003; Yu 2004; Poortmans 2004; Cerri 2005; Cao 2006; Takayama 2008]. Die Unterscheidung der beiden Vorgänge ist aber für die physikalische Deutung der Phänomene und ihre technische Beeinflussung von enormer Bedeutung.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst die Mikrostruktur- sowie Texturentwicklung von Cu- und Al-Werkstoffen während der ECAP Verformung untersucht. Dabei soll geklärt werden, welchen Einfluss Umformgrad und Verformungspfad auf die Struktur solcher Materialien ausübt. Insbesondere soll auf den Charakter der Verformungsstruktur eingegangen werden, der entscheidende Konsequenzen auf die thermische Stabilität von solch hergestellten Werkstoffen mit sich bringt.

Die thermische Stabilität von diesen Werkstoffen ist ein wichtiger Gegenstand des wissenschaftlichen Interesses und wird in Glühexperimenten untersucht. Das Ziel ist es, ein tieferes Verständnis der bei Glühung von ECAP Materialien ablaufenden Prozesse und deren metallkundlichen Mechanismen zu gewinnen. Die Charakterisierung des verformten und geglühten Zustandes wird durch REM/EBSD, TEM, lichtoptische Mikroskopie, Röntgertexturanalyse sowie Mikrohärtmessungen vorgenommen. Um eine mögliche Abhängigkeit des Verhaltens von UFG-Strukturen vom Verformungspfad festzustellen, wird das thermische Verhalten von ECAP-Proben mit dem Verhalten von gewalzten Proben verglichen.

Weiterhin wird untersucht, ob das thermische Verhalten von UFG-Proben durch geeignete Maßnahmen wie z.B. durch eine gezielte vorgeschaltete Erholungsglühung oder Glühbehandlung unter der Wirkung zusätzlich aufgebrachtener mechanischer Belastung beeinflusst bzw. gesteuert werden kann, worauf im Kapitel 7 eingegangen wird.

---

Das Potential von UFG-Materialien ist speziell für Anwendungen im Leichtbau sehr groß. Um dieses zu nutzen, müssen optimale prozesstechnische und werkstoffchemische Maßnahmen ergriffen werden, für die die vorliegenden Untersuchungen von grundlegender Bedeutung sind. Die Arbeit soll dabei nicht nur auf spezielle Phänomene eingehen, sondern vor allem Auskunft darüber liefern, unter welchen Bedingungen optimale thermische Stabilität erzielt werden kann und welche Mechanismen und Gesetzmäßigkeiten die mikrostrukturellen Änderungen beherrschen.